

## ÉCHANGES THERMIQUES AU NIVEAU DE LA PEAU DES PORCELETS ÉLEVÉS EN CLIMAT TROPICAL

### II. — INFLUENCE DU MOUILLAGE

P. BERBIGIER (1)

avec la collaboration technique de S. SOPHIE

*Station de Bioclimatologie,  
Centre de Recherches agronomiques des Antilles, I. N. R. A.,  
97170 Petit-Bourg (Guadeloupe)*

### RÉSUMÉ

A partir du bilan énergétique et de la mesure radiothermométrique de la température de la peau, on a évalué l'augmentation du dégagement de chaleur cutanée des porcelets après mouillage du corps. On a utilisé les mêmes animaux (trois porcelets « créole »  $\times$  *Large White*, et un *Large White*) dans les mêmes conditions d'habitat et de climat (BERBIGIER, 1975). Des intégrations graphiques sur les courbes d'évolution des différentes températures en fonction du temps permettent d'évaluer soit les variations de chaleur sensible, radiative et latente (première méthode), soit la variation de chaleur interne produite par le mouillage (deuxième méthode).

Les résultats des deux méthodes concordent assez bien (écart maximum de 23 p. 100) malgré les approximations utilisées dans la deuxième. Après le mouillage, on distingue trois phases : le rééquilibrage des échanges thermiques, un palier de température cutanée, le dessèchement de la peau. L'ensemble dure environ 40 minutes. On ne constate de vasoconstriction après mouillage que chez le porcelet *Large White*. Au palier de température, les animaux peuvent doubler leur flux de chaleur ( $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , contre  $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  lorsqu'ils sont secs). Sur toute la durée du phénomène, on constate une augmentation de la quantité de chaleur dégagée variant de 30 à 60 p. 100 par rapport aux animaux secs : le mouillage permet donc de combattre un accroissement de la température ambiante ou du rayonnement pourvu qu'il soit de courte durée.

Nous avons utilisé quatre porcelets femelles, l'un de race *Large White* (n° 3378), les trois autres issus de croisements de verrats « Créoles » avec truie *Large White*. Deux d'entre eux (n° 3376 et 3378) étaient âgés d'environ 4 mois, les deux autres (3420 et 3423) d'environ 3 mois. Les mesures ont été faites sur les animaux soit nourris *ad libitum*, soit ayant eu la possibilité de s'alimenter depuis au moins 1 h 30 après une nuit de jeûne.

### A. — INTRODUCTION

Du fait de son inaptitude à transpirer, le porc est beaucoup plus sensible que la plupart des animaux domestiques aux fortes chaleurs du climat tropical. On peut imaginer de compenser celle-ci en mouillant l'animal comme il le fait lui-même

(1) Adresse actuelle : Station de Bioclimatologie, C. N. R. A., route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

lorsqu'il est laissé en liberté (bains de boue). On a cherché ici à déterminer l'augmentation de la quantité de chaleur dégagée au niveau de la peau après arrosage au jet d'eau, afin de vérifier si le mouillage constitue une méthode efficace pour éliminer un surplus d'énergie calorifique accumulé par les animaux. La méthode utilisée consiste à calculer le bilan d'énergie au niveau de la peau des animaux à partir de mesures de la température superficielle de celle-ci (BERBIGIER, 1975 a).

Ce type d'expérience a déjà été effectué soit afin de déterminer la réponse physiologique des porcs au mouillage (MORRISON, BOND et HEITMAN, 1968), soit pour en étudier les conséquences sur la croissance et la consommation (MORRISON *et al.*, 1972). Dans aucun de ces cas, les échanges thermiques des porcs n'ont été étudiés. INGRAM (1965), à l'aide de capsules ventilées a suivi l'évolution de la quantité d'eau évaporée au niveau de la peau, après humidification par l'eau ou la boue. Cependant les conditions climatiques dans lesquelles son travail a été effectué sont nettement différentes des nôtres (air plus chaud et plus sec), et les valeurs obtenues difficilement comparables.

## B. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

Au cours de quatre journées de l'expérience décrite, (BERBIGIER 1975 b) on a procédé pour chaque porcelet, après la deuxième prise de température de surface, au mouillage de la peau, au jet d'eau, pendant 1 minute. Dix minutes après, une nouvelle détermination de la température de surface était effectuée. Cet ensemble de mesures était répété pour tous les animaux et permettait une appréciation du bilan énergétique, pour chaque animal sec ou mouillé.

De plus, on a effectué plusieurs mesures de l'évolution de la température de surface au cours du temps, après mouillage. Ces mesures permettent d'estimer la quantité de chaleur perdue après arrosage des animaux. Dans les deux cas, des mesures de la température de l'air ambiant et de son humidité, de la température radiative des parois et de la température rectale des animaux ont été faites simultanément.

## C. — THÉORIE

### I. — *Bilan énergétique de l'animal sec ou mouillé*

On a montré (BERBIGIER, 1975 a) que, dans le cas d'un animal à peau sèche, le flux de chaleur à travers la peau s'exprime ainsi :

$$\Phi_{i_1} = C_c (T_{s_1} - T_a) + C_r (T_{s_1} - T_p) + \frac{C_c}{\gamma l} (P(T_{r_{s_1}}) - P(T_r)) \quad (1)$$

Et après mouillage :

$$\Phi_{i_2} = C_c (T_{s_2} - T_a) + C_r (T_{s_2} - T_p) + \frac{C_c}{\gamma l} (P(T_{s_2}) - P(T_r)) \quad (2)$$

(Les indices 1 se rapportent à l'animal sec, 2 à l'animal mouillé) ;

$\Phi_i$  : flux de chaleur interne ( $W \cdot m^{-2}$ ) ;

$C_c$  ( $\neq 3,5 W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$  dans les conditions de la mesure) : Coefficient d'échange convectif ;

$C_r$   $\neq 6,3 W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$  : coefficient d'échange radiatif ;

$\gamma l$   $\neq 59 kg \cdot m^{-1} \cdot S^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$  : constante psychrométrique (régime laminaire) ;

$T_s$  : température de surface de la peau ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;

$T_a$  : température ambiante ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;

$T_p$  : température radiative des parois ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;

$T_r$  : Température de point de rosée de l'air ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;

$T_{rs}$  : Température du point de rosée de l'air au contact de la peau ( $^{\circ}\text{C}$ ) (égale à  $T_s$  pour une surface humide) ;

$P(T_x)$  : pression partielle saturante de vapeur d'eau à la température  $T_x(P_a)$ .

Dans les deux cas le coefficient de conduction thermique du corps des animaux s'exprime par :

$$C_i = \frac{\Phi_i}{T_i - T_s} \quad (3)$$

$C_i$  en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$

$T_i$  : Température rectale ( $^{\circ}\text{C}$ )

## II. — Calcul de la variation du flux de chaleur obtenue par mouillage

A un instant donné, on peut donc exprimer la variation du flux due au mouillage de la peau par :

$$\Delta\Phi_i = (C_c + C_r) (T_{s_2} - T_{s_1}) + \frac{C_c}{\gamma l} (P(T_{s_2}) - P(T_{rs_1})) \quad (4)$$

Pour la suite du calcul, on posera :

$$C_c + C_r = A \quad (5)$$

$$\frac{C_c}{\gamma l} = B \quad (6)$$

Ces deux quantités étant sensiblement constantes dans les conditions des expériences.

L'équation (4) devient alors :

$$\Delta\Phi_i = A (T_{s_2} - T_{s_1}) + B (P(T_{s_2}) - P(T_{rs_1})) \quad (7)$$

— *Ordre de grandeur de la température de point de rosée au niveau de la peau sèche.*

On sait que :

$$\Phi_{l_1} = B (P(T_r) - P(T_{rs_1})) \quad (8)$$

$\Phi_{l_1}$  : flux de chaleur latente de l'animal sec ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

Si on admet que  $\Phi_{l_1} \simeq -10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (INGRAM, 1964) l'équation (8) donne  $T_{rs_1} = T_r + 1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $T_{rs}$  est peu différent de la température de point de rosée de l'air ambiant.

— *Introduction de la dérivée  $P'$  de la pression de vapeur saturante par rapport à la température.*

Si on pose

$$P(T_{s_2}) - P(T_{rs_1}) = P' \cdot (T_{s_2} - T_{rs_1})$$

(approximation n'introduisant dans les conditions de l'expérience qu'une erreur systématique de 2 p. 100), on pourra écrire, à partir de l'équation (4) :

$$\Delta\Phi i = A(T_{s_2} - T_{s_1}) + BP'(T_{s_2} - Tr_{s_1}) \quad (9)$$

### III. — Variation totale du flux de chaleur

a) *Période d'équilibre des échanges* (palier de température).

Pendant cette période, comprise entre les instants  $t_1$  et  $t_2$  où règne l'équilibre des échanges entre la peau complètement mouillée et l'air, la somme  $\Delta E i_p$ , sur l'intervalle  $(t_2 - t_1)$ , des variations du flux, s'écrira :

$$\Delta E i_p = \int_{t_1}^{t_2} \Delta\Phi i = A \int_{t_1}^{t_2} (T_{s_2} - T_{s_1}) dt + BP' \int_{t_1}^{t_2} (T_{s_2} - Tr_{s_1}) dt \quad (10)$$

On voit qu'il est possible de déduire la somme des variations de flux des aires comprises entre les courbes  $T_{s_2} = f(t)$  et  $T_{s_1} = h(t)$  d'une part,  $T_{s_2} = f(t)$  et  $Tr_{s_1} = k(t)$  d'autre part.

b) *Cas des premiers instants après le mouillage* ( $\Delta E i_0$ ).

Durant la période comprise entre  $t_0$  (mouillage) et  $t_1$  (établissement du palier) une certaine partie du flux est utilisée pour réchauffer l'ensemble peau-eau qui se trouve à une température inférieure à la température d'équilibre. On commet donc une erreur par défaut en utilisant l'équation (10). Cependant, comme il est impossible de calculer la chaleur retenue au niveau de la peau, et comme cette période est assez brève, on ne dissociera pas ce cas du premier.

c) *Cas de la peau en cours de dessèchement*.

Ce problème intervient en cours d'expérience. Dans l'équation (4) il convient alors de remplacer  $P(T_{s_2})$  (pression saturante à la température de surface de la peau), par  $P(Tr_{s_2})$  (pression partielle de vapeur d'eau dans l'air non saturé au contact de la surface).

On constate (fig. 3) que dans tous les cas l'évolution de  $T_s$  est sensiblement linéaire dans le temps. On peut écrire :

$$T_{s_2} = at + b \quad a \text{ et } b > 0 \quad (11)$$

Si le coefficient de conduction du corps  $C_i$  reste constant ou varie linéairement pendant le dessèchement et si la température rectale et les données de l'ambiance ( $T_a$ ,  $Tr$ ,  $T\phi$ ) varient peu, on peut écrire à partir des équations (3), (4) modifiée et (11) :

$$P(Tr_{s_2}) = a't + b' \quad a', b' > 0 \quad (12)$$

La pression partielle de vapeur d'eau au niveau de la peau est donc une fonction linéaire du temps pendant le dessèchement.

— *Calcul de  $a'$  et  $b'$*  (fig. 3).

La droite  $T_{s_2} = at + b$  coupe les horizontales  $T = T_{s_2}$  (correspondant au palier) et  $T = T_{s_1}$  en deux points d'abscisses  $t_2$  et  $t_3$ . Pour  $t = t_2$ , on a encore saturation :

$P(Trs_2) = P(Ts_2)$ . Pour  $t = t_3$ ,  $P(Trs_2) = P(Trs_1)$ , en supposant que toute l'eau s'est évaporée.

Connaissant les coordonnées de deux points, on en déduit l'équation de la droite. D'où :

$$\Delta E \dot{i}_a = A \int_{t_2}^{t_3} (Ts_2 - Ts_1) dt + B \left\{ -1/2 a'(t_3^2 - t_2^2) + (b' - P(Trs_1))(t_3 - t_2) \right\} \quad (13)$$

$\Delta E \dot{i}_a$  : somme des variations du flux de chaleur pendant le dessèchement ( $Jm^{-2}$ ). Un schéma (fig. 1) permet de se représenter les phénomènes d'échanges thermiques à partir des valeurs des différentes températures.

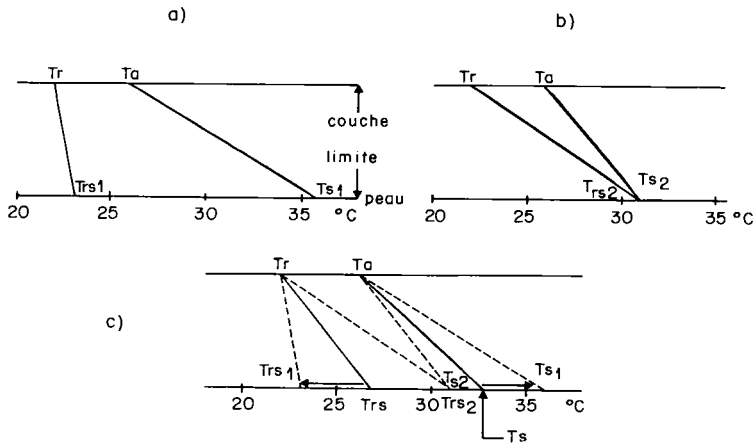


FIG. 1. — Représentation schématique des gradients de température et d'humidité (point de rosée) entre la peau et le sommet de la couche limite équivalente

- a) Peau sèche
- b) Peau mouillée
- c) Dessèchement (le sens de variation des températures en cours de dessèchement est indiqué par les flèches)

- Ta : température ambiante
- Tr : température de point de rosée ambiante
- Ts1 : température de surface de la peau sèche
- Trs1 : température de point de rosée de l'air au contact de la peau sèche
- Ts2 : température de surface de la peau mouillée
- Trs2 = Ts2 : température de point de rosée de l'air au contact de la peau mouillée
- Ts : température de surface de la peau en cours de dessèchement
- Trs : température de point de rosée de l'air au contact de la peau en cours de dessèchement

d) Variation totale du flux pour un mouillage ( $\Delta E \dot{i}$ ).

$\Delta E \dot{i}$  est obtenu en faisant la somme des gains pour les trois phases du phénomène :

$$\Delta E \dot{i} = \Delta E \dot{i}_o + \Delta E \dot{i}_p + \Delta E \dot{i}_a \quad (14)$$

IV. — Autre méthode de calcul de  $\Delta E \dot{i}$

On a vu (équation 3) que

- $\Phi i_1 = Ci_1(Ti_1 - Ts_1)$  pour l'animal sec
- $\Phi i_2 = Ci_2(Ti_2 - Ts_2)$  pour l'animal mouillé

$C_i$  : coefficient de conduction du corps ( $W \cdot m^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$ )

$T_i$  : température rectale ( $^\circ C$ )

$T_s$  : température superficielle de la peau ( $^\circ C$ ).

On pose

$$C_{i_1} = C_{i_2} + \Delta C_i \quad (14)$$

On suppose que si  $C_i$  diminue (ou augmente) au moment du mouillage, il reste ensuite constant pendant le dessèchement. Après calculs, on obtient :

$$\Delta \Phi_i = C_{i_2}(T_{s_1} - T_{s_2}) - \Delta C_i(T_{i_1} - T_{s_1}) - C_{i_2}(T_{i_1} - T_{i_2}) \quad (15)$$

$$\Delta E_i = C_{i_2} \int_{t_0}^{t_3} (T_{s_1} - T_{s_2}) dt - \Delta C_i \int_{t_0}^{t_3} (T_{i_1} - T_{s_1}) dt - C_{i_2} \int_{t_0}^{t_3} (T_{i_1} - T_{i_2}) dt$$

Cette méthode nécessite un calcul préalable de  $C_{i_1}$  et  $C_{i_2}$ , à partir des deux moyennes sur les températures mesurées avant le mouillage et au palier. Ensuite à partir de trois intégrations graphiques, on obtient  $\Delta E_i$ . Une vérification de la validité des différentes hypothèses faites dans les deux cas consiste à comparer les deux valeurs de  $\Delta E_i$ . (tabl. 2).

#### D. — RÉSULTATS

##### I. — Comparaison entre porcelets secs et mouillés depuis 10 mn

a) *Variation du flux de chaleur interne* (moyenne sur 5 points de mesure).

On constate que, dans les meilleurs cas, les animaux peuvent plus que doubler leur dégagement de chaleur au niveau de la peau lorsqu'ils sont mouillés. La vasoconstriction, après mouillage, comme on peut le voir lorsque  $C_{i_2} > C_{i_1}$ , fait chuter  $\Delta \Phi_i$  (en effet, alors  $\Phi_{i_2}$  diminue). Les cas les plus nets sont constatés sur l'animal n° 3378 (*LW*). Les fortes valeurs du coefficient de conduction (forte vasodilatation) sont surtout le fait de l'animal n° 3420, qui est celui qui, sec ou mouillé, dégage en général le plus de chaleur.

Si on étudie les moyennes des différents flux, on observe le 11 février une valeur très basse des flux sur animal sec et mouillé, de leur écart et des coefficients de conduction. On constate que cette mesure est la seule à avoir été effectuée le matin (de 9 h à 10 h 30).

b) *Comparaison des coefficients de conduction du corps avant et après mouillage* (fig. 2).

Lorsqu'on considère les valeurs de  $C_i$  pour tous les animaux et tous les points de mesure (5 par animal), on voit que les points figuratifs, bien que très dispersés, s'équilibrent parfaitement autour de la droite  $C_{i_1} = C_{i_2}$ . Seuls quelques-uns (correspondant tous à l'animal n° 3240) s'en écartent réellement.

Lorsqu'on fait la moyenne par animal, les points se rapprochent de la droite  $C_{i_1} = C_{i_2}$ . Pour les faibles valeurs de  $C_i$ , ils en sont très proches et on peut même noter que le coefficient de conduction augmente légèrement après mouillage chez les trois porcs croisés. Par contre, l'animal n° 3378 présente la tendance inverse. Les écarts à la

TABLEAU I

*Comparaison des flux de chaleur interne chez l'animal sec ou mouillé ;  
détermination du coefficient de conduction thermique*

Date	N° animal	Flux de chaleur interne		Écart	Conduction du corps	
		sec $\Phi_{i1} W \cdot m^{-2}$	mouillé $\Phi_{i2} W \cdot m^{-2}$	mouillé-sec $\Delta\Phi_i W \cdot m^{-2}$	sec $C_{i1} W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$	mouillé $C_{i2} W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$
7-2-74 après-midi	3378 (LII)	110,2	207,3	97,1	27,2	27,6
	3376	104,1	189,8	85,7	22,4	24,5
	3423	112,2	192,8	80,6	21,5	24,9
	3420	116,7	214,5	97,8	33,5	29,4
	moyenne et écart-type	$110,8 \pm 5,2$	$201,1 \pm 11,8$	$90,3 \pm 8,5$	$26,1 \pm 5,5$	$26,6 \pm 2,3$
11-2-74 matin	3378 (LII)	98,6	147,0	48,4	20,9	15,6
	3376	92,2	154,2	62,0	17,2	17,2
	3423	68,2	121,3	53,1	9,8	11,9
	3420	89,2	153,2	64,0	17,0	17,3
	moyenne et écart-type	$87,0 \pm 13,2$	$143,9 \pm 15,4$	$56,9 \pm 7,4$	$16,2 \pm 4,6$	$15,5 \pm 2,5$
14-2-74 après-midi	3378 (LII)	94,1	139,7	45,6	23,3	15,0
	3376	102,5	206,7	104,2	25,0	31,6
	3423	99,6	207,6	108,0	20,5	32,0
	3420	111,7	200,5	88,8	35,7	29,7
	moyenne et écart-type	$102,0 \pm 7,4$	$188,6 \pm 32,8$	$86,6 \pm 28,6$	$26,1 \pm 6,6$	$27,1 \pm 8,1$
15-2-74 après-midi	3378 (LII)	92,1	147,3	55,2	21,3	17,2
	3376	90,0	171,2	81,2	18,5	21,6
	3423	93,8	161,1	67,3	20,3	19,7
	3420	106,0	175,7	69,7	32,2	21,3
	moyenne et écart-type	$95,5 \pm 7,2$	$163,8 \pm 12,6$	$68,3 \pm 10,7$	$23,1 \pm 6,2$	$19,9 \pm 2,0$
	moyenne générale	$98,8 \pm 11,9$	$174,4 \pm 29,0$	$75,5 \pm 20,2$	$22,9 \pm 6,7$	$22,3 \pm 6,4$

droite pour les fortes valeurs de  $C_i$  peuvent être mis sur le compte de l'incertitude de la mesure : en effet l'expression  $(T_i - T_s)$  qui intervient au dénominateur lors du calcul de  $C_i$ , devient alors très faible.

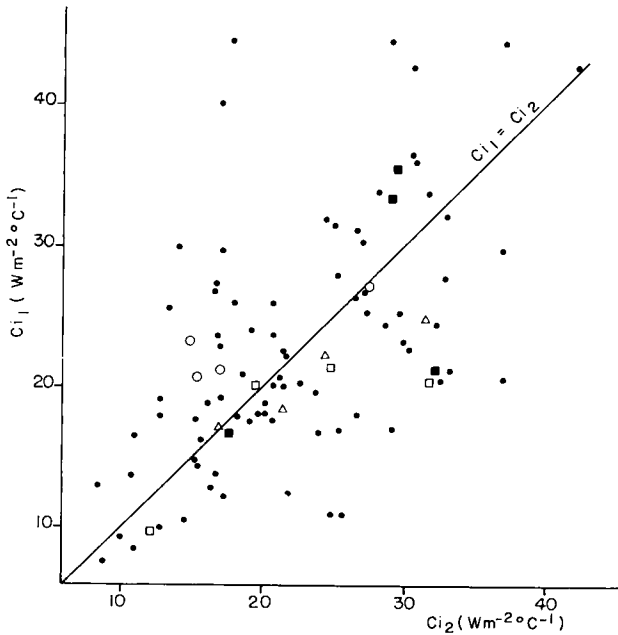


FIG. 2. — Comparaison entre les coefficients de conduction du corps des animaux secs ( $C_{i1}$ ) et mouillés ( $C_{i2}$ )

Les points représentent les mesures pour chaque point du corps des autres animaux, les autres symboles, les moyennes par animal (moyennes sur 5 points)

## II. — Évolution de $T_s$ après mouillage. Variation totale de flux de chaleur

Cinq expériences utilisables (faibles variations des paramètres du milieu) ont été effectuées. Dans tous les cas, la température de l'air était comprise entre 24,5 et 26°C, et la température du point de rosée entre 21 et 22,5°C (Humidité relative de l'ordre de 80 p. 100). La température était donc très stable et l'humidité très forte, ce qui est caractéristique du climat antillais.

### a) Évolution des températures (fig. 3).

On constate tout d'abord une remarquable stabilité du temps nécessaire au dessèchement après le mouillage : 40 à 42 minutes. Parfois la température de surface reste loin de son niveau initial (n° 3423, le 8 février). Deux phénomènes peuvent alors intervenir : soit une diminution persistante du coefficient de conduction en fin d'expérience, soit un dessèchement incomplet de la peau.

La durée des paliers varie de 10 à 19 mn, avec une moyenne de l'ordre de 12 mn. Mais le palier de 19 mn (n° 3423, le 8 février) (fig. 3 b) n'apparaît pas nettement : on pourrait tout aussi bien considérer que la température de la peau augmente linéairement par rapport au temps dès la fin du mouillage



Les valeurs des températures de surface des animaux secs sont de l'ordre de 35 à 36°C, celles aux paliers sont en général de l'ordre de 31 à 32°C.

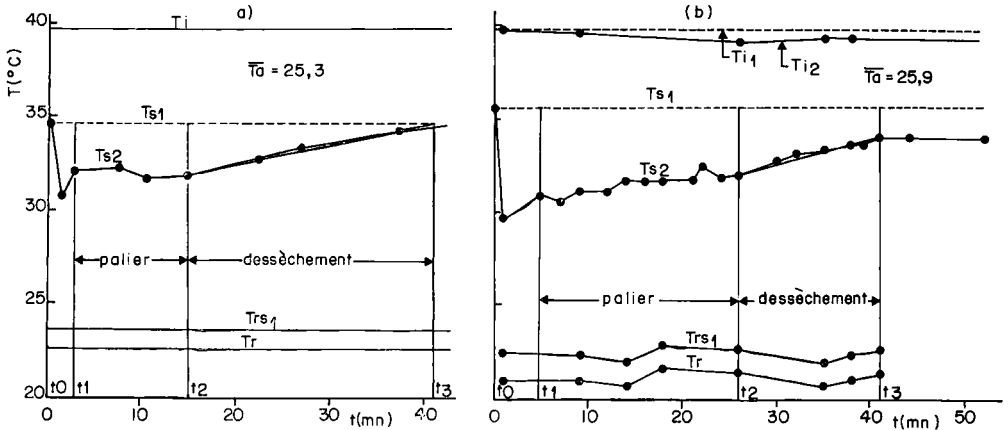


FIG. 3. — Évolution de la température de surface du corps (moyenne sur 5 points) et de la température rectale avant mouillage ( $T_{s1}$ ,  $T_i$ ) respectivement et après mouillage ( $T_{s2}$ ,  $T_i$ ) au cours de deux expériences

a) n° 3423 : 17-1-1974  
 b) n° 3423 : 8-2-1974

Les symboles utilisés correspondent à ceux de la figure 1

b) Valeurs des coefficients de conduction du corps.

On a déterminé les valeurs des coefficients de conduction avant mouillage et au palier (équations (1), (2) et (3)), afin d'appliquer la deuxième méthode de calcul des déperditions thermiques (cf. Chapitre C, IV). On a constaté à nouveau que le mouillage ne provoque une diminution nette du coefficient de conduction, correspondant à une vasoconstriction, que chez le porc *Large White* (n° 3378). Les porcs croisés ont soit une valeur de  $C_i$  sensiblement constante, soit en légère augmentation après mouillage.

TABLEAU 2

Augmentation de la déperdition thermique au cours d'un mouillage

N° animal	Date	$\Delta E_{i1}$ 1 <sup>re</sup> méthode		$\Delta E_{i2}$ 2 <sup>e</sup> méthode		$\frac{\Delta E_{i1} - \Delta E_{i2}}{\Delta E_{i1}}$ (%)
		$J \cdot m^{-2}$	kcal $\cdot m^{-2}$	$J \cdot m^{-2}$	kcal $\cdot m^{-2}$	
3423	17-1-74	$1,39 \times 10^5$	33,4	$1,63 \times 10^5$	38,9	- 15
	8-2-74	$1,47 \times 10^5$	35,1	$1,64 \times 10^5$	39,1	- 11
3378 (LII)	1-2-74	$0,82 \times 10^5$	19,6	$0,66 \times 10^5$	15,9	+ 21
	8-2-74	$0,98 \times 10^5$	23,4	$0,79 \times 10^5$	18,5	+ 23
3420	8-2-74	$1,68 \times 10^5$	40,2	$1,66 \times 10^5$	39,7	+ 1

c) *Augmentation de la déperdition thermique cutanée due au mouillage.*

Le tableau 2 représente les résultats des deux méthodes de calcul (cf chapitre C, III et IV).

L'écart relatif entre les deux méthodes est, dans le pire des cas, de 23 p. 100. On remarque que la première méthode, qui en théorie fournit une estimation par défaut de  $\Delta E_i$  (voir C, III, b) ne donne pas de résultats systématiquement inférieurs à la seconde. Par contre, lorsque la mesure est effectuée deux fois sur un animal donné, la différence entre les deux méthodes est de même signe et du même ordre de grandeur. On remarque que les valeurs de  $\Delta E_i$  obtenues pour l'animal n° 3378 sont beaucoup moins fortes que celles obtenues pour les deux autres animaux.

### E. — DISCUSSION

Il est difficile de comparer les résultats obtenus ici à des données déjà existantes : INGRAM (1965), qui a étudié l'évolution des échanges thermiques après mouillage par de l'eau et de la boue, a travaillé à température plus élevée (35°C) et à humidité plus faible (humidité relative inférieure à 30 p. 100). De plus, même dans ces conditions, les très fortes valeurs obtenues pour le flux de chaleur latente (540 W · m<sup>-2</sup> au maximum pour l'animal mouillé), ne peuvent s'expliquer (cf. équation 2) que par une valeur différente du coefficient d'échange convectif ( $C_c$ ), ce qui suppose une structure différente de la peau et du pelage. INGRAM ne précise pas sur quel type d'animal l'expérience a été faite ; cependant, on peut supposer que, comme pour ses travaux précédents, il a utilisé des porcelets de race *Landrace*, pour lesquels il donne (INGRAM, 1964)  $C_c = 7,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , c'est-à-dire une valeur égale au double de celle que nous avons trouvée. Avec cette valeur, ces résultats s'expliquent parfaitement, mais il est à peu près impossible de les comparer aux nôtres.

MORRISON (1968) qui a étudié les variations de température de surface de la peau après mouillage, dans des conditions en général plus sévères que les nôtres (température ambiante variant de 27°C à 43°C) obtient des courbes comparables, sur des femelles de race *Duroc* pesant entre 70 et 100 kg. En général, les différences qu'il observe sont moins marquées (un écart de 4°C entre les températures avant et après mouillage n'est observé que pour une température ambiante de 43° et un point de rosée de 9°C, c'est-à-dire en ambiance très chaude et sèche). De plus, ces animaux restent humides plus longtemps (de 80 à 100 mn), et la température de la peau ne revient jamais aux valeurs observées avant le mouillage : ce dernier résultat peut être dû au « stress » beaucoup plus fort subi avant l'arrosage, hypothèse confirmée par la chute importante de la température rectale en cours d'expérience, qui peut atteindre 1,5°C dans les conditions climatiques les plus extrêmes. Malgré ces différences, les résultats de MORRISON sont, dans l'ensemble, assez proches de ceux que nous rapportons.

Si on analyse les différences constatées dans les échanges thermiques entre les animaux secs et mouillés (tabl. 1), on décèle deux facteurs de variation. Le premier est le facteur individuel ; on constate en particulier, que l'animal n° 3378 présente, en général, des phénomènes de vasoconstriction après le mouillage, ce qui a pour

effet de diminuer l'écart entre les flux de chaleur cutanés pour l'animal sec et mouillé. Les autres animaux ont en général un coefficient de conduction sensiblement constant, et même plus important après mouillage. Le comportement du porc n° 3378 est peut-être lié à sa race (c'est le seul *Large White*), mais il est évident qu'on ne peut conclure dans ce sens avec les données d'un seul individu. On constate également que l'animal n° 3420 présente en général les plus grands coefficients de conduction, ainsi que le dégagement de chaleur le plus important. On a constaté par ailleurs que l'extra-chaleur provoquée par l'ingestion d'un repas est plus forte chez cet animal. Comme les porcelets avaient la possibilité de manger librement, on peut penser que dans ce cas, les forts échanges thermiques sont dus à un niveau de nutrition plus élevé.

Le deuxième facteur est peut-être lié au rythme nyctéméral. CAIRNIE et PULLAR (1959) montrent que, à température ambiante constante, on observe ce rythme chez le porcelet, et qu'il est plus prononcé s'il existe une périodicité de l'exposition à la lumière. Les valeurs les plus basses des déperditions thermiques sont obtenues au début de la matinée. Or le 11 février (matin), les déperditions thermiques et les coefficients de conduction sont nettement inférieurs aux autres valeurs (après-midi), alors que les conditions climatiques sont peu différentes.

La variation totale de flux de chaleur après un mouillage a une valeur relativement constante pour un animal donné (tabl. 2). Les valeurs de  $\Delta E_i$  obtenues pour l'animal n° 3378 (*Large White*) sont environ de moitié inférieures à celles des animaux croisés. Ceci est dû à la diminution du coefficient de conduction du corps de cet animal chaque fois qu'il est mouillé. Il semble donc que le porcelet n° 3378 (*LW*), qui supporte moins bien la chaleur que les trois porcelets croisés (BERBIGIER, 1975 *b*), réagisse moins bien à un refroidissement brutal.

Les distorsions entre les résultats obtenus par les deux méthodes peuvent également s'expliquer par des variations du coefficient de conduction en cours d'expérience. Deux causes d'erreurs peuvent jouer : la durée de mise en équilibre des échanges thermiques après le mouillage (en effet, on néglige la chaleur utilisée pour le réchauffement de la peau durant cette période) qui peut fausser les résultats de la première méthode, ou une variation du coefficient de conduction en cours de dessèchement, qui perturbe les résultats de la seconde. Cette dernière hypothèse semble être la bonne. On peut par exemple imaginer que l'animal n° 3378, dont le coefficient de conduction a diminué après mouillage, revient pendant le dessèchement à une vasodilatation normale, alors qu'on suppose que  $C_i$  ne varie pas. Le calcul par la deuxième méthode sous-estime alors les différences de flux entre les animaux secs et mouillés, ce qui est conforme aux résultats (tabl. 2). L'animal n° 3423 doit subir l'effet inverse pendant le dessèchement, ce qui explique la distorsion en sens opposé. Il semble bien que ces distorsions soient caractéristiques des phénomènes vasomoteurs après mouillage, et de la fidélité avec laquelle notre modèle les traduit. On pourrait améliorer ce dernier, en utilisant par exemple le coefficient de conduction du corps calculé avant le mouillage pour la période de dessèchement, ou en se fixant une loi de variation : mais ces hypothèses ne pourraient être vérifiées que par comparaison des résultats avec la première méthode, qu'il est donc préférable d'utiliser directement.

Malgré les différences entre animaux et les imperfections de nos méthodes de calcul, une étude globale des résultats permet d'estimer la dissipation supplémentaire de chaleur que l'on peut attendre d'un mouillage dans les conditions climatiques présents. Pour obtenir son ordre de grandeur sur toute la surface de la peau d'un

animal, on peut utiliser une équation reliant le poids du corps et la surface de la peau (MOUNT, 1968).

$$A = 0,097 W^{0,633}$$

A : Surface de peau (m<sup>2</sup>)  
W : Poids (kg)

Par exemple, pour un animal de 35 kg (comme les animaux n° 3420 et 3423 le 8 février), la surface de peau est environ de 1 m<sup>2</sup>. Pour un animal de 60 kg, (3378 le 8 février), elle est d'environ 1,5 m<sup>2</sup>. Mais il est préférable de raisonner sur l'unité de surface, car il semble (tabl. 2) que la valeur ainsi obtenue n'est pas affectée par l'âge ou le poids des animaux.

On a constaté que la valeur du flux de chaleur au niveau de la peau des animaux alimentés était voisine de 100 W · m<sup>-2</sup> (90 kcal · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>). En 40 minutes, la chaleur dégagée par la peau sèche est de l'ordre de 60 kcal · m<sup>-2</sup>. On voit donc que dans le cas des animaux croisés, le dégagement de chaleur au niveau de la peau augmente d'environ 60 p. 100, et de 30 p. 100 dans le cas du *Large White* (tabl. 2) pendant le temps de dessèchement. Il s'agit donc d'un moyen efficace de combattre une contrainte climatique, même en climat très humide à condition qu'elle soit de courte durée ou que le mouillage soit répété suffisamment souvent. En effet, par rapport à l'énergie thermique dégagée en 24 heures, un arrosage journalier ne représente qu'une variation de 0,8 à 1,6 p. 100. Il sera nécessaire de déterminer la ou les périodes de la journée où le rendement du mouillage est optimal, en fonction de l'évolution journalière des conditions climatiques et du rythme de production de chaleur des animaux.

## F. — CONCLUSION

Ces premiers résultats semblent montrer l'intérêt du mouillage en vue d'améliorer le confort thermique des porcs en climat chaud. On constate des variations individuelles de l'efficacité du traitement, sans qu'il soit possible de les attribuer pour l'instant à un éventuel « effet race ». Ces mesures sont donc à compléter sur un plus grand nombre d'animaux, à des heures et avec des fréquences différentes. Malgré les problèmes sanitaires que pose le mouillage en climat tropical, il peut présenter un intérêt zootechnique dans la mesure où il permet de combattre le « stress » thermique pendant les périodes les plus chaudes de la journée. Des mesures d'ordre purement zootechniques devront être effectuées simultanément afin d'estimer l'amélioration du rendement produite par cette méthode.

*Reçu pour publication en juin 1975.*

## SUMMARY

### CUTANEOUS HEAT EXCHANGES OF PIGLETS REARED IN A TROPICAL CLIMATE.

#### II. — INFLUENCE OF WETTING

Using an energy balance method, mainly based on radiothermometric measurements of skin surface temperature, and working on the same piglets (three « créole » × *LW* crossbreds, and one *Large White*) in identical conditions of housing and climate (BERBIGIER, 1974), we

tried to estimate the differences in cutaneous heat exchanges in piglets before and after wetting. Using two methods, we also determined total heat exchanges during the time from wetting to complete drying of the skin. The first one, based on measurements of the area between the graphs of ambient temperature and skin surface temperature, and of the area between the graphs of the cutaneous dew point for dry and wet skin, provided values indicating differences in radiative, convective and latent heat exchanges. The second one was based on a graphic integration of the area between skin surface temperature after wetting and the extrapolated surface temperature of dry skin, and indicated the differences in the cutaneous heat output of the pig. The results of the two methods showed a maximum difference of 23 p. 100, probably due to variations in body conduction during drying.

The variation in skin surface temperature after wetting showed three phases : a re-equilibration of heat exchanges, a phase of steady temperature, and a drying phase. With respect to body conduction coefficient, we observed no sign of vasoconstriction after wetting, except for the *Large White* pig. At temperature balance (2nd phase), heat fluxes after wetting were often twice those before wetting. The gain in heat given out, was 30 p. 100 to 60 p. 100 of the value for dry animals during the same period. The lowest gain was for the *Large White*, due to vasoconstriction after wetting. These results show that wetting is efficient for pigs to fight against a rise in ambient temperature or radiative flux, if it is short enough, when the animals are raised in tropical conditions and climate.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERBIGIER P., 1975 a. Sur la mesure des échanges de chaleur au niveau de la peau des porcs élevés sous abri par la méthode du bilan d'énergie. *Ann. Zootech.*, **24**, 413-422.
- BERBIGIER P., 1975 b. Échanges thermiques au niveau de la peau des porcelets élevés en climat tropical. I. Influence des facteurs climatiques et de la race. *Ann. Zootech.*, **24**, 423-432.
- CAIRNIE A. B., PULLAR J. D., 1959. An investigation into the efficient use of time in the calorimetric measurement of heatput. *Br. J. Nutr.*, **13**, 431-439.
- INGRAM D. L., 1965. Evaporative cooling in the pig. *Nature*, 4995, 415-416.
- MORRISON S. R., BOND T. E., HEITMAN H. JR, 1968. The physiological response of swine to wetting. *Trop. Agric. (Trinidad)*, **45**, 279-287.
- MORRISON S. R., HEITMAN H. JR, GIVENS R. L., BOND T. E., 1972. Sprinkler use for swine cooling. *Trop. Agric. (Trinidad)*, **49**, 31-35.
- MOUNT L. F., 1968. *The climatic physiology of the pig*. Edward Arnold Ltd, London, 199.