

Echanges thermiques chez le porcelet nouveau-né : application de la méthode du bilan d'énergie

*P. BERBIGIER, **J. LE DIVIDICH et ***A. KOBILINSKY

**Station de Bioclimatologie,*

****Station de Biométrie,*

*Centre national de Recherches agronomiques, I.N.R.A.,
78000 Versailles (France)*

***Station de Recherches sur l'Élevage des Porcs,
Centre national de Recherches zootechniques, I.N.R.A.,
78350 Jouy-en-Josas (France)*

Résumé

On a étudié, à température ambiante (17-18 °C) et degré hygrométrique (50-60 p. cent) constant, l'influence des caractéristiques des porcelets nouveau-nés (poids, sexe, séchage de la peau à la naissance, températures rectale et cutanée initiales), sur l'évolution des températures rectale et cutanée (dos) pendant la première heure de vie. L'expérience a porté sur 72 porcelets, dont la moitié environ était séchée dès la naissance. Les mesures sont faites de 10 en 10 mn depuis la naissance jusqu'à 1 h. La température cutanée décroît de 7 à 9 °C, et se stabilise en 10 mn. La température rectale décroît de 2 à 3 °C et se stabilise à 30 mn.

Un modèle statistique permet :

— de montrer que les températures corporelles augmentent, à un moment donné après la naissance, avec le séchage, le poids et la température rectale initiale. Seuls ces facteurs jouent un rôle significatif. Le degré de signification est en général élevé ($P < 0,1$ p. cent);

— de prévoir l'évolution des températures corporelles d'un porcelet dont on connaît ces caractéristiques.

On a également estimé la production de chaleur et la conductance des tissus, qui, globalement, augmentent avec le poids et le séchage.

1. — Introduction

Lorsque les conditions climatiques ambiantes ne varient pas, les cinétiques de décroissance des températures rectale et superficielle d'un porcelet pendant l'heure qui suit la mise bas dépendent de sa production de chaleur, des coefficients d'échange relatifs aux différentes voies de la thermolyse cutanée et pulmonaire, et du coefficient de conduction corporelle (MOUNT, 1968). Quand un équilibre thermique est atteint (températures corporelles indépendantes du temps) on peut

calculer les valeurs des paramètres traduisant les échanges cutanés en appliquant la théorie des échanges en régime stationnaire (MONTEITH, 1973). En revanche, à l'instant de la naissance, on constate une décroissance des températures corporelles (NEWLAND, McMILLEN, REINEKE, 1952); il est alors nécessaire d'introduire dans le calcul la variable temps (BERBIGIER et DUSSUEL, 1977).

Parmi les phénomènes pouvant influencer la régulation thermique du nouveau-né, certains, comme la circulation sanguine, l'utilisation des glucides et des acides gras libres du sang, les décharges hormonales, sont difficilement accessibles à la mesure : ce sont en général des phénomènes physiologiques. Cependant, certains peuvent être reliés à des mesures simples : on sait par exemple (PADALIKOVA, HOLUB, JEZKOVA, 1972) que les réserves de glycogène du fœtus sont d'autant plus grandes que le stade de gestation est plus avancé : on peut donc penser que les porcelets nés avant terme ont des potentialités de thermorégulation plus faibles. De même, il est possible que le sexe ait une influence sur ces potentialités.

Contrairement aux phénomènes physiologiques, l'influence sur la thermorégulation des facteurs physiques, tels que l'inertie thermique du corps (poids à la naissance), la présence de liquides fœtaux à la surface de la peau (évaporation), la température initiale du nouveau-né (égale à la température de l'utérus de la mère), est aisément mesurable.

Le facteur physique essentiel reste cependant le microclimat ambiant (DE LA PORTE DES VAUX et AUMAITRE, 1967). Son effet, et notamment celui de la température de l'air, sur les températures corporelles et le confort thermique du nouveau-né, a été étudié précédemment (DUSSUEL et BERBIGIER, 1978). Nous ne nous préoccupons donc ici que de l'effet des caractéristiques propres aux animaux (surtout le poids et l'humidité de la peau), à conditions ambiantes constantes (température ambiante de l'ordre de 18 °C, humidité d'environ 55 p. cent). L'analyse statistique permet de dégager des modèles prévisionnels de températures corporelles à différents temps après la mise bas, en fonction de ces caractéristiques.

2. — Matériel et méthodes

Les expériences ont été réalisées en porcherie de maternité de type « Big Dutchman », thermostatée à 18 °C. Durant les expériences, la température et l'humidité de l'air au niveau des porcelets ont été mesurées à intervalles réguliers (toutes les $\frac{1}{2}$ heures).

On a étudié les cinétiques de températures corporelles de 72 porcelets de race Large White nés de 11 truies, pendant l'heure suivant l'expulsion. Pour ce faire, on mesure, 30 secondes après la mise bas, puis de 10 en 10 mn jusqu'à une heure, la température cutanée du dos du nouveau né (zone interscapulaire) par radiothermométrie; en même temps on détermine sa température rectale (sonde à thermistance enfoncée de 5 cm dans le rectum). Après la première mesure de température, les animaux sont pesés; un animal sur deux est séché le plus complètement possible avec du coton. Tous les animaux sont alors placés individuellement dans des boîtes en carton sèches isolées du sol, afin de limiter les pertes par conduction. Les porcelets restent à jeun pendant la durée des mesures.

La température et l'humidité de l'air sont déterminées au psychromètre au voisinage de l'animal. On a vérifié, au radiothermomètre, que la température moyenne des parois (boîtes et plafond rayonnant vers le porcelet, était toujours égale (à ± 1 °C près) à la température de l'air.

3. — Théorie

3.1. — Traitement statistique

Il permet de préciser l'effet des facteurs suivants : poids vif, sexe, séchage à la mise-bas, température rectale initiale du nouveau-né, sur l'évolution des températures corporelles. Nous avons choisi d'étudier les températures rectales et de surface à 10 mn (stabilisation de la température de surface) et à 60 mn (équilibre thermique réalisé).

On introduit également un facteur « effet de la mère ». L'effet de la maturité physiologique des porcelets, qui ne peut être dissocié de l'effet de la mère et ne peut être testé que sur quelques portées (peu de mise-bas ont lieu à plus d'un jour d'écart de la date prévue) n'a pas été introduit dans le modèle.

3.11. *Modèle*

— Pour désigner les variables et facteurs, nous utiliserons les symboles suivants : y : variable étudiée (température rectale ou de surface à 10 mn et 60 mn).

Variables expliquées :

$\left. \begin{matrix} T_r^{10} \\ T_r^{60} \end{matrix} \right\}$ Températures rectales à 10 et 60 mn ($^{\circ}\text{C}$).

$\left. \begin{matrix} T_s^{10} \\ T_s^{60} \end{matrix} \right\}$ Températures de surface à 10 et 60 mn ($^{\circ}\text{C}$).

Facteurs quantitatifs (Covariables) :

P : poids vif du porcelet (kg).

T_s^0 : température de surface initiale (30 s après l'expulsion) ($^{\circ}\text{C}$).

T_r^0 : température rectale initiale (30 s après l'expulsion) ($^{\circ}\text{C}$).

Facteurs qualitatifs :

i : numéro de la truie ($i : 1, 2, \dots, 11$) (Effet de la mère).

j : sexe ($j = 1$: mâles, $j = 0$: femelles).

k : traitement ($k = 1$: animaux séchés, $k = 0$: non séchés).

— Le modèle utilisé est le modèle statistique linéaire classique. On y introduit des termes pour l'interaction entre le traitement et les autres facteurs : ainsi les covariables P , T_s^0 , T_r^0 interviennent de façon linéaire, mais avec un coefficient pouvant dépendre du traitement k .

Le modèle posé est donc le suivant :

$$(1) \quad E(y|i, j, k, P, T_r^0, T_s^0) = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \lambda P + \phi T_r^0 + \psi T_s^0 + \delta_{jk} + \lambda_k P + \phi_k T_r^0 + \psi_k T_s^0$$

où $E(y|i, j, k, P, T_r^0, T_s^0)$ est l'espérance de y pour un porcelet de mère i , de sexe j , ayant reçu le traitement k , de poids vif P , de températures initiales T_r^0 et T_s^0 . μ , α_i , β_j , γ_k , λ , ϕ , ψ , etc..., sont les paramètres inconnus du modèle. La présence des termes λ_k , ϕ_k , ψ_k traduit une possible hétérogénéité des régressions sur P , T_r^0 , T_s^0 , entre les traitements.

— L'application de ce modèle aux observations du plan d'expérience (afin d'estimer les paramètres) s'écrit sous la forme plus classique :

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \lambda(P_{ijkl} - \bar{P}) + \phi(\overline{T_r^0}_{ijkl} - \overline{T_r^0}) + \psi(\overline{T_s^0}_{ijkl} - \overline{T_s^0}) + \delta_{jk} + \lambda_k(P_{ijkl} - \bar{P}) + \phi_k(\overline{T_r^0}_{ijkl} - \overline{T_r^0}) + \psi_k(\overline{T_s^0}_{ijkl} - \overline{T_s^0}) + \varepsilon_{ijkl}$$

où l est l'indice permettant de repérer le porcelet.

3.12. Tests. Réduction du modèle

Pour tester l'effet d'un facteur, on se ramène généralement à un niveau constant des autres facteurs en ajustant le test correspondant. Pratiquement, un tel test s'obtient à partir de l'augmentation de variance résiduelle provoquée par la suppression du facteur étudié dans un modèle où figurent les autres facteurs.

Cependant une procédure n'utilisant que de tels tests ajustés peut amener une perte d'information importante. Prenons l'exemple des facteurs T_r^0 et T_s^0 , ici extrêmement liés. Analyser l'effet d'un de ces deux facteurs, l'autre étant fixé, revient à analyser l'effet du gradient de température initiale. Pour prouver la rémanence de l'effet température initiale 10 mn ou 60 mn après la mise-bas, il faut tester la régression de T_r^0 sans l'ajuster pour T_s^0 (ou inversement T_s^0 non ajusté pour T_r^0).

La méthode utilisée ici élimine progressivement du modèle (1) les termes dont la suppression n'augmente pas significativement la variance résiduelle. Un facteur figurant dans le modèle « minimal » ainsi obtenu a donc un effet significatif, qui ne peut se réduire à l'effet direct de l'un des autres facteurs de ce même modèle. L'information apportée par cette seule expérience ne permet cependant pas de dissocier l'effet de deux facteurs très liés, dont l'un ne figure pas dans le modèle minimal (cas de T_r^0 et T_s^0 , de l'effet truie et des facteurs liés aux conditions de mise-bas).

3.13. Modèle prédictif. Estimation

En utilisant cette même méthode d'élimination, mais à partir du modèle (2)

$$E(y|j, k, P, T_s^0, T_r^0) = \mu + \beta_j + \gamma_k + \lambda P + \phi T_r^0 + \psi T_s^0 + \delta_{jk} + \lambda_k P + \phi_k T_s^0 + \psi_k T_r^0$$

qui ne comporte pas d'effet truie, on obtient un modèle permettant de prédire l'évolution de la température chez un porcelet nouveau-né.

L'estimation des paramètres de ce modèle, plus précise que celle des paramètres du modèle complet (2), permet une prédiction meilleure lorsque l'on s'écarte des conditions strictes de l'expérience.

3.2. — Traitement physique du quasi-équilibre thermique obtenu à partir de 40 mn après la mise-bas

40 mn après la mise-bas (fig. 1), le régime d'échanges est pratiquement stationnaire. Tous les animaux sont alors secs. La thermolyse et la conduction du corps peuvent être données par les équations suivantes (BERBIGIER, 1975).

$$(3) \quad \phi_M = (C_r + C_c) (T_s - T_a)$$

$$(4) \quad C_i = (C_r + C_c) (T_s - T_a) / (T_r - T_s)$$

- ($C_r + C_c$) : coefficient d'échange radiatif (C_r) — convectif (C_c) ($Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$).
 T_s : Température de surface ($^\circ C$).
 T_r : Température rectale ($^\circ C$).
 T_a : Température ambiante ($^\circ C$).
 ϕ_M : Densité de flux de thermolyse (Wm^{-2}).
 C_i : Coefficient de conduction du corps ($Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$).

Toutefois dans l'estimation de ϕ_M , nous ne tenons pas compte des pertes latentes qui, pour une température de l'air de 17 $^\circ C$, représentent moins de 10 p. cent des pertes totales chez le porcelet nouveau-né (MOUNT, 1962). Les pertes par conduction sont également négligées. Elles représentent dans ces conditions expérimentales, moins de 15 p. cent des pertes totales (MOUNT, 1967). En outre, nos porcelets ont toujours adopté une posture ramassée, ce qui réduit d'autant les pertes par cette voie.

4. — Résultats

4.I. — Influence des facteurs liés à l'animal sur les cinétiques de températures

4.II. Description des données

Le tableau I permet de vérifier que les conditions ambiantes sont peu variables et ne jouent aucun rôle dans les écarts observés.

TABLEAU I

Température (T_a) et pression partielle de vapeur d'eau (P_a) ambiantes moyennes, relatives aux différents traitements et classes de poids
 Mean ambient temperature (T) and partial pressure of water vapour (P_a) for different treatments and weight classes

Traitement <i>Treatment</i>	Animal séché <i>Dried animal</i>				Animal non séché <i>Undried animal</i>			
	Classe de poids <i>Weight class</i>	Nombre d'animaux <i>Number of animals</i>	Poids moyen de la classe (kg) <i>Mean weight of class (kg)</i>	T_a ($^\circ C$) <i>T_a ($^\circ C$)</i>	P_a (pascal) <i>P_a (pascal)</i>	Nombre d'animaux <i>Number of animals</i>	Poids moyen de la classe (kg) <i>Mean Weight of class (kg)</i>	T_a ($^\circ C$) <i>T_a ($^\circ C$)</i>
$P \leq 1 \text{ kg}$	8	0,862	17,32	936	8	0,852	17,72	1 177
$1 \text{ kg} < P \leq 1,2 \text{ kg}$.	13	1,141	16,90	1 136	10	1,118	17,87	1 077
$1,2 \text{ kg} < P < 1,4 \text{ kg}$	6	1,312	16,93	1 124	10	1,302	17,98	1 008
$1,4 \text{ kg} < P$	8	1,564	17,70	1 109	9	1,488	17,47	1 139
Total ou moyenne <i>Total or mean</i>	35	1,203	17,18	1 082	37	1,203	17,77	1 096

L'allure des cinétiques de température est représentée sur les figures 1a et 1b, pour les animaux séchés ou non séchés, et par classe de poids. La température de surface décroît brutalement avant 10 mn puis devient stationnaire ou augmente légèrement jusqu'à 60 mn. La température rectale décroît plus lentement et plus régulièrement, se stabilise au bout de 20 ou 30 mn, puis reste également stationnaire ou en légère augmentation.

Le séchage réduit la chute de température. Cependant, du fait de l'inertie thermique corporelle l'effet s'observe moins vite sur la température rectale que

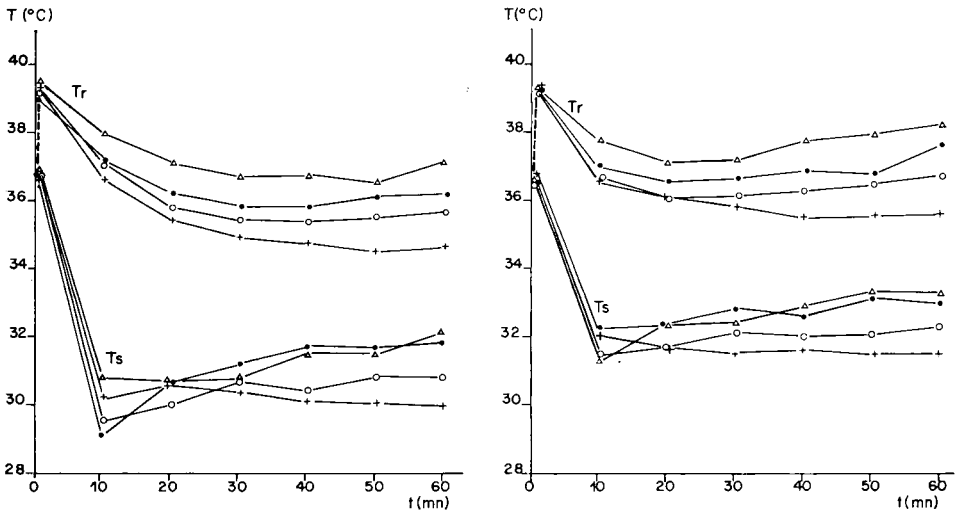


FIG. 1. — Cinétiques des températures rectales (T_r) et de surface (T_s) par classe de poids, des porcelets nouveau-nés

Kinetics of rectal (T_r) and surface (T_s) temperatures of new-born piglets for different weight (P) classes

+	$P <$	1 000 g
○	$1\ 000 < P <$	1 200 g
●	$1\ 200 < P <$	1 400 g
△	$P \geq$	1 400 g

a) Animaux non séchés à la mise-bas (Animals kept wet at farrowing).

b) Animaux séchés à la mise-bas (Animals wiped dry at farrowing).

sur la température de surface. Une heure après la naissance, le séchage initial des porcelets se traduit par un gain de 1 °C sur T_s et T_r .

Les deux températures T_s et T_r sont d'autant plus élevées que l'animal est lourd. Cependant, pour la température de surface, cette tendance ne se confirme qu'au bout de 30 mn. Entre 850 et 1 500 g, une augmentation de 100 g de poids corporel provoque une augmentation d'environ 0,4 °C de la température rectale prise à 60 mn. Par contre, il semble qu'au-dessus de 1 200 g, la température de surface ne dépende plus du poids, que l'animal ait été séché ou non. On constate enfin, qu'il n'y a pas d'interaction traitement-poids. Les différences entre les températures relatives aux 4 classes de poids sont les mêmes quel que soit le traitement.

4.12. — *Analyse statistique*

Elle a été effectuée selon la méthode décrite plus haut. Les résultats sont donnés dans le tableau 2.

Les termes correspondant aux interactions, à l'effet du sexe, à la température de surface initiale ont été éliminés dans tous les cas. Les autres termes éliminés sont ceux pour lesquels le test (respectivement l'estimation) est absente. Ainsi le modèle utilisé pour prédire T_r^{10} est :

$$T_r^{10} = \hat{\mu} + \hat{\lambda} (P - \bar{P}) + \hat{\phi} (T^0 - T_r^0) + \varepsilon$$

où $\hat{\mu} = 37,09$, $\hat{\lambda} = 1,807$, $\hat{\phi} = 0,889$, $\text{Var}(\varepsilon) = 0,32$.

Le centrage de \bar{P} et \bar{T}_r^0 permet de donner un sens à la constante $\hat{\mu}$ qui devient ainsi la valeur de la prédiction pour un porcelet de poids moyen, ayant une température initiale rectale moyenne. La contrainte adoptée pour $\hat{\mu}$ ($\hat{\mu} = 0$) lorsque le traitement est présent a également pour objet de donner un sens à $\hat{\gamma}_1$ et $\hat{\gamma}_2$. $\hat{\gamma}_1$ est donc la valeur prédite pour un porcelet de poids moyen, de température rectale initiale moyenne, qui est séché à la mise-bas.

L'étude détaillée des résultats sera reprise dans la discussion. Cependant, on voit globalement que les facteurs agissant de façon prépondérante sur la température corporelle du porcelet sont le poids à la naissance, l'état de mouillage de la peau, la température rectale initiale. L'influence de la mère est faible. L'influence du sexe n'est jamais significative. Il n'y a pas d'interaction significative entre le traitement (séchage) et les autres facteurs. La température de surface (surtout à 10 mn) est moins liée à l'ensemble des facteurs que la température rectale.

4.2. — *Étude physique des pertes de chaleur après dessèchement initial*

La thermolyse (ϕ_M) et le coefficient de conduction corporelle (C_i) ont été estimés à partir du temps $t = 40$ mn correspondant à l'établissement de l'équilibre thermique (équations 3 et 4). Le coefficient d'échange convectif et radiatif ($C_c + C_r$) utilisé pour le calcul, a été déterminé à posteriori dans les conditions de l'expérience selon une méthodologie décrite précédemment (BERBIGIER, 1975; BERBIGIER et DUSSUEL, 1977) à l'aide de porcelets mort-nés, mouillés et réchauffés à 39 °C. Ce coefficient variant peu avec le poids des animaux (MONTEITH, 1973), la valeur trouvée, soit : $C_c + C_r = 6,77 \text{ Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, est donc appliquée à tous les porcelets.

4.21. *Étude de ϕ_M*

La production de chaleur (équation 3) est directement proportionnelle à l'écart température de surface — température de l'air. Toutefois, en raison de la localisation de la mesure de la température cutanée, l'équation 3 ne permet d'estimer que la thermolyse dorsale.

T_a variant peu (cf. tabl. 1), l'influence des différents facteurs étudiés sur ϕ_M sera très semblable à celle observée sur T_s^{60} où les seuls effets significatifs sont le poids et le séchage. La gamme des poids étudiés est faible, et une régression linéaire

TABLEAU 2

Réduction des modèles statistiques permettant l'estimation des températures cutanées (T_s) et rectales (T_r), 10 mn et 60 mn après la mise-bas
 Reduction of statistical models for estimation of skin surface (T_s) and rectal (T_r) temperatures 10 mn and 60 mn after farrowing

		T_s^{10}	T_r^{10}	T_s^{60}	T_r^{60}	
Variance totale. VT (Total variance)		3,31 (71)	0,95 (71)	1,89 (71)	2,26 (71)	
Variance résiduelle du modèle 1 (avec effet truie) (V1) (Residual variance of model 1 (with sow effect))		2,40 (52)	0,23 (52)	1,01 (52)	0,68 (52)	
Variance résiduelle du modèle minimal déduit du modèle 1 (W1) (Residual variance of minimum model obtained from model 1)		2,30 (60)	0,32 (69)	1,00 (69)	0,81 (68)	
Tests F (modèle minimal déduit du modèle 1 avec effet truie) <i>F-tests</i> (minimum model obtained from model 1 with sow effect))	Effet truie (α_i) (Sow effect) Traitement (χ_k) (Treatment) Poids (λP) (Weight) Température initiale ($\emptyset T_r^0$) (Initial temperature)	2,01 (*) (10; 60) 26,08 *** (1; 60) — — —	— — 43,69 *** (1; 68) 96,44 *** (1; 68)	— — 25,3 *** (1; 69) 38,8 *** (1; 69) —	— — 27,11 *** (1; 68) 78,55 *** (1; 68) 27,75 *** (1; 68)	
Variance résiduelle du modèle minimal déduit du modèle 2 (sans effet truie) (W2) (Residual variance of minimum model obtained from model 2 (without sow effect))		2,42 (69)	0,32 (69)	1,00 (69)	0,81 (68)	
Estimation des paramètres (modèle minimal déduit du modèle 2 sans effet truie) <i>Estimation of parameters (minimum model obtained from model 2 without sow effect)</i>	Constante ($\hat{\mu}$) (Constant)	0	37,09	0	0	
	Traitement (Treatment)	« Sec » ($\hat{\chi}_1$) (« Dry »)	31,74	—	32,46	37,03
		« Humide » ($\hat{\chi}_2$) (« Wet »)	30,01	—	31,27	35,92
	Coefficient du Poids (P). ($\hat{\lambda}$) (Coefficient of Weight (P))		—	1,807	2,997	3,830
	Coefficient de la température initiale (T_r^0) ($\hat{\emptyset}$) (Coefficient of initial temperature (T_r^0))		0,67	0,889	—	0,755

Note : — Les nombres entre crochets indiquent le ou les degrés de libertés associés à la variance ou au F.
 — * : significatif à 5 p. cent; ** : significatif à 1 p. cent; *** : significatif à 1 p. mille.

Note: — Numbers between brackets give the degrees of freedom associated to variance or F-value.
 — * 5 p. cent significance; ** 1 p. cent significance; *** 1 p. cent significance.
 — λ and \emptyset must be applied to $P - \bar{P}$ and $T_r^0 - \bar{T}_r^0$ where $P = 1.202$; $T_r^0 = 39.33$.

suffit à rendre compte de cet effet. Avec trois données par animal (40-50-60 mn), le calcul (équation 3) donne :

Animaux séchés (105 données) :

$$\phi_M(W \cdot m^{-2}) = 12,89P(\text{kg}) + 90,53 \quad r = 0,28 \quad (P < 0,01)$$

Animaux non séchés (111 données) :

$$\phi_M(Wm^{-2}) = 21,16P(\text{kg}) + 67,42 \quad r = 0,46 \quad (P < 0,01)$$

La comparaison des deux équations montre seulement une différence significative ($P < 0,001$) entre les ordonnées à l'origine. Ceci confirme les résultats obtenus sur T_s^{60} (tabl. 2), à savoir que les effets « traitement » (ordonnées à l'origine) et poids (coefficients de corrélation) sur ϕ_M sont très significatifs, mais que l'interaction poids-traitement ne l'est pas (comparaison des pentes).

Il faut cependant remarquer :

— que ϕ_M semble moins lié que T_s^{60} au facteur poids. On peut expliquer ceci par la variabilité supplémentaire due d'une part à l'introduction de T_a dans le calcul, d'autre part au fait que l'on utilise trois données par animal (effet du temps);

— que, bien que la différence ne soit pas significative, l'effet du poids semble plus important sur les animaux non séchés. Il semble que, lorsque le stress thermique augmente (évaporation) les petits animaux soient plus désavantagés que les gros et que leur production de chaleur diminue plus.

4.22. Étude de C_i (calculé à partir de l'équation 4)

Les pentes des droites de régression $C_i = F(\text{Poids})$ ne sont, ni pour les animaux secs ni pour les animaux mouillés, significativement différentes de 0. On fait donc une moyenne des valeurs obtenues pour chaque traitement (tabl. 3).

Le séchage à la naissance a donc une influence bénéfique très nette sur la conduction du corps, c'est-à-dire l'intensité de la circulation sanguine périphérique.

TABLEAU 3

Coefficient de conduction thermique du corps en fonction du traitement
Body thermal conductance related to treatment

Traitement - Treatment	Sec - Dry	Mouillé - Wet
Nombre de données (Number of data)	105	111
C_i ($W \cdot m^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).	25,03	20,65
ΔC_i (écart type : $W \cdot m^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) (Standard error)	5,61	5,19
Degré de signification de la différence de moyennes (Significance of difference between means)	$t = 5,95 \quad (P < 0,001)$	

5. — Discussion

5.1. — *Allure des courbes*

On voit (fig. 1) que la chute initiale de la température de surface est beaucoup plus rapide et beaucoup plus intense que celle de la température rectale. Cependant l'équilibre se fait plus vite (moins de 10 mn) à la surface qu'au niveau du rectum (30 mn). Cet équilibre est-il purement physique (réduction des échanges thermiques due à la disparition des liquides fœtaux, et changement de régime de convection) ou physiologique (thermorégulation au niveau de la peau)? Les deux explications se complètent. En effet, on a montré (DUSSUEL et BERBIGIER, 1978) que la thermorégulation du nouveau né se faisait essentiellement au niveau de la peau; d'autre part, on sait (BERBIGIER et DUSSUEL, 1977) que le séchage et le passage de la convection libre à la convection forcée (réduction des pertes) intervenaient aux alentours de 10 mn.

Il semble donc qu'il existe une thermorégulation au niveau de la peau, qui est facilitée par des phénomènes physiques intervenant environ 10 mn après la naissance.

Par contre, l'allure de la courbe d'évolution de la température rectale, de type exponentiel décroissant, montre qu'il n'y a probablement pas de thermorégulation à ce niveau. Cette courbe est typique des phénomènes de diffusion de la chaleur dans un solide inerte.

5.2. — *Influence des différents facteurs*

L'analyse statistique montre que seuls le traitement (séchage à la naissance), le poids des animaux (STANTON, BROWN, MUELLER, 1973) et la température rectale initiale (supposée égale à la température de l'utérus de la mère) interviennent de façon significative. L'influence de la mère, en dehors de la température de l'utérus, ne se manifeste que sur la température de surface à 10 mn, et de façon peu significative (à 5 p. cent). On n'a pas trouvé d'interactions entre le traitement et les autres facteurs.

5.21. *Influence du poids à la naissance*

Elle se manifeste déjà au bout de 10 mn pour la température rectale (significative à 0,1 p. cent). Par contre, elle n'intervient que plus tard (fig. 1) sur la température de surface. A 60 mn, son effet est significatif à 0,1 p. cent sur les deux températures. La figure 1 montre qu'à 60 mn, une augmentation de poids de 100 g s'accompagne d'une augmentation de T_s^{60} de 0,3 °C et une augmentation de T_r^{60} de 0,38 °C. Cependant, le modèle linéaire n'est probablement pas exact pour T_s^{60} : en effet, au dessus de 1,3 kg, le poids n'a plus d'influence. On atteint un seuil de température de surface; ceci peut être mis en parallèle avec l'effet du poids sur T_s trouvé par DUSSUEL et BERBIGIER (1978) à température ambiante plus élevée (supérieure à 23 °C) : le seuil est alors obtenu pour un poids de 0,850 kg.

5.22. *Influence du séchage à la naissance*

Elle apparaît dès 10 mn sur la température de surface (significative à 0,1 p. cent, ce qui est normal, car le séchage modifie d'abord les échanges superficiels :

diminution de l'évaporation) : du fait de l'inertie thermique du corps, son effet n'apparaît qu'ensuite sur la température rectale. A 60 mn, le séchage initial a un effet rémanent très significatif (0,1 p. cent) : à poids égal, les températures rectales et superficielles des animaux séchés sont supérieures d'environ 1 °C à celles des animaux non séchés.

5.23. Influence de la température rectale initiale

Elle n'est jamais significative sur les températures de surface, qui dépendent beaucoup plus de l'équilibre des échanges avec le milieu ambiant que des conditions initiales de température. Par contre, lorsque deux porcelets ont entre eux une différence de température rectale de 1 °C à la naissance (T_r^0), cette différence subsiste jusqu'à 60 mn (différence de 0,89 °C à 10 mn, de 0,76 °C à 60 mn : cf. tabl. 2).

5.3. — Modèles prévisionnels

Bien que ne tenant pas compte des conditions thermiques ambiantes, ils sont intéressants dans la mesure où la température de l'air (17,5 °C) correspond à peu près à la valeur à laquelle le métabolisme « de sommet » est obtenu pour des porcelets d'un jour (NICHELMANN, BARNICK, LYS, 1974). Ainsi ces modèles décrivent les variations de température corporelle à la limite de la thermorégulation vers les basses températures, et permettent de prévoir les valeurs minimales atteintes.

Les modèles obtenus à 60 mn, lorsque l'équilibre thermique est établi, fournissent les valeurs suivantes :

$$T_s^{60} \text{ (}^\circ\text{C)} = 32,5 + 3,00 (\bar{P} - P) \text{ Animal séché.}$$

$$T_s^{60} \text{ (}^\circ\text{C)} = 31,3 + 3,00 (\bar{P} - P) \text{ Animal non séché.}$$

$$T_s^{60} \text{ (}^\circ\text{C)} = 37,0 + 3,83 (\bar{P} - P) + 0,76 (T_r^0 - \bar{T}_r^0) \text{ Animal séché.}$$

$$T_r^{60} \text{ (}^\circ\text{C)} = 35,9 + 3,83 (\bar{P} - P) + 0,76 (T_r^0 - \bar{T}_r^0) \text{ Animal non séché.}$$

$\bar{P} = 1,202$ kg est le poids moyen des animaux étudiés.

$\bar{T}_r^0 = 39,33$ °C est leur température rectale initiale moyenne.

5.4. — Pertes de chaleur et coefficients de conduction du corps

Leur estimation repose sur la détermination, sur des porcelets morts placés dans les conditions de l'expérience (boîtes de carton, température ambiante de 17 °C), du coefficient d'échange radiatif-convectif.

On obtient : $C_r + C_e = 6,77 \text{ W.m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Ce coefficient est un coefficient local (surface du dos). Les valeurs estimées sont donc des valeurs locales en ce point. Dans les conditions précises de l'expérience, ce coefficient ne semble pas varier avec le poids de l'animal.

La valeur trouvée est très faible : elle correspond pratiquement à la diffusion dans une couche d'air calme (MONTEITH, 1973; BERBIGIER, 1975) : celle-ci est peut-être emprisonnée dans le pelage, même clairsemé. JOYCE, BLAXTER et PARK (1966) trouvent des valeurs similaires pour les moutons.

On n'a calculé que les pertes de chaleur sensible par convection et radiation. Les autres voies de la thermolyse (évaporation et conduction solide) représentent (MOUNT, 1967; BERBIGIER, 1978) de 10 à 20 p. cent des pertes totales, donc de la production de chaleur. Ce calcul approché de la production de chaleur montre que pour un porcelet de 1 300 g non séché, le métabolisme de sommet est de l'ordre de 110 Wm^{-2} (NICHELMANN, BARNICK, LYS, 1974, porcelets d'un jour : environ 100 Wm^{-2}). Le séchage augmente la production de chaleur d'environ 7 Wm^{-2} . Celle-ci augmente significativement avec le poids des animaux.

Le coefficient de conduction du corps (C_i) augmente lorsqu'on sèche les animaux : le séchage a donc un effet favorable sur la circulation sanguine périphérique. Il faut signaler qu'à condition d'utiliser la valeur de $C_r + C_e$ que nous avons trouvée ($6,77 \text{ Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), les valeurs de l'isolation totale (air + tissus) données par MOUNT (1963b : $0,19 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$) conduisent à une valeur de C_i de $23,6 \text{ Wm}^{-2} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, comprise entre nos valeurs sur porcelets séchés et non séchés. Cette convergence est intéressante, car elle montre que nous avons estimé correctement la somme des résistances à la diffusion de la chaleur

$\left(\frac{1}{C_i} + \frac{1}{C_r + C_e} \right)$.

Rappelons en outre que C_i ne semble pas lié au poids des animaux, contrairement à la production de chaleur.

En conclusion, résumons les résultats principaux se dégageant de ce travail :

— l'hypothèse d'une régulation thermique principale au niveau de la peau (frisson) déjà formulée (DUSSUEL et BERBIGIER, 1978), est confortée par l'allure des courbes (fig. 1);

— les fluctuations des valeurs des températures rectales et cutanées autour de leur moyenne sont, à temps donné après la naissance, liées de façon significative à l'humidité initiale de la peau, au poids de naissance et à la température rectale initiale. Des modèles statistiques minima permettent de prévoir les températures corporelles atteintes;

— cette prévision présente un intérêt dans la mesure où la température ambiante ($17,5 \text{ } ^\circ\text{C}$) est très proche du minimum supportable par un porcelet nouveau-né (NICHELMANN, BARNICK, LYS, 1974).

Or les nouveau-nés, en général, ne têtent, ne se groupent et n'utilisent le chauffage d'appoint (lampes infra-rouge), qu'au bout d'une à plusieurs heures. Les conditions d'expérience présentes correspondent donc à la réalité zootechnique.

On peut alors comparer la vitesse de chute de la température rectale (entre T_r^{10} et T_r^0) à la vitesse critique (MOUNT, 1963a) au delà de laquelle le porcelet ne survit pas, et prévoir ainsi le devenir d'un animal.

— D'ores et déjà, on peut dire que la régulation thermique cutanée n'est effective que pour les animaux des deux classes de poids supérieures (1 200-1 400 g et plus de 1 400 g); dans les autres cas, la température de la peau diminue avec le poids.

— Les estimations de la production de chaleur et des coefficients d'échanges montrent essentiellement l'effet bénéfique d'un séchage initial sur la vitalité du nouveau-né (thermogenèse et circulation sanguine).

D'une façon générale, on note la grande importance des facteurs physiques liés à l'animal (poids, conditions thermiques initiales, essuyage de la peau à la mise-bas). Nous démontrons par ailleurs (BERBIGIER et DUSSUEL, 1977) que les effets constatés sont explicables par des modèles purement physiques : il semble donc que l'animal est réellement à la limite de ses possibilités physiologiques, et

qu'il ne puisse réagir contre l'agression du milieu en modulant sa production de chaleur et sa vasoconstriction. La température des porcherie de maternité (17 °C) est probablement trop basse pour les nouveau-nés.

Accepté pour publication en Février 1978.

Summary

Measurement of thermal exchanges in newborn piglets by means of the energy balance method

The influence of some characteristics of newborn piglets (weight, dry-wiping of the skin at birth, initial rectal and skin temperatures, sex) on the kinetics of rectal and skin surface temperatures during the first hour after birth, was studied at constant ambient temperature (17-18 °C) and relative humidity (50-60 per cent). Seventy-two piglets from 11 sows were involved in the experiment; about one half of the animals was wiped dry at birth and the other one was left wet. Temperature measurements were made at birth and at 10 min. intervals up to 1 hour of age.

Skin surface temperature first decreased by 7-9 °C and then reached a plateau at 10 min. Rectal temperature decreased by 2-3 °C and reached a plateau at about 30 min (fig. 1). Skin wiping increased the two equilibrium temperatures by about 1 °C. An increase in weight of 0.1 kg corresponded to an increase in rectal and surface temperatures of 0.38 °C and 0.3 °C, respectively (fig. 1).

Table 1 shows that ambient climatic conditions were roughly the same for the different weight and treatment ("dry" or "wet" groups). Accordingly, ambient temperature and relative humidity were not taken into account in the statistical model used. This model shows that sex and sow effect had little or no significance (Table 2). Prevision of skin and rectal temperatures at 10 and 60 min was obtained by reduced linear models. The influence of weight, skin-wiping and initial temperature was generally highly significant ($P < 0.001$). Though ambient climatic conditions were not taken into account, this model is of interest because an ambient temperature of 17-18 °C is close to the air temperature corresponding to summit metabolism, i.e. the maximum level of cold beyond which the piglet would suffer from hypometabolism. Sensible heat loss and tissue conductance were calculated on the basis of skin exchange coefficient estimates ($C_e + C_r = 6.77 \text{ W.m}^{-2}\text{°C}^{-1}$).

Wiping the skin dry led to higher heat loss (i.e. heat production) and tissue conductance, which increased with age.

Références bibliographiques

- BERBIGIER P., 1975. 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., 1978. Échanges thermiques des animaux d'élevage en fonction des paramètres climatiques. *Bull. Tech. d'Inf.* (A paraître).
- BERBIGIER P. et DUSSUEL A., 1977. Étude des cinétiques de température et du confort thermique du porcelet pendant l'heure suivant la mise-bas. In: « *Énergétique et thermique de l'homme dans son environnement* ». Rencontre SFT. Strasbourg.
- DE LA PORTE DES VAUX H. et AUMAITRE A., 1967. Influence du milieu thermique sur l'évolution de la température rectale et de la glycémie chez le porcelet nouveau-né. *Ann. Zootech.*, **16**, 235-245.
- DUSSUEL A. et BERBIGIER P., 1978. Influence de la température ambiante sur les cinétiques des températures corporelles et le confort thermique des porcelets nouveau-nés. *Ann. Zootech.* **27**, 83-93.
- JOYCE J. P., BLAXTER K. L. et PARK C., 1966. The effect of natural out-door environment on the energy requirement of sheep. *Res. Vet. Sci.*, **7**, 342-359.
- MONTEITH J. L., 1973. *Principles of environmental physics*. Edward Arnold ed., London, 241 p.

- MOUNT L. E., 1962. Evaporative heat loss in the new-born pig. *J. Physiol. Lond.*, **164**, 274-281.
- MOUNT L. E., 1963a. Responses to thermal environment in new-born pigs. *Feedn. Proc.*, **22**, 818-823.
- MOUNT L. E., 1963b. The thermal insulation of the new-born pig. *J. Physiol. Lond.*, **168**, 698-705.
- MOUNT L. E., 1967. The heat loss from new-born pigs to the floor. *Res. Vet. Sci.*, **8**, 175-186.
- MOUNT L. E., 1968. *The climatic physiology of the pig*. Edward Arnold ed., London, 271 p.
- NEWLAND H. W., Mc MILLEN W. N. and REINEKE E. P., 1952. Temperature adaptation in the baby pig. *J. Anim. Sci.*, **11**, 118-133.
- NICHELMANN M., BARNICK H. G., LYS L., 1974. Untersuchungen zum Wärmehaushalt des neugeborenen Ferkels. I. Mitt : Wärmeproduktion. *Mh. Vet.-Med.*, **26**, 137-150.
- PADALIKOVA D., HOLUB A., JEZKOVA D., 1972. Glycogène dans le placenta et les tissus fœtaux des porcelets dans le dernier tiers de la vie intra-utérine (en Tchèque). *Vet. Med.*, **45**, II, 649-656.
- STANTON H. C., BROWN L. J., MUELLER R. L., 1973. Interrelationships between maternal and neonatal factors and thermoregulation in fasted neonatal swine (*Sus domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol.*, **44A**, 97-105.
-