

APPRÉCIATION DES CIRCUITS D'AIR ET DES GRADIENTS THERMIQUES DANS UNE PORCHERIE POUR DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE VENTILATION

R. GRANIER (1), C. CHOSSON (2), E. RETIF (1), P. ROUSSEAU (3)

INSTITUT TECHNIQUE DU PORC

(1) Station Expérimentale, Les Cabrières, 12200 VILLEFRANCHE DE ROUERGUE

(2) 34, Bd de la Gare 31500 TOULOUSE

(3) Domaine de la Motte au Vicomte, B.P. n° 3, 35650 LE RHEU

avec la collaboration technique de J.P. MONGIN

INTRODUCTION

De nombreux travaux de recherche permettent actuellement de bien cerner les rapports du porc avec le milieu climatique environnant. Ses réponses physiologiques et zootechniques aux divers facteurs physiques (température, vitesse de l'air, hygrométrie, gaz, poussières...) sont bien connues et permettent de définir l'ambiance optimum nécessaire à tous les stades de sa vie.

L'efficacité alimentaire est fortement dépendante des échanges thermiques entre l'animal et le milieu ambiant. La maîtrise des critères caractérisant ce milieu est prépondérante pour l'obtention de résultats technico-économiques optima. La température est l'élément déterminant mais elle doit être associée à la vitesse de déplacement de l'air.

En effet, les températures minimales généralement conseillées sont considérées comme étant celles d'un air calme. En dessous de 0,15 m/s les performances zootechniques du porc ne sont pas affectées (VERSTEGEN, 1987). Par contre, lorsqu'il y a accélération du courant d'air, les pertes de chaleur par convection augmentent. Elles sont d'autant plus importantes que l'écart de température entre l'épiderme du porc, compris généralement entre 29°C et 34°C (INGRAM, 1964, cité par MOUNT, 1968), et l'ambiance est important et que la vitesse de l'air environnant est élevée. C'est ainsi qu'une augmentation de vitesse de 0,1 m/s a proportionnellement plus d'effet à 0,2 m/s qu'à 1 m/s. Par exemple, pour un animal de 20 kg, le passage d'une vitesse d'air de 0,2 m/s à 0,3 m/s ou de 0,5 m/s à 0,6 m/s abaisse le confort thermique respectivement de 2,6°C ou 0,6°C (CLARK, 1981).

Pour des températures ambiantes situées dans la zone de neutralité thermique, HACKER et al (1979) signalent que lorsque le porc est soumis à une vitesse d'air de 0,5 m/s au lieu de 0,1 m/s, sa vitesse de croissance est réduite de 15 % et son efficacité alimentaire de 23 %. Sur le plan de la santé, HENKEN (1982, cité par VERHAGEN, 1987) avance que des variations soudaines dans l'environnement thermique du porc (liées à un courant d'air) peuvent provoquer des déficiences

immunologiques.

Inversement, en période chaude, lorsque la température ambiante est élevée, un mouvement d'air plus important est bénéfique. C'est ainsi que des vitesses d'air de 0,4 m/s à 0,6 m/s améliorent le gain de poids journalier (MORISSON et al, 1976 ; PEDERSEN, 1980).

En conséquence, en période froide, la vitesse d'air maximale admissible se situe à 0,2 m/s. En période chaude, des vitesses d'air plus élevées (0,6 m/s ou plus) sont souhaitables.

La généralisation des sols de type caillebotis intégral en phase de post-sevrage et d'engraissement entraîne une diminution de la surface disponible par animal. Il est donc primordial de mettre à sa disposition un environnement optimum sur l'ensemble de son aire de vie : il ne peut pas choisir sa zone de confort.

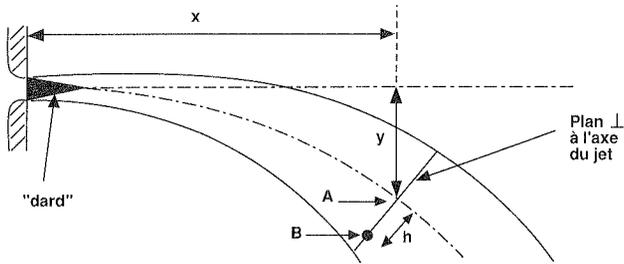
Si actuellement l'installation climatique dans les bâtiments permet d'assurer l'équilibre thermique, il n'en est pas forcément de même pour la maîtrise des circuits d'air d'autant plus que les systèmes sont nombreux et variés.

L'objectif de la présente étude est précisément de mettre en évidence les règles qui régissent le cheminement de l'air et l'évolution de ses caractéristiques. De plus, certains systèmes sont abordés dans leur ensemble : ils peuvent être comparés et améliorés.

1. APPROCHE THEORIQUE DU MOUVEMENT DE L'AIR

Au contact de l'air chaud, un jet froid non vertical subit une déflexion, sa densité étant supérieure à celle de l'air intérieur. Cette déflexion est d'autant plus marquée que l'écart de température entre les deux ambiances (Δt) est grand et que la vitesse du jet est faible (figure 1)

FIGURE 1
REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DE LA DÉFLEXION D'UN JET ANISOTHERME FROID



Par ailleurs, à cause de la force d'Archimède, la vitesse initiale d'un jet anisotherme est modifiée :

. Pour les jets verticaux descendants, on observe une diminution plus rapide du Δt que de la vitesse, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'entrée.

. Pour les jets verticaux ascendants, la force d'Archimède est opposée à la force d'inertie. La vitesse d'un tel jet diminue d'autant plus rapidement que son Δt est élevé et sa vitesse initiale faible. A la portée maximale du jet, la vitesse devient nulle. Ensuite le jet retombe en direction du sol. Quel que soit l'angle de pénétration du jet dans la porcherie, l'évolution des températures et des vitesses, dans le plan perpendiculaire à la direction du jet et situé au point A, s'obtient à partir des équations suivantes (ABRAMOVITCH, 1963) :

$$\frac{VB}{VA} = \left[1 - \left(\frac{h}{RA} \right)^{1,5} \right]^2$$

$$\frac{\Delta tB}{\Delta tA} = 1 - \left(\frac{h}{RA} \right)^{1,5}$$

- avec
- VB = vitesse du jet au point B (m/s)
 - VA = vitesse du jet au point A (m/s)
 - h = distance entre A et B (m)
 - RA = rayon du jet dans le plan perpendiculaire à l'axe qui passe par A (m)
 - ta = température ambiante (°C)
 - tA = température au point A (°C)
 - tB = température au point B (°C)

De ces deux équations on déduit :

. jets issus de bouches rondes :

$$\overline{VA} = 0,26 VA \text{ et } \overline{\Delta tA} = 0,43 tA$$

. jets issus de bouches en fente :

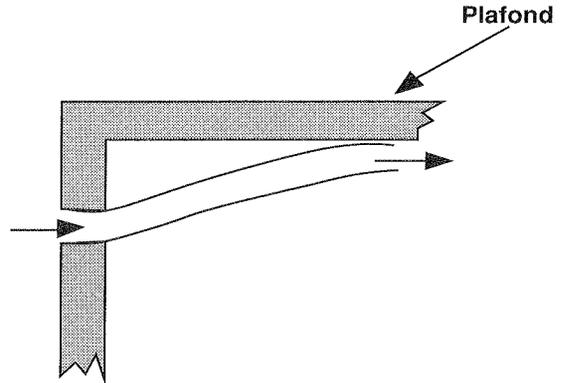
$$\overline{VA} = 0,45 VA \text{ et } \overline{\Delta tA} = 0,61 \Delta tA$$

avec \overline{VA} = Vitesse moyenne de la section perpendiculaire à l'axe du point A (m/s)

$\Delta ta = tA - ta$ = écart entre la température moyenne de la section passant par A et l'ambiance de la porcherie

Notons enfin qu'un jet plat isotherme projeté horizontalement et à une faible distance du plafond (moins de 30 fois la hauteur de la bouche) a tendance à venir coller à la toiture (figure 2). Appelé «effet COANDA», il dépend assez peu du débit et de la vitesse initiale. Avec les jets anisothermes, l'effet COANDA est d'autant moins marqué que le Δt est grand.

FIGURE 2
ILLUSTRATION DE L'EFFET COANDA POUR DES JETS FAIBLEMENT ANISOTHERMES



Outre les jets d'air neuf qui pénètrent dans la porcherie, les courants d'air convectifs qui s'élèvent au-dessus des porcs jouent un rôle essentiel pour l'obtention d'un circuit d'air homogène dans le temps et dans l'espace. RANDALL et BATTAMS (1979) utilisent le concept du «nombre d'Archimède corrigé» (Arc) pour prendre en compte ces deux éléments et prédire la trajectoire initiale d'un jet d'air et sa stabilité.

$$Arc = \frac{5,89 \cdot d.L.H.A. \cdot (H + A) \cdot (tpo - t)}{(D/3600)^2 \cdot (546 + tpo + t)}$$

- d et l = hauteur et longueur de la bouche d'entrée (m)
- H = hauteur de la porcherie
- A = longueur de la portion de la porcherie concernée par la bouche d'air étudiée (m)
- tpo = température cutanée des porcs (°C)
- t = température initiale du jet

En période hivernale, pour des porcheries de dimensions habituelles, on observe que :

- . si $Arc < 30$, le jet reste horizontal et le circuit d'air est stable. L'air circulant au dessus des porcs est calme et tempéré.
- . si $Arc > 75$, le jet chute rapidement mais le circuit d'air reste stable. Au niveau des porcs l'air est froid et rapide.
- . si $30 < Arc < 75$, le circuit d'air est instable.

D'autres éléments tels que la température de paroi, les balayages extérieurs dus aux vents, peuvent influencer sensiblement sur le circuit d'air dans les porcheries. Ils sont cependant mineurs lorsque les bâtiments présentent une bonne étanchéité et une isolation parfaite.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Les expérimentations se sont déroulées à la Station Expérimentale de Villefranche de Rouergue dans un local spécifique

(laboratoire physique) conçu à cet effet.

2.1 - Le laboratoire expérimental

Le laboratoire comprend une salle isolée et étanche où sont réalisées les expérimentations. Dans un local attenant, les mesures sont centralisées et enregistrées. Un système de refroidissement de l'air y est également installé.

Avec une surface de 45 m² et un volume de 117 m³, il est possible de loger 60 porcs charcutiers ou 120 porcelets de 7 à 25 kgs sur un sol de type caillebotis intégral. Le laboratoire simule une salle transversale type, les cases étant disposées sur un rang (figure 3). Une épaisseur de 20 cm de béton cellulaire isole les parois ($K = 0,78 \text{ W/m}^2/^{\circ}\text{C}$). Le plafond plat est constitué de 5 cm de mousse de polyuréthane enrobé de papier aluminisé ($K = 0,60 \text{ K/m}^2/^{\circ}\text{C}$). Une attention particulière a été portée à l'étanchéité du local.

FIGURE 3
VUE EN PLAN DU MODULE EXPERIMENTAL

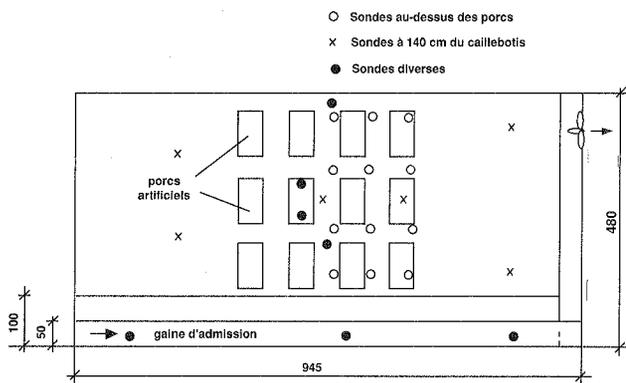
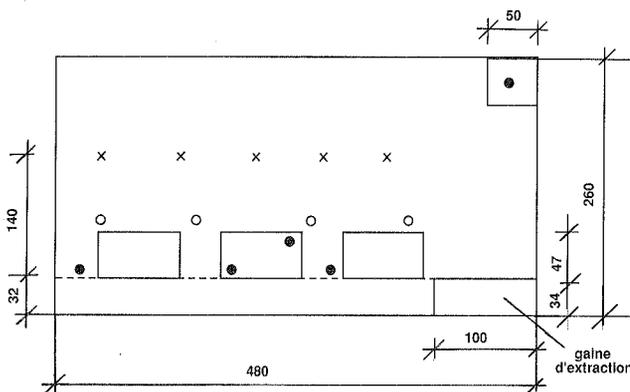


FIGURE 4
COUPE TRANSVERSALE DU MODULE EXPERIMENTAL



2.2 . Caractéristiques des équipements

Le système de ventilation : afin de mieux maîtriser l'évacuation de l'air vers l'extérieur et de limiter les problèmes dus aux vents, le module expérimental est ventilé en dépression. Le ventilateur est placé en bout de la gaine d'extraction. L'air doit traverser le caillebotis béton de type engraissement. Une gaine réalisée en polystyrène extrudé de 4 cm d'épaisseur sert d'admission d'air.

A l'amont un groupe de réfrigération permet de s'affranchir partiellement des conditions climatiques extérieures. Ainsi, la température de l'air neuf est maintenue au niveau désiré pendant la durée d'une expérimentation (variation de 2 à 3°C). L'air neuf doit traverser un réseau de canalisations d'eau d'un échangeur à serpentin lamellaire relié à un tank à lait d'une capacité de 800 litres et d'une puissance de 2,5 KW. Le liquide de refroidissement (eau + antigel) est maintenu à une température de - 2°C.

Simulation de la présence des animaux : Pour le bon déroulement des mesures, la présence d'animaux vivants dans le local expérimental n'était pas concevable. Des porcs artificiels simulant le plus rigoureusement possible les pertes de chaleur sensible ont été mis au point. Ce sont des bidons cylindriques en PVC représentant chacun un volume de 120 litres d'eau. Une résistance électrique régulée, de type thermoplongeur et d'une puissance de 300 watts équipe chaque bidon. De la sorte, leur température de surface peut être maintenue à 30-32°C : c'est la température cutanée moyenne du porc. Trente fûts de ce type sont répartis sur le caillebotis. Un porc de 60 kgs de poids vif dégage 145 Watts de chaleur sensible dans une ambiance à 20°C. Par conséquent, le module expérimental représente une porcherie d'une charge de 60 animaux de 60 kgs de poids moyen.

2.3 . Les mesures

Appréciation de la trajectoire de l'air : elle est matérialisée à l'aide de tubes fumigènes (marque DRAEGER BRANDT, type CA 25301). Le cheminement de l'air est ainsi défini sur les plans verticaux et horizontaux.

Mesure des températures : deux types de mesures sont effectuées :

- avec des sondes placées à points fixes
- avec un appareil portatif

Les capteurs utilisés sont des résistances thermométriques en platine, en verre nu (100Ω à 0°C, $l = 25 \text{ mm}$, $\phi = 3 \text{ mm}$). Leur temps de réponse est de 11 secondes pour une variation de 0,5°C avec une précision de + ou - 0,1°C.

Vingt cinq sondes sont réparties dans la salle (figure 3 et figure 4) :

- douze sondes dans un carroyage régulier au centre de la salle, à 20 cm au-dessus des porcs artificiels,
- six sondes à 1,40 m du caillebotis, dont deux à chaque extrémité de la salle et deux au centre,
- deux sondes sur un bidon pour contrôler la température de surface,
- deux sondes au niveau du caillebotis,

- trois sondes sont réparties dans la gaine d'admission mesurant la température de l'air neuf.

Un système d'enregistrement automatique sur micro-ordinateur recueille les informations des diverses sondes.

L'appareil portatif (marque SOLOMAT Type MPM 1000) dispose d'une sonde de même type. Le temps de réponse est élevé (supérieur à 1 mn) et la précision est de $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Mesure de la vitesse de l'air : une sonde anémométrique à fil chaud est reliée à l'appareil SOLOMAT. La gamme d'utilisation est de 0,01 à 10 m/s avec une précision de 10 % pour les valeurs inférieures à 1 m/s et de 5 % pour les valeurs supérieures à 1 m/s. L'incertitude des mesures est légèrement accentuée car la sonde doit être orientée dans le sens du courant d'air : elle n'est pas multidirectionnelle.

2.4. Déroulement expérimental

Dans un premier temps, il s'agit de mettre en évidence l'influence des divers paramètres qui caractérisent un jet (Δt , vitesse, flux) sur le cheminement de l'air et son évolution dans le temps et dans l'espace.

Ensuite, pour des situations particulières types, nous analyserons l'homogénéité des paramètres physiques dans la salle et l'incidence que peut avoir le couple vitesse-température sur le confort thermique de l'animal.

La prise des mesures débute dès que les paramètres physiques, notamment les températures, sont stabilisés. La manipulation dure environ trente minutes. Les températures mentionnées représentent la moyenne des valeurs enregistrées toutes les trois minutes.

2.5. Présentation des résultats - conventions

- D = Renouvellement horaire de la salle (m³/h)
- V = Vitesse initiale du jet à la bouche d'admission (m/s)
- ta = Température ambiante représentant la moyenne des températures relevées aux 6 sondes placées à 1,40 m du sol ($^\circ\text{C}$)
- Δt = Ecart entre la température ambiante et la température de l'air neuf ($^\circ\text{C}$)
- δt = Ecart entre la température moyenne du jet au point de chute et la température ambiante ($^\circ\text{C}$)
- stp = Ecart-type des douze températures recueillies au niveau des animaux
- sta = Ecart-type des six températures placées à 1,40 m du sol
- VM = Vitesse maximale du jet au point de chute (m/s)
- vm = Vitesse moyenne du jet au point de chute (m/s)
- ARC = Index de RANDALL (nombre d'Archimède corrigé).

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

3.1. Influence des paramètres qui caractérisent un jet d'air entrant horizontalement dans une porcherie sur le micro climat au niveau des porcs

Influence du Δt

FIGURE 5
INFLUENCE DU ΔT SUR LE CIRCUIT D'AIR PRINCIPAL

D =	290 m ³ /h	D =	1 200 m ³ /h
V =	0,5 m/s	V =	2,1 m/s
-- Δt =	16,5 $^\circ\text{C}$	-- Δt =	14
— Δt =	5,5 $^\circ\text{C}$	— Δt =	5 $^\circ\text{C}$



TABLEAU 1
EVOLUTION DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DES PARAMÈTRES PHYSIQUES EN FONCTION DU ΔT

Δt ($^\circ\text{C}$)	D (m ³ /h)	V (m/s)	VM (m/s)	vm (m/s)	δt ($^\circ\text{C}$)	stp	sta	ARC
5,5	290	0,5	0,1	0,05	- 1,0	0,26	0,45	191
16,5	290	0,5	0,2	0,10	- 2,0	0,42	0,53	382
5	1200	2,1	0,5	0,25	0,0	0,35	0,96	12
14	1200	2,1	0,6	0,3	- 1,4	0,41	1,23	22

Un Δt élevé induit :

- une déflexion plus importante du jet
- une vitesse plus élevée au niveau des animaux
- une hétérogénéité climatique plus élevée qu'un Δt faible..

Influence de la vitesse d'admission de l'air

Huit bouches de section identique percées dans la gaine et équidistantes les unes des autres servent d'admission d'air. Afin d'obtenir des vitesses d'air initiales différentes, trois dimensionnements de bouches ont fait l'objet de mesures : S1 = 0,02 m², S2 = 0,01 m², S3 = 0,005 m² (figure 6). Les expérimentations se sont déroulées avec un débit de 409 m³/h et un Δt de 18 $^\circ\text{C}$.

FIGURE 6
INFLUENCE DE LA VITESSE D'ADMISSION DE L'AIR SUR LES CIRCUITS

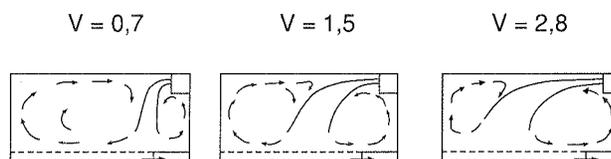


TABLEAU 2
RÉSULTATS CLIMATIQUES

	V (m/s)	VM (m/s)	vm (m/s)	δt (°C)	stp	sta	ARC
S1	0,7	0,4	0,2	- 0,8	0,42	0,59	203
S2	1,5	0,2	0,1	0	0,38	0,57	90
S3	2,8	0,3	0,15	0	0,35	0,69	47

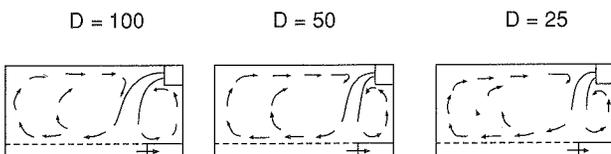
L'analyse des résultats (tableau 2) montre que l'accélération du jet allonge les trajectoires et permet une meilleure diffusion de l'air. Les caractéristiques des paramètres physiques au niveau des animaux sont améliorés. D'une vitesse maximum de 0,4 m/s associée à un δt de 0,8°C pour S1, on passe à une vitesse maximum égale à 0,3 m/s avec un δt égal à 0 pour S2. L'index ARC indique un jet de portée intermédiaire et instable pour S3. Avec des vitesses d'admission de l'air plus faibles, les jets sont stables et chutent rapidement. De plus, on constate une déviation du jet sur le plan horizontal plus importante (vers le ventilateur).

Influence du débit à la bouche d'admission

Pour des vitesses d'admission de l'air identiques, il s'agit d'observer l'incidence du volume d'air engendré par une bouche sur les paramètres climatiques (figure 7). En effet, pour obtenir un même taux de renouvellement du bâtiment, il est possible de faire entrer l'air par un nombre différent de bouches, la section totale d'entrée demeurant fixe. Ainsi, le débit d'air engendré par une bouche sera plus ou moins grand.

Les mesures ont été réalisées dans les conditions suivantes : $D = 400 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta t = 18,5^\circ\text{C}$, $t_a = 25,9^\circ\text{C}$, $V = 0,7 \text{ m/s}$. La surface totale d'admission de l'air est égale à $0,16 \text{ m}^2$ et répartie en 4, 8 ou 16 bouches.

FIGURE 7
INFLUENCE DU DÉBIT D'AIR A LA BOUCHE D'ADMISSION
SUR LES CIRCUITS



Lorsque, pour une même vitesse d'admission de l'air (tableau 3), le débit à la bouche est faible, les températures au

TABLEAU 3
RÉSULTATS CLIMATIQUES

Nombre bouches	Débit d'air à la bouche (m ³ /h)	VM (m/s)	vm (m/s)	δt (°C)	stp	sta	ARC
4	100	0,7	0,4	- 1	0,62	0,42	278
8	50	0,4	0,2	- 0,8	0,42	0,59	203
16	25	0,1	0,05	0	0,26	0,35	190

niveau des animaux sont homogènes. On note aussi que l'air est calme.

Analyse globale des résultats

L'examen des différents résultats permet d'avancer que les jets d'air anisothermes entrant horizontalement dans un bâtiment doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- vitesse d'entrée élevée (> 3 m/s)
- débit, à chaque bouche d'admission, faible de façon à améliorer l'induction (réchauffement de l'air neuf). Ceci entraîne une meilleure homogénéité de la salle sur le plan climatique, le nombre de bouches de répartition de l'air étant alors plus important.

La variation du débit de renouvellement dans les porcheries, quel que soit le stade physiologique, doit généralement s'effectuer avec un rapport de 1 à 10. Afin de maintenir une vitesse d'air élevée lors de l'application de débits faibles, il est nécessaire de faire varier la section d'admission de l'air en fonction du taux de renouvellement. Ce principe fait l'objet des expérimentations ci-après. D'autres systèmes, qui ont pour effet de casser la trajectoire de l'air, sont également étudiés.

3.2. Etude de systèmes permettant la variation de la section d'admission de l'air en fonction du débit de renouvellement jets horizontaux

Nos observations ont porté sur deux systèmes :

- volets mobiles non mécanisés (marque Rohr, type LEP) - volets mobiles actionnés par un treuil asservi à une régulation (marque Rohr, type Servotron 30).

Bouches d'admission de l'air avec volets mobiles non mécanisés (figure 8).

Ce type de bouche a pour but de maintenir la vitesse initiale du jet relativement élevée, quel que soit le débit. Plus ce dernier augmente, plus la section d'ouverture s'accroît. Après une première expérimentation, il s'est avéré que le système tel qu'il est commercialisé ne donnait pas satisfaction. A l'origine, l'axe du volet se situe à 3 cm du bord supérieur. Lorsqu'il est incliné, un passage d'air parasite se fait dans la partie supérieure. Avec l'axe de rotation modifié comme l'indique la figure 8, l'intégralité de l'air participe à la formation du jet. Six bouches de $0,50 \text{ m} \times 0,12 \text{ m}$ ont été placées sur la gaine d'admission.

FIGURE 8
SCHÉMA DE PRINCIPE DU VOLET MOBILE
(coupe transversale)

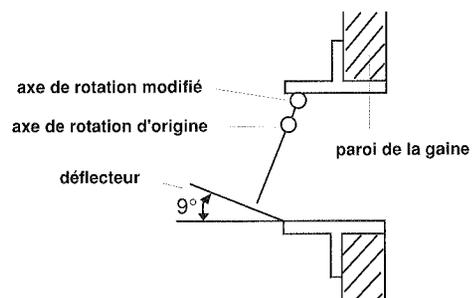


FIGURE 9

EVOLUTION DES CIRCUITS D'AIR AVEC UN VOILET MOBILE NON MECANISE A LA BOUCHE D'ADMISSION POUR DEUX TAUX DE RENOUVELLEMENT

D = 435 m³/h Δt = 14,7°C D = 2065 m³/h Δt = 5,0°C



TABLEAU 4
RÉSULTATS CLIMATIQUES

D (m ³ /h)	Δt (°C)	V (m/s)	VM (m/s)	vm (m/s)	δt (°C)	stp	sta	ARC
435	14,7	3,0	0,3	0,1	0	0,23	0,30	49
2350	5,0	5,8	0,6	0,3	0	0,46	0,60	3

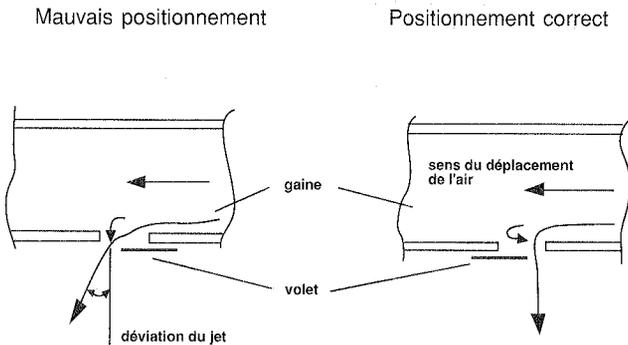
Avec ce type de volet, le circuit de l'air est satisfaisant (tableau 4). Malgré l'instabilité du jet (ARC = 49) à faible débit, l'air arrive sur les animaux à une température identique à la température ambiante. Toutefois, la vitesse maximum mesurée (0,3 m/s) peut apparaître comme un élément négatif. Ceci pourrait être limité en lestant légèrement les volets. On aurait alors une vitesse initiale plus importante et la portée du jet serait ainsi augmentée. Pour un débit plus élevé associé à un faible Δt, l'effet COANDA est nettement marqué.

Bouches d'admission de l'air avec volets mobiles mécanisés.

La gaine d'admission est percée de 8 trous de section égale à 0,02 m². Des volets entraînés par un treuil électrique coulisent le long de rails et obstruent plus ou moins les entrées d'air. Le boîtier de régulation prend en compte la température ambiante du bâtiment et commande le treuil et la vitesse de rotation du ventilateur.

FIGURE 10

POSITIONNEMENT DES VOILETS SUR LA GAINE D'ADMISSION



Dans le cas d'un mauvais positionnement, l'air pénètre dans le local avec une déviation élevée entraînant une hétérogénéité des températures ambiantes importante.

FIGURE 11

EVOLUTION DES CIRCUITS AVEC DES VOILETS MOBILES MÉCANISÉS EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR NEUF

ΔT = 17,7 ΔT = 15,3 ΔT = 9,5

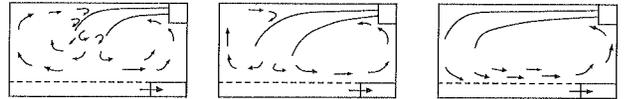


TABLEAU 5
RÉSULTATS CLIMATIQUES

Δt (°C)	D (m ³ /h)	V (m/s)	VM (m/s)	vm (m/s)	δt (°C)	stp	sta	ARC
17,7	296	4,9	0,10	0,05	0	0,37	0,39	41
15,3	585	5,8	0,30	0,15	0	0,41	0,52	17
9,5	1000	6,2	0,35	0,15	0	0,52	0,56	6

L'examen des résultats présentés au tableau 5, montre qu'à faible débit l'environnement climatique du porc est favorable (VM = 0,1 m/s, δt = 0°C). Il en est de même pour des débits plus élevés. Cependant, lorsque le taux de renouvellement augmente, il y a création d'un courant d'air transversal au niveau du caillebotis, pouvant atteindre 0,4 m/s.

3.3. Etude d'un système d'admission de l'air par jet vertical ascendant

La gaine se situe à 1,10 m du sol. Les huit bouches d'admission sont orientées vers le haut. Leur section varie en fonction de la température ambiante à l'aide d'un treuil électrique commandé par un boîtier de régulation.

FIGURE 12

EVOLUTION DES CIRCUITS D'AIR AVEC DES BOUCHES D'ADMISSION DE L'AIR INDUISANT DES JETS VERTICAUX ASCENDANTS

Δt = 16 Δt = 8



TABLEAU 6
RÉSULTATS CLIMATIQUES

Δt (°C)	D (m ³ /h)	V (m/s)	VM (m/s)	vm (m/s)	δt (°C)	stp	sta
16	350	4,6	0,2	0,1	- 1,2	0,44	0,34
8	965	5,7	0,2	0,1	- 1,2	0,48	0,30

Dans les élevages, la gaine d'admission se situe au-dessus de l'aire de vie des animaux. De ce fait, le point de chute du flux d'air atteint les porcs (figure 12). D'après le tableau 6, on constate que l'air arrive sur les animaux à une vitesse peu importante (VM = 0,2 m/s) mais sa température ($\delta t = - 1,2^\circ\text{C}$) est néfaste. En fait l'induction (mélange de l'air neuf et de l'air ambiant) ne peut se faire correctement, le plafond n'étant pas assez éloigné de l'entrée d'air. Il est probable que le système donne de meilleurs résultats lorsque l'isolant suit la pente du toit.

3.4. Etude d'un système d'admission d'air par jet vertical descendant avec barrière frontale pleine.

Dans ce dispositif, la gaine est placée à 1,80 m de hauteur et les bouches d'admission de l'air sont orientées vers le couloir de circulation. Une barrière frontale pleine dont l'étanchéité est parfaite est disposée le long de l'allée. La trajectoire de l'air neuf est ainsi cassée : le jet s'écrase sur le couloir pour remonter ensuite le long de la barrière. L'air peut être admis par plusieurs bouches d'entrée ou bien par une fente réalisée sur toute la longueur de la gaine. Quel que soit le type d'admission utilisé, les mouvements de l'air dans la salle suivent la même logique.

FIGURE 13
EVOLUTION DES CIRCUITS D'AIR AVEC UNE ENTREE D'AIR
PAR JET VERTICAL DESCENDANT
ET BARRIERE FRONTALE PLEINE

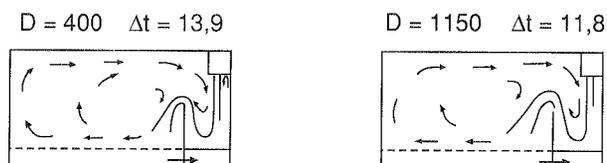


TABLEAU 7
RÉSULTATS CLIMATIQUES

D (m ³ /h)	Δt (°C)	V (m/s)	VM (m/s)	vm (m/s)	δt (°C)	stp	sta
400	13,9	0,7	0,22	0,12	- 0,6	0,27	0,38
1150	11,8	2,0	0,27	0,14	- 0,8	0,65	1,28

Le jet d'air, après avoir chuté sur le couloir et être remonté le long de la barrière, tombe assez rapidement sur les animaux. A ce niveau, la vitesse peut atteindre 0,3 m/s et elle est

associée à un écart de température de 0,6 à 0,8°C. Lorsque le débit augmente, on constate une hétérogénéité climatique importante dans la salle (sta = 1,28). Ceci est dû à une déviation élevée du jet qui a pour conséquence la surventilation de la zone opposée à l'admission de l'air de la gaine.

DISCUSSION - CONCLUSION

L'analyse des différents résultats de cette étude fait apparaître plusieurs éléments importants qui déterminent le cheminement de l'air dans les porcheries : on ne peut se satisfaire de simples trous percés dans une gaine. L'hétérogénéité climatique est alors non négligeable. En premier lieu, elle est due à une déviation du jet principal : il ne pénètre pas dans la salle perpendiculairement à la gaine d'admission mais selon un angle plus ou moins grand qui dépend du débit d'air à la bouche et de sa vitesse. Il y a alors création d'un mouvement circulaire sur le plan horizontal, l'air neuf étant ainsi dirigé vers le côté opposé à l'entrée de la gaine. Ce phénomène crée un gradient thermique horizontal dans la salle, le côté ventilateur (dans le cas de notre modèle expérimental) étant plus frais. D'autre part, les circuits engendrés par ce type d'installation peuvent être néfastes pour les animaux. La portée du jet est faible. Il chute donc rapidement sur le sol avant qu'il ne soit réchauffé.

Les systèmes qui permettent de casser la trajectoire de l'air (barrière frontale pleine) peuvent être améliorés en installant des déflecteurs afin de limiter la déviation initiale du jet. De la sorte, l'homogénéité de la salle serait meilleure. Néanmoins, malgré une vitesse faible au niveau des porcs, ces systèmes présentent quelques limites. Le δt reste élevé et ce, quel que soit le débit. Dans le cas de locaux de post-sevrage avec une barrière frontale pleine de 0,80 m de hauteur, le δt serait encore accru. De plus, cela suppose une étanchéité sans faille de la barrière frontale.

La variation de la surface d'admission de l'air, qu'elle soit mécanisée ou non, apporte une amélioration certaine dans l'évolution des circuits d'air et des températures d'une porcherie. Quel que soit le débit, l'air qui arrive sur les animaux est caractérisé par une température homogène. Par contre, cela suppose un système de régulation performant comme pour la plupart des installations. En effet, à débit plus élevé, le courant d'air se concentre et balaye le caillebotis pour atteindre des vitesses de l'ordre de 0,5 m/s. Si cette situation se produit avec un fort Δt (20°C) lors d'un abaissement brutal de la température extérieure, on risque de rencontrer au niveau du sol une vitesse élevée associée à une température fraîche. Pour cette raison, les systèmes de régulation doivent prendre en compte la différence de température existant entre l'air extérieur et l'air intérieur. Une solution pour pallier partiellement à cet inconvénient consisterait à diminuer la vitesse d'entrée de l'air (ouverture plus rapide des volets mécanisés au fur et à mesure que le débit augmente). A faible débit, une vitesse d'entrée de l'air égale à 5 m/s paraît correcte. A fort débit, une vitesse initiale de 3 m/s améliorerait peut-être les circuits. Mais cela reste à démontrer.

Il est à noter que l'étanchéité parfaite des bâtiments conditionne la maîtrise des circuits. L'utilisation de système de réchauffement de l'air neuf tels que recyclage, résistances électriques, échangeurs de chaleur ne peuvent qu'apporter une amélioration certaine.

En règle générale, dans la plupart des cas étudiés, les flux d'air

constatés sont instables. Les valeurs des vitesses mesurées (VM et vm) sont conformes aux données d'ABRAMOVITCH. Par contre, l'appréciation de la température du jet ne semble pas être satisfaisante. En fait, les caractéristiques des sondes thermiques ne permettent pas de matérialiser les variations avec précision (temps de réponse trop important). C'est le résultat d'une moyenne arithmétique. A partir des équations d'ABRAMOVITCH et de nos résultats, il est possible d'estimer l'hétérogénéité du jet. On l'obtient en tenant compte de l'écart existant entre la vitesse moyenne et la vitesse axiale. Dans nos conditions expérimentales, il apparaît que $vm = 0,5 VM$. On en déduit donc que $\delta tM = 1,5 \delta t$, δtM étant l'écart de température maximum estimé existant entre un point du local et la température ambiante mesurée à 1,40 m du sol, lorsque celle-ci est homogène.

En utilisant l'effet dépressif de la vitesse sur les animaux (CLARK, 1981), on peut mettre en évidence l'effet dépressif global en degré engendré par un système de ventilation par rapport à la température ambiante, lorsque celle-ci se situe dans la zone de neutralité thermique. Par exemple, avec un système de ventilation induisant une vitesse maximum au point de chute de 0,4 m/s et un δt de 0,8°C, l'Effet Dépressif dû

à la vitesse est de 3,6°C pour des porcs de 20 kgs de poids vif, l'écart de température maximum estimé étant de $0,8 \times 1,5 = 1,2$ °C. L'Effet Dépressif en Equivalent Degré, que l'on peut noter E.D., pour ce système serait alors de 4,8°C (3,6 + 1,2).

En conclusion, la notion d'Effet Dépressif en Equivalent Degré peut être un moyen objectif d'appréciation de l'ambiance en fonction du poids moyen des animaux. Cette approche original d'un système de climatisation dans son ensemble paraît séduisante. L'existence à la Station Expérimentale de Villefranche de Rouergue d'un module spécifique offre la possibilité, dans un premier temps, d'approfondir cette méthode pour les différents systèmes utilisés en France. Ensuite, des mesures et des observations comportementales dans les élevages permettront d'affiner au mieux ce nouveau concept d'appréciation objective des circuits d'air et des gradients thermiques dans les porcheries.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la société ROHR pour la mise à disposition de leur matériel de climatisation ainsi que l'ANDA pour sa participation financière au travers du RNEP PORC.

BIBLIOGRAPHIE

- ABRAMOVITCH G.N., 1963. The theory of turbulent jet. The Massachusetts Institute of Technology, 663 p.
- BARRIE I.A., SMITH A.T., 1976. Farm Building Progress, 13-17
- BRUCE J.M., 1975. Farm Building R et D Studies, 3-10
- BRUCE J.M., CLARK J.A., 1979. Anim. Prod., 353-369
- CLARK J.A., 1981. Environmental of housing for animal production. Butterworths, 511 p.
- COMOLET R., 1982. Mécanique expérimentale des fluides. Tome II. 3ème édition. Masson, 453 p.
- HACKER R.R., WOGAR G. S., OGILVIE J.R., 1979. Environment indices for weaned pigs. Paper 79-4017 presented at the summer meeting of A.S.A.E. and C.S.A.E. Winnipeg, Canada, 24-27
- LE DIVIDICH J. 1981. Livest. Prod. Sci., 8, 75 - 86
- LE DIVIDICH J. 1986. Milieu climatique et logement. In : Le porc et son élevage : bases scientifiques et techniques. Maloine éd. Paris, 353-376
- MORISSON S.R., HEITMAN H., BOND T.E. 1969. Int. J. Biometeor., 163-168
- MORISSON S.R., GIVENS L.R., HEITMAN H., 1976. Int. J. Biometeor. 337-343
- MOUNT L.D., 1968. The climatic physiology of the pig. Arnold, London, 271 p.
- MOUNT L.E., 1975. Livest. Prod. Sci., 381-392
- RANDALL J.M., 1975. J. Agric. Eng. Res., 193-215
- RANDALL J.M., BATTAMS V.A., 1979. J. Agric. Eng. Res., 361-374
- RANDALL J.M., 1980. J. Agric. Eng. Res., 169-18
- REIETSCHER N. et RAISS W., 1974. Traité de chauffage et de climatisation, tome 2. Dunod, 678 p.
- VERHERGEN J.M.F., SLYJKHINS A., VANDERHEL W., 1987. Animal Physiology and Animal Nutrition, 229-240.
- VERSTEGEN M.W.A., 1987. Swine - In : Bioclimatology and the adaptation of livestock. University of Columbia, 245-258.