

Etude méta-analytique de l'effet des challenges sanitaires sur la consommation d'aliment et la croissance du porc

Paulo Alberto LOVATTO (1,2), Jaap van MILGEN (2), Maryline KOUBA (2), Ines ANDRETTA (1), Lucile MONTAGNE (2)

(1) Universidade Federal de Santa Maria, Campus Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900, Brésil

*(2) INRA, UMR1079, Systèmes d'Élevage Nutrition Animale et Humaine, 35000 Rennes, France
Agrocampus Ouest, UMR1079, 35000 Rennes, France*

lovatto@smail.ufsm.br

Etude méta-analytique de l'effet des challenges sanitaires sur l'ingestion d'aliment et la croissance du porc

Les objectifs de ce travail sont de quantifier les conséquences de challenges sanitaires sur l'ingestion d'aliment et la croissance du porc. Une base de données a été constituée à partir de 87 articles publiés entre 1971 et 2008. Elle totalise 11 136 animaux portant sur des essais dans lesquels les effets d'infections bactériennes et virales, d'infestations parasitaires, d'intoxication par des mycotoxines et de la dégradation de l'hygiène des bâtiments sur la consommation journalière d'aliment et le gain moyen quotidien ont été étudiés lors des phases de post-sevrage, croissance ou finition. Les variables dépendantes ont été ajustées par des modèles polynomiaux intra-essais et exponentiels. Les résultats indiquent que les challenges réduisent plus la croissance (12 %) que la consommation d'aliment (8 %). Les réductions d'ingestion les plus importantes sont observées avec des virus et en post-sevrage (31 %). Les réductions de croissance les plus importantes sont observées lors d'infections (bactéries et virus) en post-sevrage (-11 et -18 %) et avec les mycotoxines en finition (-27 %). L'ingestion explique moins de 10 % de la différence de croissance entre animaux challengés et témoins. Le type de challenge et l'agent étiologique influent fortement les réponses de l'animal. La base de données permettra d'aller plus loin dans l'étude des interactions entre challenge et nutrition.

Meta-analytic analysis of sanitary challenges on voluntary feed intake and growth of the pig

The degradation of sanitary conditions has an impact on both technical and economical results of pig production. The aim of this work is to quantify the impact of sanitary challenges on voluntary feed intake and growth in the pig. A database was built from 87 scientific papers published between 1971 and 2008. It contains results from in vivo experiments realised on 11136 pigs in order to test the impact of challenge by bacteria, viruses or parasites, intoxication by mycotoxins, and poor breeding hygiene on voluntary feed intake and growth on the post-weaning, the growing stages and the finishing period. Dependanted variables were adjusted using polynomial intra-study models. The challenges leads to decrease the growth more than the feed intake (12 and 8 %). The most important reduction of feed intake was observed with viral challenges and during the post-weaning stage. The most important reductions of growth were observed with bacterial and viral infections in post-weaning stage (-11 and -18 %) and with mycotoxins in finishing period (-27 %). Feed intake explained less than 10 % of the difference of the growth between challenged and control pigs. The characteristics of the challenges have great influence on animal responses. The database built will permit to study better the interactions between sanitary challenge and nutrition.

INTRODUCTION

La perturbation de la santé des animaux, par des infections bactériennes ou virales, par des parasites, par la consommation d'aliments contaminés par des mycotoxines, ainsi que par la dégradation de l'hygiène des bâtiments d'élevage sont des facteurs limitants des résultats techniques et économiques des élevages de porcs. Ces perturbations sont appelées « challenges » dans la suite du document. Si certains sont bien définis par les vétérinaires, les zootechniciens les regroupent sous le concept assez flou de dégradation du statut sanitaire, et les voient comme un ensemble de facteurs modulant les performances. Ces challenges affectent la consommation volontaire des animaux ainsi que leur croissance. Un enjeu majeur est de prédire les effets de ces challenges sur la croissance des animaux. Dans la mesure où la consommation d'aliment est considérée comme le moteur de la croissance chez le porc (van Milgen et al., 2008), la quantification de leur influence sur la consommation des aliments est un préalable.

L'objectif de ce texte est de présenter les premiers résultats d'un projet de plus grande ampleur dont les objectifs sont de quantifier les effets de la dégradation de la santé par différents challenges sur la nutrition et les performances du porc. Cet article se focalise sur la construction et la description d'une base de données associant nutrition et santé. Il s'attache à quantifier les conséquences des challenges sur la consommation volontaire d'aliment et la croissance des porcs, du sevrage à l'abattage.

1. APPROCHE METHODOLOGIQUE

La base de données construite rassemble les résultats d'essais *in vivo* qui étudient les conséquences d'infections (bactéries et virus), d'infestations (endo et ectoparasites), d'intoxications alimentaires (mycotoxines) ou de la dégradation de l'hygiène des installations sur les performances des porcs (ingestion, croissance).

1.1. Construction de la base de données

La base de données nutrition & santé est constituée de 87 articles publiés entre 1971 et 2008. Ces articles ne sont pas référencés dans la liste en fin de documents mais la liste est disponible auprès des auteurs. La base porte sur 11136 animaux regroupés en 713 lots expérimentaux (correspondant aux traitements) et comprend 1122 lignes et 255 colonnes. La ligne est l'unité pour les analyses inter-essais et le lot expérimental est l'unité pour les analyses intra-essais.

Les principales caractéristiques de la base de données sont présentées dans le Tableau 1. Afin de rendre la base la plus représentative possible pour les aspects spatio-temporels, nous avons pris en compte le lieu de réalisation de l'expérience et de publication des résultats et la date de publication. Les caractéristiques du protocole expérimental (animaux, modèle expérimental, aliments et alimentation, installations, température, densité, etc) et les résultats (performances zootechniques, paramètres métaboliques et morphologiques, etc) sont précisés. La méthodologie utilisée pour définir les variables dépendantes et indépendantes ainsi que le codage des données est celle proposée par Sauvante et al., (2005, 2008). Le codage des données a été

intégré dans la base de façon à permettre l'exploitation analytique des effets inter- et intra-essais.

1.2. Etude et analyse statistique de la base de données

La méta-analyse a été réalisée en trois étapes : (1) analyse graphique permettant d'avoir une vision globale des données (2) analyse des corrélations pour étudier l'intensité des liens entre les challenges et les performances et (3) analyse statistique de type variance-covariance pour étudier les effets intra-essais et proposer des lois de réponses. Étant donné que l'objectif de la base est d'étudier les effets de challenges sur la consommation d'aliment et sur la croissance, ces challenges sont groupés en (1) infections (bactéries et virus), (2) infestations, (3) intoxication par des mycotoxines et (4) dégradation de l'hygiène des installations. A l'exception de la dégradation de l'hygiène des bâtiments, tous ces challenges ont des agents étiologiques multiples. Par exemple les intoxications par des mycotoxines comprennent des intoxications aux aflatoxines, à la zéaralénone, aux fumonisines et au déoxyvalénol. Ces agents sont précisés dans la base, mais ne sont pas pris en compte dans cette première analyse.

Le premier travail a consisté en une description non exhaustive de la base de données et des résultats de consommation et de croissance. Ces derniers sont présentés pour les trois phases d'élevage principales à savoir (1) post-sevrage (poids vif (PV) inférieur à 25 kg, durée 42 jours), (2) croissance (PV compris entre 26 et 80 kg, durée 56 jours), et (3) finition (PV > 81 kg).

Concernant l'analyse, nous avons dans un premier temps, étudié les modèles établis de manière globale, tous challenges confondus. Comme les conditions expérimentales sont très différentes pour les différents challenges, il a été ensuite nécessaire d'utiliser des modèles permettant les comparaisons au sein de chaque challenge. Deux ajustements ont été effectués. Le premier consiste en un modèle statistique de type polynomial permettant les études intra-essais. Le PV des animaux est une covariable de la consommation et du gain de poids. L'ordre des modèles polynomiaux est déterminé par ajustements successifs. Les résidus du modèle polynomial ont ensuite été analysés afin de quantifier la part de la baisse de croissance expliquée par la consommation. La deuxième méthode consiste en un ajustement exponentiel (0,60 et 0,75) de la consommation et du gain de poids par rapport au poids métabolique. La moyenne des deux valeurs exponentielles est calculée pour chaque challenge. Les résultats présentés sont les différences relatives entre animaux challengés et animaux témoins. Cette analyse n'a pas utilisé les codages pour l'ajustement inter et intra, car le poids vif élimine une grande partie de la variabilité associée aux animaux et aux essais.

La base a été construite sous Excel et analysée à l'aide des logiciels Minitab v.15 (Minitab, 2007) et JMP v.7 (SAS, 2007).

2. RESULTATS

2.1. Description de la base de données

Les principales caractéristiques de la base de données sont présentées dans le Tableau 1. Plus de la moitié des publications présentent des travaux réalisés sur le continent nord-américain.

Environ 30 % des publications rapportent des résultats européens. D'un point de vue temporel, presque 70 % des articles ont été publiés après 2001. Les publications des années 70 et 80 sont plutôt associées aux études avec des parasites.

Comme attendu, il y a une grande variabilité quant au nombre d'animaux utilisés dans les essais. Ce dernier est déterminé, principalement, par le challenge. La plupart des essais (66 % des lots expérimentaux) s'intéresse à la phase de post-sevrage. Ceci est cohérent avec les problématiques de santé associées à ce stade et liées à l'immaturation physiologique du porcelet. Le nombre réduit d'expériences sur le porc en finition révèle que parmi les challenges étudiés, peu concernent cette phase. Ceci rend difficile le calcul et l'interprétation des modèles sur l'ensemble des phases d'élevage (sevrage à l'abattage) et implique de présenter les résultats par phase d'élevage. Concernant la description des aliments expérimentaux, 43 % des essais précisent l'unité énergétique utilisée. Il s'agit d'énergie métabolisable dans 48 % des cas. La teneur en matières azotées est précisée dans approximativement 71 % des essais ; les teneurs en lysine totale dans 47 % et la teneur en lysine digestible dans 11 % des essais seulement. Pour les minéraux, les teneurs alimentaires sont précisées dans 46 et 56 % des essais, respectivement pour le Ca et le P. La consommation volontaire d'aliment et le gain de poids ont été présentés dans 75 et 96 % des essais, respectivement. Le nombre d'animaux par traitement, la durée de l'expérience, l'âge et le poids vif initial pour chacun des challenges sont présentés dans le tableau 2.

Concernant le nombre moyen d'animaux par traitement, la valeur la plus élevée concerne les essais sur la dégradation de l'hygiène des bâtiments et la plus basse les essais impliquant des mycotoxines. Une variation importante est observée au sein de chaque challenge entre animaux témoins ou challengés. Ceci est particulièrement marqué pour les essais impliquant des infections virales pour lesquelles le nombre d'animaux témoins est six fois inférieur aux animaux infectés. La durée expérimentale moyenne est d'environ 21 jours. Elle est très influencée par le type de challenge. Ainsi, les expériences étudiant l'effet des virus et des bactéries ont des durées plus courtes alors que les essais avec des parasites sont les plus longs. L'âge initial moyen est 45 jours, soit 2-3 semaines après le sevrage, ce qui correspond à la fin de la période la plus critique quant à la santé du porcelet. Les expériences testant l'effet d'infections bactériennes sont réalisées sur les animaux les plus jeunes et celles avec des parasites sur les plus âgés. Le poids vif initial est la caractéristique expérimentale qui a la plus faible variation au sein de chaque challenge. Cette variation du poids vif est plus faible que celle de l'âge initial, car le poids est le principal critère d'allotement des porcelets au début des essais.

2.2. Effet des challenges sur la consommation d'aliment

Les résultats des ajustements de la consommation d'aliment par des modèles polynomiaux sont présentés figure 1. Ceux obtenus par des modèles exponentiels sont présentés dans le Tableau 3. Tous les challenges affectent avec une intensité

Tableau 1 - Principales caractéristiques de la base de données nutrition et santé

Caractéristiques	Moyenne	ETR	Min	Max	Nombre ¹	
					Traitements	Lignes
Animaux, nombre						
Par publication ²	128	357	9	3294		1122
Par traitement ³	16	77	1	550		1122
Par période						
Post-sevrage	42	73	1	427	482	650
Croissance	21	58	4	426	224	442
Finition	42	102	2	550	24	47
Valeur des aliments, /brut						
Energie, MJ/kg						
E digestible	15,2	1,33	10,0	17,1	88	214
E métabolisable	13,9	0,51	13,2	15,3	104	237
E nette	9,9	0,39	9,5	10,6	15	38
Constituants azotés, %						
Matières azotées totales	18,8	3,8	6,4	28,0	392	799
Lysine totale	1,23	0,26	0,78	1,99	274	533
Lysine digestible	1,20	0,25	0,81	1,44	47	129
Minéraux, %						
Ca	0,77	0,005	0,31	1,16	279	520
P total	0,63	0,006	0,30	0,98	244	631
Performances, kg/j						
Ingestion	1,054	0,023	0,02	3,56	432	847
Gain de poids	0,503	0,007	-0,20	1,15	534	1078

¹ Nombre traitements/lignes où la caractéristique (colonne 1) est présentée ; ² n=87 ; ³ n=713

Tableau 2 - Caractéristiques de la base de données par challenge

Facteur		Animaux, nb			Durée ¹ , j			Age _{début} ² , j			PV _{début} ³ , kg		
		n ⁴	Moy ⁵	et ⁶	n	moy	et	n	moy	et	n	moy	et
Challenge ⁵	- ⁷	406	37	69	305	16,3	18,5	303	43,3	13,6	363	16,7	13,6
	+ ⁸	714	40	81	555	23,8	26,9	563	46,7	12,3	634	16,7	12,3
Bactéries	-	188	49	91	131	10,5	8,7	132	33,5	13,3	152	14,7	13,3
	+	264	51	96	183	12,1	12,9	185	35,4	11,2	221	13,5	11,2
Virus	-	35	13	21	32	8,8	10,0	32	56,3	6,4	33	15,6	6,4
	+	111	77	122	108	14,7	27,3	108	50,7	9,5	107	12,3	9,5
Mycotoxines	-	88	9	7	70	19,0	14,7	70	45,4	10,9	88	18,6	10,9
	+	139	8	6	105	22,0	14,9	105	43,5	10,8	139	17,1	10,8
Parasites	-	25	32	108	22	28,3	26,0	22	90,8	10,4	22	29,4	10,4
	+	152	15	20	120	53,3	31,0	126	63,9	13,8	121	26,3	13,8
Hygiène	-	49	68	55	49	26,1	30,0	49	36,3	20,4	46	15,2	20,4
	+	34	86	58	34	14,3	11,6	34	39,9	5,5	34	12,7	5,5

¹ durée de la période expérimentale ; ² âge des animaux au début de la période expérimentale ; ³ poids vif au début de la période expérimentale ; ⁴ nombre de lignes avec données ; ⁵ nombre d'animaux par ligne ; ⁶ écart-type ; ⁷ - correspond aux animaux témoins n'ayant pas subi de challenge ; ⁸ + correspond aux animaux ayant subi un challenge.

variable la consommation d'aliment pendant les trois phases d'élevage. Lorsque l'analyse est réalisée en regroupant tous les challenges et en éliminant les effets expérimentaux, il n'y a pas de différences de consommation entre les deux groupes d'animaux (challengeés et témoins) chez des animaux de moins de 45 kg. Au-delà de ce poids vif, les animaux challengeés ont des niveaux de consommation plus faible que les témoins. Lorsque les animaux témoins atteignent 100 kg de PV, on estime qu'ils ont ingéré 7 kg de plus que les animaux challengeés qui ont un poids vif inférieur. Lors d'une analyse des résultats obtenus par des modèles exponentiels (Tableau 3), les effets négatifs des challenges se révèlent dès le post sevrage, indiquant une réduction plus importante en finition. Ceci souligne l'importance de la méthode dans l'orientation des résultats et donc dans l'interprétation des interactions entre santé et performances.

Les consommations sont affectées très différemment suivant le challenge. Cela est dû, principalement, aux poids moyens qui diffèrent entre les challenges et ne sont pas homogènes. L'infection virale est parmi tous les facteurs, et pour les deux modèles utilisés, celle qui affecte le plus la consommation des porcelets en post-sevrage. La consommation est 30 % plus faible chez les animaux infectés comparativement aux témoins ce qui correspond à environ 290 g/j (Tableau 3). La réduction de la consommation d'aliment en post-sevrage, estimée par les modèles polynomiaux (Figure 1), pour les animaux infectés par des bactéries ou intoxiqués par des mycotoxines est de 8 %, comparativement aux témoins. Inversement, avec l'ajustement exponentiel et pour le challenge mycotoxines, les animaux challengeés consomment plus d'aliments que les témoins (Tableau 3).

L'effet du challenge sur la consommation d'aliment lors de la phase de croissance est très marqué dans les cas des contaminations par des mycotoxines et de la dégradation de l'hygiène des bâtiments, quel que soit le modèle statistique utilisé, avec une réduction d'environ 14 %, ce qui correspond à 12 kg d'aliment cumulés sur la phase de croissance. En finition, les intoxications par les mycotoxines et les parasitoses réduisent la consommation d'aliment, d'au moins 6 %, ce qui représente approximativement 15 kg d'aliment sur la phase de finition. Les ajustements n'ont pas pu être effectués pour les challenges de type infections et dégradation de l'hygiène par manque de données.

2.3. Effet des challenges sur la croissance des animaux

Les résultats des ajustements du gain de poids par des modèles polynomiaux sont présentés figure 1. Ceux obtenus par des modèles exponentiels sont présentés dans le Tableau 3. Tous les challenges affectent le gain de poids des animaux. Lorsque l'analyse est réalisée en regroupant tous les challenges et en éliminant les effets expérimentaux on note que l'effet des challenges sur le gain de poids est beaucoup plus important que sur la consommation. Lorsque les animaux témoins atteignent 100 kg de PV, on estime que les animaux challengeés ont un PV inférieur de 14 kg.

Les résultats issus des modèles polynomiaux montrent une réduction de la vitesse de croissance d'environ 15 % en post sevrage et 1,6 % en croissance chez les animaux challengeés comparativement aux témoins. A la fin de la phase de post-sevrage les animaux challengeés pèsent 2,9 kg de moins que les témoins. Les différences relatives diminuent lors de la phase de croissance, mais augmentent en finition quel que soit l'ajustement réalisé.

Tableau 3 - Différences de consommation et du gain de poids entre les animaux challengés et animaux témoins (exprimées en % du témoin) obtenues par ajustement exponentiel

	Post-sevrage		Croissance		Finition	
	CMJ ¹	GMQ ²	CMJ	GMQ	CMJ	GMQ
Challenge	-5,3	-10,5	-3,2	-7,4	-7,2	-11,7
Bactéries	-8,7	-10,8	4,0	-8,4	NC ³	NC
Virus	-31,0	-17,8	3,7	-12,3	NC	NC
Mycotoxines	3,7	-8,5	-8,0	-8,4	-16,4	-27,4
Parasites	NC	NC	NC	NC	-5,8	3,2
Hygiène	-13,6	-22,6	-13,0	-11,2	NC	NC

¹ CMJ consommation moyenne journalière ; ² GMQ gain moyen quotidien ; ³ Non calculé - manque de données, de degrés de liberté et/ou d'ajustement

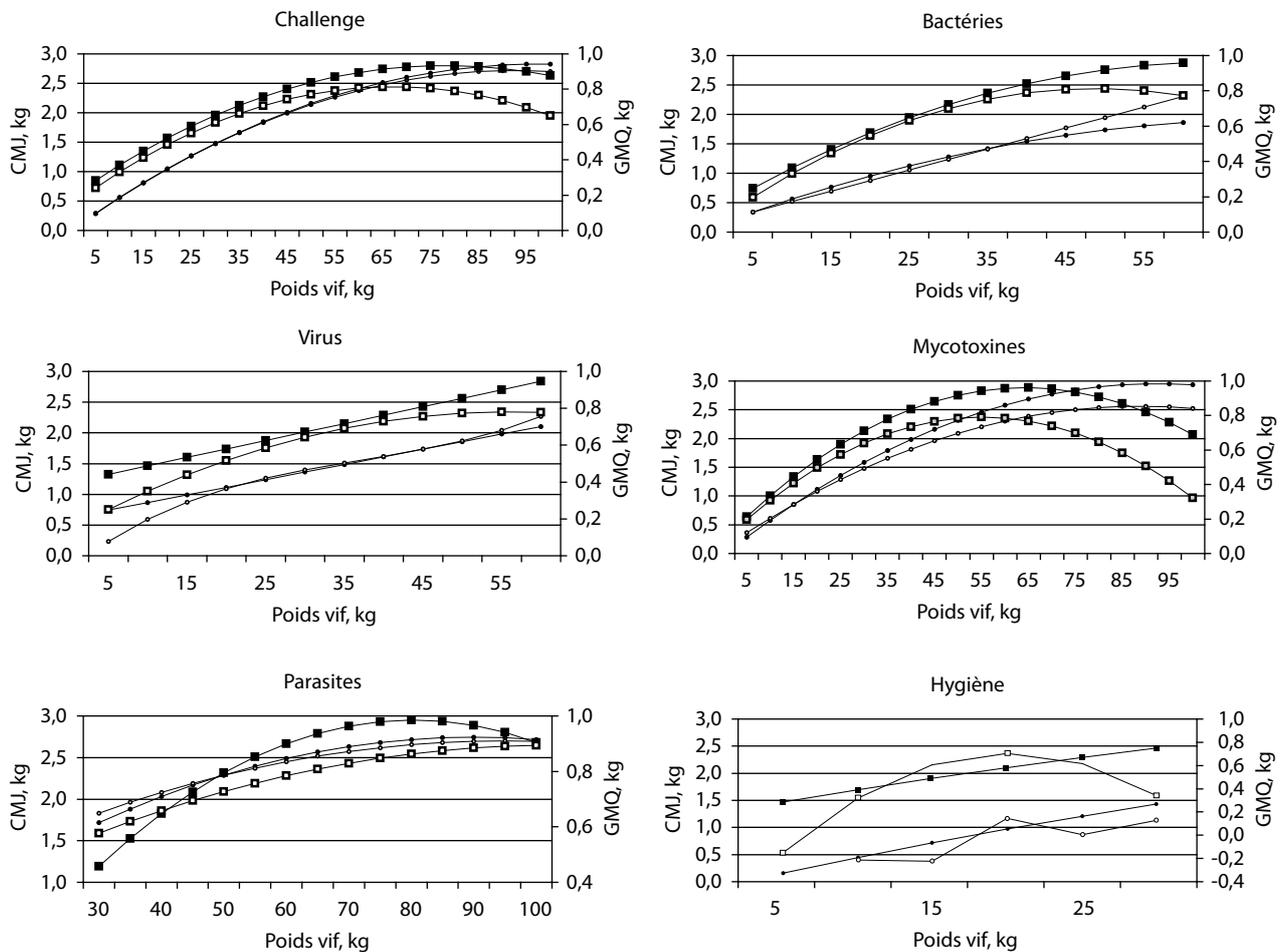


Figure 1 - Consommation d'aliment et gain de poids des animaux témoins et challengés.

Légende : ■ - Gain Moyen Quotidien (GMQ) ; ● - Consommation Moyenne Journalière (CMJ) ; □ - témoin ; ○ - challenge

L'analyse au sein de chaque challenge indique que les infections par des bactéries et des virus affectent le plus la vitesse de croissance en post-sevrage. Ainsi, les infections virales réduisent la croissance de 100 g/jour. Pendant la phase de croissance tous les challenges affectent négativement le gain de poids, à l'exception des animaux infestés par des parasites et ceux infectés par des virus.

2.4. Part de la baisse de croissance expliquée par la consommation

L'analyse de l'effet de consommation sur le gain de poids résiduel, met en évidence que celle-ci n'explique que 10 % de la

variation, tous challenges confondus. Pour les infections virales cette valeur est de 11 %. Pour les infections bactériennes et les contaminations par mycotoxines elle est d'environ 7 %. Pour les infestations par les parasites elle n'est que de 3 %. L'analyse des résidus n'est pas significative pour le challenge dégradation de l'hygiène du fait de l'absence de différences de consommations résiduelles chez les animaux challengés et non challengés.

3. DISCUSSION

Les analyses effectuées tous challenges confondus mettent en évidence une baisse de la consommation et du gain de poids sur l'ensemble des périodes d'élevage. En moyenne, un

challenge diminue la consommation d'environ 11, 3,3 et 10 %, respectivement pour les phases de post-sevrage, croissance et finition soit 8 % du sevrage à l'abattage. Les essais de quantification de l'effet de la santé sur la consommation sont rares. Seuls (Sandberg et al., 2006) ont estimé par modélisation qu'un problème de santé entraînait une réduction de 20 % de la consommation. Le modèle de consommation de Sandberg et al. (2006) a été développé à partir de résultats d'essais impliquant des challenges bactériens mono souche. Le travail de méta-analyse présente l'intérêt de donner une valeur plus représentative de l'ensemble des challenges qui peuvent être rencontrés en élevage porcin.

Ces données moyennes reflètent cependant une grande diversité de réponse. Ainsi, suivant la phase d'élevage et le type de challenge la consommation varie de +4 % à -31 % entre animaux challengés et témoins. Ces variations reflètent entre autre des différences de cibles (organes et fonctions) et d'action (locale ou systémique) des challenges considérés. Par exemple, les infections virales conduisent à des baisses de consommation importantes (-31 %), probablement en lien avec la fièvre qui est un facteur connu de la baisse de consommation (Laevens et al., 1999).

Au sein de chaque challenge, il existe aussi une variabilité liée à la présence de différents agents étiologiques. Ainsi les mycotoxines augmentent de 4 % la consommation en post-sevrage. Cette consommation supérieure des animaux challengés est le résultat d'expériences qui utilisent des mycotoxines qui n'ont pas d'effets négatifs sur la consommation, comme c'est le cas de la zéaralénone (Andretta et al., 2007) contrairement aux aflatoxines connues pour leurs effets délétères sur la consommation (Richard, 2007).

En moyenne un challenge diminue la croissance de l'ordre de 12 % du sevrage à l'abattage. De plus la consommation explique moins de 10 % de la différence de croissance entre animaux challengés et témoins. Ceci met en évidence les conséquences des challenges sur d'autres phénomènes. Certaines hypothèses peuvent être avancées, notamment celle d'une répartition métabolique des différents nutriments entre la satisfaction des besoins

d'entretien, la croissance et les fonctions de défenses de l'animal et d'autres besoins spécifiques liés à certains challenges (sécrétions de mucus par exemple lors des infections respiratoires) (Folkerts et al., 1992). Des analyses complémentaires de la base de données et des essais *in vivo* sont nécessaires pour une meilleure compréhension de ces mécanismes chez les animaux challengés. Finalement, notons que la base de données, dans son état actuel, ne permet pas de mettre en évidence la présence ou non de phénomènes de consommation et de croissance compensatrices.

La base de données nutrition et santé présente l'intérêt de montrer la complémentarité entre des études réalisées pour comprendre les mécanismes microbiologiques et pathologiques et des travaux d'intérêts zootechniques et de les connecter. L'intérêt de cette approche est aussi de mettre en évidence des manques de connaissances pouvant conduire à la mise en place de nouveaux essais *in vivo*.

CONCLUSIONS

Tous les challenges affectent plus ou moins la consommation et le gain de poids des animaux. Les effets des challenges sont plus importants sur la croissance que sur la consommation d'aliment, mettant en évidence des modifications métaboliques. Le type de challenge et l'agent étiologique influent la réponse de l'animal. La base de données est un outil qui permettra d'aller plus loin dans la compréhension et la quantification des interactions entre challenge et nutrition permettant à terme de faire évoluer le paramétrage de la consommation dans les modèles mécanistes tels que InraPorc®. D'un point de vue pratique, si l'on envisage d'augmenter dans les formules la densité de certains nutriments pour limiter les conséquences de la baisse de consommation, il sera nécessaire de travailler en cohérence avec le type de challenge rencontré.

REMERCIEMENTS

A Agrocampus Ouest et au *Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq, Brésil) pour le soutien accordé à Paulo Lovatto.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andretta I., Lovatto P.A., Lanferdini E., Lehnen C.R., Mallmann C.A. 2008. Feeding of pre-pubertal gilts with diets containing zearalenone. *Brazilian J. Anim. Sci.*, in press.
- Folkerts G., Verheyen A., Nijkamp F.P. 1992. Viral infection in guinea pigs induces a sustained non-specific airway hyperresponsiveness and morphological changes of the respiratory tract. *European J. Pharm.*, 228, 121-130.
- Laevens H., Koenen F., Deluyker H., de Kruif A. 1999. Experimental infection of slaughter pigs with classical swine fever virus: Transmission of the virus, course of the disease and antibody response. *Vet. Rec.*, 145, 243-248.
- Minitab. 2007. Version 15. Minitab Inc, Pennsylvania, PA.
- Richard J.L. 2007. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses-an overview. *Int. J. Food Micr.*, 119, 3-10.
- Sandberg F.B., Emmans G.C., Kyriazakis, I. 2006. A model for predicting feed intake of growing animals during exposure to pathogens. *J. Anim Sci.*, 84, 1552-1566.
- SAS. 2007. JMP, version 7. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sauvart D., Schmidely P., Daudin J.J. 2005. Les méta-analyses des données expérimentales : Applications en nutrition animale. *INRA Prod. Animales* 18, 63-73.
- Sauvart D., Schmidely P., Daudin J.J., St-Pierre N.R. 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal*, 2, 1203-1214.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J-Y., Sève B., Noblet J. 2008. Inraporc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 143, 387-405.