

EFFETS DE L'ENVIRONNEMENT THERMIQUE SUR LES PERFORMANCES DU PORC EN CROISSANCE.

J. LE DIVIDICH, Dominique RINALDO.

INRA, Station de Recherches Porcines, St-Gilles, 5590 L'HERMITAGE.

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières décennies, l'intensification de la production porcine s'est manifestée par une augmentation de la taille des ateliers, de la densité d'animaux dans les bâtiments et la généralisation de l'élevage du porc en croissance sur sol en caillebotis. Parallèlement, la réduction de l'état d'engraissement par voie génétique (sélection, croisement) et par une meilleure adéquation des apports nutritionnels aux besoins, a accentué la sensibilité du porc à son environnement thermique. L'optimisation des performances de croissance et de l'utilisation des aliments sont ainsi, de plus en plus, tributaires des conditions thermiques offertes à l'animal. Pour une large part en effet, elles déterminent l'importance des échanges de chaleur entre l'animal et son milieu environnant et par conséquent le devenir de l'énergie alimentaire. Par ailleurs, elles ont une influence directe sur le niveau de consommation spontanée, et de ce fait, sont susceptibles de modifier les équilibres nutritionnels.

Plusieurs revues bibliographiques ont été consacrées aux effets de l'environnement thermique sur le métabolisme énergétique du porc (HOLMES et CLOSE, 1977 ; CLOSE, 1981 ; CURTIS, 1981) et sur son état sanitaire (THOMAS, 1984 ; TILLON et MADEC, 1985). En revanche, les effets sur les performances de croissance sont moins connus (VERSTEGEN et al., 1978 ; AUMAITRE et al., 1986). L'objectif de la présente étude est précisément de faire le point des acquisitions récentes sur l'influence de l'environnement thermique et notamment de la température ambiante sur les performances du porc en croissance. Après avoir brièvement rappelé l'effet de la température ambiante sur le métabolisme énergétique, nous précisons l'influence des différents paramètres du milieu thermique sur les performances de croissance et la composition corporelle. Enfin, nous ferons état des interactions alimentation - milieu climatique.

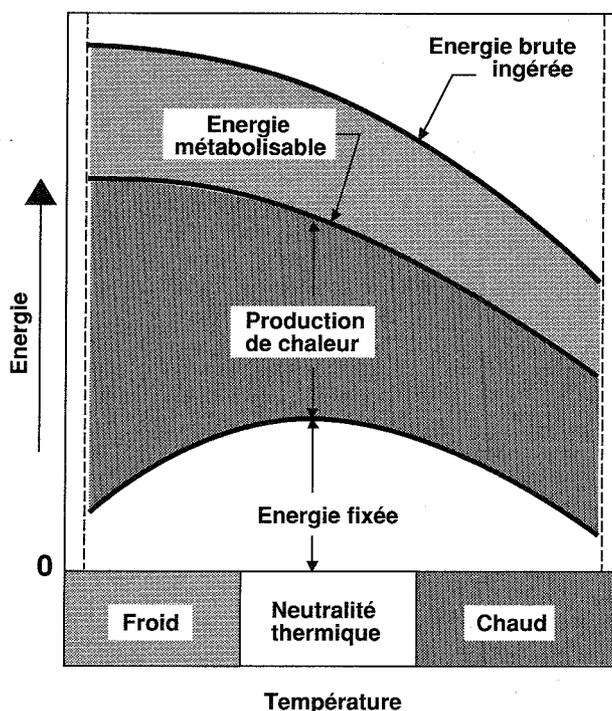
1. INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LE MÉTABOLISME ÉNERGÉTIQUE.

1.1. Production de chaleur et signification de la température critique.

La relation entre la production de chaleur chez le porc et la

température ambiante est schématiquement représentée à la figure 1. La production de chaleur est minimale dans la "zone" de neutralité thermique limitée par les températures critiques, inférieure (T_{ci}) et supérieure (T_{cs}). Au froid, l'augmentation de la production de chaleur s'accompagne d'une réduction de la quantité d'énergie métabolisable disponible pour la croissance.

FIGURE 1
REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE PAR LE PORC EN RELATION AVEC LE MILIEU THERMIQUE
(Adapté de MANGOLD, 1983)



D'un point de vue nutritionnel, il est particulièrement intéressant, dans nos régions à climat "tempéré", de connaître la température critique inférieure qui correspond chez l'animal à une dépense énergétique minimale et par conséquent à une utilisation maximale de l'énergie alimentaire. D'après les travaux réalisés pour la plupart en Grande-Bretagne (CLOSE, 1981) et aux Pays-Bas (VERSTEGEN et al., 1984), cette température critique dépend de l'animal (poids, âge, niveau alimentaire, taille du groupe) et des paramètres de l'environnement climatique (vitesse de l'air, humidité relative, nature du sol et des parois). L'influence sur la température critique de ces divers facteurs de l'environnement thermique exprimés en équivalent température ambiante sont présentés dans le tableau 1. En condition d'alimentation à volonté et d'élevage en groupe sur sol en caillebotis béton partiellement humide, la température critique est de l'ordre de 18 à 20°C au cours de la croissance et de 14 à 15°C en période de finition (NRC, 1981). Cependant, si l'on tient compte des normes de rationnement alimentaire recommandées pour réduire l'état d'engraissement des carcasses (ITP-ITCF, 1987), il convient d'augmenter de 2 à 3°C la température critique du porc en finition.

TABEAU 1
PRINCIPAUX PARAMÈTRES DE L'ENVIRONNEMENT
THERMIQUE ET LEUR RÉPERCUSSION SUR LA
TEMPÉRATURE AMBIANTE EFFECTIVE POUR
LE PORC EN CROISSANCE.

Paramètre	Température (°C) à ajouter à la température ambiante (ta)
Vitesse de l'air = 20 cm/s	- 1
Humidité relative	0 pour ta < 25°C
Type de sol	
- paille	+ 4
- caillebotis béton	- 3 à - 5

D'après MOUNT, 1975.

Cependant, la température critique qui est déterminée par calorimétrie a une signification essentiellement énergétique puisqu'elle représente la température minimale permettant une fixation maximale d'énergie sous forme de protéines et de lipides. Au plan zootechnique, elle correspond au "besoin thermique optimal" du porc à 2 stades où il manifeste une sensibilité particulière au froid : la naissance et au moment du sevrage. Il s'agit en effet de favoriser l'accrétion de lipides chez le nouveau-né afin d'améliorer son isolation thermique, et de limiter l'amaigrissement momentané du porcelet au moment du sevrage et par conséquent de réduire l'effet du sevrage sur sa sensibilité au froid. En dehors de ces 2 stades, la température critique a une signification zootechnique limitée dans la mesure où principalement une fixation maximale d'énergie ne correspond pas nécessairement à un gain de poids maximal où en outre, l'objectif est de réduire l'adiposité des carcasses. Néanmoins, on peut s'interroger sur les conséquences de la recherche d'une croissance musculaire maximale par voie génétique (sélection, croisement) ou grâce aux manipulations hormonales, sur la température critique. A priori, la réduction de l'état d'engraissement associée à la diminution de l'appétit observée chez les animaux à fort développement musculaire ou traités à l'hormone de crois-

sance accentuent leur sensibilité au froid. Il en résulte une augmentation de la température critique qu'il convient de mesurer et un renforcement de sa signification zootechnique.

1. 2. Rendement d'utilisation de l'énergie pour la croissance : effet de la température.

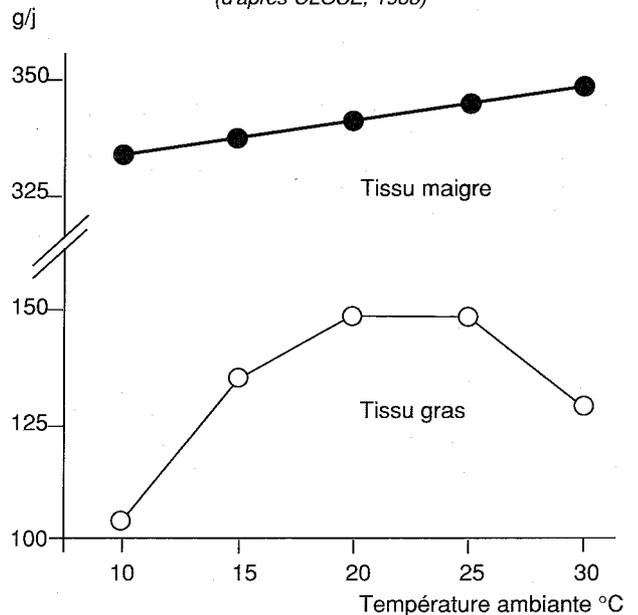
L'énergie métabolisable ingérée (EMI) se partitionne en énergie retenue ou fixée (ER) et en énergie perdue sous forme de chaleur et donc improductive, selon l'équation suivante.

$$\text{EMI} = \text{ER} + \begin{matrix} \text{Production de chaleur} \\ \text{(protéines} & \text{(ou perte)} \\ \text{lipides)} \end{matrix}$$

La transformation de l'EMI en ER fait intervenir le rendement d'utilisation de l'EMI pour la croissance. Les résultats obtenus sur porcelets sevrés (NOBLET et LE DIVIDICH, 1982), sur porc en croissance (VERSTEGEN et al, 1973 ; CLOSE, 1978 ; NOBLET et al., 1987) et sur truie (NOBLET et al., 1988) indiquent une augmentation significative de ce rendement en conditions froides. En réalité, cette amélioration traduit une participation de l'extra- chaleur associée à l'utilisation de l'EMI pour les synthèses, à la dépense énergétique de thermorégulation. En d'autres termes, l'extra- chaleur qui doit être totalement dissipée à la neutralité thermique couvre une partie de l'accroissement calorique provoqué par l'abaissement de la température ambiante. Comme nous le verrons par la suite, ce résultat a été largement utilisé pour tenter de tirer profit des propriétés thermogéniques des aliments.

1. 3. Rétention énergétique sous forme de protéines et de lipides.

FIGURE 2
INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LE DÉPÔT DE TISSU MAIGRE ET DE TISSU GRAS CHEZ LE PORC DE 35 kg RECEVANT 1 580 g D'ALIMENT PAR JOUR (d'après CLOSE, 1983)



En dessous de la température critique, la rétention énergétique diminue dans tous les cas en valeur relative (ER/EMI x 100), et en valeur absolue, lorsque le porc est rationné.

Sur ce point, la plupart des auteurs s'accordent à reconnaître que chez le porcelet (NOBLET et LE DIVIDICH, 1982) comme chez l'animal en croissance-finition (CLOSE, 1981) l'effet de la température ambiante sur l'accrétion lipidique est plus marqué que sur l'accrétion protéique (Fig. 2). A cet égard, les travaux récents de HERPIN et al. (1988) montrent clairement une forte stimulation de la lipogénèse et de la lipolyse au froid, suggérant une accélération du taux de renouvellement des acides gras au froid. Les dépenses supplémentaires d'énergie pour la thermogénèse de réchauffement font donc principalement appel à des substrats non protéiques, ce qui laisse supposer une influence du milieu thermique sur la composition corporelle.

2. INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE.

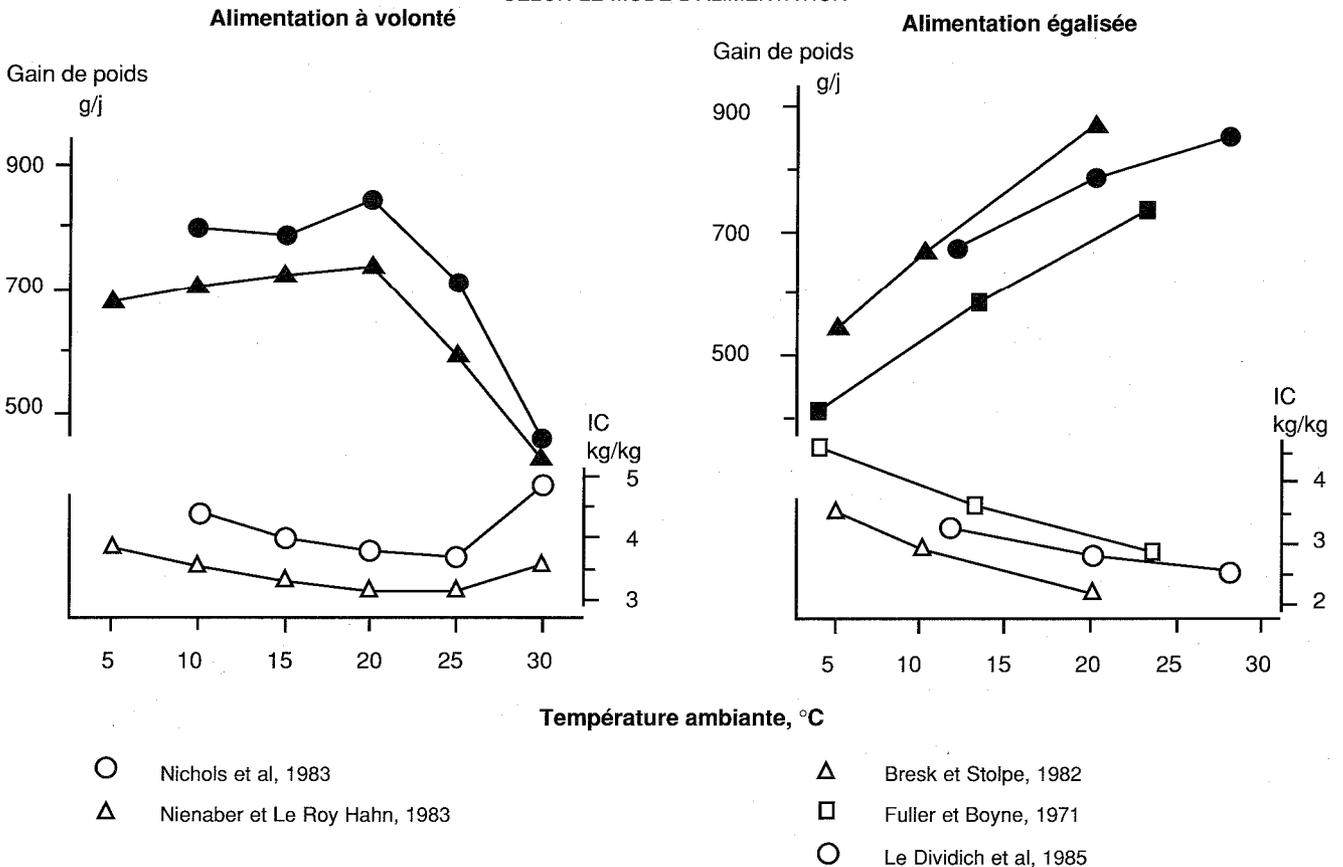
L'environnement climatique est formé par un ensemble de facteurs (température, vitesse de l'air, hygrométrie relative) qui affectent les performances du porc. Toutefois, parmi ces facteurs, le plus important est la température ambiante.

2.1. Température ambiante.

Les performances du porc en croissance-finition recevant un régime équilibré sont avant tout liées à la quantité et à l'efficacité de l'aliment consommé, qui sont température-dépendantes. L'influence de la température ambiante sur les performances dépend donc étroitement du mode d'alimentation, libéral ou restreint.

En alimentation à volonté, la consommation d'aliment varie de manière curvilinéaire avec la température ambiante (STEINBACH, 1976 ; NIENABER et LEROY HAHN, 1983). Ainsi entre 20 et 15°C, elle augmente de 6 à 8% tandis qu'entre 20 et 25°C elle diminue de 10 à 15%. Il en résulte, que dans un intervalle relativement large de température ambiante (20 à 10-8°C), la vitesse de croissance reste pratiquement constante (Fig. 3). En revanche, elle diminue de 10 à 40 g/j par degré centigrade d'augmentation de la température dans l'intervalle 20-30°C. L'indice de consommation est minimum entre 20 et 25°C (MANGOLD et al., 1967 ; VERSTEGEN et al., 1978).

FIGURE 3
INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LES PERFORMANCES DU PORC EN CROISSANCE-FINITION SELON LE MODE D'ALIMENTATION



En alimentation égalisée, le niveau de consommation est nécessairement ajusté en fonction de celui obtenu à la température ambiante la plus élevée. De ce fait, les animaux exposés aux températures inférieures sont au-dessous de leur température critique et l'augmentation des dépenses énergétiques de thermorégulation s'accompagne d'une réduction de la quantité d'énergie métabolisable disponible pour la croissance. Il en résulte qu'en alimentation égalisée, le

gain de poids diminue progressivement avec l'abaissement de la température ambiante tandis que l'indice de consommation augmente (Fig. 3). Toutefois, il est important de souligner que l'effet de la température ambiante sur ces critères n'est pas strictement linéaire. Ainsi, sur l'ensemble de la période d'engraissement, la réduction du gain de poids peut être estimée à 8,8 g/j par degré de diminution de la température entre 28 et 20°C et à 15-24 g/j par degré au-dessous de 20°C

(FULLER ET BOYNE, 1971 ; BRESK ET STOLPE, 1982 ; PHILLIPS et al., 1982 ; LE DIVIDICH et al., 1985). Toutefois, d'après les travaux réalisés aux Pays-Bas (VERSTEGEN et al., 1979 ; HAARTSEN, 1981 ; VERSTEGEN et al., 1982), l'effet négatif du froid sur la croissance serait d'autant plus marqué que le porc est plus lourd. Ainsi, par degré au dessous de la température critique, le gain de poids diminue de 10 à 15 g chez l'animal en croissance (25-60 kg) et de 13 à 25 g en finition. De même, selon l'équation établie par BRESK et

STOLPE (1982), $R = 2,6 P^{0.6}$ où R désigne la réduction du gain de poids (g/j/ °C) et P le poids de l'animal (kg), la réduction s'élève à 22 g au poids de 35 kg et à 33 g au poids de 70 kg. Nos résultats (LE DIVIDICH et al., 1985) et ceux de CLOSE (1981) suggèrent, au contraire, un effet moins important du "froid" sur la réduction du gain de poids en période de finition, en raison d'une meilleure isolation thermique de l'animal due à l'augmentation de l'épaisseur de lard et par la réduction de la surface d'échanges relativement au poids.

TABLEAU 2
VARIATION DE L'INDICE DE CONSOMMATION (IC) DU PORC EN CROISSANCE-FINITION EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE.

Mode d'alimentation	Intervalle de température, °C	IC/°C de diminution de la température	Référence
A volonté	18 - 8	+ 0,044	Comberg et al., 1974 Verstegen et al., 1978 Nichols et al., 1981 Nienaber et LeRoy Hahn, 1983
	20 - 5	+ 0,033	
	20 - 10	+ 0,058	
	20 - 10	+ 0,041	
	28 - 20	+ 0,026	Le Dividich et al., 1985 Le Dividich et al., 1987
	28 - 20	+ 0,018	
Egalisé	23 - 5	+ 0,090	Fuller and Boyne, 1971 Bresk and Stolpe, 1982 Le Dividich et al., 1985 Le Dividich et al., 1987
	20 - 5	+ 0,080	
	20 - 12	+ 0,055	
	20 - 12	+ 0,053	

Enfin, quel que soit le mode d'alimentation, l'indice de consommation dépend étroitement de la température ambiante. On peut cependant remarquer (Tableau 2) que son augmentation au froid est plus limitée lorsque l'animal est nourri à volonté, soit en moyenne, de 0,044 unité par degré au dessous de l'optimum contre 0,070 unité lorsque le porc est rationné. La différence qui s'explique par la réduction de la température critique chez l'animal nourri à volonté souligne donc la nécessité de tenir compte du niveau alimentaire dans l'estimation de la température "optimale".

2. 2. Température constante ou cyclique ?

La température ambiante dans les bâtiments suit généralement un cycle nyctéméral d'amplitude liée aux conditions climatiques. Sur le plan des échanges de chaleur, les pertes totales sur 24 heures sont les mêmes que l'animal soit à une température constante ou à une température cyclique de même moyenne journalière (BOND et al., 1963 ; DESHAZER et FEDDES, 1986). Quant aux performances de croissance, elles ne sont pas non plus affectées par les températures cycliques d'amplitude n'excédant pas 5 à 8°C (MORRISON et al., 1975 ; DESHAZER et FEDDES, 1986). Mais des amplitudes supérieures sont préjudiciables aux performances de croissance (MORRISON et al., 1975 ; NIENABER et al., 1986).

2.3. Nature du sol

Le porc est couché en moyenne 60 à 80 % du temps (BAXTER, 1984) et la surface cutanée en contact avec le sol représente 10 à 20 % de la surface corporelle totale (BRUCE et CLARK,

TABLEAU 3
INCIDENCE DE LA NATURE DU SOL SUR LA TEMPÉRATURE EFFECTIVE RELATIVEMENT À UN SOL RECOUVERT DE LITIÈRE.

Type de sol	Variation de température ambiante effective (°C)	Référence
Caillebotis - béton	7 à 8	Verstegen et van der Hel, 1974
- métal perforé	5,8	Morrison et al., 1987
- métal perforé plastifié	3,0	- id -
Sol plein dépourvu de litière	2,8	- id -

1979). La nature du sol a par conséquent un effet important sur le métabolisme énergétique de l'animal. A titre indicatif, nous avons présenté dans le tableau 3 l'incidence de quelques types de sol sur les variations de la température effective relativement à un sol en béton pourvu d'une litière de paille. Au plan des performances, cette différence de température effective se répercute sur l'indice de consommation. Ainsi, pour un

même gain de poids de 650 g/j, les animaux sur caillebotis béton doivent consommer en moyenne 100 g d'aliment de plus par jour que ceux logés sur sol pourvu de litière (VERSTEGEN et al., 1977). De plus, selon MADSEN et NIELSEN (1970), les maladies respiratoires seraient plus fréquentes sur caillebotis. Malgré tout, les avantages économiques de son utilisation sont importants, et se traduisent notamment par une réduction de la surface allouée à chaque animal et une amélioration de la productivité (TEXIER, 1978).

2.4. Ventilation et vitesse de l'air

La ventilation des locaux d'élevage a pour rôle d'assurer un apport régulier d'oxygène aux animaux et d'évacuer le gaz carbonique et la vapeur d'eau qu'ils rejettent ainsi que les gaz de fermentation (H_2S et NH_3 , principalement). C'est donc une nécessité pour les animaux, mais en même temps, elle représente la principale voie de déperdition de chaleur du bâtiment, en particulier en période hivernale, où jusqu'à 90 % des pertes totales de chaleur du bâtiment sont dûs à la ventilation. De plus, son rôle dans l'équilibre thermique du bâtiment est bien plus important que celui de l'isolation. Pour l'animal, la ventilation se traduit par une vitesse d'air qui affecte directement ses pertes de chaleur et par conséquent son métabolisme énergétique : selon BRUCE et CLARK (1979) ces pertes augmentent linéairement avec la vitesse de l'air, mais d'après MOUNT et INGRAM (1965), elles ne sont proportionnelles qu'à sa racine carrée. Quoi qu'il en soit, l'effet varie avec la température ambiante et la taille du groupe. Ainsi, une augmentation de 15 à 45 cm/s de la vitesse de l'air n'a aucune répercussion sur le bilan énergétique du porc de 30 kg placé à 20°C qui est proche de sa température critique, en revanche à 15°C la température critique s'élève de 1,4°C (VERSTEGEN et VAN DER HEL, 1976). Par ailleurs, chez l'animal isolé la température critique s'accroît de 1 degré lorsque la vitesse de l'air augmente de 5 cm/s (CLOSE et al., 1981), en groupe la valeur correspondante est de 21 cm/s (VERSTEGEN et VAN DER HEL, 1976). De même l'utilisation du "conditionnement opérant" indique clairement que le thermopreferendum s'élève avec l'augmentation de la vitesse de l'air (Tableau 4). Il est par conséquent important lorsque la température ambiante de la porcherie d'engraissement est optimale, et à fortiori suboptimale, que la vitesse de l'air soit aussi basse que possible en relation avec un renouvellement minimum de l'air. En règle générale, on recommande une vitesse d'air au niveau des animaux de l'ordre de 10 cm/s, néanmoins en ce qui concerne le taux de renouvellement de l'air, les recommandations varient davantage, entre 17 et 24 m³/h pour un porc de 65 kg, par exemple (MWPS, 1983 ; BAXTER, 1984).

TABLEAU 4
INFLUENCE DE LA VITESSE DE L'AIR SUR LE THERMOPREFERENDUM DU PORC DE 15 A 20 KG DE POIDS VIF (d'après VERSTEGEN et al., 1987).

Vitesse de l'air, cm/s	Température, (°C) "choisie" par le porc
8	17,9
25	20,5
40	21,7

Lorsque la température ambiante est supérieure à l'optimum, il est nécessaire d'accroître le taux de renouvellement de l'air afin d'évacuer la chaleur produite par les animaux et par conséquent d'éviter une température excessive dans le bâtiment. Néanmoins l'influence bénéfique de la vitesse de l'air sur les performances a été le plus souvent surestimée, car au mieux la température ambiante du bâtiment reste supérieure de 1 à 2°C à la température extérieure. A cet égard, une augmentation de la vitesse de l'air jusqu'à 40-60 cm/s s'accompagne d'une amélioration du gain de poids journalier (MORRISON et al., 1976 ; PEDERSEN, 1980), mais des vitesses supérieures n'entraînent aucune amélioration additionnelle, elles seraient mêmes préjudiciables. Une surventilation exagérée en période estivale ne semble donc pas justifiée.

2.5. Humidité relative de l'air

FIGURE 4
INFLUENCE DE L'HYGROMETRIE RELATIVE DE L'AIR SUR LA PERTE DE CHALEUR CHEZ LE PORC (d'après GEORGIEV et al, 1977)

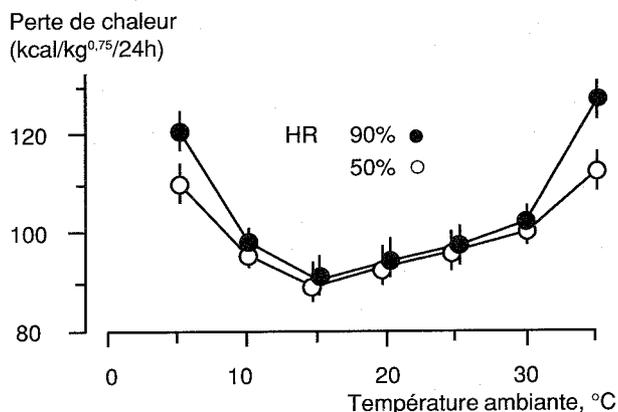


TABLEAU 5

INFLUENCE DU TAUX D'HYGROMÉTRIE DE L'AIR ET DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LA CROISSANCE ET LES QUANTITÉS D'ALIMENT INGÉRÉ PAR LE PORC (Adapté de MORRISON et al., 1969).

	Température ambiante, °C	Humidité relative %		Moyenne
		60-70	90-95	
Gain de poids, g/j	22	675	672	673
	28	529	486	
	Moyenne	597	579	
Aliment ingéré, g/j	22	2450	2450	2450
	28	1860	1790	
	Moyenne	2155	2120	

Dans des conditions moyennes de température ambiante, l'influence de l'humidité de l'air sur le métabolisme énergétique du porc est peu marquée (GEORGIEV et al., 1977; KAMADA et NOTSUKI, 1987). Mais aux températures extrêmes, une hygrométrie élevée (> 90 %) provoque une augmentation des pertes de chaleur (Fig. 4). Elle a également peu d'effet sur les performances du porc en croissance élevé en conditions thermoneutres (MORRISON et al., 1969), mais elle accentue les effets d'une température élevée sur la réduction de la consommation d'aliment et par conséquent, le gain de poids (Tableau 5).

Par ailleurs, un sol humide peut améliorer le "confort" du porc exposé à des températures élevées. Toutefois, la déperdition de chaleur associée à la vaporisation de l'eau à la surface de la peau est fortement préjudiciable aux performances de l'animal élevé à une température suboptimale. Ainsi, en admettant que les animaux soient couchés en moyenne 60 à 80 % du temps et que la surface corporelle en contact avec un sol constamment humide représente 10 à 20 % de la surface corporelle totale, cette déperdition de chaleur s'élève en moyenne à 1500 kcal/jour chez un porc de 60 kg de poids vif et représente l'équivalent de 500 g d'aliment. Il est donc par conséquent essentiel que le sol soit sec lorsque les températures sont suboptimales.

3. INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LA COMPOSITION CORPORELLE.

L'influence de la température ambiante sur la composition corporelle dépend essentiellement du niveau alimentaire. A niveau alimentaire constant, la réduction de la température ambiante conduit à une réduction de l'état d'engraissement des carcasses (VERSTEGEN et al., 1973; CLOSE, 1981; LE DIVIDICH et al., 1985; VERSTEGEN et al., 1985). En d'autres termes, la diminution de la température ambiante qui conduit à une réduction de la quantité d'énergie métabolisable disponible pour la croissance a sur la composition corporelle, un effet comparable à celui d'une restriction alimentaire (Tableau 6). A même gain de poids, c'est à dire lorsque l'abaissement de la température ambiante est compensé par un apport supplémentaire d'aliment, nos résultats (LE DIVIDICH et al., 1987) et ceux de LEFAUCHEUR et al. (1989) ne mettent en évidence aucun effet de la température sur les caractéristiques des carcasses. En revanche, pour VERSTEGEN et al. (1982) la compensation du froid par un supplément alimentaire conduit à des carcasses plus grasses, néanmoins la différence représente tout juste 1 mm d'épaisseur de lard. Enfin, en alimentation à volonté, les carcasses seraient plus grasses au froid (COMBERG et al., 1974; NIENABER et LEROY HAHN, 1983; VERSTEGEN et al., 1985) car l'aug-

mentation de la quantité d'aliment ingéré excède le besoin supplémentaire d'énergie au froid.

TABLEAU 6
INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LA COMPOSITION CORPORELLE À L'ABATTAGE
(BASE 100 = RÉSULTATS OBTENUS A 20°C)

Température ambiante, °C	12	20	28
A même niveau de rationnement			
% muscle	103	100	98
% gras	91	100	104
Longe : bardière	115	100	95
% bardière	92	100	105
% panne	85	100	117
A même gain de poids journalier			
% muscle	97	100	98
% gras	103	100	101
Longe : bardière	88	100	104
% bardière	109	100	95
% panne	83	100	120

D'après LE DIVIDICH et al., 1985, 1987.

L'effet de la température ambiante se manifeste par ailleurs sur la morphologie et la conformation du porc. Ainsi, au froid les animaux sont plus courts et plus compacts (HEATH, 1978; LEFAUCHEUR et al., 1989; RINALDO, données non publiées), la taille des extrémités (queue, oreilles) est réduite et la pilosité plus importante (SWIERGIEL, 1987). En outre, pour un même état d'engraissement, les résultats de STAHLY et CROMWELL (1979), VERSTEGEN et al. (1985) et LE DIVIDICH et al. (1987) suggèrent un effet de la température ambiante sur la répartition de la masse adipeuse : davantage de gras périphérique au froid et interne au chaud. Ces modifications qui dans leur ensemble, affectent la surface corporelle et l'isolation thermique de l'animal, sont le reflet d'une adaptation au milieu climatique. Il est enfin intéressant de noter l'augmentation du poids des organes et notamment, le foie, le cœur, et le tube digestif, avec l'abaissement de la température (SUGAHARA et al., 1970; HERPIN, 1988; LEFAUCHEUR et al., 1989) entraînant une diminution du rendement en carcasse.

TABLEAU 7
INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE D'ÉLEVAGE SUR LE DEGRÉ D'INSATURATION DES GRAISSES DE LA BARDIÈRE.

Critère	Température ambiante, °C			Référence
	12-13	20-23	28	
Indice d'iode	67.2	64.1 62.7	60.2	Fuller et al., 1974 Tonks et al., 1972
Acides gras insaturés (%)	62.8	60.8	58.0	Le Dividich et al., 1987

Pour ce qui concerne les caractéristiques qualitatives des tissus, seule l'influence de la température ambiante sur la composition en acides gras du tissu adipeux est relativement bien connue. Il est en effet établi l'existence d'une relation inverse entre le degré d'insaturation des dépôts adipeux sous cutanés et la température ambiante (Tableau 7). L'indice d'iode (FULLER ET al., 1974 ; TONKS et al., 1972) et le pourcentage d'acides gras insaturés (LE DIVIDICH et al., 1987) diminuent avec l'augmentation de la température ambiante. Le lard des porcs élevé à une température élevée est donc plus ferme et présente une meilleure aptitude à la conservation et à certaines transformations technologiques.

En revanche, il existe, à notre connaissance, peu d'études sur l'effet de la température d'élevage sur les caractéristiques du tissu musculaire (LEFAUCHEUR et al., 1989).

4. TEMPÉRATURE OPTIMALE

L'analyse des réponses de l'animal (croissance, indice de consommation, composition corporelle) à l'environnement thermique et notamment à la température ambiante conduit à recommander une température de l'ordre de 24- 25°C pour le porc en croissance-finition élevé en groupe sur caillebotis béton intégral. Cette recommandation est notablement supérieure à celle du NRC (1981) et du CIGR (1982), elle présente les avantages et les inconvénients suivants :

Avantages	Inconvénients
- Indice de consommation minimum	- Croissance non maximale
- Rendement en carcasse élevé	- Chauffage hivernal ?
- Animaux relativement maigres	- Incidence des gaz nocifs et d'une humidité élevée liée à un faible taux de renouvellement de l'air.
- Bonne consistance des graisses	
- Qualité de la viande ?	

Il est surtout intéressant de noter que la réduction de la consommation spontanée survenant à ces températures chez le porc en croissance- finition (Nienaber et LeRoy Hahn, 1983) comme chez l'animal plus jeune (Fig. 5) représente une véritable restriction alimentaire dans la mesure où elle entraîne une réduction de l'état d'engraissement. On peut ainsi envisager une alimentation du type libéral et de s'affranchir par conséquent des contraintes de rationnement. Toutefois, au plan nutritionnel il est alors nécessaire de moduler les normes existantes d'apport énergétique et azoté (protéines, acides aminés) selon les conditions climatiques.

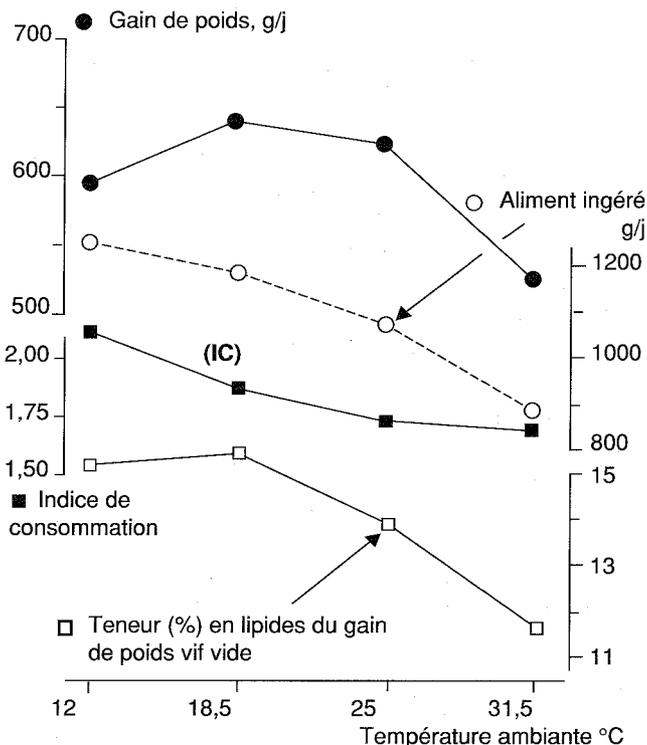
5. INTÉRACTIONS ALIMENTATION - MILIEU CLIMATIQUE.

5.1. Apport d'énergie, de protéines et d'acides aminés

Chez le porc en croissance, les dépenses énergétiques de thermorégulation sont couvertes principalement au détriment des glucides et des lipides comme le montrent la plupart des études de bilans (CLOSE, 1981) et l'augmentation du turnover du glucose et des acides gras observée au froid chez l'animal de 20 kg (HERPIN, 1988). Parallèlement, les travaux de BERSCHAUER et al. (1983) indiquent que la rétention azotée ne diminue de manière significative avec l'abaissement

de la température ambiante que lorsque l'apport énergétique est insuffisant. Ces données suggèrent donc que c'est principalement le besoin énergétique qui varie avec la température ambiante. A cet égard, le supplément d'énergie exprimé en termes d'aliment nécessaire au maintien du gain de poids est estimé à 19 g par degré de réduction de température entre 28 et 20°C, et à 30-40 g par degré au dessous de 20°C (Tableau 8). En admettant que ce supplément soit de nature exclusivement énergétique, il serait possible d'envisager une baisse du taux de protéines du régime parallèlement à celle de la température ambiante. Entre 25 et 15°C, la réduction du taux de protéines serait de l'ordre de 2 points, mais cette hypothèse nécessite une confirmation.

FIGURE 5
INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA TENEUR EN LIPIDES DU GAIN DE POIDS VIF VIDE DU PORC ALIMENTÉ À VOLONTÉ (PÉRIODE 10-30 kg DE POIDS VIF ;
d'après RINALDO D. et LE DIVIDICH J., Données non publiées)



En alimentation à volonté, il existe une interaction entre le taux de protéines, et notamment le taux d'acides aminés indispensables, et la température ambiante sur les performances de croissance. Cette interaction repose sur le fait que l'augmentation de la consommation d'aliment avec l'abaissement de la température ambiante permet de compenser, selon le degré de déficit, un taux de protéines ou d'acides aminés qui s'avère insuffisant en conditions de thermoneutralité. Ainsi, les travaux déjà anciens de SEYMOUR et al. (1964) montrent qu'un taux suboptimal de protéines a des répercussions moins importantes sur les performances du porc élevé au froid relativement à la thermoneutralité. A l'opposé, un apport excessif de protéines serait défavorable pour la croissance de l'animal placé en conditions chaudes. Le catabolisme des protéines excédentaires s'accompagne, en

effet, d'une production supplémentaire de chaleur (NOBLET et al., 1987) dont la dissipation obligatoire pourrait accentuer l'effet de la température ambiante. Néanmoins, l'amélioration de la quantité d'énergie disponible pour les synthèses

consécutives à la réduction du taux de protéines et au rééquilibrage en acides aminés par la supplémentation ne conduit, à température élevée, qu'à une augmentation du dépôt de lipides (STAHLY et al., 1979).

TABLEAU 8
APPORT SUPPLÉMENTAIRE D'ALIMENT AU "FROID".

Température, °C	Période			Référence
	Croissance	Finition	Totale	
- par degré de diminution				
. entre 28 et 20°C	15	23	19	Le Dividich et al., 1985
. entre 20 et 12°C	34	39	36	Le Dividich et al., 1985
. entre 20 et 5°C			35	Nienaber et LeRoy Hahn, 1983
- par degré de diminution en dessous de la température critique	24	38	31	Verstegen et al., 1977, 1982
	20	20	20	Close, 1981

TABLEAU 9
INFLUENCE DU TAUX DE LYSINE SUR LES PERFORMANCES DU PORC ALIMENTÉ À VOLONTÉ, EN RELATION AVEC LA TEMPÉRATURE AMBIANTE
(selon STAHLY et CROMWELL, 1987).

	Température ambiante, °C	Lysine %(1)	
		0,50	0,95
Gain de poids/j	10	95	100
	22,5	86	100
Indice de consommation	10	107	100
	22,5	114	100
Gain de muscle/j	10	91	100
	22,5	86	100

(1) A chaque température la valeur 100 est attribuée aux performances obtenues avec le taux de 0,95 % de lysine.

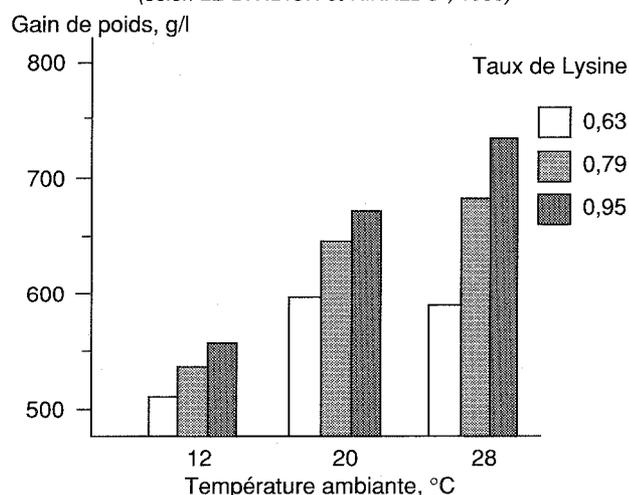
En ce qui concerne les acides aminés, les travaux de STAHLY et CROMWELL (1987) montrent qu'en alimentation libérale, un déficit du régime en lysine affecte moins les performances du porc élevé en conditions froides (Tableau 9). En alimentation égalisée, nos résultats (LE DIVIDICH et RINALDO, 1988) indiquent une augmentation du taux optimum de lysine avec l'augmentation de la température ambiante (Fig. 6), en raison d'une plus grande quantité d'énergie disponible pour la croissance.

L'ensemble de ces travaux suggère donc que les besoins en protéines et acides aminés relativement à l'énergie varient parallèlement à la température ambiante. Il convient ainsi de raisonner les apports de protéines et d'acides aminés en fonction de l'énergie disponible pour la croissance.

5.2. Concentration en énergie du régime

L'utilisation des matières premières riches en constituants celluloseux et des matières grasses par le porc est, dans une certaine mesure, liée à la température ambiante par le biais de

FIGURE 6
INFLUENCE DU TAUX DE LYSINE SUR LE GAIN DE POIDS SELON LA TEMPÉRATURE AMBIANTE (PÉRIODE 25-62kg). ALIMENTATION ÉGALISÉE
(selon LE DIVIDICH et RINALDO, 1988)



l'extra-chaleur qui leur est associée. Celle-ci participe aux dépenses de thermorégulation chez l'animal exposé au froid (VERSTEGEN et al., 1973), alors qu'en conditions de thermoneutralité elle est obligatoirement évacuée. Par ailleurs sa production dépend notamment de la teneur en constituants celluloseux et en matières grasses du régime. Les travaux de JUST (1982) montrent, à cet égard, une augmentation de la production d'extra- chaleur avec le taux de cellulose brute du régime qui s'explique à la fois par la chaleur associée à la dégradation microbienne de la cellulose dans le gros intestin et au faible rendement des produits terminaux de la digestion (A.G.V.) pour les synthèses. A l'inverse, la production d'extra- chaleur est faible pour les aliments riches en matières grasses qui se déposent avec un minimum de remaniements biochimiques. Il ressort que l'utilisation par le porc de régimes peu concentrés en énergie par incorporation de matières premières riches en constituants celluloseux serait ainsi améliorée au froid relativement aux aliments fortement concentrés.

Les résultats obtenus en calorimétrie (NOBLET et al., 1985)

confirment la plus grande participation de l'extra-chaaleur des régimes peu concentrés en énergie à la thermorégulation du porc exposé au froid (Tableau 10). Il en résulte une augmentation de la quantité d'énergie fixée sous forme de lipides qui a peu d'effet sur le gain de poids et l'indice de conversion énergétique. Les observations effectuées chez le porc de 20 kg (LE DIVIDICH et NOBLET, 1986) et chez l'animal plus lourd (SEERLEY et al., 1978 ; STAHLY et CROMWELL, 1979 ; COFFEY et al., 1982) montrent, qu'en alimentation à volonté, l'indice de conversion énergétique et la vitesse de croissance sont, au froid, relativement indépendants de la concentration en énergie des aliments (Fig. 7). Mais au chaud, les régimes concentrés en énergie par addition de matières grasses permettent les meilleures performances. En fait, cette interaction qui n'est plus significative lorsque les animaux ont une même vitesse de croissance quelle que soit la température ambiante

(LE DIVIDICH et al., 1987), est liée pour une large part, au niveau de consommation d'énergie digestible (ED), dans la mesure où l'indice de conversion énergétique augmente avec la réduction du niveau alimentaire (LE DIVIDICH et al., 1985 ; CAMPBELL et al., 1985). Au froid, la concentration en énergie des aliments a peu d'effet sur les quantités d'ED ingérées (STAHLY et CROMWELL, 1979 ; LE DIVIDICH et NOBLET, 1986) et par conséquent sur l'indice de conversion énergétique. En revanche, au chaud l'utilisation des régimes riches en énergie par addition de matières grasses entraîne une augmentation des quantités d'ED ingérées et il en résulte une amélioration de l'indice de conversion énergétique. En outre l'utilisation au chaud des régimes concentrés en énergie permet dans une certaine mesure de limiter l'effet dépressif des températures ambiantes élevées sur les quantités d'ED consommées et pas conséquent sur la croissance.

TABLEAU 10

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DE LA CONCENTRATION EN ÉNERGIE DE L'ALIMENT SUR LA PRODUCTION DE CHALEUR ET LA PARTITION DE L'ÉNERGIE FIXÉE (kcal/kg PV^{0,75}/JOUR) CHEZ LE PORC EN CROISSANCE (Données ajustées À une même quantité d'EM ingérée, soit 316,5 kcal/kg PV^{0,75}/jour).

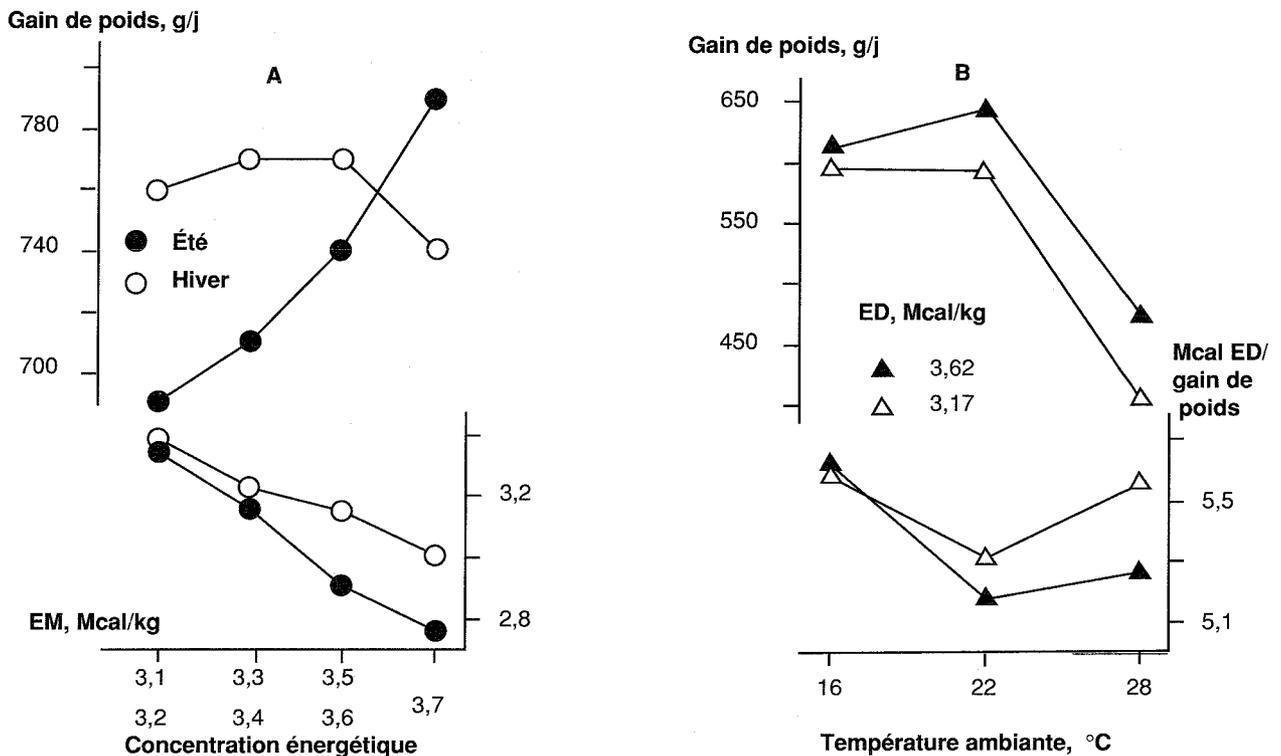
Température ambiante, °C	13		23	
	C	D	C	D
Aliment(1)				
Production de chaleur	190,8	193,6	158,6	181,8
Energie fixée	125,8	122,8	157,8	135,0
Protéines fixées	30,6	30,3	41,6	44,5
Lipides fixés	95,2	92,5	116,2	90,5

D'après Noblet et al., 1985.

(1) Les aliments C (concentré) et D (dilué) contiennent respectivement 3,56 et 3,08 Mcal/kg.

FIGURE 7

INFLUENCE DE LA SAISON OU DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE ET DE LA CONCENTRATION EN ÉNERGIE DES ALIMENTS SUR LES PERFORMANCES DU PORC EN CROISSANCE (A) ET DU PORCELET (B) (d'après COFFEY et al., 1982 (A) et LE DIVIDICH et NOBLET, 1986 (B))



En définitive, on peut supposer une meilleure valorisation au froid des aliments peu concentrés en énergie en raison d'une participation accrue de l'extra-chaleur aux dépenses de thermorégulation. Toutefois, si l'on tient compte du fait que l'énergie ainsi "épargnée" est déposée sous forme de lipides et que le rendement en carcasse est diminué de 1 à 2 points, il est clair que l'utilisation en période froide des régimes peu concentrés en énergie a un intérêt limité chez le porc en croissance. Mais, en période hivernale, l'emploi de ces régimes est particulièrement intéressant chez la truie en gestation (NOBLET et al., 1988).

CONCLUSION

En conclusion, il est intéressant de souligner l'importance des conditions climatiques de logement sur les performances de croissance du porc et l'économie de la production. A 1°C d'augmentation de la température ambiante entre 10 et 20°C correspond une économie d'environ 3,3 kg d'aliment par porc produit ; entre 20 et 24-25°C une économie de 1,2 à 1,4 kg peut être escomptée. La maîtrise des conditions d'environnement

thermique peut donc contribuer, de manière importante, à la réduction des coûts de production et notamment du coût alimentaire. Si l'on ajoute à cela que le rendement en carcasse varie dans le même sens que la température ambiante, on a intérêt, dans les conditions actuelles d'élevage sur caillebotis à maintenir dans les bâtiments une température ambiante élevée (24-25 °C). En période hivernale, l'intérêt d'un chauffage artificiel dépend des coûts relatifs de l'énergie "fossile" et alimentaire. Mais il est, avant tout, essentiel de conserver la chaleur dissipée par les animaux grâce notamment à l'isolation thermique des locaux et à un renouvellement adéquat de l'air. Dans ce domaine, il est donc important de connaître les effets des constituants de l'air et notamment de l'hygrométrie et de certains gaz nocifs, comme l'ammoniac, sur les performances et la santé des animaux afin de définir un taux minimum de renouvellement de l'air. Par ailleurs, compte tenu de l'influence prépondérante de la température ambiante sur la consommation et l'utilisation métabolique de l'énergie, il est nécessaire de poursuivre les travaux sur le réajustement des apports nutritionnels, en protéines et acides aminés notamment, dans les aliments du porc placé dans les conditions climatiques optimales.

BIBLIOGRAPHIE

- AUMAITRE A., LE DIVIDICH J., Marie-Christine MEUNIER-SALAUN, 1986. Environnement, productivity, health and behaviour of the pig species. A9-41. General Report. Section II. Seminar on pig housing and rabbit and small bird housing. Rennes. Commission internationale du Génie Rural.
- BAXTER S., 1984. Intensive pig production : environmental management and design. Granada Publishing. 588pp.
- BERSCHAUER F., CLOSE W.H., STEPHENS D.B., 1983. Brit. J. Nutr. **49** ; 271-283.
- BOND T.E., KELLY C.F., HEITMAN H.Jr, 1963. Trans. ASAE, **6** ; 132-135.
- BRESK B., STOLPE J., 1982. Mh. Vet.-Med. **37** ; 644-649.
- BRESK B., STOLPE J., 1982. Mh. Vet.-Med. **37** ; 374-380.
- BRUCE J.M., CLARK J.J., 1979. Anim. Prod. **28** ; 353-369.
- CAMPBELL R.G., TAVERNER M.R., CURIC D.M., 1985. Anim. Prod. **40** ; 497-503.
- C.I.G.R., 1981. Climatization of animal houses. C.I.G.R. - Working group. Zurich.
- CLOSE W.H., 1978. Brit. J. Nutr., **40** ; 433-438.
- CLOSE W.H., 1981. The climatic requirement of the pig. In : J.A. Clark. Environmental aspects of housing for animal production pp. 149-166. Butterworths, London.
- CLOSE W.H., HEAVENS R.P., BROWN D., 1981. Anim. Prod. **32** ; 75-84.
- CLOSE W.H., 1983. Paper presented at the Guelph Pork Symposium. 9pp.
- COFFEY M.T., SEERLEY R.W., FUNDERDURKE D.W., CAMPBELL H.C., 1982. J. Anim. Sci., **54** ; 95-105.
- COMBERG G., STEPHAN E., FEDER H., WEGNER, PLISSCKLE R., REETZ J., 1974. Zchtungskunde. **46** ; 285-292.
- CURTIS S.E., 1981. Environmental management in animal agriculture. Animal Environmental Services. Mahomet, IL.
- DESHAZER J.A., FEIS J.J.R, 1986. Séminaire CIGR sur le logement du porc, du lapin et des petites espèces aviaires. pp 99-101. A.F.G.R.
- FULLER M.F., DUNCAN W.R.D., BOYNE A.W., 1974. J. Sci. Fd. Agric. **25** ; 205-210.
- FULLER M.F., BOYNE A.W., 1971. Brit. J. Nutr. **25** ; 259-272.
- GEORGIEV J., GEORGIEVA R., KEHRER A., WEIL S., 1977. Berl. Mch. Tierrztl. Wschr. **90** ; 392-396.
- HAARTSEN P.I., 1981. Aspects of heating animal houses. In : J.A. Clark. Environmental aspects of housing for animal production. pp. 413-421. Butterworths, London.
- HEATH M.E., 1978. Morphological, physiological and behavioural differences of piglets reared in a cold or a hot environment. Ph. D. Thesis, University of Cambridge, 192 pp.
- HERPIN P., 1988. Mécanismes de la régulation de la thermogénèse chez le jeune porc exposé au froid. Thèse de Docteur Ingénieur en Sciences Agronomiques. INA, Paris Grignon. 131 pp.
- HOLMES C.W., CLOSE W.H., 1977. The influence of climatic variables and associated aspects of productivity in the pig. In ; N. Haresign, H. Swan and D. Lewis. Nutrition and the climatic Environment pp 51-73. Butterworths, London.
- ITP - ITCF, 1987. Tables d'Alimentation pour les porcs.
- JUST A., 1982. Livest. Prod. Sci. **8** ; 541-555.
- KAMADA T., NOTSUKI I., 1987. Jpn. J. Zootech. Sci. **58** ; 147-154.
- LEFAUCHEUR L., LE DIVIDICH J., KRAUSS D., ECOLAN P., MOUROT J., MONIN G., 1989. Journées Rech. Porcines en France. **21** ; 231 - 238.
- LE DIVIDICH J., DESMOULIN B., DOURMAD J.Y., 1985. Journées Rech. Porcines en France. **17** ; 275-282.
- LE DIVIDICH J., NOBLET J., 1986. Livest. Prod. Sci. **14** ; 255-263.
- LE DIVIDICH J., NOBLET J., BIKAWA Th., 1987. Livest. Prod. Sci. **17** ; 235-346.
- LE DIVIDICH J., Dominique RINALDO, 1988. Journées Rech. Porcines en France. **20** ; 415-418.
- MADSEN A., NIELSEN E.K., CHRISTIANSEN P., JENSEN P.H., 1970. Beretn. Forsokslab., N378.
- MANGOLD D.W., HAZEN T.E., HAYS V.W., 1967. Trans. A.S.A.E., 370-375, 377.
- MANGOLD D., 1983. Animal thermal environment. Sect. 603, pp 603. 1-5. In ; MWPS- 1, Structures and Environment Handbook. 11th ed. Midwest Plan Service, Ames.
- MWPS, 1983. Swine housing and equipment handbook. 4th edition. 112 pp.
- MORRISON S.R., GIVENS R.L., HEITMAN H.Jr, 1976. Int. J. Biometeor. **20** ; 337-343.
- MORRISON S.R., HEITMAN H.Jr, BOND T.E., 1969. Int. J. Biometeor. **13** ; 135-139.
- MORRISON S.R., HEITMAN H.Jr, GIVENS R.L., 1975. Anim. Prod. **20** ; 287-291.
- MORRISON W.D., BATE L.A., Mc MILLAN I. and AMYOT E., 1987. Can. J. Anim. Sci., **67** ; 337-341.
- MOUNT L.E., INGRAM D.L., 1985. Res. Vet. Sci. **6** ; 84-91.
- MOUNT L.E., 1975. Livest. Prod. Sci. **2** ; 381-392.
- NRC, 1981. Effect of environment on nutrients requirements of domestic animals. Nat'l Research Council Nat'l Academy of Sciences, Washington. D.C. 152 pp.
- NICHOLS D.A., AMES D.R., HINES R.H., 1983. Proceedings of 2nd International Livestock Environment Symposium. ASAE Publ. N 3-82. pp 336-379.

- NIENABER J.A., LEROY HAHN G.L., 1983. ASAE Paper N MCR 83-137 ASAE, St Joseph, ML 49085.
- NIENABER J.A., LEROY HAHN G.L., KLEMCKE H.G., BECKER B.A., BLECHA F., 1986. ASAE Paper 86-4026, Amer. Soc. Agric. Engrs., St Joseph, MI.
- NOBLET J., LE DIVIDICH J., 1982. *Livest. Prod. Sci.*, **9** ; 619-632.
- NOBLET J., HENRY Y., DUBOIS S., 1987. *J. Anim. Sci.* 1987. **65** ; 717-726.
- NOBLET J., LE DIVIDICH J., BIKAWA Th., 1985. *J. Anim. Sci.* **61** ; 451-459.
- NOBLET J., DOURMAD J.Y., DUBOIS S., LE DIVIDICH J., 1988. *Journées Rech. Porcine en France*, **20** ; 345-350.
- PEDERSEN S., 1980. Optimal temperature and air velocity in houses for fattening pig. In : A. Aumaitre, J. Le Dividich, P. Texier. *Housing and climatic environment for the pig*. pp 37-49. INRA, Paris 223 pp.
- PHILLIPS P.A., YOUNG B.A., Mc QUITTY J.B., 1982. *Can. J. Anim. Sci.* **62**; 95-108.
- SEERLEY R.W., Mc DANIEL M.C., CAMPBELL H.C., 1978. *J. Anim. Sci.* **47** ; 427-434.
- SEYMOUR E.W., SPEER V.C., HAYS V.W., MANGOLD D.W., HAZEN T.E., 1964. *J. Anim. Sci.* **23** ; 375-380.
- STAHLY T., CROMWELL G.L., 1979. *J. Anim. Sci.* **49** ; 1478-1488.
- STAHLY T.S., CROMWELL G., AVIOTTI M.P., 1979. *J. Anim. Sci.* **49** ; 1242-1251.
- STAHLY T.S., CROMWELL G.L., 1987. Optimal dietary lysine levels for pigs as influenced by the thermal environment. In ; Swine research report. University of Kentucky.
- STEINBACH J., 1976. Effects of temperature on the growth of pigs. In ; H.D. Johnson. *Progress in animal biometeorology*. Vol. I. Effect of temperature on animals, Sweets Zeitlinger B.V., Amsterdam.
- SUGAHARA M., BAKER D.H., HARMON B.G., JENSEN A.H., 1970. *J. Anim. Sci.*, **31** ; 59- 62.
- SWIERGIEL A.H., 1987. *Physiol. Behav.* **40** ; 117-125.
- THOMAS P., 1984. *Pig news and information.* **5** ; 343-349.
- TILLON J.P., MADEC F., 1985. *Journées Rech. Porcine en France.* **17** ; 251- 264.
- TEXIER G., 1978. *Journées Rech. Porcine en France.* **10** ; 309-322.
- TONKS H.M., SMITH W.C., BRUCE J.M., 1972. *Vet. Rec.* **90** ; 531-537.
- VERSTEGEN M.W.A., CLOSE W.H., START I.B., MOUNT L.E., 1973. *Brit. J. Nutr.* **30** ; 21-35.
- VERSTEGEN M.W.A., VAN DER HEL W., 1974. *Anim. Prod.* **18** ; 1-12.
- VERSTEGEN M.W.A., VAN DER HEL W., 1976. *Publ. Eur. Ass. Anim. Prod.* **19**; 347- 350.
- VERSTEGEN M.W.A., VAN DER HEL W. and WILLEMS G.E.J.M., 1977. *Anim. Prod.* **24** ; 253-259.
- VERSTEGEN M.W.A., BRASCAMP E.M., VAN DER HEL W., 1978. *Can. J. Anim. Sci.* **58** ; 1-13.
- VERSTEGEN M.W.A., MATEMAN G., BRANDSMA H.A., HAARTSEN P.I., 1979. *Livest. Prod. Sci.*, **6** ; 51-60.
- VERSTEGEN M.W.A., BRANDSMA H.A., MATEMAN G., 1982. *J. Anim. Sci.* **55** ; 88-94.
- VERSTEGEN M.W.A., BRANDSMA H.A., MATERMAN G., VAN DER HEL W., 1984. *Arch. exp. Vet. med. Leipzig*, **38** ; 431-438.
- VERSTEGEN M.W.A., BRANDSMA H.A. and MATEMAN G., 1985. *Neth. J. Agric. Sci.* **33** ; 1-15.
- VERSTEGEN M.W.A., SIEGERINK A., VAN DER HEL W., GEERS R., BRANDSMA C., 1987. *J. Therm. Biol.* **12** ; 257-261.