2018. Journées Recherche Porcine, 50, 101-106.

Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'alimentation de précision des truies en gestation

Jean-Yves DOURMAD (1), Patrick GAGNON (2), Ludovic BROSSARD (1), Candido POMAR (3), Laetitia CLOUTIER (2)

(1) INRA Agrocampus Ouest, UMR Pegase, 35590 Saint-Gilles, France
(2) Centre de Développement du Porc du Québec inc., 2590 bd Laurier, Québec G1V4M6, Canada
(3) Agriculture and Agri-Food Canada, 2000 rue Collège, Sherbrooke J1M 0C8, Canada

jean-yves.dourmad@inra.fr

Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'alimentation de précision des truies en gestation

Les besoins nutritionnels des truies en gestation varient beaucoup entre truies et selon le stade de gestation, alors qu'en pratique le même aliment est généralement distribué à tous les animaux. Les nouvelles technologies de caractérisation en temps réel des truies et du milieu d'élevage, ainsi que le développement d'équipements innovants de distribution des aliments, nous permettent d'envisager de nouvelles applications des modèles de prédiction des besoins nutritionnels, avec la perspective d'améliorer l'efficience alimentaire, de réduire le coût de production et de diminuer les impacts environnementaux. L'objectif de cette étude était de développer un outil d'aide à la décision pouvant être incorporé dans des équipements d'alimentation de précision. Cet outil est construit sur la base du modèle InraPorc®. Les apports nutritionnels optimaux sont calculés chaque jour et pour chaque truie en utilisant une approche factorielle prenant en compte les informations disponibles sur la truie : génotype, rang de portée, prolificité attendue, stade de gestation, état corporel (poids et épaisseur de lard dorsal (ELD)), activité physique et logement (type de sol, température). L'approche a été testée sur une base de données regroupant 2511 gestations sur 540 truies. Les apports énergétiques sont calculés pour chaque truie afin d'atteindre 18 mm d'ELD à la mise-bas avec un objectif de poids vif fonction du rang de portée et de l'âge de la truie. L'alimentation de précision, obtenue en mélangent deux aliments qui diffèrent par leurs teneurs en nutriments, est simulée en comparaison avec l'alimentation conventionnelle utilisant un seul aliment. L'alimentation de précision a permis de réduire d'environ 25 % les apports en protéines et en lysine comparativement à l'alimentation conventionnelle. De plus, une proportion plus élevée des truies avait leurs besoins couverts en fin de gestation, notamment les plus jeunes, alors qu'une proportion plus faible était suralimentée en début de gestation, notamment parmi les plus âgées.

Development of a decision support tool for precision feeding of pregnant sows

Nutritional studies indicate that nutrient requirements for pregnancy differ greatly among sows and by stage of pregnancy, but in practice the same diet is generally fed to all sows from a given herd. In this context, the availability of new technologies for high throughput phenotyping of sows and characterization of their environment, and of innovative feeders that can distribute different diets, offers opportunities for a renewed and practical implementation of predictive models of nutrient requirements, in the perspective of improving feed efficiency and reducing feeding costs and environmental impacts. The objective of this study was thus to design a decision support tool that could be incorporated into automated feeding equipment. The decision support tool was developed from the InraPorc® model. Optimal nutritional supply for a given sow is determined each day according to a factorial approach considering all the information available about the sow: genotype, parity, expected prolificacy, gestation stage, body condition (i.e. weight and backfat thickness), activity and housing (i.e. type of floor and ambient temperature). The approach was tested using data from 2511 pregnancies on 540 sows. Energy supply was calculated for each sow to achieve, at farrowing, a target body weight established based on parity and age at mating, and of backfat thickness (18 mm). Precision feeding (PF) with the mixing of two diets was then simulated in comparison with conventional (CF) feeding with a single diet. Compared to CF, PF reduced protein and amino-acid intake and N excretion by 25%. At the same time, with PF, amino acid requirements were met for a higher percentage of sows, especially younger ones, and a lower percentage of sows, especially older ones, received excessive supplies.

INTRODUCTION

Les besoins nutritionnels des truies en gestation sont très variables entre les individus en fonction du stade de gestation et de la taille de la portée. On observe ainsi en fin de gestation un fort accroissement des besoins en énergie (Noblet et Etienne, 1987) et surtout en acides aminés (Etienne, 1991; King et Brown, 1993; Dourmad et Etienne, 2002) et en minéraux (Jondreville et Dourmad, 2005). Par ailleurs, ces besoins varient également fortement entre les truies en fonction de leur état corporel à l'insémination (Dourmad *et al.*, 1996), de leur rang de portée et de leur activité physique (Noblet *et al.*, 1993). Les recommandations d'apports alimentaires prennent en partie en compte cette variabilité, par exemple en considérant l'effet du rang de portée. Les modèles de prédiction, comme par exemple InraPorc (Dourmad *et al.*, 2008) ou le modèle NRC (2012), permettent de calculer des besoins individuels en considérant les caractéristiques de chaque truie, le stade de gestation et les conditions de logement.

En pratique, la quantité d'aliment apportée aux truies en gestation est ajustée selon l'état corporel de la truie et le stade de gestation, afin de prendre en compte, tout au moins en partie, la variation des besoins énergétiques. Le même aliment est cependant très généralement distribué à tous les animaux, ce qui conduit assez souvent à des déficits d'apports en acides aminés et en minéraux, surtout en fin de gestation et chez les jeunes truies alors que des excès d'apports sont observés à d'autres stades (Dourmad *et al.*, 2009). De plus, le logement en groupes des truies pendant la gestation, pour des raisons de bien-être animal, peut rendre plus difficile l'individualisation des rations, en particulier lorsque les truies sont logées en petits groupes avec une auge commune.

A l'inverse, le logement en groupe des truies gestantes a aussi favorisé l'apparition de technologies innovantes permettant, grâce à l'identification des animaux, de les alimenter individuellement dans des stations d'alimentation automatiques qui pour certaines d'entre-elles peuvent distribuer plusieurs aliments. Plus généralement, le développement de l'élevage de précision offre des possibilités nouvelles pour mieux prendre en compte en temps réel l'ensemble des facteurs de variation des besoins (Brossard *et al.*, 2016).

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail était de développer une première version d'un système d'aide à la décision qui puisse être intégré à des dispositifs d'alimentation automatique pour les truies en gestation, comme cela a déjà été réalisé pour les porcs à l'engraissement (Haushild *et al.*, 2012 ; Cloutier *et al.*, 2015), et de le tester sur une base de données déjà disponible dans un élevage expérimental.

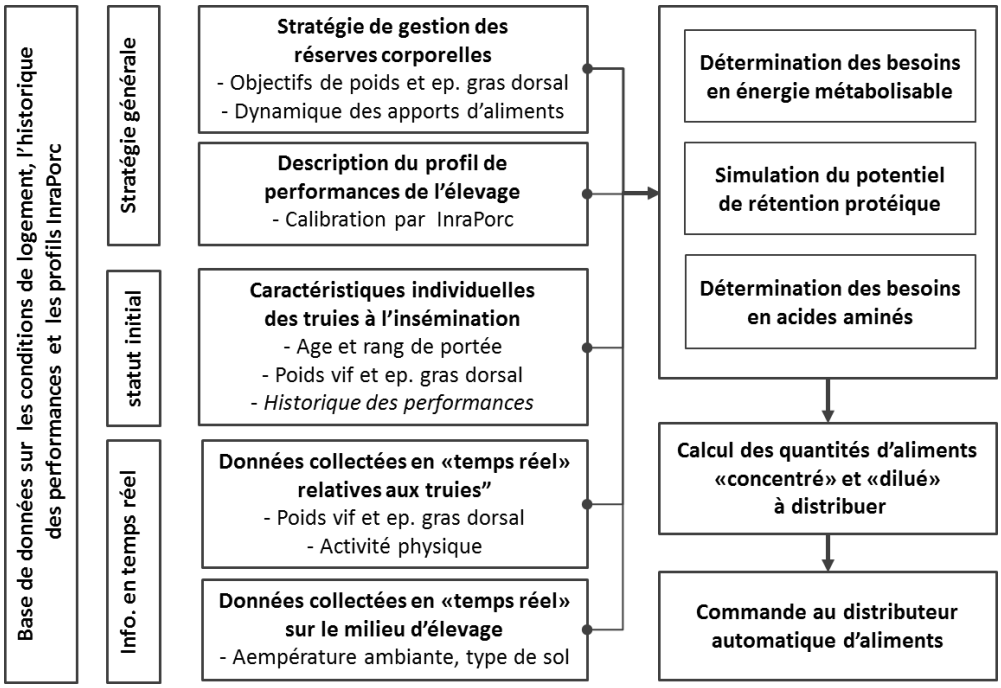

Figure 1 - Description générale de la construction du système d'aide à la décision

1. DEVELOPMENT DU SYSTEME D'AIDE A LA DECISION

1.1. Description générale de l'approche

La description générale de l'approche retenue pour la construction du système d'aide à la décision (SAD) est illustrée à la figure 1. L'objectif final du SAD est d'envoyer une commande au distributeur automatique d'aliment concentré (DAC). Cette commande informe le DAC de la quantité journalière à distribuer de chacun des aliments disponibles dans le dispositif, ceci chaque jour pour chaque truie. Ces aliments, généralement au nombre de deux, diffèrent par leur teneur en nutriments.

Pour prendre cette décision, le SAD utilise des informations relatives à chacune des truies à alimenter, aux conditions de logement et à la stratégie générale d'alimentation définie par l'éleveur. Cette information est stockée dans une base de données qui ne sera pas décrite dans cette publication. Les informations stockées dans cette base de données concernent : (i) les informations relatives aux profils de performances de l'élevage et à la description de la stratégie générale de gestion des réserves corporelles telles que décrites dans InraPorc (Dourmad *et al.*, 2008), (ii) les informations relatives aux caractéristiques individuelles des truies, en particulier leur date de naissance, leur rang de portée, leur historique de mesures de poids vif (PV),

d'épaisseur de gras dorsal et de performances et (iii) les données relatives aux truies (e.g. PV, activité physique, activité de consommation d'eau et d'aliment…) ou à l'environnement (e.g. température ambiante, humidité…) collectées en temps réel par les différents capteurs.

À partir des informations disponibles, qui sont susceptibles de varier en fonction des équipements disponibles sur l'élevage et des données collectées, le SAD construit la "meilleure" décision qui est envoyée au DAC. Ce processus implique deux étapes : (i) le calcul des besoins en énergie, en acides animés et en minéraux et (ii) la détermination de la quantité et de la composition de la ration à distribuer. Cette ration est préparée en mélangeant les différents aliments disponibles dans le DAC.

1.2. Détermination des besoins en énergie et en acides aminés

Les besoins en énergie et en acides aminés sont calculés selon une démarche factorielle. Le besoin en énergie métabolisable (EM) est calculé comme la somme des besoins pour le développement des contenus utérins, des besoins d'entretien, et des besoins de croissance et/ou de reconstitution des réserves corporelles (Tableau 1, éq. 1).

Les besoins d'EM pour l'entretien sont calculés en fonction du PV (éq. 2) et modulés selon l'activité physique (éq. 3), la température ambiante et les conditions de logement (éq. 4 et 5).

Tableau 1 - Principales équations retenues pour décrire l'utilisation des nutriments par la truie en gestation (adapté de Dourmad *et al.*, 2008)

Utilisation de l'énergie	$EM = EM_m + ER_c / k_c + ER_m / k_m$	[1]
	EM_m : EM pour l'entretien	
	ER_c : Énergie retenue dans les conceptus	
	ER_m: Énergie retenue dans les tissus maternels	
	$k_c = 0,50$ Efficacité de l'EM pour les conceptus	
	$k_m = 0,77$ Efficacité de l'EM pour la rétention maternelle	
EM pour l'entretien et effet de l'activité et de la température ambiante	<u>condition de thermoneutralité</u>	
	$EM_m = 440$ kJ.$PV^{-0,75}$.j^{-1} (pour 240 min.j^{-1} de temps debout)	[2]
	$EM_{activité\ physique} = 0,30$ kJ. kg $PV^{-0,75}$.j^{-1}.min^{-1} debout	[3]
	<u>en dessous de la température critique inférieure (TCI)</u>	
	Logement individuel	
	TCI = 20°C – la production de chaleur s'accroit de 18 kJ.kg $PB^{-0,75}$.j^{-1}.$°C^{-1}$	[4]
	Logement en groupe	
	TCI = 16°C – la production de chaleur s'accroit de 10 kJ.kg $PV^{-0,75}$.j^{-1}.$°C^{-1}$	[5]
Rétention d'énergie	<u>ERc : dans les conceptus (kJ)</u>	
	$Ln(ERc) = 11,72 – 8,62\ e^{-0,0138\ t} + 0,0932$ taille de portée	[6]
	<u>ERm : dans les tissus maternel (MJ)</u>	
	$ER_m = 13,65$ gain de PVV + 45,94 gain d'épaisseur de gras dorsal	[7]
Rétention azotée (NR)	NR : Rétention totale N (g.j^{-1})	
	NR_C: Rétention dans les conceptus (g)	
	$Ln(6,25\ NR_C) = 8,090 – 8,71\ e^{-0,0149\ t} + 0,0872$ taille de portée	[8]
	$NR = 0,85\ (d(NR_C)/dt – 0,4 + 45,9\ (t/100) – 105,3\ (t/100)^2 + 64,4\ (t/100)^3 + a\ (EM - EM_{mi})$)	[9]
	avec a = f(PV à l'insémination) et $EM_{mi} = EM_m$ à l'insémination	
Besoins en lysine digestible, g/j	$Lys\ DIG = 0,036 \times PV^{-0,75} + 6,25\ NR \times 0,065 / 0,65$	[10]

Tableau 2 - Description de la base de données utilisée pour tester le système d'aide à la décision

Portée	Nombre de truies	Taille moyenne de la portée	Poids moyen des porcelets (g)	Moyennes à l'insémination		Objectif moyen après mise-bas[2]	
				PV[1], kg	ELD[1], mm	PV[1], kg	ELD[1], mm
1	392	13,3	1405	163	16,9	203	18
2	389	13,5	1557	192	15,9	227	18
3	413	14,1	1523	211	15,0	243	18
4	384	14,9	1480	227	14,4	255	18
5	335	15,0	1472	234	14,1	260	18
6	253	14,8	1438	241	14,1	263	18
7	187	13,9	1445	246	14,6	265	18
8	158	13,6	1455	251	14,9	267	18
Toutes	2511	14,1	1478	214	15,2	244	18

[1]PV poids vif des truies ; ELD épaisseur de lard dorsal des truies.

[2]Un objectif individualisé de PV est déterminé pour chaque truie en fonction de son âge et de son PV à l'insémination. Le même objectif d'ELD à la mise-bas est retenu pour toutes les truies.

La quantité cumulée d'énergie retenue dans les réserves corporelles pendant la gestation (ERm) est déterminée en fonction de la quantité corporelle d'énergie à l'insémination et de l'objectif visé après mise-bas. Ces quantités d'énergie sont estimées à partir du PV et de l'épaisseur de gras dorsal selon les équations proposées par Dourmad *et al.* (1997) (éq. 7). Le besoin en EM pour couvrir ces dépenses est calculé à partir de l'ERm et de l'efficacité d'utilisation de l'EM pour les dépôts corporels en gestation (km, éq. 1). Les besoins en EM pour les fœtus sont calculés en fonction de la quantité d'énergie retenue dans les fœtus (ERc, éq. 6) et de l'efficacité d'utilisation de l'EM pour la croissance utérine (kc, éq. 1). L'activité physique n'étant pas mesurée elle a été supposée être de 4h debout pour toutes les truies.

La rétention azotée totale (éq. 9) est calculée comme la somme de la rétention des fœtus (éq. 8) et de la rétention maternelle (Dourmad *et al.*, 1999). Les besoins en lysine digestible au niveau iléal (SID lysine) sont ensuite calculés sur la base d'une teneur moyenne de 6,5 % en lysine dans les protéines déposées (NR x 6,25) avec une efficacité moyenne de rétention de 65 % (éq. 10).

1.3. Simulation de la dynamique d'utilisation des nutriments

L'ensemble des équations décrites au tableau 1 sont utilisées pour la simulation de la dynamique d'évolution de l'utilisation des nutriments sur la base du modèle InraPorc (Dourmad *et al.*, 2008). Cette simulation peut être réajustée au cours du temps si des informations complémentaires sont collectées, comme par exemple des mesures de PV et d'épaisseur de gras.

2. UTILISATION DU SYSTEME D'AIDE A LA DECISION

2.1. Description de la base de données de test

Une base de données issue d'un élevage expérimental (Tableau 2) a été utilisée pour simuler l'utilisation du SAD. Cette base de données contenait des informations sur 2511 gestations avec des mesures relatives à l'état corporel des truies à l'insémination (i.e. PV et épaisseur de gras dorsal) et à la mise-bas. Ces données ont été utilisées pour calibrer les paramètres de description phénotypique du "profil truie" dans InraPorc. La taille de la portée était en moyenne de 14,1 porcelets à la naissance avec un poids moyen de 1,48 kg.

Le poids moyen des truies à l'insémination s'accroissait de 163 à 251 kg entre la première et la huitième portée, alors que l'épaisseur de gras dorsal tendait à être plus élevée en première et seconde portée, puis restait relativement constante par la suite.

2.2. Détermination des besoins en énergie et en lysine digestible

Un objectif de PV après mise-bas (i.e. poids total – poids des contenus utérins) est déterminé pour chaque truie selon son rang de portée et son PV à l'insémination (Tableau 2). L'objectif d'épaisseur de gras dorsal à la mise-bas est fixé à 18 mm pour toutes les truies, en accord avec les pratiques dans cet élevage. Ces informations ont été utilisées pour calculer les besoins en EM de chaque truie et les quantités d'aliment à distribuer. Ces besoins varient selon le rang de portée entre 31 et 37 MJ EM/j (Tableau 3), avec une forte variabilité entre truies comme l'illustre la figure 2. Le coefficient de variation s'élève à 7 %.

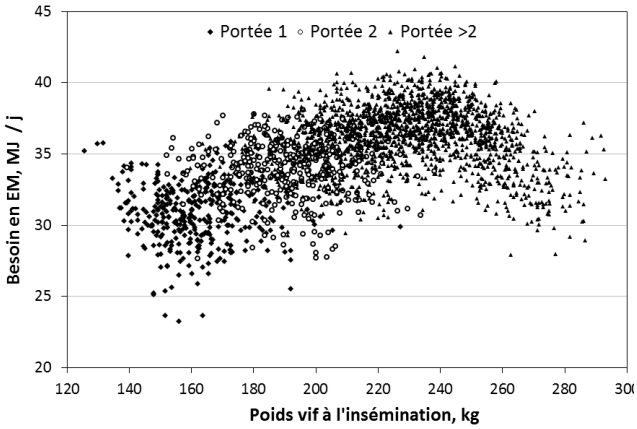

Figure 2 – Besoin moyen en énergie métabolisable (EM) selon le rang de portée et le poids vif des truies à l'insémination

Le besoin en lysine digestible par kg d'aliment, ou relativement à l'EM, varie selon le rang de portée et en fonction du stade gestation. À 30 jours de gestation, il décroit ainsi de 3,6 g/kg à 2,4 g/kg entre les portées 1 et 8 (2,9 g/kg en moyenne), alors qu'à 114 jours de gestation, il décroit de 6,6 à 4,7 g/kg (5,4 g/kg en moyenne) (Tableau 3).

La variabilité est encore plus importante si l'on prend en compte les différences entre truies (Figure 3). Le besoin en lysine par kg d'aliment s'accroit avec le stade gestation avec une grande variabilité entre truies. La valeur la plus forte étant trois fois plus élevée que la plus faible. Le besoin est également très influencé par le rang de portée, avec des besoins significativement plus élevés pour les truies primipares que pour les multipares.

Tableau 3 - Besoins calculés (moyenne ± écart-type) en EM (MJ/j), en aliment (kg/j) et en lysine digestible (g/kg aliment), et influence de l'alimentation de précision (AP) sur la teneur en lysine, le pourcentage d'aliment "dilué" dans la ration et sur la réduction d'apport en lysine comparativement à l'alimentation conventionnelle (AC)

	Besoin en énergie et en lysine digestible (SID)								Alimentation de précision (AP)[1]		
	EM, MJ/j		Aliment, kg/j		SID lysine (30 j), g/j		SID lysine (114 j), g/j		SID lysine g/kg	% de l'aliment "dilué"	Réduction AP *vs* AC, %
Portée	Moy.	±écart-type	Moy.	±écart-type	Moy.	±écart-type	Moy.	±écart-type			
1	31,0	±2,30	2,38	±0,18	3,63	±0,27	6,23	±0,53	4,01	67	17
2	34,0	±2,31	2,59	±0,15	3,20	±0,26	5,80	±0,55	3,62	78	24
3	35,5	±2,31	2,70	±0,15	2,91	±0,25	5,41	±0,56	3,32	85	28
4	36,4	±2,32	2,77	±0,15	2,68	±0,23	5,14	±0,51	3,09	89	30
5	36,8	±2,33	2,80	±0,15	2,59	±0,24	5,09	±0,48	3,02	89	31
6	36,6	±2,34	2,79	±0,16	2,52	±0,21	4,92	±0,50	2,91	91	32
7	35,9	±2,35	2,74	±0,18	2,48	±0,22	4,79	±0,51	2,83	92	33
8	35,7	±2,36	2,71	±0,19	2,44	±0,16	4,72	±0,55	2,77	93	33
toutes	35,0	±2,36	2,68	±0,19	2,89	±0,46	5,38	±0,71	3,28	84	27

[1]*Dans la stratégie d'alimentation conventionnelle (AC), la teneur en lysine de l'aliment est de 4,8 g/kg d'aliment. La teneur en EM des aliments est de 13 MJ.*

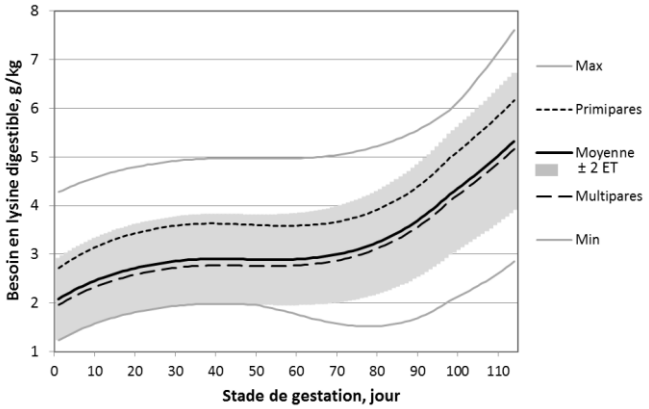

Figure 3 - Évolution pendant la gestation du besoin en lysine digestible (g/kg aliment) des truies primipares (moyenne), multipares (moyenne), de toutes les truies (moyenne ± 2 écarts-types (ET)) et valeur minimale (min) et maximale (Max)

2.3. Évaluation d'une stratégie d'alimentation de précision

Les résultats des simulations ont été utilisés pour tester la mise en œuvre d'une alimentation de précision. On a ainsi comparé une alimentation conventionnelle (AC) utilisant un seul aliment de gestation distribué à toutes les truies et une alimentation de précision (AP) qui consistait à mélanger deux aliments à teneur basse (BN) ou haute en nutriments (HN) en fonction du besoin de chaque truie. Les aliments AC, BN et HN contenaient respectivement 4,8, 3,0 et 6,5 g/kg d'aliment de lysine digestible et 14 %, 9 % et 16 % de protéines. Tous les aliments contenaient 13 MJ d'EM/kg.

La teneur moyenne en lysine des aliments distribués dans le cas de la stratégie AP était de 3,28 g/kg soit 27 % de moins que pour la stratégie AC (Tableau 3). Cet écart s'accroissant avec le rang de portée, la réduction était ainsi de 32 % en moyenne pour des rangs de portée supérieurs à 4 contre 17 % et 24% pour les rangs de portée 1 et 2.

En moyenne l'aliment BN représentait 84 % de l'aliment distribué, sa contribution étant plus faible pour les truies primipares (67 %). La proportion d'aliment HN dans la ration s'accroissait avec l'avancement de la gestation en particulier chez les truies primipares où elle dépassait 50 % en moyenne au cours des 3 dernières semaines de gestation et près de 70 % la dernière semaine.

L'alimentation de précision permettait de réduire la proportion de truies qui recevaient des apports de lysine inférieurs à leurs besoins (Figure 4). En moyenne sur toutes les truies, dans les 2 dernières semaines de gestation, cette proportion passait ainsi de plus de 60 % pour la stratégie AC à moins de 5 % pour la stratégie AP. Pour les truies primipares, la différence était encore plus marquée puisque pratiquement 100 % des truies étaient en situation de déficit avec la stratégie AC contre seulement 10 % avec la stratégie AP (Figure 4). Inversement, la proportion de truies qui étaient suralimentées était fortement réduite avec la stratégie AP (Figure 4).

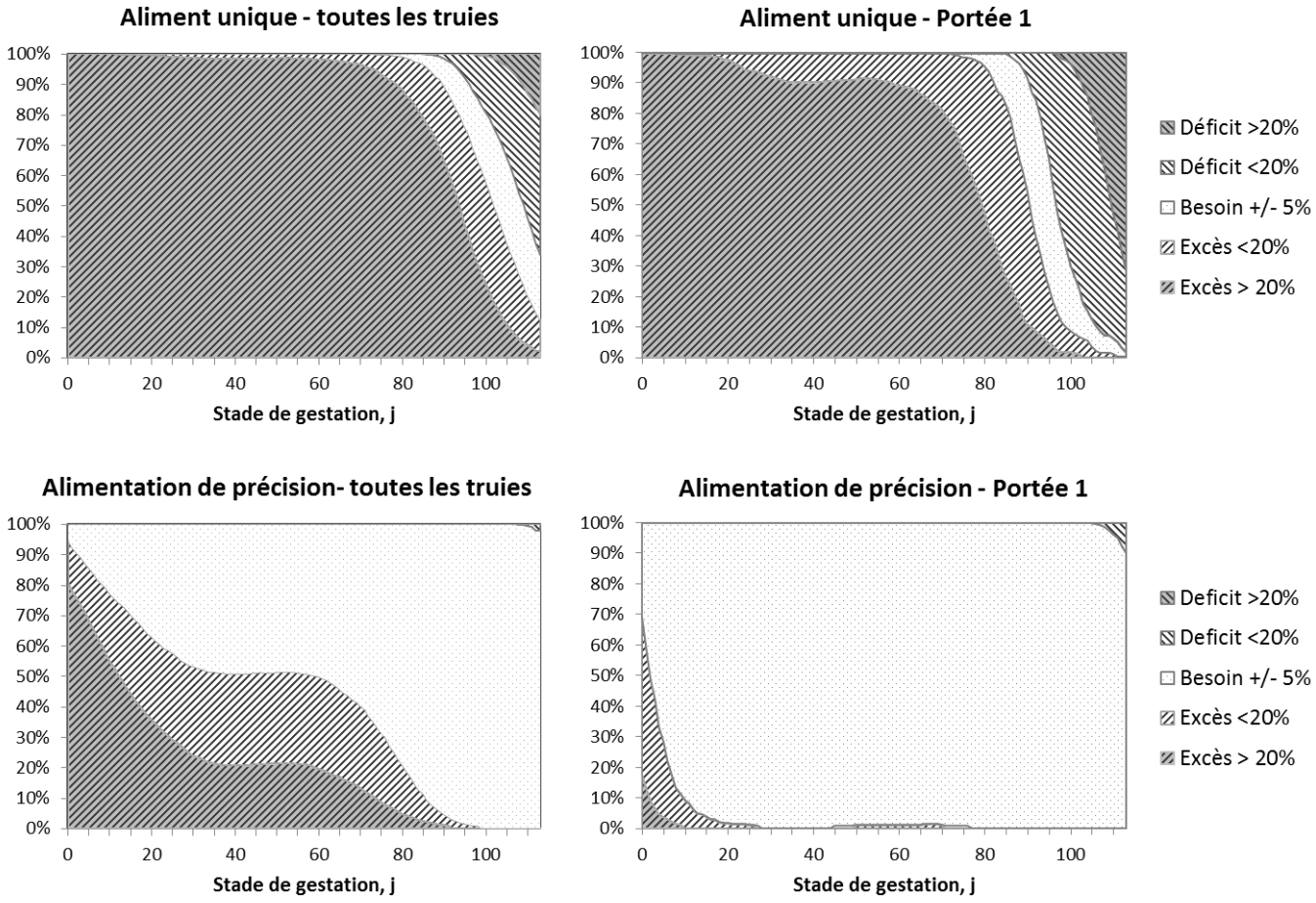

Figure 4 – Influence de la stratégie d'alimentation pendant la gestation (1-phase vs alimentation de précision) sur la proportion de truies (parmi toutes les truies ou seulement les primipares) qui recevaient des apports de lysine adéquats, déficients ou en excès

Dans ce travail le calcul des besoins alimentaires est réalisé en considérant un objectif type d'évolution du poids en fonction de l'âge, spécifique de la lignée, mais identique pour tous les animaux. Il pourrait être intéressant de moduler cet objectif selon les truies en prenant en compte l'évolution du poids et de l'ELD mesurés pour chaque animal. Ceci impliquerait de développer un système d'apprentissage qui permettrait au système de décision de s'adapter progressivement à la situation spécifique de chaque élevage.

CONCLUSION

Comme l'avaient déjà montré Pomar *et al.* (2009) chez le porc à l'engraissement, les résultats de la présente étude indiquent que l'alimentation de précision de la truie en gestation devrait constituer une stratégie "gagnant-gagnant" permettant d'améliorer la couverture des besoins azotés tout en réduisant les apports et l'excrétion par les animaux. L'influence sur le coût alimentaire n'a pas été évaluée dans ce travail, mais il est probable qu'il soit également réduit comme l'avaient montré Dourmad *et al.* (2009) dans un travail antérieur sur l'utilisation d'une alimentation multiphase.

Le SAD développé dans la présente étude permet d'adapter la quantité et la composition en acides aminés de la ration distribuée à chaque truie en fonction de son état corporel à l'insémination, de ses performances de reproduction attendues et des conditions de logement. Ce SAD permet également de prendre en compte les informations collectées par les différents capteurs, comme par exemple celles relatives à l'animal (PV, épaisseur de gras dorsal, activité physique) ou au milieu d'élevage.

Pour l'avenir, il sera important d'affiner l'approche pour également prendre en compte d'autres nutriments, comme le phosphore dont la dynamique d'évolution des besoins est différente de celle du besoin en acides aminés (Jondreville et Dourmad, 2005), ou les fibres qui jouent un rôle important sur le comportement et la santé digestive (Ramonet *et al.*, 1999), en particulier en fin de gestation.

REMERCIEMENTS

Ce projet a bénéficié de l'aide financière de l'Union Européenne dans le cadre du projet de recherches "Feed-a-Gene" sous l'égide du programme "H2020 - Recherche et Innovation" (Grant agreement No 633531).

Les données utilisées pour les simulations et le test du système d'aide à la décision sont issues d'un projet conduit par le Centre de Développement du Porc du Québec *inc.* (CDPQ) en collaboration avec l'INRA-UMR Pegase et Agriculture et Agroalimentaire Canada, dans le cadre du programme Agri Innovation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brossard L., Dourmad J.Y., van Milgen J., Marcon M., Quiniou N., 2016. Élevage de précision en filière porcine : état des lieux et enjeux. In: S. Chastant-Maillard, M. Saint Dizier (Eds), Élevage de précision, 145-165, Editions France Agricole, Paris.
- Cloutier L., Pomar C., Létourneau-Montminy M.-P., Bernier J.F., Pomar J., 2015. Evaluation of a method estimating real-time individual lysine requirements in two lines of growing-finishing pigs. Animal, 9, 561-568.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Noblet J., Causeur D., 1997. Prédiction de la composition chimique des truies reproductrices à partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. Application à la définition des besoins énergétiques. Journées Rech. Porcine, 29, 255-262.
- Dourmad J. Y., Etienne M., Valancogne A., Dubois S., van Milgen J., Noblet J., 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. Anim. Feed Sci. Technol., 143, 372-386.
- Dourmad J.Y., Brossard L., van Milgen J., 2009. Nutrition-environment interaction in the sow: interest of modelling approach. In: Proceeding of the 30th Western Nutrition Conference, Winnipeg, Manitoba, 182-192.
- Dourmad J.Y., Etienne M., 2002. Dietary lysine and threonine requirements of the pregnant sow estimated by nitrogen balance. J. Anim. Sci., 80, 2144-2150.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Noblet J., 1996. Reconstitution of body reserves in multiparous sows during pregnancy: effect of energy intake during pregnancy and mobilization during the previous lactation. J. Anim. Sci., 74, 2211-2219.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Valancogne A., Dubois S., van Milgen J., Noblet J., 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. Anim. Feed Sci. Technol., 143, 372-386.
- Dourmad J.Y., Noblet J., Père M.C., Etienne M., 1999. Mating, pregnancy and pre-natal growth. In: I. Kyriazakis (Ed), A quantitative biology of the pig, CAB, 129-153.
- Etienne M., 1991. Apport énergétique de gestation et accrétion de protéines chez la truie nullipare. Journées Rech. Porcine, 23, 69-74.
- Hauschild L., Lovatto P.A., Pomar J., Pomar C., 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. J. Anim. Sci., 90, 2255-2263.
- Jondreville C., Dourmad J.-Y., 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. INRA Prod. Anim., 18, 183-192.
- King R.H., Brown W.G., 1993. Interrelationships between dietary protein level, energy intake, and nitrogen retention in pregnant gilts. J. Anim. Sci., 71, 2450-2456.
- Noblet J., Dourmad J.Y., Le Dividich J., Dubois S., 1989. Effect of ambient temperature and addition of straw or alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. Livest. Prod. Sci., 21, 309-324.
- Noblet J., Etienne M., 1987. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in pregnant sows. Livest. Prod. Sci., 16, 243-257.
- Noblet J., Shi X.S., Dubois S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. Livest. Prod. Sci., 34, 127-136.
- NRC, 2012. Nutrients requirements of swine. The National Academies Press, Washington, 400 p.
- Pomar C., Hauschild L., Zhang G.H., Pomar J., Lovatto P.A., 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. Brazilian J. Anim. Sci., 38, 226-237.
- Ramonet Y., Meunier-Salaün M. C., Dourmad J.Y., 1999. High-Fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. J. Anim. Sci., 77, 591-599.