

Influence de la température ambiante chez la truie allaitante, une approche par méta-analyse et modélisation

*Jean-Yves DOURMAD (1,2), Valentine LE VELLY (1,2), Cyril LECHARTIER (3),
Jean-Luc GOURDINE (4), David RENAUDEAU (1,2)*

(1) INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, 35000 Rennes, France

(3) Groupe ESA, Département Productions animales, 55 rue Rabelais, 49007 Angers, France

(4) INRA, UR0143 URZ, centre de recherche Antilles-Guyane, Petit-Bourg, France

jean-yves.dourmad@rennes.inra.fr

*Avec la collaboration de Denis CUDREY, Anne-Sophie DELASSUS, Alexis GARDIN, Marion HAMONIAUX,
Christophe LAMANDE et Nathalia MOSKVITINA étudiants à l'ESA (3)*

Influence de la température ambiante chez la truie allaitante, approche par méta-analyse et modélisation

La truie allaitante est particulièrement sensible aux températures élevées qui entraînent chez ces animaux une réduction de la consommation d'aliment et de la production laitière. Ceci s'accompagne d'une mobilisation accrue des réserves corporelles et d'un ralentissement de la croissance des porcelets. Dans le contexte du changement climatique qui accroît la fréquence des épisodes de forte chaleur, l'objectif de ce travail est d'établir par méta-analyse les lois de réponse de la truie et de sa portée à la température, pour ensuite les utiliser dans un modèle permettant d'adapter les apports nutritionnels au climat. Une base de données comportant 46 publications et 254 observations a été constituée et des équations ont été ajustées pour prédire l'influence de la température ambiante sur différents critères, comme la consommation d'aliment, le rythme respiratoire, la température corporelle, la croissance de la portée et la production laitière. Ces équations sont ensuite utilisées dans un modèle de prédiction de l'effet du climat. Un premier module bioclimatique permet de déterminer l'effet de la température extérieure sur la température perçue par la truie. Un second module prédit les effets de la température sur la consommation d'aliment et la production de lait, et représente, sur la base du modèle InraPorc, les effets sur l'utilisation de l'énergie et des acides aminés et sur les réserves corporelles. L'ensemble de ce travail permet de disposer d'un outil pour prédire les performances et déterminer les besoins nutritionnels pour différentes situations climatiques en prenant également en compte les caractéristiques des animaux. En termes d'applications pratiques, ceci devrait permettre de mieux adapter la composition de l'aliment en fonction de la saison et de la localisation des élevages.

Effect of ambient temperature on lactating sows, a meta-analysis and modeling approach

Because of their intense metabolism, lactating sows are highly sensitive to high ambient temperatures, which induce a reduction in their voluntary feed intake and milk production. This also results in an increase in mobilization of body reserves, which may impair reproduction after weaning, and a decrease in piglet weight gain. In the context of climate change which increases the frequency of periods of heat stress, the aim of this work was to quantify the relationships between ambient temperature and sow and piglet performance, and to use these relationships in a prediction model of nutrient utilization by sows. A database with 46 publications and 254 observations was built in order to adjust prediction equations for different criteria such as feed intake, respiratory frequency, body temperature, litter growth, and milk production. These equations were then incorporated into a simulation model including (i) a bioclimatic module predicting the effect of outdoor temperature on the indoor temperature perceived by the sow and (ii) a nutrition module, based on InraPorc®, predicting the effect of temperature on feed intake, milk production, energy and amino-acid utilization, and body reserves. This enabled a decision-making tool to be developed for the prediction of performance and nutritional requirement of lactating sows in different climatic conditions. In practice this should enable feed composition to be better adapted to the season and to the geographical location of farms.

INTRODUCTION

Du fait d'un appétit insuffisant les truies allaitantes ont souvent du mal à couvrir leurs besoins nutritionnels pour la production laitière, ce qui les conduit à mobiliser leurs réserves corporelles lipidiques et/ou protéiques et accroît le risque d'apparition de problèmes de reproduction après le sevrage (Dourmad *et al.*, 1994). Cette situation est exacerbée en période estivale sous climat tempéré (Renaudeau *et al.*, 2001) et de façon encore plus marquée en climat tropical (Gourdine *et al.*, 2006). L'exposition à la chaleur diminue également la production laitière des truies et donc la croissance des porcelets (Quiniou et Noblet, 1999). Ceci résulte en partie de la réduction de l'ingestion d'aliment mais également d'un effet propre de la température ambiante sur la production laitière, indépendamment de l'appétit, comme l'ont montré Prunier *et al.* (1997).

Renaudeau *et al.* (2012) ont recensé différentes façons de pallier les effets de ces épisodes de chaleur sur les performances des animaux. Il est possible de favoriser la dissipation de la chaleur corporelle en modifiant l'agencement des bâtiments et de la ventilation, ce qui permet d'accroître les pertes de chaleur sensible, ou en vaporisant de l'eau sur les animaux, ce qui permet d'accroître les pertes de chaleur latente. Différents systèmes de refroidissement de l'air (brumisation, "pad-cooling") peuvent également être mis en œuvre. Enfin, on peut choisir des stratégies d'alimentation mieux adaptées. Par exemple, les aliments enrichis en lipides permettent d'accroître la consommation d'énergie du fait de la moindre production d'extra chaleur. L'enrichissement des régimes en nutriments, en particulier en acides aminés et en minéraux, permet également d'assurer des apports journaliers suffisants malgré une réduction de la consommation (Dourmad *et al.*, 2008a). Il existe des outils d'aide à la décision, comme InraPorc[®], qui permettent de choisir la meilleure alimentation possible en fonction de différents paramètres tels que le poids vif, le rang de portée, la croissance des porcelets... mais pour le moment ils ne considèrent pas l'influence de la température ambiante sur l'ingestion.

L'objectif de ce travail est donc de préciser et quantifier, à partir d'une étude quantitative de la bibliographie, les effets de la température ambiante chez la truie en lactation et de les représenter dans un modèle pour, à terme, les intégrer dans un outil d'aide à la décision.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Meta-analyse

Quarante-six publications¹, entre 1980 à 2013, ont été collectées pour réaliser la méta-analyse. Elles devaient comporter au moins deux températures ambiantes et renseigner une ou plusieurs variables d'intérêt : consommation moyenne d'aliment journalière (CMJ), perte de poids vif ou d'épaisseur de lard dorsal, fréquence respiratoire, température rectale, croissance des porcelets (GMQ), ou production laitière. La liste des principales variables répertoriées dans la base de données est rapportée dans le tableau 1. Pour chaque variable figurent le nombre de publications concernées et le nombre d'enregistrements.

Les données ont été analysées avec le logiciel R (2008) à l'aide

d'un modèle MIXTE adapté de Renaudeau *et al.* (2011) incluant l'effet aléatoire de l'expérience et les effets linéaires et quadratiques de la température :

$$Y_{ij} = b_0 + b_1 T_{ij} + b_2 T_{ij}^2 + s_i + a_i T_{ij} + e_{ij}$$

où Y_{ij} est la valeur prise par la variable Y pour la publication i et la température T_{ij} de cet essai, b_0 est l'ordonnée à l'origine, b_1 et b_2 sont les pentes associées aux effets fixes linéaires et quadratiques de la température, s_i est l'effet aléatoire de la publication i , a_i est la pente associée à l'effet linéaire aléatoire de la température pour la publication i , et e_{ij} l'erreur résiduelle.

Lorsqu'il y avait suffisamment de données, l'effet du rang de portée (primipares vs multipares) de la truie a été ajouté au modèle ainsi que son interaction avec la température. Le modèle s'écrivait alors de la façon suivante :

$$Y_{ijr} = b_0 + b_1 T_{ij} + b_2 T_{ij}^2 + s_i + a_i T_{ij} + d_{1r} + d_{2r} T_{ij} + e_{ijr}$$

où d_{1r} est le coefficient de l'effet fixe du rang de portée et d_{2r} le coefficient de l'interaction entre le rang de portée et la température.

1.2. Modélisation et simulations

Les équations obtenues dans la méta-analyse ont été intégrées dans le modèle InraPorc de prédiction de l'utilisation des nutriments par la truie allaitante (Dourmad *et al.*, 2008a). La consommation d'aliment (Conso) et la croissance de la portée (GMQPort) sont modulées en fonction de la température ambiante (T) et des potentiels de consommation (ConsoRef) des truies et de croissance de portée (GMQPortRef) définis dans le profil animal de InraPorc en fonction du rang de portée pour une température ambiante de référence de 22°C (thermoneutralité).

$$\text{Conso}(T^\circ) = \text{ConsoRef} / \text{fcons}(22^\circ\text{C}) \times \text{fcons}(T^\circ)$$

$$\text{GMQPort}(T^\circ) = \text{GMQPortRef} / \text{fGMQ}(22^\circ\text{C}) \times \text{fGMQ}(T^\circ)$$

Un modèle complémentaire a ensuite été développé afin de prédire la relation entre la température extérieure et la température dans le bâtiment. Ceci permet de simuler l'effet de différentes séries climatiques sur les performances et les besoins nutritionnels. Ce modèle est construit sur la base d'un modèle similaire développé antérieurement pour le porc en croissance (Dourmad *et al.*, 2008b). La température ambiante est déterminée à partir de l'enthalpie de la salle et de la chaleur massique de l'air. Dans le calcul du bilan de chaleur sensible, le modèle considère comme entrée la chaleur sensible produite par la truie et ses porcelets et le chauffage du nid, et comme sorties les pertes à travers les parois et par la ventilation. La production de chaleur des animaux est déterminée à partir du bilan énergétique modélisé dans InraPorc[®], la répartition entre chaleur sensible et latente étant fonction de la température. Le débit de ventilation est régulé par le modèle entre un minimum (60 m³/h) et un maximum (300 m³/h) en fonction d'une température de consigne de 22°C et d'une plage de variation de 4°C. Les pertes par les parois sont calculées en fonction des valeurs de surfaces et de coefficients de transmission surfaciques issues du Mémento de l'éleveur de porc (IFIP, 2013). Le modèle a été construit à l'aide la plateforme Vensim[®] (Ventana Systems, Inc.)

Deux séries de simulations ont été réalisées à l'aide du modèle ainsi développé. La première série visait à évaluer la sensibilité des performances, des bilans nutritionnels et des besoins alimentaires à la température dans le bâtiment (entre 18 et 32°C) chez des truies primipares ou multipares. La seconde série visait à simuler l'évolution annuelle des performances

¹la liste des références est disponible auprès de l'auteur

Tableau 1 – Résumé des statistiques descriptives des principales variables de la base de données

Variables	Nombre de publications	Nombre d' observations	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Nombre de truies par traitement	40	211	22,5	20,9	3	160
Durée de la lactation, j	43	225	24,9	4,1	14	35
Variables climatiques						
Température moyenne (T), °C	46	254	25,3	4,3	18,0	38,3
Nombre de T différentes	46	254	3,0	2,3	2,0	12,0
Alimentation						
Consommation moyenne, kg/j	38	202	4,77	1,20	2,54	7,97
Énergie métabolisable, MJ/kg	43	259	13,2	1,21	9,78	15,2
Énergie métabolisable, MJ/j	38	203	64,0	17,6	33,5	112,0
Informations sur la truie						
Production laitière, kg/j	13	59	7,50	1,20	4,02	11,40
Fréquence respiratoire, bat/min	8	54	61,3	29,7	21,9	124,0
Température rectale, °C	13	64	39,2	0,50	38,8	40,4
Perte de poids, kg/j	30	142	0,719	0,429	0,009	1,900
Perte d'épaisseur de lard dorsal, mm/j	30	134	0,146	0,095	0,005	0,528
Informations sur les porcelets						
Porcelets nés vivants par portée	27	145	10,2	1,38	6,50	13,90
Porcelets sevrés par portée	35	153	9,41	1,07	6,20	12,00
Poids à la naissance, kg	24	125	1,43	0,16	0,92	1,85
Poids au sevrage, kg	33	151	7,06	1,20	4,67	10,20
Gain de poids de la portée, kg/j	36	159	2,18	0,62	0,77	4,50
Gain de poids des porcelets, g/j	18	83	230	44	152	340

Tableau 2 – Équations des modèles linéaires et quadratiques mixtes obtenues pour les variables relatives à la truie¹

Variables	Nombre		b ₀			b ₁			b ₂			R ² ajusté
	publi.	obs.	Val.	(e.t.)	P ¹	Val.	(e.t.)	P	Val.	(e.t.)	P	
Consommation d'aliment, kg/j	38	202										
Modèle linéaire			9,41	(0,42)	***	-0,189	(0,015)	***				0,80
Modèle quadratique			11,3	(2,1)	***	-0,349	(0,168)	*	0,003	(0,003)	-	0,80
Consommation d'EM, MJ/j	38	202										
Modèle linéaire			30,5	(1,5)	***	-0,62	(0,05)	***				0,85
Modèle quadratique			39,5	(6,7)	***	-1,36	(0,55)	*	-0,015	(0,017)	-	0,85
Perte de poids, kg/j	30	142										
Modèle linéaire			-0,248	(0,168)	t	0,040	(0,005)	***				0,83
Modèle quadratique			0,569	(0,817)	-	-0,0282	(0,066)	-	0,0014	(0,0014)	-	0,85
Perte ép. de gras, mm/j	30	128										
Modèle linéaire			0,056	(0,033)	t	0,0034	(0,0011)	**				0,76
Modèle quadratique			0,067	(0,150)	-	0,0025	(0,0126)	-	0,0001	(0,0002)	-	0,76
Température rectale, °C	13	64										
Modèle linéaire			37,5	(0,2)	***	0,067	(0,005)	***				0,93
Modèle quadratique			40,1	(1,4)	***	-0,152	(0,088)	t	0,005	(0,002)	**	0,95
Fréq. respiratoire, bat/min	8	54										
Modèle linéaire			-93,9	(10,3)	***	5,96	(0,49)	***				0,80
Modèle quadratique			111	(53)	*	-10,2	(4,0)	*	0,311	(0,080)	***	0,84

¹Equation : $Y = b_0 + b_1 T + b_2 T^2$; Val. : valeur, e.t. : écart-type résiduel ; EM : énergie métabolisable ; *** P < 0,001; ** P < 0,01; * P < 0,05; t P < 0,10.

des truies pour différentes séries climatiques. Pour cela nous avons utilisé des données climatiques pour les régions de Toulouse (Tl) et Rennes (R) pour les années 2001 à 2005, ainsi que des prévisions pour ces mêmes villes, pour les années 2046 à 2050 (ces données ont été générées dans le cadre du projet ANR Climator (http://w3.avignon.inra.fr/projet_climator/). Au total 360 simulations ont été réalisées (10 ans x 12 mois x trois rangs de portée). Ces données ont ensuite été traitées par analyse de variance pour évaluer les potentiels effets année (A), lieu (L), rang de portée (RP), saison (S) et les interactions AxS, LxS et RPxS (logiciel R).

2. RESULTATS

2.1. Méta-analyse

La base de données est décrite dans le tableau 1, avec les

valeurs moyennes, minimales, maximales et l'écart-type pour chacune des variables. La température ambiante moyenne s'élevait à 25,3°C. Elle variait entre 18 et 38°C. La durée de la lactation était de 25 jours en moyenne. La plupart (70%) des études utilisaient des truies multipares ou des truies de différents rangs de portée, les autres (30%) utilisaient uniquement des truies primipares.

Dans les études sélectionnées la consommation d'aliment s'élève en moyenne à 4,77 (±1,20) kg/j (Tableau 1), les valeurs minimale et maximale étant de respectivement 2,54 et 7,97 kg/j. La consommation journalière d'aliment diminue significativement avec la température ambiante, de 0,189 kg/°C selon le modèle linéaire. L'utilisation du modèle quadratique n'améliore pas statistiquement la prédiction (Tableau 2). L'effet du rang de portée (primipares vs autres rangs de portée) est significatif sur la consommation d'aliment.

La consommation est supérieure de 620 g/j chez les truies multipares (4,92 vs 4,30 kg, $P < 0,05$) et la réduction de la consommation avec l'accroissement de la température est plus marquée chez ces animaux (-0,20 vs -0,13 kg/°C, $P < 0,001$). Les truies multipares ont donc une consommation moyenne supérieure mais elles sont plus sensibles à l'effet de la chaleur. Entre 18 et 33°C la consommation moyenne d'aliment passe ainsi de 5,3 à 3,3 kg/j chez les primipares (38% de réduction) et de 6,4 à 3,4 kg/j chez les multipares (50% de réduction). Toutefois, lorsque la consommation est exprimée par kg de poids vif ou par kg de poids métabolique, l'effet rang de portée n'est plus significatif.

Plusieurs des études répertoriées comparent seulement deux températures différentes. Ceci explique qu'il soit difficile d'identifier un terme quadratique dans le modèle, alors que par exemple l'étude de Quiniou et Noblet (1999), avec cinq niveaux de températures différentes, montre une réponse curvilinéaire de la consommation. Aussi nous avons sélectionné les études ($n = 10$) comportant au minimum trois températures différentes et les avons soumises au même modèle quadratique. On obtient alors l'équation suivante avec un effet quadratique de la température sur la consommation qui reste toutefois peu marqué :

$$CMJ \text{ (kg/j)} = 8,85 - 0,156 \times T - 0,00021 \times T^2 \quad R^2 \text{ ajusté} = 0,80.$$

Pour la consommation d'énergie métabolisable (EM), dont la teneur des aliments est peu variable entre les études, on obtient les mêmes effets de la température que pour la consommation d'aliment (Tableau 2).

En moyenne dans les études sélectionnées la perte de poids cumulée pendant la lactation s'élève à 17,5 ($\pm 9,9$) kg, soit 719 (± 429) g/j (Tableau 1), les valeurs minimale et maximale étant respectivement de 0,2 et 41,0 kg. Avec l'augmentation de la température ambiante, la perte de poids s'accroît d'environ 0,96 kg par °C supplémentaire, soit 40 g/j/°C (Tableau 2). Bien

qu'en moyenne l'effet du rang de portée (primipares vs autres rangs de portée) ne soit pas significatif sur la perte de poids, l'effet de la température est plus marqué chez les multipares (-0,76 vs -0,46 kg/°C, $P < 0,01$). Entre 18 et 33°C, la perte de poids cumulée passe ainsi de 13 à 20 kg chez les primipares et de 2 à 11 kg chez les multipares.

De la même manière les truies perdent du lard dorsal pendant la lactation. En moyenne dans les études sélectionnées la perte s'élève à 3,49 ($\pm 2,06$) mm, soit 0,15 ($\pm 0,09$) mm/j (Tableau 1), les pertes minimale et maximale étant de respectivement de 0,1 et 11,2 mm. Avec l'augmentation de la température ambiante, la mobilisation de lard dorsal s'accroît de 0,084 mm par °C supplémentaire, soit 0,0034 mm/j/°C (Tableau 2). Le modèle quadratique n'est pas significatif, ni l'effet du rang de portée. Entre 18 et 33°C, la perte d'épaisseur de lard dorsal cumulée passe en moyenne de 2,6 à 3,6 mm.

En moyenne dans les études sélectionnées la température rectale s'élève à 39,2°C (Tableau 1), les valeurs minimale et maximale étant respectivement de 38,8 et 40,4°C. La température corporelle s'élève avec la température ambiante, de 0,067°C par °C supplémentaire. La relation quadratique significative pour ce critère indique que l'effet s'accroît avec la température ambiante. Faute de données suffisantes l'effet du rang de portée n'a pas pu être testé pour ce paramètre.

Le rythme respiratoire est en moyenne de 61 battements/min (Tableau 1), les valeurs minimale et maximale étant respectivement de 22 et 124. Le rythme respiratoire s'accroît d'environ six battements par °C supplémentaire (Tableau 2), l'effet étant d'autant plus marqué que la température est élevée (effet quadratique $P < 0,001$). De 18 à 24°C la fréquence respiratoire augmente ainsi de 17 battements/min, alors qu'elle s'accroît de 43 battements/min pour le même écart de température entre 24 et 30°C. Faute de données suffisantes l'effet du rang de portée n'a pas pu être testé pour ce critère.

Tableau 3 – Équations des modèles linéaires et quadratiques mixtes obtenues pour les variables relatives à la portée¹

Variables	Nombre		b ₀			b ₁			b ₂			R ² aj.
	publi.	obs.	Val.	(e.t.)	P	Val.	(e.t.)	P	Val.	(e.t.)	P	
Production de lait, kg/j	13	59										
Modèle linéaire			10,6	(1,2)	***	-0,124	0,036	**				0,66
Modèle quadratique			17,1	(3,9)	**	-0,660	(0,294)	-	0,011	(0,006)	-	0,66
GMQ² de portée, kg/j	20	155										
Modèle linéaire			3,28	(0,21)	***	-0,046	(0,007)	***				0,72
Modèle quadratique			4,13	(1,05)	***	0,115	(0,085)	-	0,001	(0,002)	-	0,72
MQ des porcelets, g/j	18	79										
Modèle linéaire			319	(18)	***	-3,72	(0,65)	***				0,75
Modèle quadratique			256	(145)	t	1,55	(11,9?)	-	-0,108	(0,240)	-	0,77

¹Equation : $Y = b_0 + b_1 T + b_2 T^2$; Val. : valeur ; e.t. : écart-type résiduel ; *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$.

²GMQ : Gain de poids

Le Tableau 3 rapporte les équations des modèles linéaires et quadratiques relatifs à la production laitière et à la croissance des porcelets. En moyenne le GMQ de la portée s'élève à 2,18 ($\pm 0,7$) kg/j (Tableau 1), les valeurs minimale et maximale étant respectivement de 0,8 et 4,5 kg/j. Avec l'augmentation de la température ambiante, le GMQ de la portée décroît d'environ 46 g/j par °C supplémentaire (Tableau 3). La croissance de portée tend à être inférieure chez les truies primipares comparativement aux autres rangs de portée (-0,050 kg/j, $P < 0,13$) avec un effet un peu moins marqué de la température (-33 vs -54 g/j par °C). Les mêmes effets sont observés pour la production de lait et la croissance des portées qui diminuent de, respectivement, 124 g/j et 3,72 g/j par °C d'augmentation de la température.

2.2. Modélisation et simulations

2.2.1. Analyse de sensibilité

Les résultats de l'analyse de sensibilité du modèle à la température perçue par la truie sont rapportés à la figure 1. Les valeurs sont exprimées en pourcentage des valeurs calculées pour la température de référence de 22°C, pour laquelle sont définis les paramètres du profil animal dans InraPorc®. Ces valeurs sont calculées pour une truie consommant en moyenne 5,5 kg/j d'aliment et réalisant une croissance de portée 2,8 kg/j à cette température.

Lorsque la température ambiante s'accroît, l'ingestion d'énergie diminue, la réduction atteignant 30% lorsque la température dépasse 30°C. A l'inverse, à 18°C la

consommation s'accroît d'environ 10% comparativement à 22°C. Malgré une réduction des besoins énergétiques associés à la production laitière lorsque la température s'accroît, on observe un très net accroissement du déficit énergétique qui se creuse de près de 40% lorsque la température dépasse 32°C. Ces réponses prédites par le modèle sont tout à fait en accord avec les variations observées dans la méta-analyse.

Le modèle prédit également la variation des besoins en acides aminés (lysine digestible) avec la température. Du fait de la baisse de la production laitière, ils tendent à diminuer lorsqu'ils sont exprimés en g par jour (-10% à 32°C) alors qu'ils augmentent de façon marquée lorsqu'ils sont exprimés par kg d'aliment (+30% à 32°C). Dans le calcul du besoin en lysine on fait l'hypothèse que la baisse de la production laitière n'est pas influencée par l'accroissement des apports de lysine, alors qu'il est probable qu'elle puisse l'être tout au moins en partie. L'accroissement du besoin en lysine avec la température pourrait alors être un peu supérieur à celui estimé.

Tableau 4 – Simulation par le modèle de différentes séries climatiques (années (A) 2001-2005 et 2046-2050) pour deux localisations géographiques (L, TI : Toulouse, R : Rennes), deux rang de portée (RP, 1 et 3) et différentes saisons (S)

Variables ¹	Année		Lieu		Portée		Saisons				Analyse statistique				
	2001-2005	2046-2050	TI	R	1	3	Hiver	Printemps	Été	Automne	A	L	RP	S	R ² aj.
T extérieure, °C	12,7	14,0	14,1	12,5	13,4	14,4	6,8	12,1	20,4	14,5	***	***	-	***	0,75
T intérieure, °C	23,9	24,2	24,7	23,4	23,9	24,1	22,6	23,5	25,8	24,2	***	***	-	***	0,74
Aliment ingéré, kg/j	5,33	5,25	5,23	5,35	4,66	5,85	5,59	5,39	4,89	5,28	***	***	***	***	0,98
GMQ portée, kg/j	2,71	2,69	2,68	2,71	2,58	2,83	2,78	2,73	2,60	2,69	***	***	***	***	0,88
EM ingérée, MJ/j	70,5	69,5	69,2	70,8	61,6	77,4	73,9	71,4	64,7	69,9	***	***	***	***	0,97
EM pour le lait, MJ/j	75,2	74,6	74,5	75,3	71,6	78,6	77,2	75,7	71,8	74,9	***	***	***	***	0,87
EM réserves, MJ/j	-29,5	-29,9	-30,0	-29,4	-32,5	-28,5	-28,1	-29,2	-31,8	-29,7	-	**	***	***	0,84
PC, kJ/min	35,3	35,2	35,2	35,3	33,3	37,2	35,6	35,4	34,8	35,2	*	***	***	***	0,97
Besoin en lysine, g/j	47,3	47,0	47,4	46,9	45,6	49,0	48,1	47,5	45,8	47,1	***	***	***	***	0,66
Besoin en lysine, g/kg	9,6	9,7	9,7	9,5	10,5	9,0	9,3	9,5	10,1	9,7	***	***	***	**	0,71

¹ T : température ; GMQ : gain de poids ; EM : énergie métabolisable ingérée, exportée dans le lait ou puisées dans les réserves ; PC : production de chaleur.

2.2.2. Simulation de séries climatiques

Le tableau 4 présente les résultats moyens des simulations de séries climatiques en fonction de la période, de la saison, du rang de portée et de la localisation géographique de l'élevage. Les prévisions de changement climatique ayant été prises en compte pour les années 2046 à 2050, on observe un effet période pour plusieurs des variables considérées. La température moyenne annuelle extérieure est ainsi supérieure de 1,25°C pour la période 2046-2050, l'écart étant plus faible pour la température intérieure (0,3°C). L'interaction localisation x saison est significative, l'effet saison étant plus marqué à Toulouse qu'à Rennes.

La consommation des truies est fortement affectée par le rang de portée ($P < 0,001$) et la saison ($P < 0,001$). Elle est ainsi plus élevée de 7% en hiver qu'en été et de 26% chez les multipares que chez les primipares. Elle est également influencée, mais de façon moins marquée (moins de 1% d'écart), par la localisation géographique et la période de simulation. Le bilan énergétique est négatif pour toutes les situations simulées. Il est influencé par le rang de portée (déficit plus élevé de 14% chez les truies primipares) et par la saison (déficit plus élevé de 13% en été qu'en hiver).

La saison et le rang de portée influencent la croissance de la portée et la production laitière (respectivement 6% et 9% d'écart entre les valeurs extrêmes), la localisation géographique et la période de simulation ayant des effets

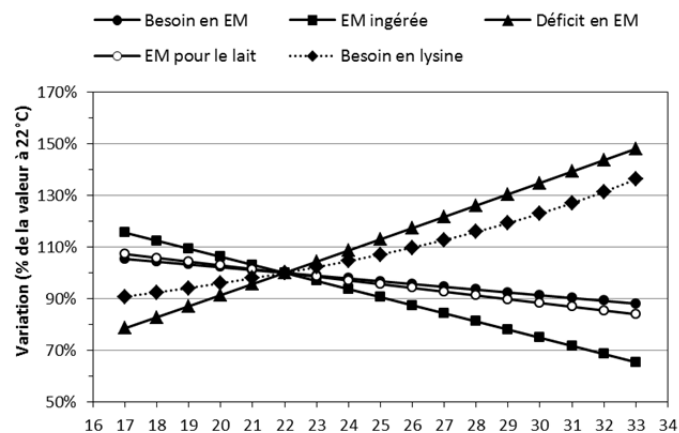


Figure 1 – Analyse de la sensibilité à la température ambiante (°C) de différentes variables prédites par le modèle. Les valeurs sont exprimées relativement (en %) à la valeur prédite à 22°C. EM : énergie métabolisable

moindres, bien que significatifs. Ces effets sont illustrés dans la figure 2 pour les années 2001 et 2046.

Le besoin journalier en lysine est affecté de la même manière que la production de lait qui constitue la part prépondérante des besoins totaux (Tableau 4). Il est plus faible chez les truies primipares que chez les truies multipares et en été qu'en hiver. A l'inverse, lorsque le besoin est exprimé par kg d'aliment il est plus élevé chez les truies primipares que chez les multipares (+ 17%) et en été qu'en hiver (+ 9%). Ces effets sont illustrés à la figure 3 pour les séries climatiques des années 2001 et 2046 à Toulouse. Le besoin en lysine est plus élevé d'environ 1,5 g par kg d'aliment chez les truies primipares comparativement aux multipares. Pour les deux catégories d'animaux il s'accroît d'environ 1,5 g/kg en période estivale comparativement aux mois d'hiver. La différence entre les deux années de simulation se traduit surtout par un rallongement de l'effet de la période estivale à la fin du printemps et au début de l'automne.

3. DISCUSSION ET CONCLUSION

La méta-analyse a permis d'établir des équations de prédiction de la réponse des truies à la température. En valeur relative les paramètres les plus influencés sont la consommation d'aliment et le rythme respiratoire. En l'absence de possibilité pour l'animal de s'asperger d'eau, la réduction de la consommation d'aliment et l'augmentation du rythme respiratoire

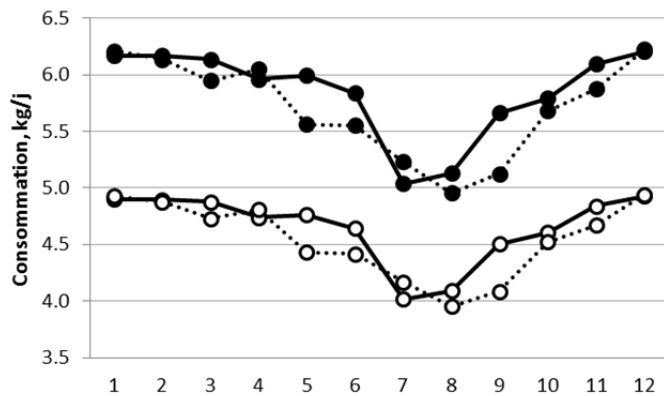


Figure 2 – Prédiction de la consommation d'aliment (kg/j) selon le mois, chez des truies primipares (o) ou multipares (●), pour les années 2001(—) et 2046 (Toulouse)

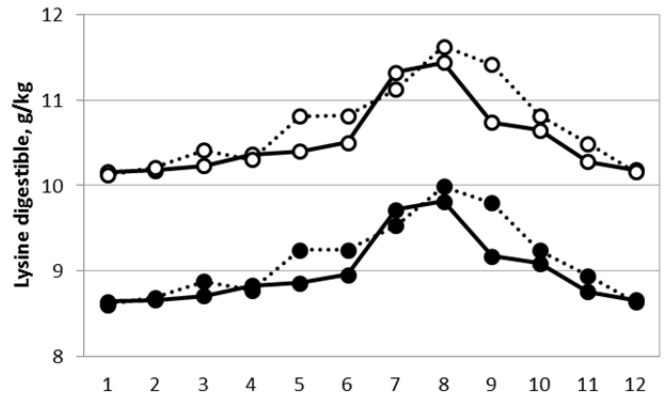


Figure 3 – Prédiction du besoin en lysine digestible (g/kg) selon le mois, chez des truies primipares (o) ou multipare (●), pour les années 2001(—) et 2046 (Toulouse)

constituent les deux principaux mécanismes d'adaptation à la chaleur chez la truie allaitante (Renaudeau *et al.*, 2012). Ces deux mécanismes permettent respectivement de réduire la production de chaleur liée à l'utilisation des aliments et d'accroître les pertes de chaleur latente. La réduction de la production laitière, en diminuant l'intensité du métabolisme, constitue le troisième mécanisme mis en jeu. Elle serait la conséquence d'un déficit en nutriments au niveau mammaire qui résulterait de la baisse d'ingestion et d'une réorientation du flux sanguin vers la peau à des fins de thermorégulation (Renaudeau *et al.*, 2003).

Les études disponibles dans la bibliographie rapportant le plus souvent les effets de températures constantes sur l'ensemble de la lactation, il conviendra dans l'avenir de les moduler pour prendre en compte les effets des variations nyctémérales (Quiniou *et al.*, 2000 ; Renaudeau *et al.*, 2003) ou des épisodes de canicules de plus ou moins longue durée.

L'utilisation des équations de la méta-analyse associée à un modèle bioclimatique permet de prédire l'effet du climat extérieur sur les performances et les besoins nutritionnels des truies allaitantes. Les résultats indiquent une assez

grande sensibilité des besoins en acides aminés selon la saison, la localisation géographique et le rang de portée. Ils permettront d'intégrer ces facteurs de variation dans les modèles de calcul des besoins tels que InraPorc (Dourmad *et al.*, 2008a). En termes d'application pratique, il semble intéressant d'adapter la composition de l'aliment de lactation en fonction de la saison, de la localisation des élevages et du rang de portée. Dans la perspective d'une alimentation de précision, il semblerait judicieux d'envisager une adaptation de la composition des rations en tenant compte en temps réel de la température, voire en l'anticipant à partir d'informations météorologiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le CASDAR et la Communauté Européenne pour le soutien financier apporté à ce travail respectivement dans le cadre des projets MEDIBatE et AnimalChange. Le contenu de cet article ne reflète que le point de vue des auteurs et la Communauté Européenne ne peut pas être tenue responsable de quelque utilisation qui pourrait être faite des informations qui y sont présentées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dourmad J.Y., Etienne M., Prunier A., Noblet J., 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 87-97.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Valancogne A., Dubois S., Van Milgen J., Noblet J., 2008a. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 143, 372-386.
- Dourmad J.Y., Moset-Hernandez V., Espagnol S., Hassouna M., Rigolot C., 2008b. Modélisation dynamique de l'émission et de la concentration d'ammoniac dans un bâtiment d'engraissement de porcs. *Journées Rech. Porcine*, 40, 267-268.
- Gourdine J.L., Bidanel J.P., Noblet J., Renaudeau D., 2006. Effect of season and breed on the feeding behaviour of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. *J. Anim. Sci.*, 84, 469-480.
- IFIP, 2013. Mémento de l'éleveur de porc. Ed IFIP Institut du Porc, Paris, 7^{ème} édition, 250 p.
- Prunier A., Messias De Braganca M., Le Dividich J., 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livest. Prod. Sci.*, 52, 123-133.
- Quiniou N., Noblet J., 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 77, 2124-2134.
- Quiniou N., Renaudeau D., Dubois S., Noblet J., 2000. Effect of diurnally fluctuating high ambient temperatures on performance and feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Sci.*, 71, 571-575.
- R Development Core Team, 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Available from <http://www.R-project.org>.
- Renaudeau D., Quiniou N., Noblet J., 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 79, 1240-1249.
- Renaudeau D., Noblet J., Dourmad J.Y., 2003. Effects of ambient temperature on mammary gland metabolism in multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 81, 217-231.
- Renaudeau D., Gourdine J.L., St-Pierre N.R., 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 2220-2230.
- Renaudeau D., Collin A., Yahava S., de Basillio V., Gourdine J. L., Collier R. J., 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6, 707-728.