

INRA Prod. Anim.,
2000, 13 (4), 233-245

N. QUINIOU¹, D. RENAUDEAU²,
A. COLLIN², J. NOBLET²

¹ Institut Technique du Porc, BP 3,
35651 Le Rheu cedex

² INRA, Unité Mixte de Recherches sur
le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles

courriel : nathalie.quiniou@itp.asso.fr
noblet@st-gilles.rennes.inra.fr

Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques

En Europe, malgré l'amélioration des caractéristiques des bâtiments (isolation, ventilation...), les problèmes liés aux températures élevées se posent de plus en plus fréquemment aux porcs «modernes», très productifs. Dans certains bassins de production porcine localisés sous des climats chauds (Australie, Asie du sud-est, Brésil...), les bâtiments sont le plus souvent ouverts et les animaux sont encore plus directement dépendants des conditions climatiques extérieures.

La plupart des porcs commercialisés actuellement sont issus d'une sélection génétique basée sur l'accroissement du potentiel de production et l'évolution s'est faite au profit d'animaux à croissance rapide, plus maigres

et consommant moins d'aliment. En phase de croissance, la prise spontanée d'aliment tend à coïncider, ou du moins à se rapprocher, de la quantité d'aliment nécessaire à l'expression optimale du potentiel de croissance. Cette situation présente l'avantage de permettre une conduite alimentaire en libre service des animaux, mais présente l'inconvénient d'accentuer la sensibilité de l'animal aux conditions d'élevage. Toute réduction de consommation est alors associée à une chute importante de la vitesse de croissance, notamment via un moindre dépôt de muscle. Chez la truie, l'augmentation par la sélection de la taille de la portée, et donc des besoins nutritionnels pour la production laitière, s'est effectuée de façon plus rapide que l'accroissement de la prise alimentaire, ce qui a contribué à accentuer le déficit nutritionnel pendant la lactation. Il s'ensuit que tout facteur influençant négativement la prise alimentaire de la truie en lactation sera susceptible de compromettre le bon déroulement de sa carrière.

La description des facteurs de variation de l'appétit des porcs en croissance (Henry 1985) et des truies en lactation (Quiniou *et al* 1998), d'une part, et l'incidence des paramètres d'ambiance sur les performances (Le

Résumé

L'exposition des porcs à des températures ambiantes élevées s'accompagne d'une chute des performances chez le porcelet sevré, le porc en croissance et la truie en lactation. Cet effet négatif de la chaleur s'exerce notamment via une diminution de la consommation spontanée d'aliment. Après avoir exposé les mécanismes impliqués dans la thermorégulation et les difficultés rencontrées pour définir la zone de confort thermique, cet article présente les effets de la température sur les caractéristiques de la prise alimentaire chez le Porc en s'appuyant sur les résultats d'un programme expérimental développé depuis 1996 à l'INRA de St-Gilles. Ainsi, il apparaît que le Porc a un comportement essentiellement diurne quelle que soit la température ambiante. Dans la gamme des températures étudiées, la moindre consommation alimentaire au chaud résulte, dans un premier temps, d'une diminution de la taille des repas alors que leur fréquence n'est pas modifiée. Cependant, d'après les résultats obtenus chez les truies allaitantes, l'accroissement de l'intensité du stress thermique provoque également une réduction du nombre de repas. Lorsque la température varie au cours de la journée autour d'une valeur moyenne de confort, le porc en croissance et la truie allaitante adaptent leur prise alimentaire aux conditions thermiques et parviennent à compenser leur moindre consommation en période chaude par une ingestion d'aliment accrue pendant les périodes fraîches de la journée. Cependant, sous des températures moyennes élevées (supérieures à la zone de thermoneutralité), la consommation alimentaire plafonne pendant les périodes fraîches et ne permet plus de compenser la chute de consommation lors des périodes chaudes.

Dividich et Rinaldo 1989, Verstegen et Close 1994, Le Dividich *et al* 1998), d'autre part, ont déjà fait l'objet d'articles de synthèse. Cependant, ces derniers décrivaient, entre autres, les effets sur la quantité d'aliment spontanément ingérée, mais sans disposer d'éléments comportementaux permettant d'analyser la chute d'appétit au chaud.

Parallèlement, les caractéristiques de la séquence alimentaire ont été déterminées chez le porcelet sevré élevé seul (Bigelow et Houpt 1988), le porc en croissance élevé en groupe (Labroue 1995) et la truie en lactation (Dourmad 1993) en maintenant les porcs dans leur zone de confort thermique ou dans des conditions de température non maîtrisées. En conséquence, après quelques considérations sur la notion du «chaud» selon le stade physiologique et un rappel des caractéristiques de la prise alimentaire chez le Porc, cet article s'intéressera principalement aux effets des températures élevées sur ces caractéristiques en s'appuyant sur les résultats d'un programme expérimental développé à l'INRA de Saint-Gilles depuis 1996.

1 / Définition de la zone de confort thermique

Le Porc est un animal homéotherme, c'est-à-dire qui maintient sa température interne à un niveau constant malgré les variations de la température ambiante. Cette capacité est liée à la fonction de thermorégulation qui permet d'équilibrer les échanges de chaleur avec le milieu grâce à de nombreux effecteurs coordonnés par le système nerveux central (figure 1). Lorsque la température augmente, l'homéothermie est maintenue par augmentation de la thermolyse et diminution de la thermogénèse. Les réactions impliquées sont d'ordre comportemental : réduction de l'activité locomotrice, changement de posture et diminution de la prise alimentaire ; ou autonome : augmentation du rythme respiratoire et vaso-

dilatation périphérique permettant d'accroître les pertes de chaleur par évaporation et par convection.

L'évolution de la production de chaleur avec la température ambiante est illustrée par la figure 2. La zone de thermoneutralité correspond à la plage de température pour laquelle la production de chaleur totale ne dépend pas de la température ; ses limites inférieure et supérieure sont respectivement appelées températures critiques inférieure (TCi) et supérieure (TCs). L'ensemble des auteurs (Holmes et Close 1977, Revell et Williams 1993, Verstegen et Close 1994, Makkink et Schrama 1998) s'appuie sur le concept présenté par Mount en 1974 pour

Figure 2. Influence de la température ambiante sur la production de chaleur, l'ingestion d'énergie et la quantité d'énergie disponible pour les productions (TCi, TCe et TCs : températures critiques inférieure, d'évaporation et supérieure) (d'après Revell et Williams 1993).

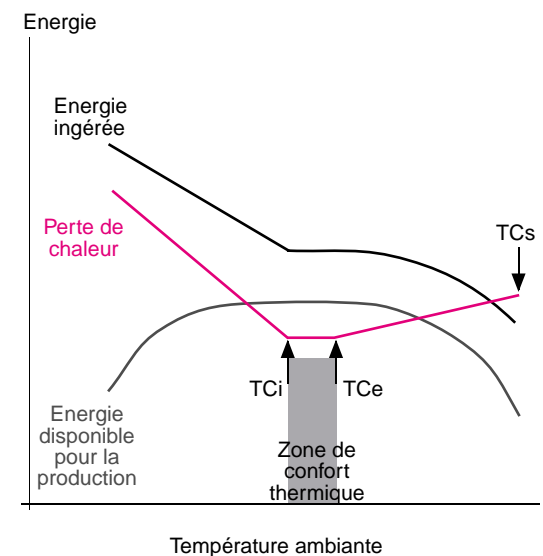
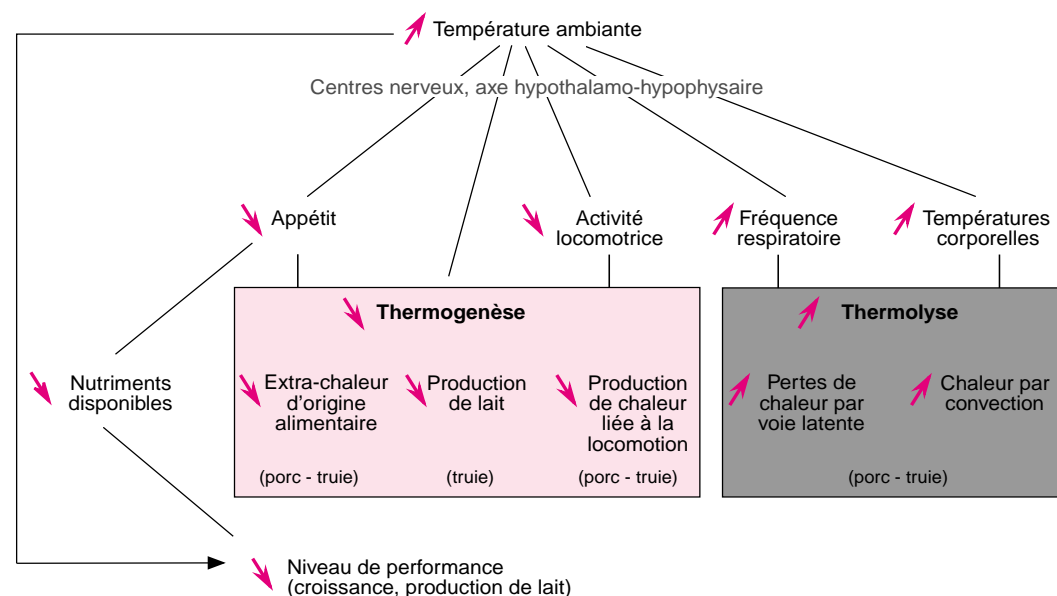


Figure 1. Conséquences de l'augmentation de la température ambiante sur les principaux mécanismes impliqués dans la thermorégulation des truies en lactation et des porcs en croissance.



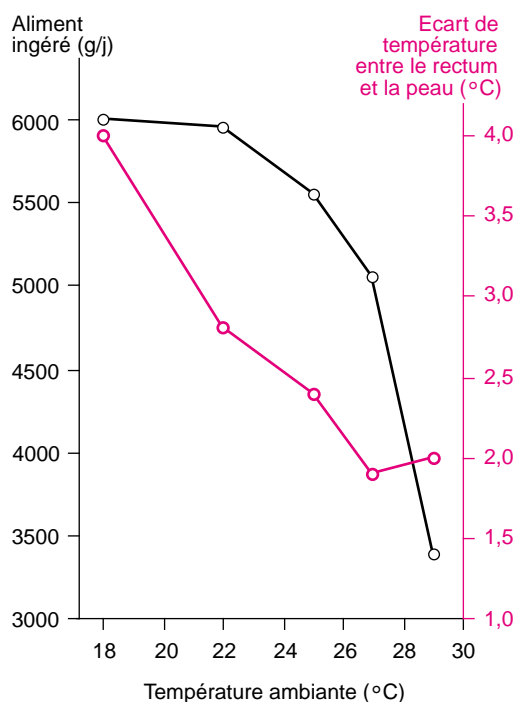
évaluer ces limites. En dessous de la TCi, l'homéothermie est maintenue par une augmentation de la production de chaleur associée, en conditions d'alimentation à volonté, à un accroissement de la consommation alimentaire. Au-dessus de la TCs, la température interne de l'animal augmente.

D'autres auteurs, dont Black *et al* (1986 et 1993), considèrent que la zone de thermoneutralité peut être scindée en deux. La première partie correspond à la plage de température dans laquelle les pertes de chaleur sont constantes ; elle est appelée zone de confort thermique. Dans cette zone, en réponse à l'augmentation de la température ambiante, la thermorégulation s'effectue par des mécanismes adaptatifs simples et peu coûteux en énergie tels que la vasodilatation des vaisseaux sanguins sous-cutanés (voie sensible) et des adaptations comportementales (changement de posture, réduction des contacts avec les congénères) qui permettent de maximiser la surface d'échange entre la peau et l'environnement (air ambiant, sol). Cette zone est délimitée par la TCi et la TCe (température critique d'évaporation). Dans la deuxième partie située entre la TCe et la TCs, la lutte contre le chaud commence à se mettre en place par l'augmentation des pertes de chaleur par évaporation (voie latente) et la diminution de la consommation d'aliment qui réduit la production de chaleur liée au métabolisme des nutriments. L'évaporation d'eau a lieu principalement au niveau pulmonaire chez le Porc, ses capacités de sudation étant faibles. Le bénéfice de l'augmentation du rythme respiratoire dépend, d'une part, de la fréquence respiratoire maximale pouvant être atteinte par l'animal et, d'autre part, du degré d'hygrométrie de l'air ambiant : plus l'air est sec, meilleure sera la thermolyse.

Au-dessus de la TCe, la vasodilatation périphérique s'accroît, ce qui permet d'augmenter les pertes de chaleur sensible par convection. Ainsi, Quiniou et Noblet (1999) ont montré que l'augmentation de la température ambiante s'accompagne, chez les truies en lactation, d'un accroissement de la température cutanée. Celui-ci n'est cependant pas suffisant pour prévenir une augmentation de la température interne. La température ambiante à partir de laquelle l'écart minimal de température entre le rectum et la peau est atteint (environ 2°C d'après Quiniou et Noblet 1999) coïncide avec l'accentuation de la réduction de la prise alimentaire et de la production de lait (au-dessus de 25°C, figure 3).

En s'appuyant sur la connaissance des températures critiques, il devrait être théoriquement possible de caractériser la quantité d'aliment ingéré en fonction de la température ambiante. Cependant, la définition de ces températures critiques dépend du critère retenu pour les caractériser (production de chaleur, rétention d'énergie, consommation d'aliment, rythme respiratoire...). Or, il est probable que l'effet de la température n'apparaisse pas simultanément sur l'ensemble des mécanismes impliqués dans la fonction de thermorégulation mais que ceux-ci se déclenchent progressivement. Par ailleurs, cet effet

Figure 3. Effet de la température ambiante sur la consommation spontanée d'aliment et sur la différence de température entre le rectum et la peau mesurées chez la truie en lactation (Quiniou et Noblet 1999).



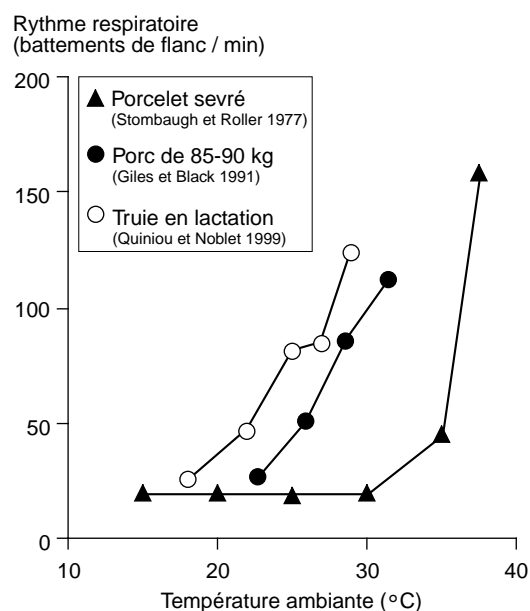
est influencé par de nombreux facteurs tels que le stade physiologique, le niveau alimentaire et l'état d'adiposité (Holmes et Close 1977), mais également par la vitesse de l'air, l'hygrométrie, le degré d'humidification de la peau, la composition de l'aliment ingéré... (Revell et Williams 1993). Les valeurs des températures critiques disponibles dans la bibliographie dépendent donc fortement des conditions expérimentales de chaque étude et de leur analyse et interprétation. Ainsi, en pratique, ces éléments nous conduisent à conclure que la plage de température qui doit être prise en compte pour l'établissement des recommandations relatives aux conditions d'ambiance correspond à une gamme relativement large de valeurs pour lesquelles le choix du critère de performance retenu sera déterminant.

2 / Température élevée et stade physiologique

Au moment du sevrage, les conditions d'élevage auxquelles sont soumis les porcelets changent radicalement, en particulier l'alimentation. La transition entre une alimentation à base de lait (liquide) et une alimentation à base de matières premières principalement d'origine végétale (la plupart du temps distribuée en sec) nécessite une période d'adaptation. Durant celle-ci, l'ingestion de nutriments diminue ainsi que la production de chaleur induite par leurs transformations métaboliques. Dans ces conditions, un déficit énergétique très marqué est observé pendant la première semaine suivant le sevrage par rapport aux exigences thermiques assez éle-

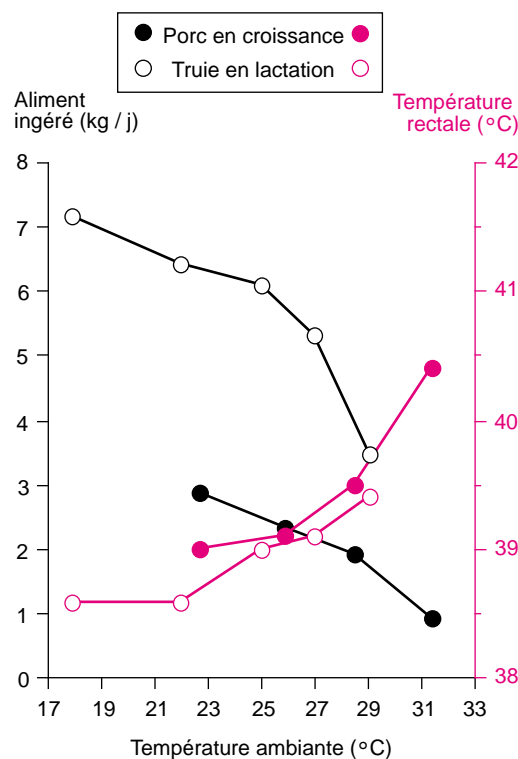
vées du porcelet sevré. D'après les résultats de Le Dividich *et al* (1980), la TCi se situerait autour de 28°C. Par ailleurs, les résultats de Stombaugh et Roller (1977) mettent en évidence une augmentation du rythme respiratoire et de la température corporelle lorsque la température s'élève au-dessus de 30°C (figure 4). Ainsi, la zone de confort thermique se situerait entre 28 et 30°C. De ce fait, l'exposition à des températures élevées n'est pas un réel problème chez le porc pendant les deux semaines qui suivent le sevrage. Au-delà, les limites de la zone de confort thermique se situent à des températures plus basses en raison de l'accroissement du niveau d'ingestion, et les températures élevées peuvent progressivement devenir un facteur limitant du niveau des performances (Collin *et al* 2001a) au même titre que chez le porc plus âgé.

Figure 4. Augmentation de la fréquence respiratoire avec la température ambiante selon le stade physiologique.



Chez le porc en croissance alimenté à volonté, l'ensemble des études met en évidence une diminution continue de la prise alimentaire avec l'augmentation de la température ambiante. La baisse d'ingestion est plus importante chez les porcs à croissance rapide exposés à une température élevée à un stade de croissance avancé. Une augmentation du rythme respiratoire est rapportée entre 23 et 26°C par Giles et Black (1991, cf figure 4), mais la température corporelle reste constante tant que la température ambiante ne dépasse pas 26°C (figure 5). Une baisse accentuée de consommation alimentaire est observée au-dessus de 25°C par Quiniou *et al* (2000a). A partir de ces résultats et ceux de Nichols *et al* (1982) et Nienaber *et al* (1987), il semble que la zone de confort thermique se situe en dessous de 25°C. Holmes et Close (1977) suggèrent que la TCs diminue lorsque le poids vif augmente. Cette hypothèse est confirmée par les résultats de Quiniou *et al* (2000a) selon lesquels la chute de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées est d'autant plus accentuée que les porcs sont lourds (figure 6).

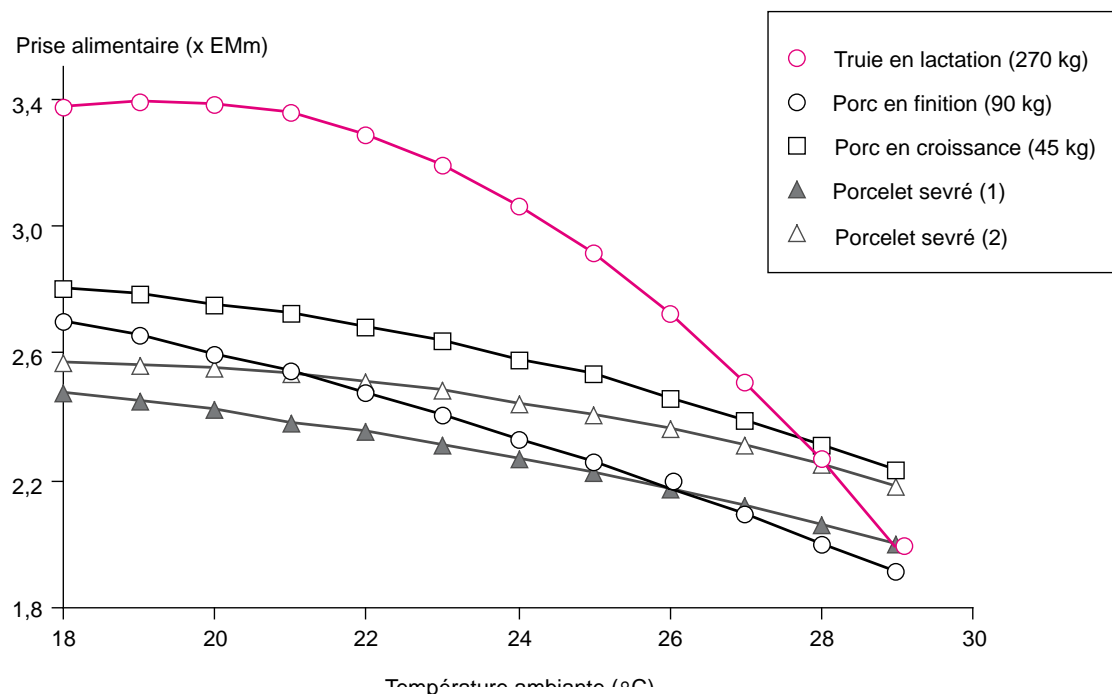
Figure 5. Evolution de la température rectale et de la consommation spontanée d'aliment avec la température ambiante chez le porc en croissance (Giles et Black 1991) et chez la truie en lactation (Quiniou et Noblet 1999).



La truie en gestation est rationnée de façon plus ou moins sévère, ce qui se traduit par une relativement faible production de chaleur liée aux transformations métaboliques des nutriments. Par ailleurs, après le sevrage, les truies, qui ont fortement mobilisé leurs réserves adipeuses au cours de la lactation, ne bénéficient plus des propriétés isolantes de la couche de lard dorsal, ce qui accroît d'autant leur sensibilité au froid. Aux niveaux de rationnement pratiqués classiquement (1,3 à 1,5 fois le besoin d'entretien), la TCi serait de 23°C lorsque la truie en gestation est élevée en loge individuelle (Noblet *et al* 1988). L'exposition au chaud n'est donc généralement pas un problème important à ce stade.

La truie en lactation produit une quantité importante de chaleur en relation avec la quantité élevée d'aliment ingéré. Il en résulte que les limites de la zone de confort thermique à ce stade sont basses. D'après Black *et al* (1993), elles seraient de 12 (TCi) et 20°C (TCe). Cette valeur de TCe est cohérente avec l'augmentation du rythme respiratoire (cf figure 4) et la baisse de consommation alimentaire (cf figure 5) mises en évidence dès que la température s'accroît de 18 à 22°C (Quiniou et Noblet 1999). La zone de confort thermique du porcelet allaité est particulièrement élevée pendant les premières heures de vie (TCi de 34°C), puis elle diminue au cours de la période d'allaitement (TCi de 30°C à l'âge de 5 jours de vie, Berthon *et al* 1994). En pratique, la température recommandée en maternité résulte donc d'un compromis entre la zone de confort thermique du porcelet et

Figure 6. Evolution de la prise alimentaire en fonction de la température ambiante et du stade physiologique à partir des équations proposées pour les porcelets sevrés (1 : Rinaldo et Le Dividich 1991, 2 : Collin et al 2001a), pour les porcs en croissance (Quiniou et al 2000a) et les truies en lactation (Quiniou et Noblet 1999). La prise alimentaire est exprimée en multiple du besoin d'entretien (EMm) estimé à 1 MJ/j/kg^{0,60} pendant la croissance (Noblet et al 1999) et à 0,44 MJ/j/kg^{0,75} pendant la lactation (Noblet et Etienne 1987).



celle de la truie, et, en pratique, elle est généralement fixée à 24°C lorsque les animaux sont élevés sur caillebotis total. Cela signifie que la truie allaitante est en permanence exposée au chaud alors que les problèmes de froid pour les porcelets sont limités par les systèmes de chauffage localisés qui permettent d'élever la température de 4 à 5°C dans les nids à porcelets.

3 / Caractéristiques de la prise alimentaire à la thermoneutralité

3.1 / Définition et mode de calcul des caractéristiques de la séquence alimentaire

Le comportement alimentaire regroupe une séquence d'activités relatives à l'identification, la préhension et l'ingestion de l'aliment (Picard *et al* 1997). Dans le domaine de l'alimentation du Porc, bien souvent seuls les mécanismes liés à l'ingestion sont étudiés et le comportement alimentaire est alors un terme utilisé, par abus de langage, pour décrire seulement les caractéristiques de la prise alimentaire.

La prise alimentaire correspond bien sûr à la quantité d'aliment ingérée, mais elle peut également être décrite par la séquence alimentaire. A l'échelle de la journée, celle-ci se définit par un ensemble de critères permettant de décrire l'acte alimentaire en terme de répartition des prises alimentaires dans le

temps. Ces critères sont le nombre de repas par jour, la consommation moyenne par jour et par repas, sa répartition sur le nyctémère, la durée d'ingestion par jour et la vitesse d'ingestion (consommation / durée). Au cours d'un même repas, l'animal peut effectuer des pauses qui sont prises en compte dans le calcul de la durée de consommation.

Différents systèmes de mesure de la séquence alimentaire existent. Dans la plupart d'entre eux, l'auge et/ou la trémie sont placées sur des capteurs de poids reliés à un microordinateur qui permettent de connaître, outre la quantité d'aliment consommée, le début et la fin de chaque prise alimentaire et donc sa durée (Feddes *et al* 1989, de Haer et Mercks 1992, de Haer et de Vries 1993, Labroue *et al* 1994 et 1995, Quiniou *et al* 1999a, 1999b, 2000a et 2000b, Collin *et al* 2001b). Les différents critères sont alors calculés à partir de l'enregistrement en continu des quantités d'aliment consommées par l'animal élevé seul ou en groupe. Dans ce dernier cas, l'identification du porc présent à l'auge s'effectue à l'aide d'une puce électronique fixée au niveau de l'oreille.

Contrairement aux systèmes décrits ci-dessus, dans lesquels l'aliment est toujours en libre accès pour l'animal se présentant devant l'auge, dans celui utilisé par Bigelow et Houpt (1988), l'aliment est délivré sur demande de l'animal après que celui-ci ait subi une procédure de conditionnement opérant qui consiste à apprendre au porc à presser sur un bouton placé près de l'auge pour obtenir une quantité d'aliment calibrée en fonction de son poids. Dans ce cas, le système enregistre les

heures auxquelles est délivré l'aliment en même temps que le nombre de distributions par jour. Le dispositif utilisé par Dourmad (1993) ne permet de détecter que la durée et la fréquence des prises alimentaires à l'aide d'une cellule infrarouge reliée à un microordinateur et placée au-dessus de l'auge : la coupure du signal indique quand la truie met sa tête dans l'auge. La taille des repas est ensuite calculée comme le rapport entre la quantité totale d'aliment ingérée et le nombre de repas.

L'ensemble de ces dispositifs enregistre les visites alimentaires des animaux. Les informations fournies par les différents individus et par les différents systèmes peuvent être comparées en ce qui concerne la vitesse d'ingestion, la durée d'ingestion et la consommation alimentaire quotidienne. Pour un animal donné, des visites rapprochées dans le temps sont susceptibles de faire partie d'un même repas. Le critère de repas est défini comme la durée maximale pouvant être observée entre deux visites appartenant au même repas. En d'autres termes, tant que l'intervalle de temps suivant une visite est inférieur au critère de repas, la probabilité que l'animal revienne effectuer une visite est très élevée, et cet intervalle ne constitue qu'une pause dans son repas. Le critère de repas est estimé suivant la méthode mathématique décrite par Bigelow et Houpt (1988) : il s'agit d'étudier les fréquences cumulées des intervalles entre visites représentées graphiquement par une fonction de survie. Chez le porcelet élevé en groupe, le porc en croissance élevé en groupe et chez la truie en lactation, la valeur du critère de repas calculée par Collin *et al* (2001b), Labroue (1995) et Quiniou *et al* (2000a et 2000b) est de 2 minutes, les enregistrements étant réalisés avec des dispositifs comparables. Avec les systèmes différents présentés ci-dessus, le critère de repas calculé par Bigelow et Houpt (1988) et Dourmad (1993) est de 10 minutes. Outre l'effet du système de mesure, une telle différence s'explique en partie, dans le premier cas, par l'absence de concurrence pour l'accès à l'auge chez les animaux élevés en loges individuelles.

D'après Castonguay *et al* (1986), le regroupement des visites en repas à l'aide du critère de repas conduit à un biais lié au fait que le rythme des visites est susceptible de varier d'un jour à l'autre pour un même individu, qu'il n'est pas le même chez tous les individus et, enfin, qu'il peut refléter une adaptation spécifique aux conditions expérimentales. Or, plus la fréquence des intervalles entre prises alimentaires est élevée, plus la valeur du critère de repas diminue (Castonguay *et al* 1986). Ainsi, le paramétrage de la détection de la stabilité de la trémie par les capteurs de poids peut entraîner l'enregistrement d'un plus ou moins grand nombre de visites ne reflétant pas nécessairement des différences de rythme propres à l'animal. Malgré ces réserves, le nombre et la taille des repas présentés dans la suite de l'article sont calculés suivant la méthode du critère de repas, la plupart des résultats étant obtenus avec le même type d'appareil (voir plus haut).

3.2 / Effet du stade physiologique

Le tableau 1 présente une estimation des caractéristiques de la prise alimentaire à différents stades physiologiques en conditions d'alimentation à volonté. La quantité d'aliment ingérée s'accroît avec l'augmentation du poids vif. En fait, pendant la croissance, la quantité ingérée par repas augmente proportionnellement beaucoup plus que la fréquence des repas ne diminue, d'où un accroissement global de la consommation d'aliment. Cette évolution peut être mise en relation avec l'augmentation de la capacité d'ingestion qui se poursuit jusqu'à ce que l'animal atteigne sa maturité. La taille des repas est ainsi plus élevée chez la truie multipare en lactation (Quiniou *et al* 2000b) que chez la truie primipare (Dourmad 1993), et comparable à celle du porc mature étudié par Auffray et Marcilloux (1980).

L'augmentation du poids vif se traduit également par un accroissement de la vitesse d'ingestion (figure 7). La plupart des données

Tableau 1. Caractéristiques de la prise alimentaire à la thermoneutralité (environ 22°C) à différents stades physiologiques.

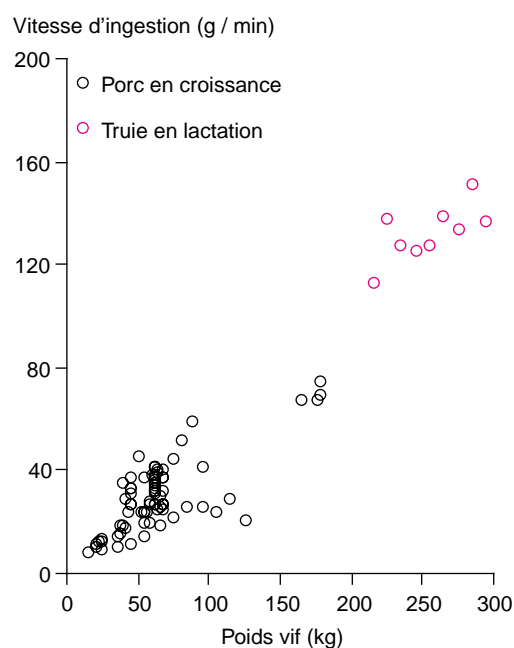
Référence	Porcelet sevré Collin <i>et al</i> (2001b)	Porc en croissance Quiniou <i>et al</i> (2000a)		Porc mature Auffray et Marcilloux (1980)	Truie en lactation	
					Primipare Dourmad (1993) Sevrage à 28 jours	Multipare Quiniou et Noblet (1999) Sevrage à 21 jours
Taille du groupe	5	3-4		1	4-6 ⁽²⁾	4-6 ⁽²⁾
Poids vif moyen (kg)	27	49	75	275	210	254
Nombre de repas par jour ⁽¹⁾	14	12	11	5	9	7
Aliment consommé						
- par jour (kg)	1,50	2,01	2,77	4,29	4,48	6,60
- par repas ⁽¹⁾ (g)	112	184	310	887	498	972
- le jour (%)	66	61	70	73	73	80
Durée d'ingestion (min/j)	58	62	65	60	49	53
Vitesse d'ingestion (g/min)	27	33	43	72	95	129

⁽¹⁾ Rythmicité évaluée à l'aide de critères de repas obtenus par la méthode décrite par Bigelow et Houpt (1988).

⁽²⁾ Nombre de truies dans la même salle mais en loges individuelles.

disponibles dans la bibliographie sur ce critère sont obtenues chez des porcs en croissance. Ces données permettent de calculer que la vitesse d'ingestion augmente proportionnellement au poids vif élevé à une puissance proche de 0,75 (1,2 PV^{0,75}). A partir de l'ensemble des données disponibles (y compris celles obtenues chez les truies allaitantes), l'augmentation de la vitesse d'ingestion par tranche de 10 kg de poids vif supplémentaire est environ de 5 g/min.

Figure 7. Relation entre la vitesse d'ingestion et le poids vif en conditions d'alimentation à volonté. Données obtenues chez le porc en croissance (Auffray et Marcilloux 1980, Hsia et Wood-Gush 1983, Bigelow et Houpt 1988, Feddes et al 1989, Nienaber et al 1991, de Haer et Mercks 1992, de Haer et de Vries 1993, Labroue et al 1994, Nielsen et al 1995a et 1995b, Ellis et Hyun 1996, Nienaber et al 1996, Hyun et al 1997, Levasseur et al 1998, Quiniou et al 1999a et 1999b) et chez la truie en lactation (Quiniou et al 2000b).



3.3 / Effet du type sexuel et du type génétique

Les niveaux d'ingestion sont comparables chez les femelles et chez les mâles entiers et il en va de même de leur séquence alimentaire (de Haer et de Vries 1993). En revanche, la prise alimentaire est plus importante chez les mâles castrés que chez les mâles entiers, avec des repas de taille plus importante, mais de fréquence inchangée (Labroue et al 1994, Quiniou et al 1999a). En ce qui concerne l'effet de la race, il semble que le même niveau d'ingestion puisse correspondre à différentes stratégies alimentaires. Ainsi, dans les mêmes conditions de mesure, la comparaison de la séquence alimentaire de porcs Meishan (type gras) et de porcs de Piétrain (type maigre) montre que les premiers font peu de repas mais de taille importante alors que les seconds fractionnent beaucoup plus leur prise alimentaire (tableau 2).

Tableau 2. Effet du type génétique et du sexe sur les caractéristiques de la prise alimentaire des porcs en croissance élevés individuellement (Quiniou et al 1999a).

Race	Piétrain	Large White	Large White	Meishan
Sexe	Mâle	Mâle	Mâle castré	Mâle castré
Poids moyen (kg)	41	39	41	38
Nombre de repas par jour ⁽¹⁾	14,4 ^a	11,5 ^b	12,8 ^{ab}	7,3 ^c
Aliment consommé				
- par jour (kg)	1,66 ^a	1,75 ^a	1,97 ^b	1,62 ^a
- par repas ⁽¹⁾ (g)	125 ^a	166 ^b	165 ^b	250 ^c
Durée de consommation (min/j)	106	120	120	123
Vitesse d'ingestion (g/min)	19 ^a	18 ^a	20 ^a	16 ^b

a, b, c : Sur une même ligne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$.

⁽¹⁾ Rythmicité évaluée à l'aide de critères de repas obtenus par la méthode décrite par Bigelow et Houpt (1988).

3.4 / Autres facteurs de variation des caractéristiques de la prise alimentaire

Les facteurs sociaux jouent un rôle important dans le comportement alimentaire en général, et sur sa composante liée à l'ingestion en particulier. Ainsi, la quantité d'aliment ingérée est supérieure lorsque l'animal parvient à établir des contacts visuels et auditifs avec ses congénères. Hsia et Wood-Gush (1983) ont qualifié ce phénomène de facilitation sociale, ce que l'on pourrait également interpréter comme un effet d'entraînement des individus entre eux. Cependant, le logement en groupe ne stimule la prise alimentaire que dans une certaine limite liée à l'intensité des phénomènes de compétition qui peuvent apparaître lorsque le nombre d'individus par case s'accroît.

La concentration énergétique influence la quantité d'aliment spontanément consommée (Henry 1985) ainsi que la séquence alimentaire. En effet, la dilution du régime par des sources de fibres s'accompagne d'une diminution de la vitesse d'ingestion chez le porc en croissance (Levasseur et al 1998). Outre l'effet des fibres sur le transit digestif, d'une façon plus générale les données disponibles dans la bibliographie semblent indiquer qu'une réduction de la teneur en énergie nette de l'aliment s'accompagne d'une diminution de la vitesse d'ingestion (Quiniou et al 1999a). Cependant cet effet de la teneur en énergie de l'aliment peut varier selon la température. En effet, l'augmentation de la concentration énergétique de l'aliment se traduit par une atténuation des effets négatifs des températures élevées (Stahly et Cromwell 1979, Le Dividich et Noblet 1986, Noblet et al 1987), mais les effets sur les caractéristiques de la prise alimentaire ne sont pas encore connus. Il en est de même pour les effets de l'appétence de l'aliment ou de sa composition chimique (carence en acides aminés).

4 / Caractéristiques de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées maintenues constantes pendant la journée

4.1 / Plus la température s'accroît plus la chute de consommation est importante

Les effets de la chaleur sur le porcelet sevré ont fait l'objet de peu de travaux (Rinaldo et Le Dividich 1991, Collin *et al* 2001a), probablement en raison de sa zone de confort thermique élevée pendant les deux premières semaines suivant le sevrage. Pourtant, au-delà de ces deux semaines, l'augmentation de la température ambiante provoque une diminution de la consommation alimentaire d'autant plus importante que la température est élevée (cf figure 6). De plus, d'après les résultats de Collin *et al* (2001a), la consommation d'aliment diminue dès que la température excède 25°C. Les différences de structure entre les équations de prédiction de l'ingéré proposées dans ces deux études (tableau 3) peuvent être mises en relation avec le fait que le poids vif est ou n'est pas pris en compte dans l'analyse ainsi qu'avec le nombre de paliers de températures étudiés et l'écart entre eux. De ce point de vue, la structure du jeu de données obtenu par Collin *et al* (2001a) (neuf températures entre 19 et 35°C) permet probablement de décrire plus précisément l'effet des températures élevées que dans l'étude de Rinaldo et Le Dividich (1991) (quatre températures entre 12 et 31,5°C).

L'effet de l'augmentation de la température ambiante sur la consommation a été plus étudié chez le porc en croissance. D'après la revue de Le Dividich *et al* (1998), la diminution de la quantité d'aliment ingéré varie entre 40 et 80 g par degré supplémentaire et par

jour pendant la phase de croissance. Outre la variabilité au sein d'un même groupe de porcs, cet écart peut être attribué notamment à la gamme de température. En effet, si Close (1989) propose une relation linéaire entre la baisse de consommation et l'accroissement de la température, d'autres résultats indiquent qu'en fait elle s'accroît au fur et à mesure que la température s'accroît (cf tableau 3 et figure 6). De plus, des résultats récents (Quiniou *et al* 2000a) démontrent qu'en accord avec ce qui peut être observé sur le terrain, la baisse de la prise alimentaire au chaud est d'autant plus importante que les porcs sont lourds : entre 25 et 29°C, elle est évaluée à 40 g/°C/j chez les porcs de 30 et 100 g/°C/j chez les porcs de 90 kg, soit respectivement 7 et 9 % du besoin d'entretien. En d'autres termes, plus les porcs sont lourds, plus ils sont sensibles à des conditions de chaleur excessive.

Chez la truie en lactation, Black *et al* (1993) proposent une relation linéaire entre la température et la consommation alimentaire quotidienne ; celle-ci diminuerait de 170 g par degré (cf tableau 3). Or, cette équation provient d'une compilation des résultats de la bibliographie issus pour la plupart d'expériences dans lesquelles seules deux valeurs de températures étaient étudiées. Plus récemment, la comparaison de résultats obtenus à cinq valeurs de températures échelonnées entre 18 et 29°C démontre que la diminution de la consommation alimentaire est d'autant plus importante que la température ambiante est élevée, chez la truie en lactation comme chez le porc en croissance (cf figure 6). Entre 20 et 24°C (soit 4°C au-dessus de la T_{Ce}), elle est de 170 g/°C/j, alors qu'entre 24 et 29°C, la baisse de consommation est de 460 g/°C/j. Tout se passe en fait comme si, au fur et à mesure de l'augmentation de la température, les mécanismes impliqués dans la thermorégulation étaient progressivement saturés : la réduction de plus en plus marquée de l'ingestion étant le dernier volant de manœuvre de l'animal.

Tableau 3. Equations de prédiction de la consommation spontanée d'aliment en fonction du poids vif (PV, kg) et de la température ambiante (T, °C).

EM = teneur en énergie métabolisable dans l'aliment.

Référence	Gamme de T (°C)	Stade	Gamme de poids (kg)	Taille du groupe	EM (MJ/kg)	Equation de prédiction de la consommation d'aliment (g/j)
Rinaldo et Le Dividich (1991)	12-31,5	Post sevrage	10-30	1	12,4	$1163 + 168 T - 0,8 T^2$
Collin <i>et al</i> (2001a)	19-35	Post sevrage	15-30	5	14,2	$PV^{0,83} (97 + 5,24 (T - 29) - 0,132 (T^2 - 29^2))$
Quiniou <i>et al</i> (2000a)	12-29	Croissance	30-90	3 ou 4	13,2	$-1264 + 117 T - 2,4 T^2 + 73,6 PV - 0,26 PV^2 - 0,95 T PV$
Nienaber <i>et al</i> (1987)	5-30	Croissance	44-87	2	12,7	$PV^{0,75} (772 + 2,17 T - 0,371 T^2 - 8,68.10^{-4} T^3) / 7$
Nienaber et Hahn (1983)	5-30	Croissance	43-85	2	12,7	$1521 + 54,6 T - 2,57 T^2 + 10,57 PV$
Close (1989)	5-30	Croissance	20-90	1 ou 2	12,6	$727 + 5,68 T + 39,4 PV - 0,91 T PV$
Black <i>et al</i> (1993)	16-32	Lactation		1	13,8	$8791 - 168 T$
Quiniou et Noblet (1999)	18-29	Lactation	211-302	1	13,8	$-49052 + 1213 T - 31,5 T^2 + 330 PV - 0,61 PV^2$

4.2 / Le Porc a un comportement essentiellement diurne quelle que soit la température

A partir d'animaux élevés en confinement, donc isolés des bruits provenant du milieu extérieur, les données de Auffray et Marcilloux (1980), Bigelow et Houpt (1988) et Quiniou *et al* (2000a) obtenues sur des porcs en croissance et celles de Collin *et al* (2001b) obtenues chez des porcelets sevrés montrent que la consommation d'aliment est plus importante le jour que la nuit (tableau 4). En effet, que les animaux soient élevés individuellement ou en groupe, les deux tiers de la prise alimentaire ont lieu pendant la période diurne, qui représente la moitié du nyctémère. D'après Quiniou *et al* (2000b), le caractère diurne de la consommation alimentaire s'accroît chez la truie lorsque des températures très élevées sont appliquées constamment (88 % de la consommation totale à 29°C). Au contraire, la température ambiante n'influence pas la répartition nyctémérale de l'ingéré alimentaire chez le porcelet sevré ou chez le porc en croissance.

4.3 / L'effet de la température sur la séquence alimentaire dépend du stade physiologique

L'augmentation de la température ambiante provoque une baisse de la consommation d'aliment quel que soit le stade physiologique, mais cette diminution s'effectue de façon différente chez le porcelet sevré, le porc en croissance et la truie allaitante. En effet, chez le porcelet sevré et le porc en croissance, l'exposition à des températures supérieures à la zone de confort thermique (environ 25°C) entraîne une diminution de la consommation via une réduction de la taille des repas alors que leur fréquence reste inchangée (Nienaber *et al* 1993 et 1996, Quiniou *et al* 2000a, Collin *et al* 2001b). Au contraire, chez la truie, au-dessus de 25°C la diminution de l'ingestion alimentaire résulte à la fois d'une diminution

de la fréquence des repas et d'une légère diminution de leur taille (cf tableau 4). Cette dernière est plus intense la nuit que le jour ce qui, combiné avec un nombre inférieur de repas nocturnes, contribue à accentuer le caractère diurne de la prise alimentaire (Quiniou *et al* 2000b).

Il est probable que cette différence entre les stades physiologiques s'explique, du moins en partie, par l'écart entre les températures étudiées et la zone de confort thermique. Ainsi, à 29°C, l'écart de température entre la TCe et 29°C est deux fois plus important pour la truie (TCe=20°C) que pour le porcelet sevré ou le porc en croissance (TCe=25°C) ; le stress thermique ressenti par la truie est alors beaucoup plus intense que pour le porc en croissance. A partir des équations présentées dans le tableau 3, on peut estimer que la baisse de consommation moyenne par degré entre la TCe et 29°C, exprimée relativement à l'entretien (cf figure 6), est deux fois plus importante chez la truie allaitante (15 % pour un poids vif de 270 kg) que chez le porc en croissance (7 % pour un poids vif de 60 kg). Ces éléments suggèrent une apparition graduelle des effets de la température ambiante : une sensation modérée de chaud entraînerait tout d'abord une réduction de la taille des repas qui serait suivie d'un abaissement de la fréquence des prises alimentaires en cas d'accentuation de la sensation de chaleur.

La vitesse d'ingestion ne varie pas avec la température ambiante. Aussi, au chaud, le porcelet sevré, le porc en croissance et la truie allaitante consacrent quotidiennement moins de temps à l'ingestion d'aliment, compte tenu de la diminution de la prise alimentaire. La quantification de la durée de la position debout chez la truie montre que son activité locomotrice diminue d'autant, mais la durée de la station debout pendant laquelle la truie ne consomme ni eau ni aliment reste la même quelle que soit la température (Quiniou *et al* 2000b). De même, chez le porcelet sevré, Collin *et al* (2001b) mettent en évidence que la réduction de l'activité locomotrice au chaud correspond à la réduction de la durée

Tableau 4. Caractéristiques de la prise alimentaire à différents stades physiologiques selon la température ambiante.

Poids vif Référence	Porcelet sevré de 20 à 30 kg Collin <i>et al</i> (2001b)		Porc en croissance de 30 à 90 kg Quiniou <i>et al</i> (2000a)		Truie en lactation 260 kg en moyenne Quiniou <i>et al</i> (2000b)	
Température ambiante (°C)	23	33	22	29	18	29
Nombre de repas par jour ⁽¹⁾	14,0	15,0	11,3	10,1	6,8 ^a	4,5 ^b
Aliment consommé						
- par jour (kg)	1,50 ^a	1,05 ^b	2,39 ^a	1,82 ^b	7,78 ^a	3,50 ^b
- par repas ⁽¹⁾ (g)	112 ^a	76 ^b	248	205	1372	883 ^b
- le jour (%)	66	67	65	62	84 ^a	91 ^b
Durée d'ingestion (min/j)	58 ^a	42 ^b	63 ^a	46 ^b	61 ^a	29 ^b
Vitesse d'ingestion (g/min)	27	26	38	40	130	122

a, b : pour le même stade physiologique, l'écart dû à la température est significatif à P < 0,05.

⁽¹⁾ Rythmicité évaluée à l'aide de critères de repas obtenus par la méthode décrite par Bigelow et Houpt (1988).

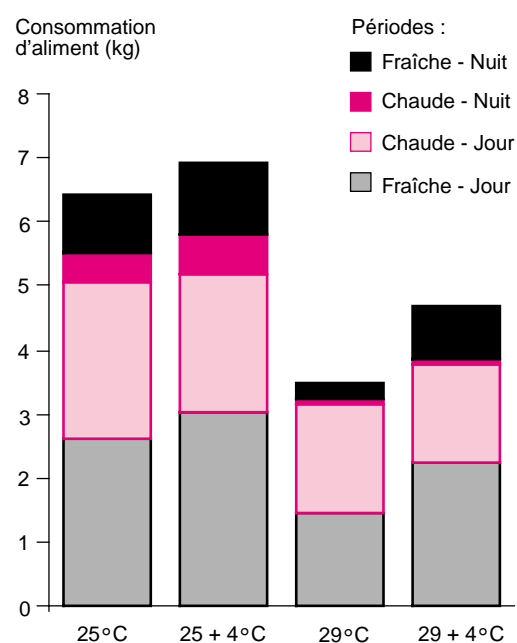
d'ingestion. Néanmoins, si l'activité locomotrice diminue au chaud, le niveau global d'activité physique augmente du fait de l'accroissement du rythme respiratoire (Quiniou *et al* 2000c).

5 / Caractéristiques de la prise alimentaire lors de l'exposition à des températures élevées et fluctuantes au cours de la journée

Dans la plupart des études ayant permis de quantifier les effets des températures élevées, les résultats sont obtenus en exposant les animaux en permanence à la même température tout au long de la journée. L'élevage des animaux en bâtiments fermés permet théoriquement de s'affranchir des caractéristiques du milieu extérieur et de ses variations. Pourtant, les capacités de 'tampon' des bâtiments ne permettent pas toujours d'éviter des variations de la température ambiante intérieure selon la saison et/ou la période de la journée. Par ailleurs, dans les régions chaudes, les bâtiments sont généralement ouverts et les animaux sont dans ce cas directement exposés aux variations nyctémérales de la température.

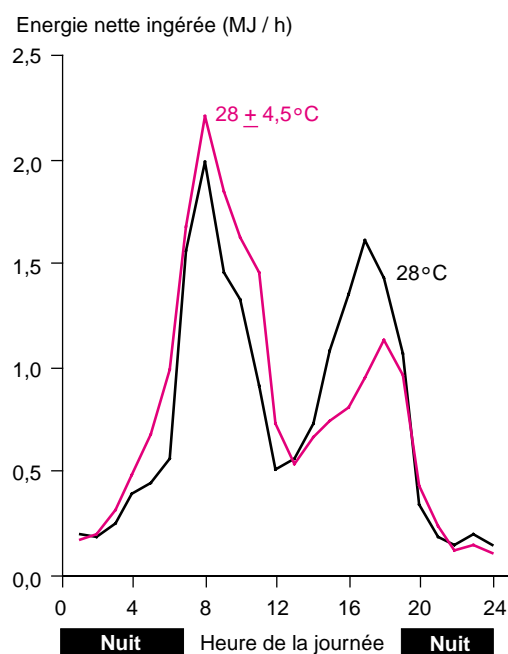
Pour caractériser les effets de la variation ou non de la température, les modèles de cinétique étudiés actuellement sont assez simples. Ils consistent pour la plupart à comparer les résultats obtenus lorsque la température varie de façon cyclique autour d'une valeur moyenne avec ceux obtenus lorsque la température est maintenue constante à cette même valeur moyenne. Les travaux récents menés sur le porc en croissance (Quiniou *et al* 2000d) et chez la truie allaitante (Quiniou *et al* 1999b) ont montré que tant que l'amplitude de variation de la température au cours de la journée n'est pas trop grande et qu'elle reste autour d'une valeur moyenne proche de la zone de confort thermique, la consommation alimentaire reste identique à celle observée lorsque la température est maintenue constante à une valeur correspondant à la moyenne de la cinétique étudiée. Ce résultat est à mettre en relation avec le fait que les animaux en croissance ou en lactation compensent leur moindre consommation en période chaude par une consommation accrue en période fraîche, y compris la nuit (figure 8). Cette adaptation permet de maintenir le même niveau de performance. En effet, la production de lait et la mobilisation des réserves sont identiques quand les truies en lactation sont exposées en permanence à 25°C ou soumises à une température fluctuant de 21 à 29°C au cours de la journée (Quiniou *et al* 1999b). De la même façon, Quiniou *et al* (2000d) ne mettent pas en évidence d'effet d'une fluctuation de la température entre 21 et 27°C (moyenne de 24°C) sur les performances du porc en croissance. Mais si la température moyenne s'accroît et/ou si l'amplitude de variation augmente, la capacité d'ingestion de l'animal ne permet pas de maintenir la consommation d'aliment à un niveau comparable à celui observé dans des

Figure 8. Effet de la variation de la température au cours de la journée et de l'éclairage sur la répartition nyctémérale de la prise alimentaire. La distinction entre les périodes «chaude» ou «fraîche» s'applique pour 25±4°C (T varie entre 21 et 29°C) et 29±4°C (T varie entre 25 et 33°C) ; pour 25°C et 29°C, T reste constante à, respectivement, 25 ou 29°C (Quiniou et al 1999b).



conditions de confort thermique (Xin et DeShazer 1991, Quiniou *et al* 1999b et 2000d) : la consommation pendant les périodes fraîches plafonne et la baisse importante de consommation pendant les périodes chaudes n'est plus compensée (figure 9).

Figure 9. Evolution de la prise alimentaire au cours de la journée lorsque la température fluctue pendant la journée (la température est minimale vers 7h00 et maximale vers 19h00, Quiniou et al 2000d).



6 / Peut-on moduler les effets des températures élevées ?

Les modifications de consommation alimentaire lors de l'exposition au chaud peuvent être mises en relation avec la thermogénèse. En effet, la diminution de la quantité d'aliment ingérée s'accompagne, à l'échelle de la journée, d'une moindre production de chaleur liée à l'effet thermique de l'aliment (TEF, pour Thermic Effect of Feed). L'une des solutions permettant d'atténuer les effets négatifs de la température sur l'ingéré serait donc d'utiliser des aliments présentant des faibles TEF. Parmi les voies de formulation possibles, l'augmentation de la teneur en matières grasses et/ou la réduction de la teneur en protéines et en fibres peuvent être envisagées (Noblet *et al* 1994). Ainsi, chez le porcelet sevré et le porc en croissance (Stahly et Cromwell 1979, Le Dividich et Noblet 1986, Noblet *et al* 1987), l'utilisation d'aliments concentrés en énergie s'accompagne d'une ingestion accrue d'énergie qui compense partiellement la baisse d'ingestion alimentaire et permet d'atténuer un peu la dégradation des performances au chaud. Cependant, l'intérêt zootechnique de tels aliments ne doit pas faire oublier les difficultés de conservation associées à l'incorporation d'un taux élevé de matières grasses.

Pour la truie allaitante, la réduction de la teneur en protéines, avec maintien des apports d'acides aminés essentiels, ne permet pas de réduire l'intensité de la mobilisation des réserves corporelles entre la mise bas et le sevrage (Quiniou et Noblet 1999). Au contraire, l'augmentation des teneurs de l'aliment en énergie nette (Schoenherr *et al* 1989) et en acides aminés essentiels (Quiniou *et al* 2000e) permet l'amélioration des performances de portée, mais toujours sans réduction des effets négatifs du chaud sur l'état de la truie au sevrage.

Outre la voie alimentaire, d'autres techniques sont parfois proposées. Ainsi, des systèmes permettant d'augmenter les pertes de chaleur par convection (courant d'air de 0,9 m/s dirigé vers le groin) ou par évaporation (aspersion d'eau au goutte à goutte sur le cou et les épaules) ont été testés chez les truies allaitantes : la prise alimentaire d'animaux exposés à 30°C est alors améliorée de, respectivement, 55 et 90 % (Mc Glone *et al* 1988). À l'échelle du bâtiment, l'humidification de l'air neuf (cooling) ou ambiant (brumisation) permet de baisser la température, mais son efficacité dépend en grande partie de la teneur en vapeur d'eau initiale. Par ailleurs, l'avantage global de cette technique dépend du bilan entre l'effet positif sur les performances lié à la baisse de température et l'effet négatif lié à l'augmentation de l'hygrométrie.

Conclusion

L'exposition du porc à des températures élevées induit de nombreuses adaptations tant physiologiques que comportementales. En particulier, les résultats actuellement disponibles indiquent qu'il n'existe pas une température «plafond» au-delà de laquelle tous les mécanismes impliqués dans la thermorégulation de l'animal se mettent en place simultanément. Au contraire, il semble plutôt que leur enchaînement soit progressif, tant en ce qui concerne les adaptations permettant une réduction de la thermogénèse que celles impliquées dans la thermolyse. Néanmoins, chez le porcelet sevré, le porc en croissance ou la truie allaitante, il semble qu'au-delà de 25°C la dégradation des performances s'accroît de façon très importante. Les capacités d'adaptation de la séquence alimentaire des animaux permettent d'envisager des solutions techniques de conduite de l'alimentation pour limiter les effets du chaud, soit en adaptant la distribution des repas aux moments les plus judicieux de la journée (périodes fraîches), soit en formulant des régimes à faible extra-chaleur.

Références

- Auffray P., Marcilloux J.C., 1980. Analyse de la séquence alimentaire du porc, du sevrage à l'état adulte. *Reprod. Nutr. Develop.*, 20(5B), 1625-1632.
- Berthon D., Herpin P., Le Dividich J., 1994. Shivering thermogenesis in the neonatal pig. *J. Therm. Biol.*, 6, 413-418.
- Bigelow J.A., Houtt T.R., 1988. Feeding and drinking patterns in young growing pigs. *Physiol. Behav.*, 43, 99-109.
- Black J.L., Campbell R.G., Williams I.H., James K.J., Davies G.T., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. *Research and development in Agriculture*, 3, 121-145.
- Black J.L., Mullan B.P., Lorsch M.L., Giles L.R., 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livest. Prod. Sci.*, 35, 153-170.
- Castonguay T.W., Kaiser L.L., Stern J.S., 1986. Meal patterns analysis, artifacts, assumptions and implications. *Brain Res. Bull.*, 17, 439-443.
- Close W.H., 1989. The influence of the thermal environment on the voluntary food intake of pigs. In : Forbes J.M., Varley M.A. and Lawrence T.L.J. (eds), *Occasional Publication n°13 - British Society of Animal Production*, 87-96.
- Collin A., van Milgen J., Le Dividich J., 2001a. Modelling the effect of high, constant temperature on feed intake in young growing pigs. *Anim. Sci.*, accepté pour publication.
- Collin A., van Milgen J., Dubois S., Noblet J., 2001b. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed piglets. *Br. J. Nutr.*, accepté pour publication.
- Dourmad J.-Y., 1993. Standing and feeding behaviour of the lactating sow: effect of feeding level during pregnancy. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 37, 311-319.
- Ellis M., Hyun Y., 1996. Feed intake behavior and implication for energy utilization. In *Pork Industry Conference on Swine Energetic*, December 4-5, College of Agricultural,

- Consumer and Environmental Sciences (editor), University of Illinois, United States, 74-88.
- Feddes J.J.R., Young B.A., DeShazer J.A., 1989. Influence of temperature and light on feeding behaviour of pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 23, 215-222.
- Giles L.R., Black J.L., 1991. Voluntary food intake in growing pigs at ambient temperatures above thermal neutral. In : Batterham E.S (editor), *Manipulating Pig Production III*, 162-165. Australasian Pig Science Association, Institute of Animal Science, Attwood, Australia.
- Haer L.C.M. de, Merks J.W.M., 1992. Patterns of daily food intake in growing pigs. *Anim. Prod.*, 54, 95-104.
- Haer L.C.M. de, de Vries A.G., 1993. Effects of genotype and sex on the feed intake pattern of group housed growing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 36, 223-232.
- Henry Y., 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 12, 339-354.
- Holmes C.W., Close W.H., 1977. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. In : Haresign W., Swan H. and Lewis D. (eds), *Nutrition and climatic environment*, 51-74. Butterworths, London, UK.
- Hsia L.C., Wood-Gush D.G.M., 1983. The temporal patterns of food intake and allometric food intake and allometric feeding by pigs of different ages. *Appl. Anim. Ethol.*, 11, 271-282.
- Hyun Y., Ellis M., McKeith F.K., Wilson E.R., 1997. Feed intake pattern of group-housed growing-finishing pigs monitored using a computerised feed intake recording system. *J. Anim. Sci.*, 75, 1443-1451.
- Labroue F., 1995. Facteurs de variation de la prise alimentaire chez le porc en croissance : le point des connaissances. *Techni-Porc*, 18, 11-39.
- Labroue F., Guéblez R., Meunier-Salaün M.-C., Sellier P., 1994. Effet des facteurs liés au groupe sur le comportement alimentaire des porcs en croissance. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 26, 299-304.
- Labroue F., Guéblez R., Meunier-Salaün M.-C., Sellier P., 1995. Influence de la race sur le comportement alimentaire de porcs en croissance élevés en groupe : premiers résultats d'une comparaison Large White - Piétrain. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 27, 175-82.
- Le Dividich J., Noblet J., 1986. Effect of dietary energy level on the performance of individually housed early-weaned piglets in relation to environmental temperature. *Livest. Prod. Sci.*, 14, 255-263.
- Le Dividich J., Rinaldo D., 1989. Effet de l'environnement thermique sur les performances du porc en croissance. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 21, 219-230.
- Le Dividich J., Vermorel M., Noblet J., Bouvier J.-C., Aumaître A., 1980. Effects of environmental temperature on heat production, energy retention, protein and fat gain in early weaned piglets. *Br. J. Nutr.*, 44, 313-323.
- Le Dividich J., Noblet J., Herpin P., van Milgen J., Quiniou N., 1998. Thermoregulation. In : Wiseman J., Varley M.A. and Chadwick J.P. (eds), *Proc. of the 58th Easter School in Agricultural Science: Progress in Pig Science*, 229-264. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Levasseur P., Courboulay V., Meunier-Salaün M.-C., Dourmad J.-Y., Noblet J., 1998. Influence de la source d'énergie et de la concentration énergétique de l'aliment sur le comportement alimentaire, les performances zootechniques et les qualités de carcasse du porc charcutier. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 30, 245-252.
- Makkink C.A., Schrama J.W., 1998. Thermal requirements of the lactating sow. In : Verstegen M.W.A., Moughan P.J. and Schrama J.W. (eds), *The lactating sow*, 271-283. Wageningen Pers., Wageningen, The Netherlands.
- McGlone J.J., Stansbury W.F., Tribble L.F., Morrow J.L., 1988. Photoperiod and heat stress influence on lactating sow performance and photoperiod effects on nursery pig performance. *J. Anim. Sci.*, 66, 1915-1919.
- Mount L.E., 1974. The concept of thermal neutrality. In : Monteith J.L. and Mount L.E. (eds), *Proc. of the 20th Easter School in Agricultural Science: Heat loss from animals and man: assessment and control*, 425-439. Butterworths, London, UK.
- Nichols D.A., Ames D.R., Hines R.H., 1982. Effect of temperature on performance and efficiency of finishing swine. In : *Proc. of the 2nd International Livestock Environment Symposium*, Ames, Iowa, United States, 376-379.
- Nielsen B.L., Lawrence A.B., Whittemore C.T., 1995a. Effect of group size on feeding behaviour, and performance of growing pigs using single-space feeders. *Livest. Prod. Sci.*, 44, 73-85.
- Nielsen B.L., Lawrence A.B., Whittemore C.T., 1995b. Effect of single-space feeder design on feeding behaviour and performance of growing pigs. *Anim. Sci.*, 61, 575-579.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., 1983. Performance of growing-finishing swine in response to the thermal environment. ASAE Meeting, St-Joseph, Missouri, United States, March 16, 1983, paper MCR 83-137, 12 p.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., Yen J.L., 1987. Thermal environment effects on growing-finishing swine: 1. Growth, feed intake and heat production. *Transactions of the ASAE*, 30, 1772-1775.
- Nienaber J.A., McDonald T.P., Hahn G.L., Chen Y.R., 1991. Group feeding behavior of swine. *Transactions of the ASAE*, 34, 289-294.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., Korthals R.L., McDonald T.P., 1993. Eating behavior of swine influenced by environmental temperature. *Transactions of the ASAE*, 36, 937-944.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., McDonald T.P., Korthals R.L., 1996. Feeding patterns and swine performance in hot environments. *Transactions of the ASAE*, 39, 195-202.
- Noblet J., Etienne M., 1987. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 64, 774-781.
- Noblet J., Le Dividich J., Bikawa T., 1987. Interaction entre la température ambiante et la concentration en énergie du régime sur les performances de carcasse et l'utilisation de l'énergie chez le porc. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 19, 341-348.
- Noblet J., Dourmad J.-Y., Dubois S., Le Dividich J., 1988. Influence de la température ambiante sur les dépenses énergétiques de la truie gravide : interaction avec la nature du régime (paille, luzerne). *Journées Rech. Porcine Fr.*, 20, 345-350.
- Noblet J., Shi X.S., Fortune H., Dubois S., Le Chevestrier Y., Corniaux C., Sauviant D., Henry Y., 1994. Teneur en énergie nette des aliments chez le porc: mesure, prédiction et validation aux différents stades de sa vie. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 26, 235-250.

- Noblet J., Karege C., Dubois S., van Milgen J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J. Anim. Sci.*, 77, 1208-1216.
- Picard M., Melchion J.P., Bouchot C., Faure J.M., 1997. Picorage et préhensibilité des particules alimentaires chez les volailles. *INRA Prod. Anim.*, 10, 403-414.
- Quiniou N., Noblet J., 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 77, 2124-2134.
- Quiniou N., Dourmad J.-Y., Noblet J., 1998. Facteurs de variation de l'appétit des truies en lactation. *INRA Prod. Anim.*, 11, 247-250.
- Quiniou N., Dubois S., Le Cozler Y., Bernier J.-F., Noblet J., 1999a. Effect of growth potential (body weight and breed/castration combination) on the feeding behaviour of individually kept growing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 61, 13-22.
- Quiniou N., Renaudeau D., Noblet J., 1999b. Performances zootechniques et comportement alimentaire de truies en lactation exposées à des températures élevées et fluctuantes au cours de la journée. *Techni-Porc*, 22, 5-12.
- Quiniou N., Noblet J., Dubois S., 2000a. Feeding behaviour of group-housed growing pigs is affected by ambient temperature and body weight. *Livest. Prod. Sci.*, 63, 245-253.
- Quiniou N., Renaudeau D., Dubois S., Noblet J., 2000b. Influence of high ambient temperatures on feed intake and feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Sci.*, 70, 471-479.
- Quiniou N., Noblet J., van Milgen J., Dubois S., 2000c. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to cold or hot ambient temperatures. *Br. J. Nutr.*, sous presse.
- Quiniou N., Massabie P., Granier R., 2000d. Diurnally variation of ambient temperature around 24 or 28°C: influence on performance and feeding behavior of growing pigs. In : Proc. 1st International Swine Housing Conference, Des Moines, Iowa, United States, October 9-11, 2000, Ed. ASAE, St Joseph (Michigan), 332-339.
- Quiniou N., Gaudré D., Rapp S., Guillou D., 2000e. Influence de la température ambiante et de la concentration en nutriments de l'aliment sur les performances de lactation de truies primipares. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 32, 275-282.
- Revell D.K., Williams I.H., 1993. Physiological control and manipulation of voluntary food intake: a review. In : Batterham E.S. (ed), *Manipulating Pig Production IV*, 55-80. Australasian Pig Science Association, Institute of Animal Science, Attwood, Australia.
- Rinaldo D., Le Dividich J., 1991. Assessment of optimal temperature for performance and chemical body composition of growing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 29, 61-75.
- Schoenherr W.D., Stahly T.S., Cromwell G.L., 1989. The effects of dietary fat of fiber addition on yield and composition of milk from sows housed in warm or hot environment. *J. Anim. Sci.*, 67, 482-495.
- Stahly T.S., Cromwell G.L., 1979. Effect of environmental temperature and dietary fat supplementation on the performance and carcass characteristics of growing and finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 49, 1478-1488.
- Stombaugh D.P., Roller W.L., 1977. Temperature regulation in young pigs during mild cold and severe heat stress. *Transactions of the ASAE*, 20, 1110-1118.
- Verstegen M.W.A., Close W.H., 1994. The environment and the growing pig. In : Cole D.J.A., Wiseman J. and Varley M.A. (eds), *Principles of pig science*, 333-353. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Xin H., DeShazer J.A., 1991. Swine responses to constant and modified diurnal cyclic temperatures. *Transactions of the ASAE*, 34, 2533-2540.

Abstract

Influence of high ambient temperatures and physiological stage on feeding behaviour of pigs.

The increase of ambient temperature above the thermoneutral zone is associated with a decrease of performance in weaned piglets, growing-finishing pigs and lactating sows. This negative effect of warm exposure results mainly from a reduced voluntary feed intake. After a short presentation of the mechanisms implied in thermoregulation, the present paper will focus on the effects of high ambient temperatures on patterns of feeding in pigs. It will refer to an experimental program that began at the Pig research Station of INRA four years ago. The feeding behaviour is mainly diurnal whichever the ambient temperature and the physiological stage. Over the temperature range studied, the decreased daily feed intake with increased temperature results, first, from a meal size reduction whereas its frequency remains constant. However, data obtained in

lactating sows indicate that a further increase in heat stress intensity induces a reduction in daily number of meals. When temperature fluctuates over the day around a comfort value, both growing-finishing pigs and lactating sows adapt their feed intake to environmental conditions and the lower feed intake during the warm periods of the day is compensated by an increased feed intake during the fresh periods. However under warmer temperatures (above thermoneutral zone), feed ingestion capacity does not allow for compensation of the additional decrease in feed intake under warm conditions and performance are reduced.

QUINIOU N., RENAUDEAU D., COLLIN A., NOBLET J., 2000. Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques. *INRA Prod. Anim.*, 13, 233-245.