

Modélisation de l'effet de la stratégie alimentaire et du contexte de prix des matières premières sur les performances moyennes, leur variabilité et les rejets azotés à l'échelle d'une population de porcs

Nathalie QUINIOU (1), Bertrand VAUTIER (1,2,3), Yvon SALAÜN (1), Jaap VAN MILGEN (2,3), Ludovic BROSSARD (2,3)

(1,2) Unité Mixte Technologique Ingénierie des systèmes de production porcine

(1) IFIP, Domaine de la Motte, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

(2) INRA, UMR1348 Pegase, 35590 Saint-Gilles, France

(3) Agrocampus Ouest, UMR1348 Pegase, 35000 Rennes, France

nathalie.quiniou@ifip.asso.fr

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse CIFRE avec un co-financement de l'appel à projets « Recherche finalisée et innovation » du Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche.

Modélisation de l'effet de la stratégie alimentaire et du contexte de prix des matières premières sur les performances moyennes, leur variabilité, et les rejets azotés à l'échelle d'une population de porcs

Une population virtuelle de 2000 porcs a été utilisée pour simuler l'effet de la stratégie alimentaire sur les performances moyennes et leur variabilité, et sur les rejets azotés selon le contexte de prix des matières premières. L'évolution moyenne, avec le poids, du besoin en lysine digestible des femelles est utilisée pour concevoir une alimentation biphase, combinée avec un plan de rationnement ou une alimentation à volonté. Des stratégies multiphases sont également étudiées en à volonté, avec des apports en lysine de -10% à +35% autour du besoin moyen des femelles (F100). Les performances sont simulées individuellement avec InraPorc® jusqu'à un poids d'abattage moyen de 115 kg. Les rejets azotés et résultats économiques sont obtenus dans cinq contextes de prix des matières premières (2005/06 à 2009/10), avec ou sans contrainte de formulation sur la teneur en matières azotées totales. Notre étude montre que l'expression du potentiel de croissance à l'échelle d'une population nécessite des apports en acides aminés très élevés (+30% par rapport à F100 dans l'étude). Lorsqu'une même stratégie alimentaire est appliquée à toute la population, chaque augmentation des apports en acides aminés s'accompagne de rejets azotés accrus et le niveau d'apport optimal économiquement dépend du contexte de prix et des contraintes de formulation. En revanche, l'individualisation des apports permet d'améliorer la marge par porc tout en limitant les rejets. En alimentation biphase, d'après notre étude, une amélioration beaucoup plus importante de l'hétérogénéité du poids, de la marge par porc et des rejets est permise par une restriction alimentaire maîtrisée.

Modeling the effect of feeding strategy and feed prices on performance, variation among pigs, and nitrogen excretion in a population of pigs

A virtual population of 2000 pigs was used to simulate the effect of feeding strategy on the average performance and variability of the population, and on N output depending on the context of feed prices. The evolution of the average digestible lysine requirement of females was used to design a biphase strategy, combined with feed restriction or ad libitum feeding. Multiphase strategies were also tested in ad libitum conditions, with lysine levels ranging from -10% to +35% around the average requirement of females (F100). Performance was simulated individually using InraPorc® up to an average (population) final body weight of 115 kg. Nitrogen excretion and economic results were calculated in five different contexts of feed prices (2005/06 to 2009/10), with or without limitations on the dietary crude protein content. Results indicated that the lysine supply should be 30% above F100 to maximize growth. However, when multiphase strategies above F100 are used, N excretion is increased. The best economic AA supply depends on the context of feed prices and limitation on the dietary formulation. A precision feeding technique, with tailored feed supply to individual pigs, allows for an improved margin per pig and a reduced N output. With a biphase strategy, simulations indicate that feed restriction allows for a reduction in variation in final body weight, increased margin and reduced N excretion.

INTRODUCTION

A un âge donné, la variabilité du poids vif (PV) entre les porcs complique la conduite, tant au niveau de la gestion des transitions alimentaires que du tri des animaux dans l'élevage avant le départ à l'abattoir (Quiniou *et al.*, 2012). Des outils d'aide à la décision permettent d'adapter la stratégie d'abattage des porcs à l'hétérogénéité observée mais sans influencer cette dernière (Kristensen *et al.*, 2012). La variabilité au sein de cohortes d'animaux est un élément à prendre en compte pour déterminer des stratégies alimentaires réellement optimisées à l'échelle de ces cohortes et, au-delà, pour maîtriser ou réduire la variabilité elle-même.

L'alimentation à volonté (*ad lib*) permet l'expression de la variabilité de l'ingestion spontanée d'aliment entre porcs. Ce n'est pas le cas en condition d'alimentation rationnée, mais alors le niveau d'alimentation peut interférer avec la réponse individuelle aux apports de nutriments. Ainsi, la variabilité des besoins nutritionnels à un âge donné fait écho à la variabilité du poids (Brossard *et al.*, 2012), celle-ci induisant de fait une variabilité de la réponse dans un contexte nutritionnel donné.

L'intégration de la variabilité dans les modèles de croissance est une voie prometteuse pour réaliser des simulations pertinentes à l'échelle du groupe. Actuellement, les modèles restent essentiellement déterministes (Knap, 2000) et les performances sont simulées le plus souvent sur la base d'un jeu de paramètres obtenu à partir d'observations moyennes réalisées à l'échelle de la bande. Une alternative consiste à construire un panel de jeux de paramètres décrivant autant de profils animaux, pour représenter virtuellement une population, et à leur appliquer le modèle déterministe.

Une population virtuelle de 2000 porcs a ainsi été générée suivant la méthode proposée par Vautier *et al.* (2012) et utilisée pour réaliser des simulations. Les performances zootechniques, économiques et les rejets azotés obtenus avec différentes stratégies alimentaires sont comparés dans cinq contextes de prix de matières premières.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Données originelles et profils animaux virtuels

Dans le logiciel InraPorc®, l'évolution du PV selon l'âge est représentée par une équation de Gompertz, et l'évolution de la consommation journalière selon le PV est représentée par une fonction gamma (x besoin d'entretien en énergie). Les paramètres de ces équations pour le profil moyen de femelles et de mâles castrés croisés (LWxLD)x(LWxPP) sont présentés dans le Tableau 1. Ce vecteur moyen et la matrice de variance-covariance entre paramètres ont été caractérisés par Vautier *et al.* (soumis pour publication) et utilisés pour générer une population virtuelle correspondant à 2000 jeux de paramètres (1000 femelles, 1000 mâles castrés), dont la variabilité reflète celle de la population d'origine. Le rendement de carcasse est fixé à 79% et le poids à partir duquel le dépôt protéique (PVPDmax) est limité par le potentiel de croissance est fixé à 70 kg.

1.2. Séquences alimentaires

Deux séquences alimentaires sont établies à partir de l'évolution selon le PV du besoin en lysine digestible (LYSd) par unité d'énergie nette (EN) ingérée estimé avec InraPorc. Pour la stratégie biphasé, la valeur moyenne du besoin en LYSd de

la population est de 0,93 g/MJ EN en début de période de croissance (à 70 jours d'âge), et de 0,69 g/MJ au début de la période de finition (à partir de 65 kg de PV). Pour des raisons pratiques, les niveaux retenus pour la stratégie biphasé sont arrondis à 0,90 et 0,70 g/MJ. Pour la stratégie multiphasé, neuf paliers de référence sont retenus, par pas de 10 kg de PV. Le niveau de référence (F100, Figure 1) est établi à partir du profil moyen des femelles. Cette stratégie multiphasé est ensuite déclinée en 10 niveaux d'apports en acides aminés (AA), de -10 à +35% autour de L100 (F90 à F135). La teneur en EN des aliments est de 9,75 MJ/kg.

Tableau 1 - Paramètres InraPorc du profil moyen des femelles et des mâles castrés et performances moyennes associées

Type sexuel	Femelle	Castré
Courbe de croissance (Gompertz)		
Poids vif (PV) à 70 jours d'âge, kg	30,1	30,1
Age à 111 kg PV, jours	163	155
Dépôt protéique moyen, g/j	138	146
$B_{Gompertz}$	0,01439	0,01555
Energie nette (EN) ingérée, MJ/j ¹		
a	4,22	4,77
b	0,0213	0,0189
Performances simulées (30-115 kg PV)		
Vitesse de croissance, g/j	853	943
EN ingérée, MJ/j	22,0	24,4
EN ingérée, MJ/kg de gain de poids	25,5	25,9
Taux de muscle des pièces	57,9	56,2

¹Fonction gamma : EN ingérée (MJ) = $a \times (b \times PV \times e^{-b \times PV} + 1) \times 0,75 \times PV^{0,60}$

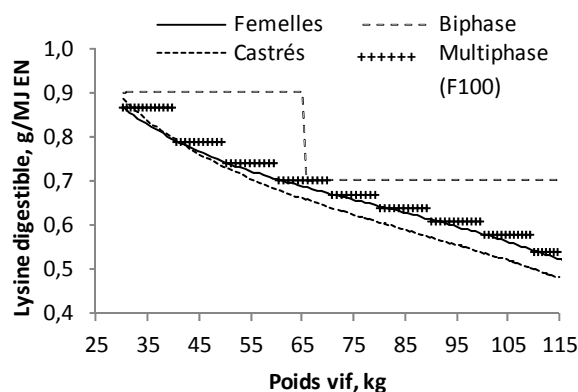


Figure 1 - Evolution avec le poids du besoin en lysine par MJ d'énergie nette (EN) estimé avec InraPorc à partir du profil moyen des femelles et des mâles castrés, et niveaux utilisés en stratégie multiphasé de référence (F100) ou biphasé

1.3. Formulation des aliments virtuels

Les aliments utilisés dans InraPorc sont obtenus par mélange d'aliments de base pour obtenir les rapports LYSd/EN escomptés à chaque phase. Les rapports minimaux entre AA essentiels sont ajustés sur la base du profil en AA de la protéine idéale présentée dans InraPorc. Les aliments sont formulés sans contraintes sur la teneur maximale en matières azotées totales (MAT non Corpen), ou en respectant les teneurs maximales en MAT du Corpen (2003, 16,5% quand PV < 65 kg, 15,0% ensuite). Les autres contraintes de formulation concernent la teneur en cellulose brute (min : 2% - max : 8%), et en phosphore (P total : max 0,48% quand PV < 65 kg, 0,43%

ensuite ; P digestible : min 2,3 g/MJ EN). Une liste de matières premières est utilisée avec cinq niveaux de prix moyens sur 12 mois (Tableau 2), pour formuler les aliments à moindre coût. La teneur en MAT des aliments dépend de la contrainte sur ce critère et du prix des matières premières (Tableau 3).

Tableau 2 - Prix moyens sur 12 mois des matières premières utilisées dans la formulation des aliments (€/tonne, correspondant à cinq campagnes, IFIP, 2005-2010)¹

Contexte	1	2	3	4	5
De juillet à juin	2005 2006	2006 2007	2007 2008	2008 2009	2009 2010
Blé	113	149	222	147	122
Maïs	123	156	218	149	132
Orge	112	144	219	130	105
Son de blé	83	111	179	86	69
Remoulage	95	123	198	116	96
Tourteau de colza	141	161	242	188	178
Tourteau de soja 48	207	216	325	320	328
Mélasses (betterave)	135	144	143	166	171
Huile de colza	486	560	824	741	715
L-Lysine HCl	1352	1398	1563	1417	1750
L-Thréonine	3458	1988	1917	1713	2054
L-Tryptophane	22458	26842	26667	18917	19792
DL-Méthionine	2308	2400	2542	4192	3496
Phosphate bicalcique	315	327	520	758	484
Phytases	12500	11500	10250	9500	9500

¹ Le prix est fixe pour le sel (90 €), le CaCO₃ (50 €), le complément oligo vitaminique (500 €) et la L-Valine (8 000 €). Les caractéristiques chimiques et nutritionnelles des Tables INRA-AFZ (2004) sont utilisées.

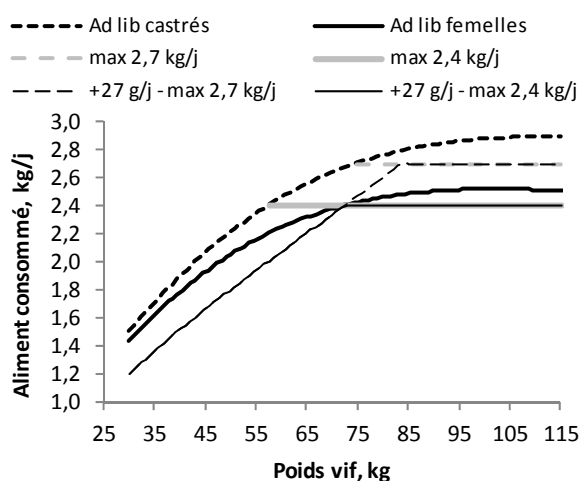


Figure 2 - Consommation ad lib moyenne selon le sexe et le plan de rationnement étudié (*non représenté* : 90% ad lib)

1.4. Plan de rationnement

Cinq types de rationnement sont envisagés (Figure 2) : (i) proportionnels à l'ad lib (90 vs 100% ad lib) ; (ii) ad lib jusqu'à un plafond commun de 2,4 kg/j pour les femelles et 2,4 (R1) ou 2,7 (R2) kg/j pour les mâles castrés ; (iii) un plan progressif avec une ration initiale de 1,2 kg augmentant ensuite de 27 g/j jusqu'aux plafonds mentionnés précédemment. Pour les porcs dont l'ingestion quotidienne n'atteint pas les quantités théoriques allouées, les simulations sont réalisées en ad lib pour éviter de simuler les conséquences d'un gavage.

Tableau 3 - Teneur en protéines (Nx6,25, %) des aliments de base non Corpen, correspondant à quatre niveaux de lysine digestible par MJ d'énergie nette dans cinq contextes de prix¹

Contexte	Lysine digestible, g/MJ d'énergie nette ²			
	0,4	0,7	1,0	1,2
2005/06	11,3	13,0	17,5	20,5
2006/07	11,3	12,9	17,4	20,4
2007/08	9,7	13,4	17,4	22,2
2008/09	9,8	13,0	17,4	20,4
2009/10	10,2	12,9	17,3	20,2

¹ Voir Tableau 2.

² La teneur en EN est fixée à 9,75 MJ/kg.

1.5. Calculs

Les performances moyennes de la population sont obtenues à partir des simulations réalisées à l'aide d'InraPorc et appliquées aux 2000 profils individuels et à chaque stratégie alimentaire. La contrainte de formulation (Corpen/non Corpen) influence le prix des aliments (donc l'écart de marge) et la quantité de N ingéré, mais pas les performances.

Les porcs sont supposés être abattus en trois lots tous les 7 jours avec un poids minimal de 112 kg aux deux premiers départs ; l'âge au premier départ est ajusté pour obtenir un poids moyen final de 115 kg. Le coefficient de variation du PV (CV_{PV}) est calculé pour les 2000 porcs, lors du premier départ et de l'abattage. Des marges partielles sont calculées selon la méthode proposée par Quiniou *et al.* (2007), par différence entre le prix de carcasse (avec un prix de base du porc de 1,475 €/kg, cotation du Marché du Porc Breton le 15/11/11) et les coûts liés à l'aliment et au temps de travail par porc. Seuls sont présentés les écarts de marge à la situation de référence, représentée par la stratégie multiphase F100 (Corpen ou non). Pour chaque stratégie alimentaire, la quantité de N ingéré par jour est calculée individuellement à partir de la consommation moyenne journalière (CMJ) et de la teneur en N de l'aliment utilisé, qui dépend de la stratégie alimentaire (biphase ou multiphase), des contraintes de formulation (Corpen ou non) et du contexte de prix. La différence entre N ingéré et retenu (calculé par jour par InraPorc) permet de calculer le rejet de N cumulé par porc sur la période.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Conduite alimentaire et variabilité du poids

Le tri des porcs réalisé avant l'abattage permet d'abaisser le CV_{PV} de 3 points en moyenne par rapport à la valeur observée au premier départ (Figure 3). En conduite ad lib avec les stratégies multiphases, le CV_{PV} augmente lorsque les apports d'AA diminuent. Le besoin en AA d'une proportion croissante de porcs n'est alors pas couvert et le gain moyen quotidien (GMQ) est pénalisé par l'inadéquation des apports aux besoins, inadéquation accentuée par le nombre de phases (Brossard *et al.*, 2007). La dégradation du CV_{PV} serait sans doute moindre si la politique de tri était modifiée, notamment par un report de quelques jours du dernier départ.

Avec la stratégie biphase en ad lib, le CV_{PV} est comparable à celui obtenu avec la stratégie F105. Une restriction de 10% par rapport à l'ad lib se traduit par une augmentation du CV_{PV} (Figure 3). Avec cette conduite, la variabilité de la CMJ reste importante. Par ailleurs, le rationnement entraîne une

diminution du GMQ (Tableau 4), qui résulte en un gain de PV moindre entre les deux derniers départs pour les derniers porcs abattus et accentue le CV_{PV} par rapport à 100% ad lib.

Quand le rationnement est appliqué selon un plan progressif, le CV_{PV} est réduit (Figure 3). Les porcs qui présentent une CMJ spontanée élevée sont alors contraints et plus la restriction est intense plus le CV_{PV} diminue. Ainsi, le plus faible CV_{PV} est obtenu quand une quantité maximale de 2,4 kg/j est allouée aux deux types sexuels (séquence R1). A contrario, quand les mâles castrés reçoivent jusqu'à 2,7 kg/j (séquence R2) et/ou que les porcs ne sont pas rationnés avant le plafond, le CV_{PV} est plus élevé. Toutefois il faut rappeler que ces niveaux de CV_{PV}, issus de simulations individuelles qui ne prennent pas en compte la compétition alimentaire entre porcs logés en groupes.

2.2. Performances moyennes

En alimentation ad lib, l'effet du niveau d'apport en AA sur le GMQ est conforme à celui relaté dans la littérature (Mohn *et al.*, 2000). Avec une stratégie multiphase, la diminution des apports d'AA de 10% en deçà de F100 s'accompagne d'une diminution du GMQ chez la majorité des porcs, alors qu'une augmentation de 10% améliore le GMQ seulement pour les porcs dont le potentiel de dépôt protéique est élevé ; c'est pourquoi il est logique de constater que, relativement à la situation de référence, une diminution de 10% des apports a un impact plus fort qu'une augmentation de 10% (Tableau 4).

L'effet marginal sur le GMQ de chaque augmentation de 5 points du ratio LYSd/EN par rapport à F100 s'amenuise aux niveaux d'apport les plus élevés. Ainsi, il apparaît que le besoin en AA de la population, c'est-à-dire le niveau d'apport permettant de maximiser le résultat, est supérieur au profil moyen F100 d'environ 25% sur la base du GMQ, mais de 30% sur la base de l'indice de consommation (IC) ou de la teneur en muscle de la carcasse. Avec la stratégie biphase, le GMQ, l'IC et la teneur en muscle de la carcasse obtenus en ad lib sont proches des valeurs obtenues avec la stratégie multiphase F115 (Tableau 4).

La restriction alimentaire permet d'améliorer l'IC et la teneur en muscle de la carcasse. Toutefois cette amélioration est plus marquée avec un rationnement à 90% ad lib ou avec le plan progressif le plus sévère. En effet, dans le premier cas, tous les

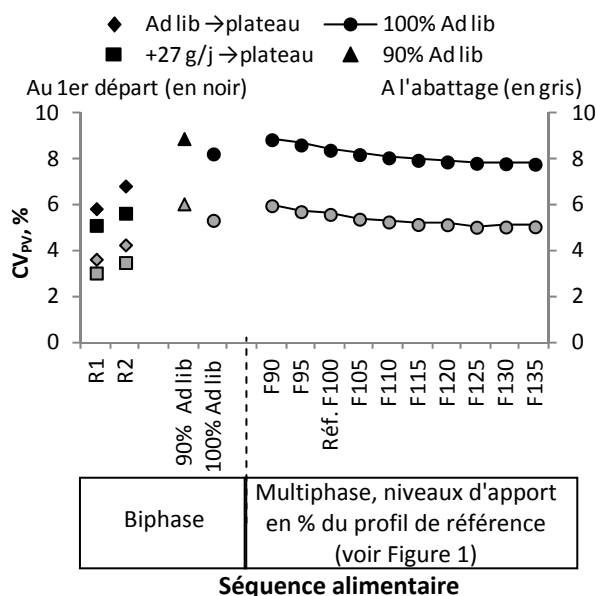


Figure 3 - Coefficient de variation du poids vif (CV_{PV}) selon la séquence alimentaire et le plan d'alimentation
R1 = max 2,4 kg/j pour les femelles (F) et mâles castrés (MC)
R2 = max 2,4 kg/j pour les F et 2,7 kg/j pour les MC

porcs sont rationnés pendant toute la période. Au contraire, quand la restriction se réfère à une quantité fixe d'aliment alloué, les porcs dont l'ingestion spontanée est la plus faible ne sont en fait pas rationnés.

2.3. Différences de marge

Les différences de marge s'expliquent principalement par l'effet de la stratégie alimentaire sur la valeur de la carcasse et le coût alimentaire (Tableau 5). L'effet sur le coût de la main d'œuvre est en lien avec la durée d'engraissement, mais reste limité. Avec la stratégie multiphase F90, la baisse du prix de l'aliment ne compense pas le manque à gagner lié à la baisse du taux de muscle de la carcasse et à l'augmentation de l'IC ; la marge moyenne diminue alors de 5 à 6 €/porc par rapport à F100. Plus la teneur en AA est élevée, plus la marge s'accroît (malgré des aliments plus chers), en raison des améliorations du taux de muscle et de l'IC à l'échelle de la population. Cette amélioration n'est cependant pas linéaire et l'équilibre entre

Tableau 4 - Performances de croissance et caractéristiques de carcasse moyennes d'une population de 2000 porcs, obtenues par simulations avec différentes stratégies alimentaires pour un poids moyen d'abattage de 115 kg

Séquence alimentaire	Biphase						Multiphase ¹									
	0,9 g LYSd/ MJ EN quand PV < 65 kg						Niveau relatif d'apport en AA par rapport à F100, %									
Acides aminés	0,7 g LYSd/ MJ EN quand PV ≥ 65 kg						90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
Plan d'alimentation ²	+27g	+27g	AL	AL	90AL	AL	AL									
Plafond	R1	R2	R1	R2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Age au 1 ^{er} départ, j	171	169	167	163	169	159	167	164	163	161	160	159	159	158	158	158
Age d'abattage, j	176	174	172	171	175	165	173	170	169	167	166	165	165	164	164	164
GMQ, g/j	807	826	842	867	817	895	832	853	869	882	892	899	903	907	909	911
N retenu, g/porc	2167	2156	2162	2139	2171	2109	2053	2069	2093	2099	2109	2113	2123	2121	2126	2131
CMJ, kg/j	2,12	2,18	2,20	2,28	2,15	2,39	2,38	2,38	2,39	2,39	2,39	2,39	2,40	2,40	2,40	2,40
IC, kg/kg	2,64	2,65	2,63	2,64	2,63	2,67	2,86	2,79	2,75	2,71	2,69	2,67	2,66	2,65	2,64	2,64
Taux de muscle, %	58,2	57,7	57,9	57,3	58,2	56,5	54,8	55,3	55,7	56,1	56,3	56,5	56,7	56,8	56,9	56,9

¹. Voir Figure 1 pour les niveaux d'apport en lysine digestible par unité d'énergie nette (EN) retenus pour la stratégie de référence F100.

². AL = 100% ad lib, 90AL = 90% ad lib, +27 g = augmentation de la quantité d'aliment alloué à hauteur de 27 g/j ; plafond R1 = max 2,4 kg/j pour les femelles et mâles castrés, plafond R2 = max 2,4 kg/j pour les femelles et 2,7 kg/j pour les mâles castrés ; pour une teneur en EN de 9,75 MJ/kg

Tableau 5 - Ecart de marge¹ par porc selon la stratégie alimentaire appliquée à l'ensemble des porcs, le contexte de prix des matières premières² et l'application d'une contrainte de formulation Corpen sur la teneur en matières azotées totales (MAT)

Séquence alimentaire		Biphase						Multiphase ³										
		0,9 g LYSd/ MJ EN quand PV < 65 kg						Niveaux relatifs par rapport à F100, %										
		0,7 g LYSd/ MJ EN quand PV ≥ 65 kg						90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	
Plan d'alimentation ³		+27 g	+27 g	AL	AL	90AL	AL	AL										
Plafond ³		R1	R2	R1	R2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carcasse, Δ€/porc		10,05	8,35	9,12	6,69	7,96	2,23	-4,37	-2,08	0	1,14	2,05	2,62	3,18	3,41	3,78	4,08	
Travail, Δ€/porc		0,16	0,11	0,06	-0,01	0,14	-0,08	0,10	0,03	0	-0,04	-0,06	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,11	
Marge, Δ€ ⁴ (pas de maxi sur la MAT)	Contexte 1	10,49	8,55	9,68	7,42	8,32	2,42	-5,10	-2,16	0	1,39	2,25	2,72	2,91	2,96	2,90	2,71	
	Contexte 2	11,04	9,03	10,23	7,99	8,84	2,86	-5,53	-2,31	0	1,59	2,58	3,20	3,47	3,66	3,70	3,61	
	Contexte 3	11,38	9,22	10,59	8,39	9,13	2,95	-5,85	-2,34	0	1,72	2,70	3,30	3,45	3,61	3,51	3,27	
	Contexte 4	10,19	8,18	9,39	7,14	8,00	2,01	-4,96	-2,03	0	1,27	1,93	2,17	2,06	1,83	1,43	0,86	
	Contexte 5	9,82	7,85	9,01	6,75	7,65	1,70	-4,68	-1,92	0	1,13	1,68	1,81	1,61	1,24	0,76	0,07	
Marge, Δ€ ⁵ (maxi sur la MAT)	Contexte 1	10,34	8,39	9,53	7,11	8,17	2,26	-4,99	-2,09	0	1,31	1,96	2,14	1,86	1,37	0,78	0,08	
	Contexte 2	10,82	8,81	10,02	7,60	7,07	1,08	-7,05	-2,24	0	1,48	2,27	2,59	2,41	2,08	1,60	1,01	
	Contexte 3	11,24	9,09	10,45	8,00	9,00	2,81	-5,76	2,29	0	1,66	2,51	2,92	2,79	2,62	2,21	1,70	
	Contexte 4	10,19	8,18	9,38	6,96	8,00	2,00	-4,92	-1,99	0	1,26	1,80	1,86	1,46	0,88	0,18	-0,63	
	Contexte 5	9,83	7,86	9,03	6,61	7,66	1,72	-4,64	-1,89	0	1,12	1,53	1,43	0,87	0,07	-0,82	-1,82	

¹ Différence par rapport à la valeur de référence obtenue avec la stratégie F100. **En gras** = écart de marge le plus élevé en stratégie multiphase. ² Voir Tableau 2. ³ Voir Tableau 4. ⁴ Simulations sans contrainte de formulation sur la teneur maximale en MAT des aliments. ⁵ Simulations avec une teneur en MAT des aliments maximale de 16,5% en croissance (avant 65 kg de poids) et 15,0% en finition (Corpen, 2003).

coût alimentaire et produit supplémentaires dépend du contexte de prix des matières premières et de l'existence ou non d'une contrainte de formulation sur la MAT. Ainsi, sans contrainte, l'optimum est obtenu avec un apport d'AA supérieur à F100 de 30% dans le contexte 2, 25% dans les contextes 1 et 3, et 15% dans les contextes 4 et 5. Avec la contrainte, le niveau d'apport correspondant à l'optimum est moins sensible aux variations des prix des matières premières : il est atteint pour +15% d'AA pour les contextes 1 à 4 et +10% pour le contexte 5, par rapport à F100. Avec la stratégie biphase ad lib non Corpen, l'écart de marge obtenu avec F100 est intermédiaire entre ceux observés avec les stratégies F110 et F115 quel que soit le contexte, tandis qu'en formulation Corpen l'écart de marge dépend fortement du contexte de prix. Chez les porcs rationnés, le prix de carcasse augmente et le coût alimentaire diminue, ce qui permet une amélioration importante de la marge quel que soit le contexte de prix des matières premières, avec ou sans contrainte sur la MAT.

2.4. Bilan azoté

Entre les stratégies F100 et F135, l'augmentation du rejet N (Figure 4) reflète l'ingestion accrue de N par les porcs dont une proportion croissante atteint son potentiel de dépôt protéique et est donc incapable de valoriser un apport supplémentaire d'AA. Quand une contrainte de formulation sur la MAT est appliquée, cette augmentation est moindre.

Entre F100 et F135, le coefficient de rétention azotée (CRN) diminue de 42 à 36% sans contrainte sur la MAT et de 42 à 40% avec cette contrainte. Pour une rétention identique (≈ 2111 g N/porc en moyenne pour les cinq contextes de prix), la stratégie biphase ad lib génère des rejets N intermédiaires entre ceux calculés avec les stratégies F110 et F115 ; ces rejets sont réduits de 120 g/porc en formulation Corpen. Le CRN est proche dans les trois séquences (42 % en Corpen, 41% sinon).

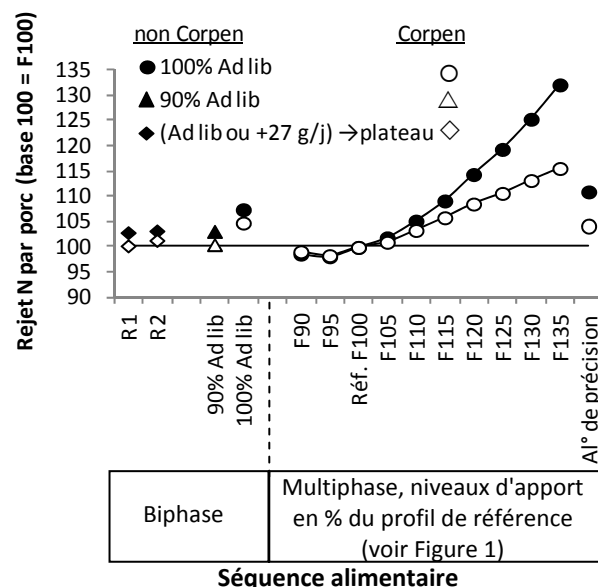


Figure 4 – Rejet N moyen par porc dans cinq contextes de prix selon la séquence alimentaire, le plan d'alimentation (Figure 3) et l'application d'une contrainte de formulation Corpen ou non (résultats confondus pour les plans d'alimentation avec plateau)

Des calculs supplémentaires ont été réalisés avec une approche individualisée des apports alimentaires (relevant d'une démarche d'élevage de précision). La stratégie multiphase permettant à chaque porc d'atteindre son GMQ maximal à 1 g près a été identifiée. La proportion de porcs pour lesquels les stratégies multiphases F90 à F135 ont été ainsi déterminées est respectivement de 5,4, 5,1, 7,4, 9,4, 11,4, 9,3, 8,7, 8,2, 7,2 et 28,2%. Cette approche individualisée permet d'obtenir des performances de croissance identiques à celles de la stratégie F135, mais avec un rejet N inférieur (Figure 4) et une marge plus élevée. Ainsi, avec des aliments non Corpen, la marge est supérieure en moyenne de 4,18 €

/porc à celle obtenue avec F100 pour un rejet N (≈ 3136 g/porc en moyenne pour les cinq contextes de prix) intermédiaire entre ceux obtenus avec F115 et F120 (respectivement 3085 et 3233 g/porc). Avec des aliments Corpen, la marge est supérieure en moyenne de 3,26 €/porc par rapport à F100, pour un rejet N (2892 g/porc) proche de celui obtenu avec F110 (2874 g/porc).

La restriction alimentaire, par son effet sur l'IC, permet de diminuer la quantité de N ingéré et d'améliorer la quantité de N retenu par porc, d'où une réduction de 4% des rejets azotés obtenus avec un rationnement à 90% de l'ad lib ou avec les plans de rationnement (progressifs ou non) avec plateau.

L'influence du contexte de prix des matières premières sur le rejet azoté dépend des équilibres relatifs de prix entre sources de protéines, acides aminés de synthèse, et sources d'énergie. Ils déterminent la teneur en MAT de l'aliment associée à une teneur en AA essentiels donnée. Ainsi, même quand le soja est onéreux, son taux d'incorporation peut rester élevé si les céréales ou un des AA sont également chers (contexte 3) ; cela est associé à un taux de MAT élevé (Tableau 3). En revanche, si les céréales et les AA de synthèse sont relativement bon marché, la teneur en MAT diminue. Ainsi, dans les contextes 4 et 5, les rejets azotés sont réduits de 5% par rapport à ceux estimés dans le contexte 3 (données non présentées).

CONCLUSION

Cette étude montre que l'expression du potentiel de croissance à l'échelle d'une population nécessite des apports en AA très élevés. En accord avec Morel *et al.* (2012), l'optimum économique de formulation se situe cependant à un niveau d'apport en AA moins élevé quand une même stratégie alimentaire est appliquée à l'ensemble de la population ; soit, selon le contexte de prix des matières premières, un apport supérieur de 15 à 25% au besoin moyen. Toutefois, les choix de formulation doivent également intégrer

des considérations environnementales. Or, chaque augmentation des apports en AA appliquée à l'ensemble de la population est associée à des rejets azotés accrus. L'utilisation d'une contrainte de formulation sur la teneur en MAT permet de limiter cette augmentation, mais pénalise alors l'expression du potentiel de croissance et le gain de marge.

L'alternative consistant à individualiser les apports a été envisagée dans une perspective d'alimentation de précision (Hauschild *et al.*, 2012). Elle permet de maximiser les performances de la population tout en limitant les rejets azotés. Actuellement, l'application de cette approche en élevage requiert l'élaboration d'interfaces opérationnelles, dont les coûts spécifiques de mise en œuvre et de fonctionnement devront être évalués.

Une conduite alimentaire plus simple, de type biphasé, avec des niveaux d'apport en AA raisonnés sur les besoins du profil moyen au début de chaque phase, permet d'obtenir des résultats comparables à ceux obtenus en stratégie multiphasée (non individualisée) avec une marge de sécurité de 10%. Ils restent néanmoins en-deçà de l'optimum mentionné ci-dessus sauf quand la conduite biphasée est associée à une alimentation rationnée. L'étude met alors en évidence l'influence majeure du plan d'alimentation tant sur la marge par porc (ainsi que modélisé par Morel *et al.*, 2012), que sur la maîtrise de la variabilité du poids et sur les rejets azotés.

Dans une logique de développement durable de la production porcine, l'épargne des sources de protéines et la diminution des rejets azotés sont deux enjeux majeurs. Des hypothèses devront être établies pour convertir la réduction des rejets d'azote en coûts ou profits additionnels pour l'éleveur selon les conditions d'exploitation et l'environnement territorial : surface d'épandage, capacité de traitement des déjections, capacité de production... tout en respectant les nombreuses contraintes liées à la réglementation, à la structure des installations de production, aux équilibres entre rejets azotés et phosphorés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brossard L., Dourmad J.-Y., van Milgen J., Quiniou N., 2007. Analyse par la modélisation de la variation des performances d'un groupe de porcs en croissance en fonction de l'apport en lysine et du nombre de phases dans le programme d'alimentation. Journées Rech. Porcine, 39, 95-102.
- Brossard L., Quiniou N., Dourmad J.-Y., van Milgen J., 2012. Prise en compte de la variabilité individuelle dans l'estimation des besoins en acides aminés et dans la modélisation de la réponse des porcs en croissance aux apports alimentaires. INRA Prod. Anim., 25, 17-28.
- Corpen, 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. 41 pp.
- Hauschild L., Lovatto P.A., Pomar J., Pomar C., 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time. J. Anim. Sci., 90, 2255-2263.
- INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Sauvart D., Perez J.-M., Tran G. (Eds.). Wageningen, Pays-Bas, Wageningen Academic Publishers, 301 pp.
- Knap P., 2000. Variation in maintenance requirements of growing pigs in relation to body composition. A simulation study. Thèse de l'Université de Wageningen, Pays-Bas, 188 pp.
- Kristensen A.R., Nielsen L., Nielsen M.S., 2012. Optimal slaughter pig marketing with emphasis on information from on-line live weight assessment. Livest. Sci., 45, 95-108.
- IFIP, 2005-2010. Note de conjuncture. Monthly letter available on line. www.ifip.asso.fr. [on line]
- Mohn S., Gillis A.M., Moughan P.J., de Lange C.F.M., 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pigs. J. Anim. Sci., 78, 1510-1519.
- Morel P.C.H., Sirisatien D., Wood G.R., 2012. Effect of pig type, costs and prices, and dietary restraints on dietary nutrient specification for maximum profitability in grower-finisher pig herds: a theoretical approach. Livest. Sci., 148, 255-267.
- Quiniou N., Brossard L., Gaudré D., van Milgen J., Salaün Y., 2007. Optimum économique du niveau en acides aminés dans les aliments pour porcs charcutiers – Impact du contexte de prix des matières premières et de la conduite d'élevage. TechniPorc, 30(3), 26-36.
- Quiniou N., Brossard L., van Milgen J., Salaün Y., Quesnel H., Gondret F., Dourmad J.-Y., 2012. La variabilité des performances animales en élevage porcin : description et implications pratiques. INRA Prod. Anim., 25, 3-14.
- Vautier B., Brossard L., van Milgen J., Quiniou N., 2012. Du porc à la bande : étude des liens entre paramètres individuels pour modéliser la croissance à l'échelle de la population. Journées Rech. Porcine, 44, 147-152.