

Note technique

Emploi d'un évaporimètre à gradient pour la mesure de l'évaporation cutanée des porcelets

P. BERBIGIER

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

Résumé

On a testé, sur 2 lots de porcelets, l'un de 41 animaux allaités et l'autre de 43 animaux sevrés à 3 semaines, les performances d'un évaporimètre à gradient de concentration de vapeur d'eau. Ni l'âge ni le poids vif (au-dessus de 4 kg), ni la température et l'humidité de l'air n'ont d'influence sur l'évaporation cutanée. Les valeurs observées sont, en moyenne, de l'ordre de $15-17 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Au-dessous de 4 kg, l'évaporation de la paroi abdominale augmente en raison inverse du poids, contrairement aux autres surfaces de peau où elle reste constante.

La dispersion des mesures est toujours très forte (coefficients de variation de l'ordre de 50 p. 100) sans que ce phénomène puisse être attribué à l'appareil ou à l'animal. Cet instrument devrait être testé sur d'autres animaux ayant un mécanisme de transpiration fonctionnel.

Introduction

La méthode de mesure de l'évaporation cutanée la plus couramment employée consiste à utiliser une capsule ventilée. Celle-ci, appliquée sur la peau, introduit une perturbation dans la couche limite. D'autre part, le système nécessite l'emploi d'analyseurs de vapeur d'eau relativement encombrants qui interdisent l'utilisation sur le terrain. Enfin, le réglage de la ventilation de la capsule pose un problème délicat dans la mesure où l'évaporation locale en dépend. Pour toutes ces raisons, les résultats sur les animaux (veaux et moutons particulièrement) sont très variables selon les auteurs.

Ce travail a pour but de tester le premier « évaporimètre à gradient de vapeur d'eau » actuellement commercialisé. Cet appareil mesure l'évaporation d'une

surface en perturbant très peu sa couche limite. De plus, il est très maniable (sonde et boîtier portables). Nous l'avons obtenu en démonstration pour une durée de 2 jours, ce qui limitait les expériences possibles.

Le matériel animal dont nous disposions, le porcelet, n'est probablement pas le mieux adapté : cette espèce ne transpire pas et sa perspiration insensible (diffusion de vapeur à travers la peau) est faible. Aussi, les données de référence sont-elles rares (INGRAM, 1964). On trouve plutôt des valeurs globales de l'évaporation cutanée et respiratoire (MOUNT, 1962 et 1968). Pour l'étude de cet appareil, il eût été préférable de travailler sur des bovins, ce que nous ferons dès que possible. Cependant, les mesures présentes permettent d'estimer la fiabilité de l'appareil aux faibles évaporations, et le flux de chaleur latente cutanée du porcelet, donnée dont l'estimation nous manquait pour établir le bilan d'énergie au niveau de la peau.

C'est pour cette dernière raison que nous avons préféré faire des mesures uniques sur un nombre élevé d'animaux, plutôt que de nombreuses répétitions sur quelques animaux seulement (estimation de la variabilité individuelle).

Matériel et méthodes

2.1. — Principe de l'évaporimètre (type Ep 1, Servo. Med. Instruments)

Il est basé sur la proportionnalité entre le flux de chaleur latente et le gradient de concentration de vapeur d'eau (ou le gradient de pression partielle, qui est pratiquement proportionnelle à la concentration) :

$$\phi_L = L K_L \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (1)$$

ϕ_L : flux de chaleur latente ($W m^{-2}$),

$L \neq 2,44 \times 10^6 J kg^{-1}$: chaleur latente de vaporisation de l'eau,

K_L : coefficient de transfert de la vapeur d'eau ($m^2 s^{-1}$),

ρ : concentration de vapeur d'eau dans l'air ($kg m^{-3}$),

z : distance à la surface évaporante (m).

Algébriquement, ϕ_L est négatif. On considère par la suite sa valeur absolue.

Aux faibles vitesses d'air, à une distance inférieure à 1 cm de la surface, ρ décroît linéairement avec la distance et K_L est égal à la diffusivité moléculaire de la vapeur d'eau (zone de diffusion, NILSSON, 1977).

On a alors :

$$K_L = 25,8 \times 10^{-6} m^2 s^{-1} \quad (2)$$

Le gradient de concentration $\frac{\partial \rho}{\partial z}$ est estimé à partir des humidités relatives (capteur : diélectrique en polymère organique, MISEVICH, 1969) et des températures prises à 2 niveaux distants de moins de 1 cm de la surface, dans un cylindre creux protecteur (fig. 1). On démontre que :

$$\frac{\partial \rho}{\partial z} = \frac{\rho b - \rho a}{z b - z a} = \frac{RH b \times \rho_s(Tb) - RH a \times \rho_s(Ta)}{z b - z a} \quad (3)$$

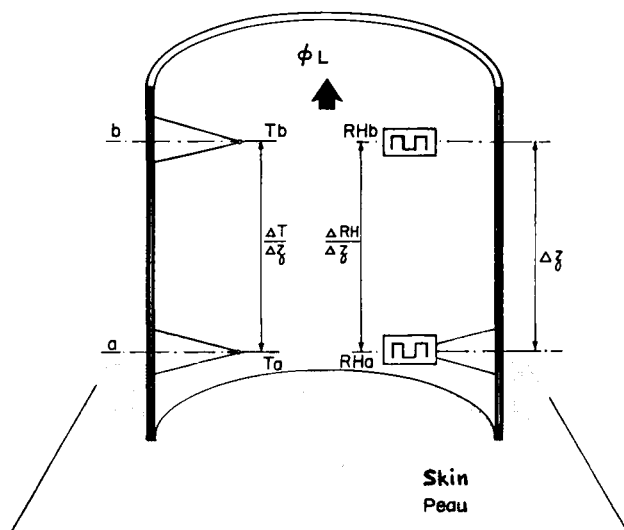


FIG. 1. — Schéma de la sonde de l'évaporimètre.
Scheme of evaporimeter sensor.

a, b : indices désignant les 2 niveaux de mesure,
 T_a, T_b : températures aux niveaux a et b ($^{\circ}\text{C}$),
 RH_a, RH_b : humidités relatives de l'air (en p. 100) aux niveaux a et b ,
 $\rho_s(T)$: concentration de vapeur d'eau dans l'air saturante à une température donnée T (kg m^{-3}). Cette fonction est générée dans l'appareil par un thermistor à réponse exponentielle (NILSSON, 1977).

En reportant (2) et (3) dans (1), on obtient la valeur de l'évaporation. L'appareil comporte deux échelles de mesure : l'une comprise entre 0 et $100 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$, l'autre entre 0 et $1000 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$.

2.2. — Technique de mesure et étalonnage

Le cylindre contenant les capteurs (fig. 1) est appliqué perpendiculairement à la surface évaporante. Le temps de réponse est de quelques secondes. On lit directement les humidités relatives et les pressions partielles de vapeur d'eau des deux niveaux, ainsi que le flux de masse de vapeur d'eau, ϕ_L/L , (équation 1) en $\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Le constructeur prévoit un étalonnage rapide de l'appareil avant chaque mesure de flux, en ajustant la valeur lue de ϕ_L/L , à zéro en l'absence d'échanges de vapeur (dans l'air libre). De plus, l'étalonnage de chacun des capteurs d'humidité peut se faire en enceinte à l'humidité relative constante (en présence d'une solution titrée de chlorure de lithium).

2.3. — Schéma expérimental

L'expérience a porté sur deux groupes d'animaux. Un premier, comprenant des porcelets allaités (41, issus de 7 mères), d'âge compris entre 1 et 34 jours, de poids compris entre 1 et 10 kg, placé dans une maternité thermostatée à

20 ± 3 °C, a servi à tester, à température ambiante constante, l'effet de l'âge et du poids des porcelets. Le chauffage d'appoint (Lampes IR) était coupé pendant les mesures pour éviter les effets thermiques parasites. Un deuxième groupe (43 porcelets de 29 jours, sevrés à 21 jours, de poids compris entre 4 et 9 kg, répartis par lots de 6 dans des flat-decks placés dans 4 enceintes à ambiance contrôlée à 20, 24, 26, 28 °C) a permis d'estimer l'effet de la température ambiante.

L'expérience s'est déroulée en 2 jours. Les mesures d'évaporation sont faites en plusieurs points du corps. Les porcelets sont isolés et maintenus en contention manuelle pendant la mesure. Pendant celle-ci, on a déterminé, au niveau de l'animal, la température et l'humidité ambiante. On a également mesuré la température rectale des animaux du 2^e groupe.

Résultats

3.1. — Porcelets allaités

L'évaporation est mesurée en 11 points du corps. Pour 7 d'entre eux (tête, oreille, dos, pattes arrières, patte avant droite), elle ne dépend pas du poids et de l'âge, compte tenu de la dispersion des mesures (coefficients de variation compris entre 40 et 120 p. 100 selon les points du corps considérés sur l'ensemble des porcelets).

La patte avant gauche où l'évaporation semble augmenter lorsque le poids diminue a été jointe à ces 7 points, car l'augmentation constatée est de l'ordre de grandeur de la dispersion. Pour les 3 derniers points (ventre, flancs), elle varie en raison inverse du poids jusqu'à 4 kg, où elle se stabilise. Dans chacun des 2 cas, les valeurs obtenues sont comparables, compte tenu de leur dispersion (coefficients de variation allant de 40 à 120 p. 100 pour les 8 points du 1^{er} cas). On fait donc, par animal, les moyennes respectives sur 8 et 3 points. Les résultats (fig. 2) donnent les 2 types de variation caractéristiques en fonction du poids. Il faut cependant noter que les évaporations de l'oreille et du front (moyennes et écarts-types respectives de $10,8 \pm 6,4$ et $11,3 \pm 10,4$ g $m^{-2}h^{-1}$) sont en général inférieures à la moyenne des autres points du corps (fig. 2). On note également quelques valeurs anormalement élevées.

Les mesures étant réparties de façon assez homogène sur le corps, on considère que la moyenne sur 11 points représente assez bien l'évaporation globale d'un animal. La régression de celle-ci sur le poids n'étant pas significative, on calcule la moyenne générale et l'écart-type pour les 41 animaux.

On a :

$$\phi_L = (19,0 \pm 5,7) \text{ g } m^{-2}h^{-1} = (13,0 \pm 3,9) \text{ W } m^{-2} \quad (4)$$

On voit que le coefficient de variation est élevé, de l'ordre de 30 p. 100.

3.2. — Porcelets sevrés

On s'est contenté, compte tenu des résultats du 1^{er} groupe, de 3 points de mesure (oreille, zone interscapulaire et ventre), caractéristiques respectivement des zones à faible évaporation et des zones à évaporation indépendante et dépen-

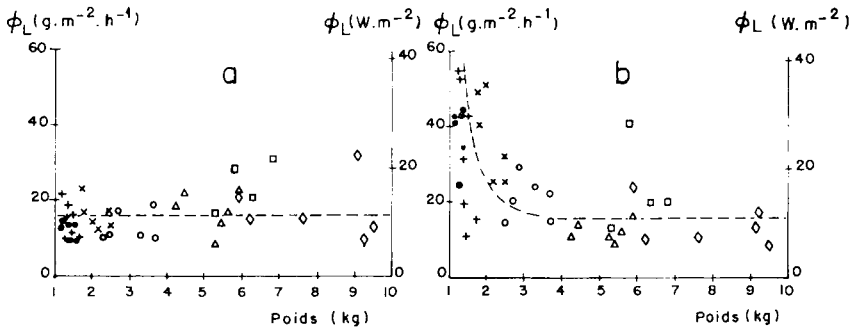


FIG. 2. — Variation de l'évaporation cutanée en fonction du poids chez le porcelet allaité.

a) Évaporation indépendante du poids (moyennes de 8 points de mesure).

Moyenne générale et écart-type (41 données).

$$\sigma_L = (16,5 \pm 5,8) \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1} = (11,3 \pm 3,9) \text{ W m}^{-2}.$$

b) Évaporation fonction du poids (moyennes sur le ventre et les flancs).

Moyenne générale et écart-type (animaux de plus de 4 kg, 16 données).

$$\sigma_L = (15,8 \pm 8,1) \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1} = (10,8 \pm 5,6) \text{ W m}^{-2}.$$

Température ambiante 20 ± 3 °C, pression de vapeur d'eau ambiante 1140 ± 200 Pascal, humidité relative moyenne 49 p. 100.

Porcelets âgés de : . 1 jour, + 3 jours, × 6 jours, o 12 jours, Δ 19 jours, □ 30 jours, ◇ 34 jours.

Variation of skin evaporation with body weight in sucking piglets.

a) Evaporation not related to weight (means of 8 measurements).

General mean and standard deviation (41 data).

$$\sigma_L = (15,8 \pm 8,1) \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1} = (11,3 \pm 3,9) \text{ W m}^{-2}.$$

b) Evaporation as a function of weight (means on belly and both flanks).

General mean and standard deviation (animals above 4 kg, 16 data).

$$\sigma_L = (15,8 \pm 8,1) \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1} = (11,3 \pm 3,9) \text{ W m}^{-2}.$$

Ambient temperature 20 ± 3 °C, pressure of ambient water vapour 1140 ± 200 Pascal, relative humidity 49 p. 100.

Piglets aged: . 1 day, + 3 days, × 6 days, o 12 days, Δ 19 days, □ 30 days, ◇ 34 days.

TABLEAU I

Moyennes et écarts-types de l'évaporation cutanée (porcelets sevrés de 29 jours, température ambiante variant de 20 à 28 °C, humidité relative ambiante entre 33 et 50 p. 100).

Means and standard deviations of evaporation (29 days old piglets, air temperature varying from 20 to 28 °C, RH between 33 and 50 p. 100).

Partie du corps <i>Part of body</i>	Oreille <i>Ear</i>	Dos (interscapulaire) <i>Back (interscapular)</i>	Ventre <i>Belly</i>
Moyenne (Mean) ($\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$) (1)	7,0	15,0	15,5
Écart-type (Standard deviation) ($\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$)	4,1	9,3	7,4

(1) $1 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1} = 0,685 \text{ W.m}^{-2} = 0,590 \text{ Kcal m}^{-2}\text{h}^{-1}$.

dante du poids. La température rectale, toujours voisine de 40 °C, indique un stress très important (contention). Il n'y a pas d'effet significatif de la température ambiante (zone de neutralité thermique), de la température « boule » (toujours égale à $\pm 0,5$ °C près, à la température ambiante) et de l'humidité de l'air (peu variable) sur l'évaporation. Celle-ci ne dépend pas non plus du poids (compris entre 4 et 9 kg). On a donc fait (tabl. I) la moyenne, pour chaque point de mesure, sur les 43 animaux.

Les valeurs obtenues sur le dos et le ventre sont comparables entre elles et avec les données de la figure 2 (pour le ventre, il faut comparer avec les porcelets de plus de 4 kg). Par contre, l'évaporation de l'oreille est significativement plus faible que pour le 1^{er} groupe ($P < 0,01$). Compte tenu du nombre de points de mesure, on n'a pas fait de moyenne générale. La variabilité des résultats est toujours très élevée (coefficients de variation compris entre 50 et 60 p. 100).

Discussion

4.1. — Sensibilité de l'évaporimètre

Aux faibles évaporations (10 à 20 g $m^{-2}h^{-1}$), la dispersion des mesures est très grande. Ceci peut signifier :

- que l'appareil fonctionne à la limite de sa sensibilité;
- que l'évaporation cutanée des porcs est effectivement très variable.

Sur l'homme (LAMKE, NILSSON et REITHNER, 1977) et sur l'enfant nouveau-né (HAMMARLUND *et al.*, 1977) on obtient, pour des évaporations du même ordre (10 à 20 g $m^{-2} \times h^{-1}$), des coefficients de variation de 10 p. 100. Mais les sujets restent immobiles, contrairement aux porcelets, même en contention. Or, le mouvement de l'air au voisinage de la peau est susceptible de perturber le régime de convection, donc K_L (équations 1 et 2).

A l'aide de capsules ventilées, INGRAM (1964) trouve, à une température ambiante de 25 °C, des valeurs locales de l'évaporation (16 g $m^{-2}h^{-1}$) et des dispersions similaires. De plus, la dispersion de ses mesures augmente avec la température ambiante (de -5 à 35 °C), ce qui ne semble pas être un artefact dû aux capsules. L'évaporation cutanée du porc serait donc, en elle-même, très fluctuante, particulièrement aux températures élevées. En fait, elle est si faible que le moindre contact avec un objet humide peut en changer totalement la valeur. En outre, l'augmentation de la dispersion avec la température est peut-être liée au comportement, l'animal recherchant alors le contact de surfaces fraîches.

4.2. — Valeurs moyennes et facteurs de variation de l'évaporation

Il est difficile de donner une valeur moyenne de l'évaporation cutanée pour les animaux de moins de 4 kg (effet du poids). La moyenne générale du 1^{er} groupe (19 g $m^{-2}h^{-1}$) est trop forte, comparée aux résultats de la figure 2 et du tableau I. En fonction de ceux-ci, il semble que pour les porcelets de 4 à 10 kg, élevés à des températures de l'air variant entre 20 et 28 °C, l'évaporation cutanée moyenne, soit de 15 à 17 g $m^{-2}h^{-1}$ (10 à 11,5 W m^{-2}). La dépense énergétique liée à cette évaporation cutanée représente (BERBIGIER, 1976) tout au plus 15 p. 100

de la production totale de chaleur : l'erreur introduite dans le calcul de celle-ci par la dispersion des données est donc faible. En outre, ce résultat recoupe bien les données d'INGRAM (1964) obtenues sur des porcs de 3 mois.

On n'observe pas d'effet de la température ambiante (20 à 28 °C) et l'effet de l'âge n'est pas net. Par contre, pour des animaux de moins de 4 kg, l'évaporation des parois abdominales varie en raison inverse du poids : peut-être la minceur de celle-ci, chez les animaux les plus petits, favorise-t-elle la diffusion de la vapeur d'eau.

Dans les 2 groupes d'animaux, certaines valeurs d'évaporation locale sont anormalement élevées (jusqu'à 80 g $m^{-2}h^{-1}$), sans doute en raison du contact avec des surfaces humides, ou des animaux entre eux (accumulation d'eau dans et sur la surface de la peau). Cependant, de telles évaporations ne sont pas assez importantes pour qu'on puisse détecter visuellement l'humidité de la peau. Ces valeurs aberrantes augmentent la dispersion des mesures.

Le problème posé par les stress dû à la contention (§ 3.2) est peut-être moins important qu'il n'y paraît : en effet, la perspiration insensible a nécessairement un temps de réponse assez long (transit de la vapeur à travers la peau) et la durée des mesures n'excède pas 2 minutes par animal.

En conclusion, l'évaporimètre à gradient a l'avantage indiscutable d'être maniable et d'avoir une réponse rapide. Il semble cependant qu'il ne puisse être utilisé qu'en air calme (vent faible, animal immobile). Bien adapté aux études sur l'homme, il ne donne pas, pour les porcs, de meilleurs résultats que les capsules ventilées. Peut-être est-ce dû à l'animal qui, par son comportement, est souvent au contact de surfaces humides, ce qui perturbe les mesures ultérieures. L'appareil mériterait d'être testé sur les bovins et les ovins, plus calmes et possédant un mécanisme de transpiration fonctionnel.

Accepté pour publication en août 1978.

Summary

Use of a gradient evaporimeter to measure skin evaporation in piglets

Two groups of piglets (41 unweaned animals and 43 animals weaned at 3 weeks) were used to test the performance of a water vapour concentration gradient evaporimeter. No influence of age, live weight (above 4 kg), air temperature (between 20 and 28 °C) and relative humidity on skin evaporation, was noted, the values observed ranged around 15-17 g. $m^{-2}h^{-1}$ (Table 1 and fig. 2). Under 4 kg, the evaporation of the abdominal zones increased with decreasing weight, but remained constant on the other skin surfaces (fig. 2).

The dispersion of the data was always very wide (variation coefficients ranging about 50 p. 100), but it is impossible to determine whether this phenomenon was due to the measurement device or to the animal. This apparatus must be tested on other animals with an efficient evaporation mechanism.

Références bibliographiques

- BERBIGIER, P. 1978. Échanges thermiques des animaux d'élevage en fonction des paramètres climatiques. Séminaire « *Productions animales et habitat* », 24-26 mai 1976. BTI, 328-329, 126-151.
- HAMMARLUND K., NILSSON G. E., OBERG P. A. and SEDIN, G. 1977. Transepidermal water loss in new-born infants. I: Relation to ambient humidity and site of measurement, and estimation of total transepidermal water loss. *Acta Paediatr. Scand.*, **66** (5), 553-562.

- INGRAM D. L., 1964. The effect of environmental temperature on heat loss and thermal insulation in the young pig. *Res. Vet. Sci.*, **5**, 357-364.
- LAMKE L. O., NILSSON G. E. et REITHNER H. L., 1977. Insensible perspiration from the skin under standardized environmental conditions. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **37** (4), 325-331.
- MISEVICH K. W., 1969. Capacitive humidity transducers. *IEEE Trans, IECI-16*, 6-12.
- MOUNT, L. E., 1962. Evaporative heat loss in the new born pig. *J. Physiol. Lond.*, **164**, 274-281.
- MOUNT, L. E., 1968. *The climatic physiology of the pig*. Edward Arnold, 271 pp.
- NILSSON, G. E., 1977. Measurement of water exchange through skin. *Med. Biol. Eng. Comput.*, **15**, 209-218.
-