

Évolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices : historique et perspectives

Jean-Yves Dourmad, Raphaël Gauthier, Charlotte Gaillard

▶ **To cite this version:**

Jean-Yves Dourmad, Raphaël Gauthier, Charlotte Gaillard. Évolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices : historique et perspectives. INRAE Productions Animales, 2021, 34 (2), pp.111-125. 10.20870/productions-animales.2021.34.2.4861 . hal-03374513

HAL Id: hal-03374513
https://hal.inrae.fr/hal-03374513

Submitted on 12 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

LA REVUE INRAE PRODUCTIONS ANIMALES

INRAE

INRAE Prod. Anim.,
2021, 34 (2), 111-126

Évolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices : historique et perspectives

Jean-Yves DOURMAD, Raphaël GAUTHIER, Charlotte GAILLARD
Pegase, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France
Courriel : jean-yves.dourmad@inrae.fr

Au cours de ces dernières années l'amélioration des performances a été l'un des principaux moteurs de l'évolution des besoins nutritionnels des truies reproductrices. Dans le même temps, de nombreuses connaissances scientifiques ont été produites permettant une approche holistique de l'alimentation. Cette synthèse montre comment ces connaissances peuvent être utilisées pour développer des modèles et des outils d'aide à la décision, et ainsi améliorer les stratégies d'alimentation dans les élevages, pour plus de durabilité[1].

Introduction

La rentabilité économique des élevages porcins est largement dépendante de l'efficacité alimentaire, en raison de la contribution prédominante de l'alimentation au coût de production, et des performances de reproduction qui conditionnent le nombre de porcs produits par truie et par an. L'optimisation des stratégies d'alimentation des truies nécessite donc de considérer simultanément le coût annuel de leur alimentation et leurs performances de reproduction en termes de nombre de porcelets sevrés par an. Les stratégies alimentaires doivent également s'adapter continuellement à l'évolution des performances de reproduction des truies, celles-ci ayant fortement progressé suite à la sélection de lignées hyperprolifiques. Ceci implique de prendre en compte les effets à court et à long termes de la nutrition sur la prolificité, la fertilité et la longévité des truies, ainsi que sur la survie et la croissance des porcelets jusqu'au sevrage.

Le premier objectif de cette synthèse est de décrire l'évolution des concepts et des approches utilisés au cours de ces dernières décennies pour raisonner l'alimentation des truies. Le second objectif est de montrer comment les connaissances scientifiques sur la nutrition des truies peuvent être mobilisées pour développer des modèles et des outils d'aide à la décision utilisables en pratique, dans un contexte de disponibilité croissante d'informations collectées en temps réel et de développement d'automates d'alimentation.

1. Une forte amélioration des performances de reproduction

Au cours des 40 dernières années, les performances de reproduction des truies se sont très fortement accrues, comme illustré au tableau 1 pour les élevages français. Les lignées maternelles, le plus souvent issues de croisements entre des races Landrace et Large-White, ont été sélectionnées intensivement sur des critères de performances de reproduction, en particulier leur prolificité, et aujourd'hui des lignées hyperprolifiques sont utilisées dans la plupart des pays du monde. Certaines lignées commerciales ont également fait appel à des races très prolifiques d'origine chinoise, soit en croisement, soit dans le cadre du développement de lignées synthétiques. L'accroissement de la prolificité (+ 38 % à la naissance entre 1980 et 2016, tableau 1) s'est accompagné d'une amélioration légèrement moindre du nombre de porcelets sevrés par portée (+ 32 %) alors que le gain de poids de portée, un bon indicateur de la production laitière, s'est amélioré de façon plus marquée (+ 55 %). Dans le même temps, la sélection de ces lignées

1 Cet article a fait l'objet d'une présentation aux 53es Journées de la Recherche Porcine (Dourmad *et al.*, 2021).

Tableau 1. ***Évolution des performances de reproduction des truies dans les élevages français (IFIP, 2017).***

Année	1980	1990	2000	Moyenne	2016	
					« top » 10 %	« top » 1 %
Nombre d'élevages	8 680	4 800	3 745	1 327	132	13
Nombre de truies/élevage	49	82	146	262	393	361
Taille de la portée						
nés totaux	10,7	11,4	12,8	14,8	15,5	16,8
nés vivants	10,2	10,8	11,9	13,7	14,5	15,6
sevrés	8,9	9,4	10,4	11,8	12,8	13,7
taux de survie, % nés totaux	83,1	82,4	81,2	79,7	82,5	81,5
Croissance de portée, kg/j	1,80	2,05	2,50	2,80	3,00	3,10
Porcelets sevrés/truie/an	20,2	22,2	25,2	29,4	32,7	34,8
Int. sevrage saillie fécondante, j	15,1	11,6	9,1	7,9	6,9	6,8
Nombre de portées à la réforme	4,3	4,6	4,9	5,4	5,3	4,5

sur la vitesse de croissance et la qualité des carcasses s'accompagnait d'une réduction de l'adiposité des truies et souvent d'un accroissement de leur poids vif à maturité (Bidanel *et al.*, 2020). La réduction des périodes improductives, en particulier l'intervalle sevrage saillie fécondante (ISSF), a également contribué à l'amélioration des performances. C'est en partie le résultat de l'utilisation de truies croisées depuis les années 1980 et de l'effet d'hétérosis pour ce critère. La réduction de l'ISSF s'est poursuivie ces dernières années, ce qui semble indiquer que le fort accroissement de la prolificité et de la production laitière n'a pas entraîné de détérioration des paramètres de reproduction après sevrage (retour en œstrus, fertilité), ni de réduction de la longévité, comme cela est observé chez la vache en réponse à la sélection pour la production de lait (Berry *et al.*, 2016). Cette évolution des performances a fortement affecté les besoins nutritionnels des truies. Pendant la gestation l'accroissement de la prolificité influence les besoins pour le développement des fœtus, en particulier en fin de gestation, alors que l'accroissement du poids à maturité accroît les besoins d'entretien. Pendant la lactation, l'accroissement de la production laitière, de près de 70 % dans les meilleurs élevages depuis 1980, a entraîné une très forte augmentation des besoins nutritionnels, alors que l'appétit des truies a peu évolué et est généralement insuffisant pour couvrir leurs besoins.

Un autre élément important à considérer dans la définition des besoins nutritionnels est la forte variabilité des performances entre élevages. Par exemple en 2016 les 10 et 1 % des élevages les plus performants sèvrent respectivement 8 et 16 % de porcelets en plus par portée que la moyenne des élevages. De plus, en raison de la forte variabilité de plusieurs paramètres biologiques (prolificité, production laitière, appétit des truies), la variabilité des performances entre animaux est également très élevée intra élevage, même si elle est en partie compensée par des pratiques d'élevage comme l'adoption de porcelets (Quiniou *et al.*, 2012). La taille de la portée influence fortement la production laitière, même si elle n'explique qu'environ 50 % de la variabilité entre truies. Ngo *et al.* (2012) ont ainsi montré que la production laitière moyenne s'accroît d'environ 0,75 kg/j par porcelet supplémentaire, alors que la quantité de lait disponible par porcelet diminue, en particulier au-delà de huit porcelets par portée, et de façon plus marquée au-delà de 12.

2. Nutrition et reproduction, importance des réserves corporelles

Chez les mammifères, le processus de reproduction, depuis la conception jusqu'au sevrage peut être considéré comme visant à protéger la progéniture des stress physiologiques ou nutritionnels (Oldham, 1991), en mettant en œuvres des mécanismes d'homéostasie et d'homéorhèse de contrôle de l'utilisation des nutriments (Bauman et Currie, 1980), dans lesquels les réserves corporelles jouent un rôle important. Les troubles de la reproduction qui conduisent à la baisse

de la productivité des truies ou à leur réforme prématurée ont souvent été associés à des variations prononcées des réserves corporelles (Whittemore *et al.*, 1980 ; King, 1987 ; Dourmad *et al.*, 1994 ; Whittemore, 1996).

Pendant la gestation, des réserves suffisantes doivent être constituées pour atteindre un état corporel satisfaisant à la mise bas et prévenir de possibles déficits nutritionnels pouvant survenir au cours de la lactation. La motivation alimentaire et l'appétit des truies gravides sont très élevés (Friend, 1971) alors que leurs besoins nutritionnels sont faibles. En conditions naturelles, comme on peut encore le voir chez le Sanglier, les femelles gravides passent la majorité du temps à chercher de la nourriture, ce qui leur permet de constituer des réserves corporelles qui seront plus tard disponibles pour la production de lait et ainsi faire face à un éventuel manque d'aliment pendant la lactation. Les mécanismes physiologiques impliqués dans ces régulations de l'appétit, du bilan d'énergie et de l'état des réserves corporelles sont encore actifs chez la truie « moderne », même s'ils ont probablement été modulés par la sélection. Dans les conditions habituelles d'élevage, les truies gestantes sont donc rationnées pour éviter un engraissement excessif et reçoivent chaque jour une quantité limitée d'aliment concentré qu'elles consomment en moins de 20 mn. En conditions « naturelles », plusieurs heures auraient été nécessaires pour obtenir la même quantité d'énergie. Cette durée très réduite d'alimentation peut d'ailleurs s'accompagner du développement de stéréotypies (Ramonet *et al.*, 1999) associées à des problèmes de bien-être (voir ci-après). En élevage biologique ou dans certains systèmes alternatifs, lorsque les truies ont accès à un parcours herbager, elles peuvent passer beaucoup de temps à pâturer, même si différentes études indiquent que la contribution de l'herbe à la couverture de leurs besoins nutritionnels reste limitée (Roinsard *et al.*, 2019).

Les réserves corporelles ne doivent pas être excessives à la fin de la gestation pour limiter les problèmes *peripartum* (Dourmad *et al.*, 1994), plus fréquents chez les truies grasses, et favoriser la consommation d'aliment pendant la lactation qui suit (Dourmad, 1991). Dans une étude épidémiologique sur l'apparition du syndrome de dysgalactie post-partum (SDPP ou PDS), Miquet *et al.* (1990) et Léon et Madec (1992) observaient ainsi une occurrence accrue de ces problèmes chez les truies plus lourdes et plus grasses, en particulier celles présentant également des problèmes locomoteurs. De même, Göransson (1989) et Maes *et al.* (2004) observaient une fréquence plus élevée du syndrome SDPP et de la mortinatalité chez les truies trop grasses à la mise bas, et dans l'étude de Niemi *et al.* (2017) elles présentaient également une longévité réduite. Pour qualifier cette situation on a parfois parlé de syndrome de la truie grasse (Martineau et Klopfenstein, 1996). Dans l'étude de Quiniou (2016) le nombre de porcelets mort-nés augmentait lorsque l'épaisseur de lard dorsal des truies dépassait 21 mm à la mise bas, alors que les truies trop maigres (moins de 14 mm) avaient des porcelets plus légers à la naissance et au sevrage. En effet, l'apport énergétique qui influence l'adiposité des truies à la mise bas affecte également le poids des porcelets à la naissance, tout au moins jusqu'à un certain niveau d'apport (Henry et Etienne, 1978 ; Coffey *et al.*, 1994). Ceci semble indiquer qu'il y aurait une plage optimale d'apport énergétique, résultant d'un compromis à rechercher entre l'objectif d'accroître le poids des porcelets à la naissance (important pour leur survie et leur développement ultérieur) et l'objectif de limiter le risque d'apparition de problèmes de *peripartum*.

Pendant la lactation, il est généralement recommandé d'ajuster les apports nutritionnels au plus près des besoins afin de maximiser la production de lait et la croissance des porcelets, tout en minimisant le risque d'apparition de problèmes de reproduction après le sevrage, qui sont souvent associés à une mobilisation excessive des réserves corporelles. De nombreuses études ont été conduites dans les années 1980-1990 montrant l'influence importante des réserves adipeuses des truies au sevrage sur leur retour en œstrus et leur fertilité (Whittemore, 1980). Plus récemment, les études conduites sur des lignées plus productives et plus maigres indiquent que la masse protéique au sevrage joue également un rôle important (King, 1987 ; Quesnel *et al.*, 2005), en particulier chez les jeunes truies.

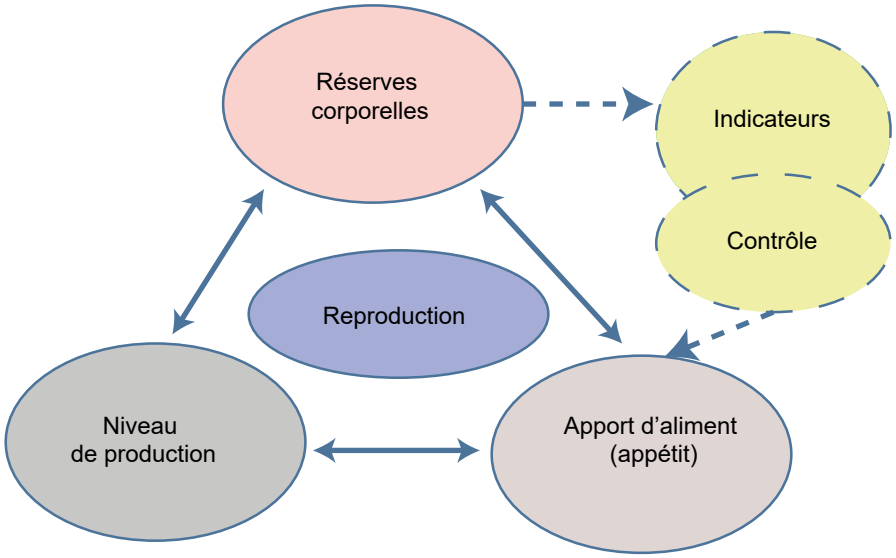
Dans les années 1970-1980 et parfois même plus tardivement, de nombreux élevages dans différentes régions du monde ont connu le syndrome de la truie maigre (MacLean, 1968 ; Martineau et Klopfenstein, 1996). Il se caractérisait par un état corporel dégradé de la plupart des truies du troupeau, une fréquence élevée de troubles de la reproduction après le sevrage, incluant des retours en œstrus retardés, un faible taux de conception et une faible prolificité, en particulier chez les jeunes truies, et un taux élevé d'avortement chez les truies plus âgées. Cette situation était souvent liée à des apports énergétiques insuffisants, des conditions de logement non optimales entraînant des besoins accrus d'entretien et de thermorégulation, ou encore une mauvaise maîtrise du parasitisme. Les stratégies d'alimentation basées sur des scores visuels d'état corporel ont été développées à cette période (Whittemore, 1993) et ont permis de faire face à cette situation qui a progressivement disparu.

Martineau (1996) mentionne également dans certains élevages l'existence du syndrome de la truie accordéon qui combine la présence de truies trop « grasses » à la mise bas et de truies trop « maigres » au sevrage. Cette situation résulte généralement d'une consommation d'aliment insuffisante pendant la lactation, associée à des apports trop élevés pendant la gestation.

Pour optimiser les performances de reproduction, les apports nutritionnels doivent donc être modulés afin de maintenir un état corporel satisfaisant pour toutes les truies, tout au long de leur vie productive. En élevage, ceci implique d'ajuster la quantité d'aliment et sa composition en fonction des performances de chaque truie et des conditions de logement qui

peuvent influencer ses besoins et son appétit. Ceci est illustré à la figure 1 où les performances de reproduction dépendent d'un « tripode » prenant en compte *i)* l'état des réserves corporelles, *ii)* le niveau des performances et *iii)* la consommation d'aliment. L'état corporel, estimé par notation ou à partir de mesures d'épaisseur de lard dorsal et de pesées (voire de l'épaisseur de muscle), peut être utilisé comme indicateur du statut des réserves. Les apports nutritionnels servent à piloter l'équilibre du système, en fonction de ces informations.

Figure 1. ***Représentation et pilotage des effets de la nutrition, des réserves corporelles et du niveau de production sur les capacités reproductives des truies (Dourmad* et al.*, 2008).***



3. Évolution des concepts et des méthodes pour la détermination des besoins

Différentes approches ont été utilisées au cours des dernières décennies pour déterminer les besoins nutritionnels des truies. Toutes ces approches, généralement basées sur une revue de la bibliographie, reflètent l'évolution dans le temps des concepts et des connaissances scientifiques.

Jusqu'au milieu des années 80, les recommandations nutritionnelles des truies étaient principalement basées sur des relations empiriques entre les performances des truies et/ou de leur portée et les apports en nutriments. Les études étaient menées à court terme, pour un stade physiologique donné (par exemple la gestation ou la lactation), ou à plus long terme sur plusieurs cycles. De nombreuses expériences ont ainsi été conduites dans différents pays pour évaluer les effets de l'apport d'énergie, de protéines ou d'AA sur les performances de reproduction. Cependant, en raison de la grande variabilité biologique des critères de réponse et du nombre limité de truies, bon nombre de ces études n'étaient pas suffisamment sensibles pour mettre en évidence des effets significatifs (ARC, 1981). Néanmoins, la synthèse de ces différentes études, à l'aide de méta-analyses, a fourni les concepts et les bases permettant de quantifier les effets des apports énergétiques sur les performances reproductives, le poids des porcelets, et les variations de poids des truies (Henry et Etienne, 1978 ; Cole, 1982 ; Aherne et Kirkwood, 1985). Les études menées sur plusieurs portées ont par ailleurs indiqué que l'effet d'une stratégie d'alimentation n'apparaissait parfois qu'à moyen ou long terme (O'Grady *et al.*, 1973).

L'interaction entre les effets des niveaux d'alimentation de gestation et de lactation ont également beaucoup été étudiés à cette époque (Salmon-Legagneur, 1965 ; Elsley *et al.*, 1969) indiquant que l'évolution pondérale des truies dépendait principalement de l'apport alimentaire total sur l'ensemble du cycle gestation-lactation. Selon les pays et les auteurs (revue de Henry et Etienne, 1978), les recommandations moyennes pour la gestation variaient entre 23,0 et 29,0 MJ/j d'Énergie Métabolisable (EM) (soit entre 1,8 et 2,3 kg/j d'aliment) chez les truies primipares et entre 26,0 et 36,0 MJ/j d'EM (soit entre 2,0 et 2,8 kg/j d'aliment) chez les truies multipares, et pour la lactation entre 55,0 et 76,0 MJ/j d'EM (soit entre 4,1 et 5,7 kg/j d'aliment) chez les truies primipares et entre 67,0 et 88,0 MJ/j d'EM (soit entre 5,0 et 6,6 kg/j d'aliment) chez les truies multipares.

De nombreuses études ont également été menées sur l'effet des apports de protéines chez les truies gestantes (ARC, 1981). Ces travaux ont montré que la rétention protéique des truies gestantes était plus élevée que celle des truies taries recevant la même ration (anabolisme gravidique) et qu'elle était fortement affectée par l'apport énergétique qui constituait souvent le principal facteur limitant la rétention. À l'inverse, la taille de la portée et le poids des porcelets ne semblaient pas affectés par les apports en protéines, sauf en cas de carence en protéines ou de déséquilibres en AA. Les recommandations étaient très variables selon les pays, entre des apports fixes de 175 g/j de Matières Azotées Totales (MAT) et des niveaux allant de 250 à 400 g MAT/j, selon le stade de gestation. Les études sur la lactation indiquaient que la teneur en protéines du lait n'était réduite qu'en cas de très faibles apports. Par contre, la production de lait et le poids des porcelets au sevrage étaient plus sensibles aux apports en protéines qu'à ceux en énergie. L'ARC (1981) recommandait des apports en protéines allant de 600 à 825 g/j selon la production laitière (de 5 à 7 L/j). Sur la base d'un nombre limité de publications (moins de 10 pour la lysine et une ou deux pour les autres AA), le NRC (1979), l'ARC (1981) et l'INRA (1984) ont publié des recommandations d'AA essentiels pour la gestation et la lactation et ont suggéré des équilibres optimaux entre les AA pour

chaque période (protéine idéale). Les recommandations d'apport en lysine totale s'élevaient à 0,43 % pour la gestation et 0,58 à 0,63 % pour la lactation.

Les recommandations nutritionnelles issues de l'approche empirique représentent des valeurs moyennes qui ne sont valables que pour les conditions expérimentales dans lesquelles elles ont été établies. L'extrapolation de ces recommandations à des conditions d'élevage différentes en termes d'environnement (température ambiante, humidité, conditions sanitaires…), de pratiques d'élevage (logement individuel ou collectif, durée de la lactation), les caractéristiques des animaux (type génétique, poids à maturité…) ou d'intensité de production (prolificité, croissance de la portée…) pouvait présenter des risques. Aussi, des méthodes analytiques souvent qualifiées de « factorielles » se sont progressivement développées depuis le milieu des années 80 afin de déterminer les besoins en fonction des différentes « dépenses » des animaux. Pour mettre en œuvre l'approche factorielle, il est nécessaire de quantifier les besoins nutritionnels pour l'entretien (y compris l'activité physique et la thermorégulation), les dépôts dans l'utérus et tissus maternels, et l'exportation dans le lait (Noblet *et al.*, 1990). Un effort de recherche important a été réalisé au cours des 30 dernières années, en particulier à l'INRA (actuellement INRAE) pour fournir ces informations et développer des outils de prédiction permettant de faciliter l'utilisation de la méthode factorielle en pratique. Il s'agissait d'un changement majeur dans la dixième édition du NRC sur les besoins en nutriments des porcs (NRC, 1998), dans laquelle ont été fournies les bases biologiques utilisées pour établir les besoins en énergie et en AA sous forme d'équations mathématiques (modèles). L'approche factorielle a également été utilisée assez tôt pour la détermination des besoins en minéraux (INRA, 1984). La onzième édition révisée du NRC (NRC, 2012) intègre une grande quantité d'informations obtenues au cours des 15 années précédentes. De la même manière, les tableaux de recommandations nutritionnelles pour le porc (INRA, 1984) ont été remplacés par un outil de calcul et de simulation (InraPorc®, Dourmad *et al.*, 2008 ; van Milgen *et al.*, 2008) permettant aux nutritionnistes d'adapter le calcul des besoins à la diversité des situations rencontrées en élevage. L'utilisation de tels modèles sera illustrée ci-après. Pour l'avenir, une évolution majeure dans la détermination des besoins des truies est attendue grâce au développement de l'alimentation de précision (voir ci-après).

4. L'évaluation des aliments chez la truie

Ces dernières années, de nombreuses améliorations significatives ont été apportées aux systèmes d'évaluation des aliments pour le porc. Pour l'évaluation du contenu énergétique des aliments et des matières premières, l'Énergie Nette (EN) a progressivement remplacé l'Énergie Digestible (ED) et l'EM pour la formulation des aliments (INRA-AFZ, 2004 ; NRC, 2012 ; CVB, 2016 ; Tybirk *et al.*, 2020). La raison principale en est que l'efficacité d'utilisation de l'ED ou de l'EM dépend du type de nutriments (glucides, fibres, protéines, graisses) (Noblet *et al.*, 1994) conduisant dans les systèmes ED et EM à une surestimation de la valeur énergétique des ingrédients riches en protéines ou en fibres, et inversement, à une sous-estimation des ingrédients riches en lipides ou en sucres/amidon. Il est maintenant généralement admis que le système EN est le système le plus approprié pour exprimer les besoins énergétiques des porcs et formuler les régimes alimentaires les moins coûteux (Noblet et van Milgen, 2004). Ce système est maintenant largement utilisé dans le monde entier.

De plus, la comparaison de la valeur énergétique de régimes alimentaires différant par leur teneur en fibres indique qu'en moyenne la digestibilité de l'énergie est plus élevée chez les truies adultes que chez le porc en croissance, avec une différence qui s'accroit avec l'augmentation de la teneur en fibres (Le Goff et Noblet, 2001). À partir de ces résultats, différentes valeurs de teneur en ED, EM et EN des matières premières ont été déterminées pour les porcs en croissance et les truies adultes (INRA-AFZ, 2004 ; INRA-CIRAD-AFZ, 2018). De la même manière, différentes valeurs d'EN sont disponibles pour les porcs en croissance (FEgp) et les truies (FEsow) dans les tables danoises de valeur des aliments (Tybirk *et al.*, 2018). L'utilisation d'un système d'évaluation énergétique adéquat est particulièrement important lors de la formulation pour les truies de régimes alimentaires pauvres en protéines et riches en fibres visant à améliorer leur bien-être et à réduire l'excrétion d'azote.

Jusqu'à la fin des années 80, les besoins en AA des truies et des porcs en croissance et leurs teneurs dans les aliments étaient exprimés sur la base des teneurs brutes (NRC, 1988 ; INRA, 1984). Ces valeurs ont été progressivement remplacées par la digestibilité iléale standardisée (SID) qui est maintenant le système le plus couramment recommandé et utilisé (Stein *et al.*, 2007). Faute de résultats spécifiques sur les truies, ce sont les valeurs obtenues chez le porc en croissance qui sont utilisées. De la même manière, pour le Phosphore (P), la digestibilité totale apparente (ATTD) ou la digestibilité totale standardisée (STTD) sont désormais utilisées pour le calcul factoriel des besoins et la formulation des régimes, au lieu du phosphore total (Jondreville et Dourmad, 2005 ; NRC, 2012 ; Bikker et Blok, 2017). Pour le Calcium (Ca), les besoins et la teneur dans les aliments sont toujours exprimés sur une base totale, en raison d'un manque de données sur sa digestibilité. Cependant, le calcul factoriel des besoins en Ca est basé sur le Ca digestible puis exprimé sur une base totale en retenant une valeur de digestibilité du Ca donnée, généralement de 50 % (Gueguen et Perez, 1981 ; Bikker et Block, 2017). Une autre approche, très souvent utilisée en pratique, consiste à utiliser les besoins en Ca calculés selon un rapport Ca total/P digestible donné, qui peut différer pour la gestation et la lactation (Jongbloed *et al.*, 1999 ; Quiniou *et al.*, 2019). Faute d'informations suffisantes, les valeurs de digestibilité du Ca et du P des ingrédients alimentaires mesurées sur les porcs en croissance sont généralement utilisées pour les truies, bien que certaines études indiquent une

digestibilité du Ca et du P plus faible chez les truies que chez les porcs en croissance (Kemme *et al.*, 1997). La raison de cette différence n'est pas complètement élucidée. Elle peut être liée à des capacités digestives différentes entre les porcs jeunes et adultes ou à certains aspects méthodologiques. En effet, la mesure de la digestibilité du Ca et du P chez les truies est généralement effectuée pendant la gestation lorsque le besoin est très faible, notamment sur les deux premiers tiers de la gestation. L'absorption du Ca et dans une moindre mesure du P étant régulée par son potentiel de rétention, cela pourrait expliquer la moindre digestibilité mesurée chez les truies, qui serait donc la conséquence d'un apport excessif. Un autre grand changement dans la nutrition minérale des truies, comme chez les porcs en croissance, est l'utilisation de phytases microbiennes qui permet une réduction de la teneur totale en Ca et P de l'aliment. Cependant, la quantité de P et de Ca digestible libérée par la phytase microbienne semble dépendre de l'état physiologique du porc, avec une efficacité généralement plus faible chez les truies que chez les porcs en croissance, en particulier au début de la gestation, comme l'ont examiné Bikker et Block (2017). Les mêmes raisons méthodologiques que celles avancées ci-dessus pour expliquer les différences de digestibilité du Ca et du P des aliments peuvent être suggérées pour expliquer ces écarts.

5. Modélisation de l'utilisation des nutriments

Comparativement au porc en croissance, assez peu de modèles nutritionnels ont été publiés pour les truies (Williams *et al.*, 1985 ; Dourmad, 1987 ; Whittemore et Morgan, 1990 ; Pomar *et al.*, 1991 ; Pettigrew *et al.*, 1992 ; NRC, 1998 ; Dourmad *et al.*, 2008 ; NRC, 2012) et la plupart d'entre eux sont des modèles de recherche. Parmi les modèles utilisables en pratique, le modèle NRC (2012) prédit les besoins en énergie, en AA et en minéraux selon une approche factorielle. Ce modèle est disponible sous forme de feuille de calcul au format Excel®. De même, l'outil d'aide à la décision InraPorc® (Dourmad *et al.*, 2008) permet le calcul factoriel des besoins en énergie, en AA et en minéraux des truies et il intègre en plus un modèle de simulation qui permet d'évaluer à court ou à long terme la réponse des truies à une stratégie d'alimentation donnée. Ce modèle est présenté plus en détail ci-après et l'outil associé peut être téléchargé sur https://inraporc.inra.fr

■ 5.1. Description générale du module truie d'InraPorc

Dans le modèle InraPorc®, la truie est représentée comme la somme de différents compartiments (protéines corporelles, lipides corporels, énergie corporelle, minéraux corporels et utérus) qui évoluent au cours du cycle de reproduction (figure 2). Les principaux flux de nutriments sont l'énergie, les AA et les minéraux. Chez les truies gestantes, la priorité est donnée aux besoins d'entretien, à l'activité physique et la thermorégulation, aux besoins des fœtus et au développement de l'utérus et de la glande mammaire. Si l'apport nutritionnel dépasse ces besoins, les nutriments en excès contribuent à la constitution des réserves corporelles sous forme de lipides et de protéines. À l'inverse, les réserves corporelles peuvent être mobilisées lorsque la demande en nutriments est supérieure à l'apport en nutriments, notamment en fin de gestation et pendant la lactation. Chez les truies en lactation, la priorité est donnée à l'entretien et à la production laitière, et les réserves corporelles contribuent souvent à l'approvisionnement pour ces fonctions prioritaires. Les truies se trouvant en généralement situation de thermoneutralité, les besoins de thermorégulation ne sont pas pris en compte. Les différentes équations décrivant l'utilisation des nutriments et de l'énergie par les truies en gestation et en lactation ont été tirées de la bibliographie et utilisées pour construire le simulateur informatisé (InraPorc® ; Dourmad *et al.*, 2008). Ce simulateur détermine au quotidien les flux de nutriments et d'énergie de l'alimentation vers le stockage dans l'organisme, l'excrétion ou la dissipation.

D'autres fonctionnalités ont été ajoutées au simulateur afin qu'il puisse être utilisé comme un outil d'aide à la décision (figure 3). Un module animal (« profil truie ») est utilisé pour décrire les caractéristiques du troupeau. Trois

Figure 2. ***Description de l'utilisation des nutriments dans le modèle InraPorc (Dourmad* et al.*, 2008).***

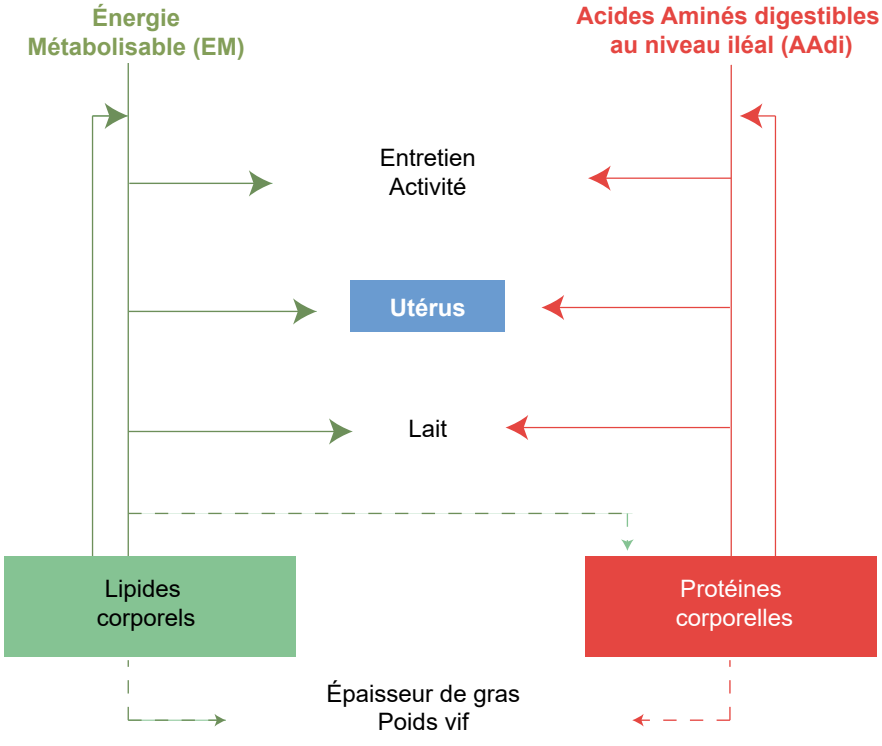
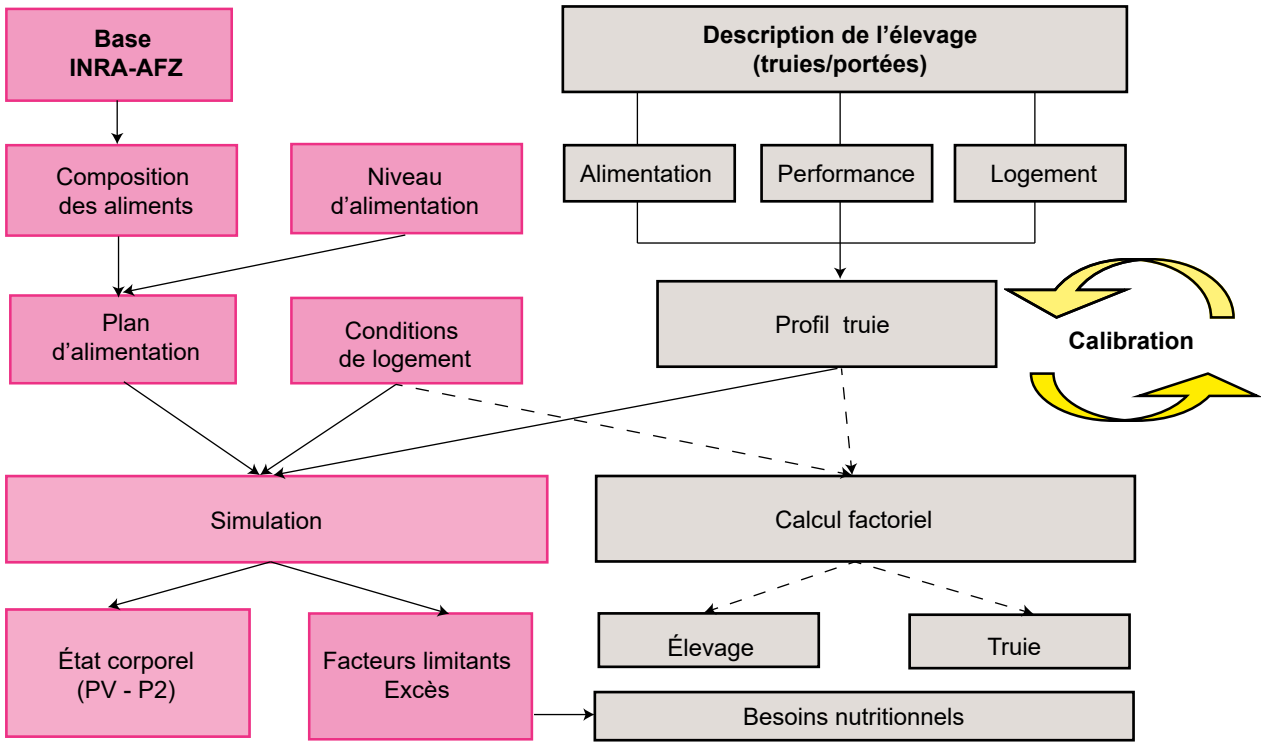


Figure 3. ***Description de l'outil InraPorc d'aide à la décision pour l'alimentation des truies (Dourmad* et al.*, 2008). (PV : Poids Vif, P2 épaisseur de gras dorsal).***



autres modules permettent de décrire le type d'aliment utilisé sur une période donnée (« plan d'alimentation »), la quantité d'aliment ou d'énergie consommée (« plan de rationnement ») et les conditions de logement (« logement »). Le module truie est connecté au module alimentation qui peut être utilisé pour calculer les teneurs en nutriments des aliments à partir des taux d'incorporation des matières premières à l'aide de la base de données INRA-AFZ (2004). Lors de la définition d'un « profil truie », une procédure de calibration est utilisée pour ajuster certains paramètres du modèle au génotype/phénotype en fonction de caractéristiques observées dans une situation de référence. Cet étalonnage est basé sur une procédure d'optimisation automatisée qui minimise la différence entre les performances observées et prédites.

Après calibration, le modèle peut être utilisé pour déterminer les besoins nutritionnels selon une approche factorielle classique, ou pour prédire les performances (variation de poids et d'épaisseur de lard dorsal) et analyser par simulation l'utilisation des nutriments. Dans la version actuelle du logiciel, les données sur les performances de reproduction (c'est-à-dire la taille de la portée, le poids des porcelets, la production de lait) sont considérées comme des entrées de l'utilisateur et ne sont donc pas sensibles à l'apport en nutriments.

À titre d'exemple d'utilisation d'InraPorc®, les besoins en énergie, en AA et en P des truies d'un troupeau sevrant 30 porcelets par truie et par an, avec respectivement 13,8 et 12,1 porcelets nés vivants et sevrés par portée, ont été calculés (tableau 2). Pendant la gestation, le besoin énergétique moyen s'accroît entre les portées 1 et 3, puis reste constant par la suite. Le besoin énergétique moyen pour la lactation augmente jusqu'à la portée 4. En moyenne, la consommation énergétique « à volonté » est suffisante pour couvrir 77 % des besoins énergétiques pendant la lactation, avec une couverture plus faible chez les truies primipares (69 %). Pendant la gestation, les besoins en AA par kg d'aliment sont plus élevés pour les truies de première et de deuxième portée, principalement en raison d'une consommation alimentaire plus faible et d'une croissance maternelle plus élevée. En utilisant le calcul factoriel des besoins, il est également possible d'évaluer l'effet du stade de gestation ou de la prolificité, sur les besoins en AA ou en P digestible, ou l'effet de la croissance de la portée et de l'appétit des truies sur les besoins pendant la lactation.

■ 5.2. Simulation des performances à court et long terme

Les modèles peuvent également être utilisés pour simuler les effets à court et à long terme de différentes stratégies de logement ou d'alimentation. L'existence de carences ou d'excès de nutriments peut également être identifiée comme illustré sur la figure 4 pour l'utilisation de la lysine par une truie en première portée sur la gestation et la lactation.

■ 5.3. Prise en compte de la variabilité des besoins

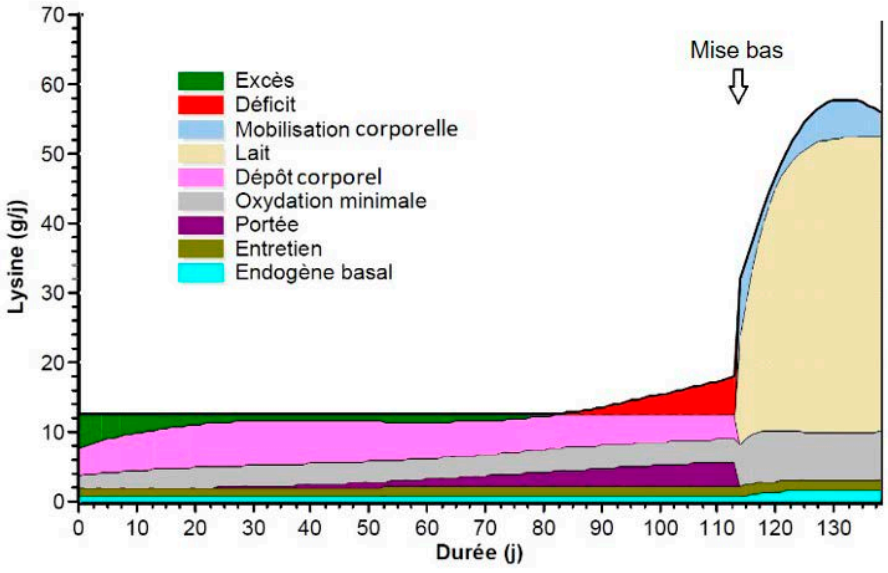
Une question importante dans la nutrition des truies en pratique est de savoir comment gérer la variabilité des besoins entre les individus. Celle-ci provient de la variabilité des performances de reproduction (taille de la portée), de la capacité de production (lait), de

Tableau 2. ***Estimation des besoins moyens en énergie nette, en lysine digestible et en phosphore digestible pendant la gestation et la lactation en fonction du rang de portée des truies (1).***

Rang de portée	1	2	3	4	5	6
Gestation (à la thermoneutralité)						
Énergie nette (MJ/j)	25,7	28,3	28,4	27,7	27,7	27,6
Lysine digestible[(2)] (g/j)	14,3	13,5	12,8	12,4	12,2	12,1
Lysine digestible (g/kg)	5,3	4,5	4,3	4,2	4,2	4,1
Phosphore digestible[(2)] (g/j)	7,5	7,7	7,7	7,4	7,3	7,2
Phosphore digestible (g/kg)	2,8	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5
Lactation (3,0 kg/j de croissance de portée)						
Énergie nette (MJ/j)	73,9	77,5	81,7	82,5	82,0	81,2
Ingestion (% du besoin)	69 %	76 %	79 %	78 %	79 %	80 %
Lysine digestible[(2)] (g/j)	48,5	49,8	51,7	51,7	51,1	50,4
Lysine digestible (g/kg)	9,0	8,0	7,6	7,6	7,5	7,4
Phosphore digestible[(2)] (g/j)	17,9	18,7	19,7	19,8	19,6	19,4
Phosphore digestible (g/kg)	3,3	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8

[1] Calculé pour un élevage sevrant 30 porcelets par truie productive et par an, avec une croissance de portée moyenne de 3,0 kg/j et une consommation moyenne en lactation de 6,4 kg d'aliment/j.
[2] Les besoins en lysine digestible iléale standardisée et en phosphore digestible sont calculés pour le dernier mois de gestation, pour un aliment contenant 9,4 MJ d'énergie nette par kg d'aliment.

Figure 4. ***Simulation de l'utilisation de la lysine digestible au cours de la gestation et de la lactation (portée 1).***

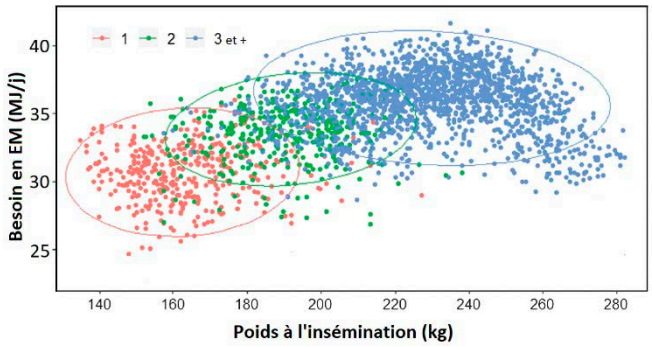


l'appétit (pendant la lactation), de l'activité physique et plus généralement de l'historique des animaux. De plus, les besoins diffèrent également selon le rang de portée et le stade physiologique. Pendant la gestation, la stratégie pour atteindre l'objectif de l'état corporel à la mise bas est d'abord d'adapter l'apport d'énergie et d'aliment en fonction de l'état corporel à l'insémination, du rang de portée, des performances attendues et des conditions de logement, notamment car elles jouent sur l'activité physique des animaux et leurs besoins de thermorégulation. Dans ce contexte, il est important de mesurer ou d'estimer le poids vif et l'épaisseur de lard dorsal pour adapter l'apport d'aliment à la situation de chaque truie. Ceci est illustré sur la figure 5 avec les données obtenues à partir d'une ferme expérimentale (Dourmad *et al.*, 2017 ; Gaillard *et al.*, 2019). Le poids corporel moyen des truies à l'insémination augmente avec le rang de portée alors que ce n'est pas le cas pour l'épaisseur moyenne du gras dorsal. Cependant, pour les deux critères, la variabilité est élevée, ce qui entraîne une forte variabilité des besoins énergétiques (35 ± 2,4 MJ EM par jour).

Lorsque la quantité totale d'aliment ou d'énergie allouée est définie, différentes stratégies peuvent être utilisées pour répartir cette quantité totale sur la gestation. Il est généralement admis que l'augmentation de la ration alimentaire à la fin de gestation, au cours des trois 3 dernières semaines, peut améliorer la vitalité et la survie des porcelets à la naissance, en particulier chez les truies hyperprolifiques (Quiniou, 2005).

La stratégie optimale pendant les deux premiers tiers de la gestation est moins claire et peut dépendre du type de logement et de l'équipement disponible pour la distribution des aliments. En Europe, deux stratégies sont souvent appliquées pendant cette période : soit un niveau d'alimentation assez constant, soit plus communément une période de suralimentation des truies maigres, sur environ 4 semaines, suivie d'une période de restriction. Cette seconde stratégie, qui permet une reconstitution rapide des réserves corporelles des truies en début de gestation, est

Figure 5. ***Besoin moyen en énergie métabolisable (EM, MJ/j) des truies en gestation, selon le rang de portée et le poids vif à l'insémination (rouge : rang 1, vert : rang 2 ; bleu : rang 3 et plus) (d'après Gaillard* et al.*, 2019).***

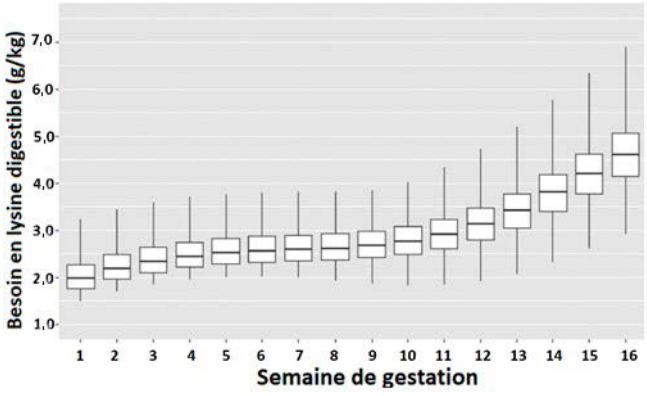


de plus en plus courante dans le cadre de la législation européenne sur le bien-être des truies, qui impose un hébergement en groupes après 4 semaines de gestation. Cependant, selon Quiniou et Quesnel (2008), elle pourrait réduire le poids des porcelets à la naissance, si le niveau d'ingestion est trop bas en milieu de gestation.

La définition d'une stratégie d'alimentation des truies gestantes nécessite d'adapter la teneur en nutriments (AA, minéraux, vitamines…) en fonction du stade de gestation et/ou du rang de portée ; bien qu'en pratique, le plus courant reste d'utiliser le même régime pour toutes les truies. En effet, les besoins en AA et minéraux diminuent avec le rang de portée et varient également en fonction du stade de gestation. Les besoins moyens en lysine digestible augmentent avec le stade de gestation avec une grande variabilité entre les truies (figure 6). Le besoin est également influencé par le rang de portée des truies avec des valeurs bien plus élevées chez les primipares que chez les truies multipares et en fin qu'en début de gestation (Gaillard *et al.*, 2019).

Pendant la lactation, les besoins nutritionnels par kg d'aliment sont principalement affectés par la production de lait et l'appétit des truies. Il ressort clairement des résultats présentés dans le tableau 2 que les jeunes truies ont moins d'appétit et doivent être nourries avec une alimentation plus concentrée en nutriments, notamment en AA et en minéraux. En pratique, l'appétit des truies en lactation varie fortement en fonction du rang de portée, de la température ambiante, de l'état corporel, etc. De plus, le potentiel de production laitière varie également entre les truies, en partie selon la taille de la portée, augmentant la variabilité des besoins. En utilisant les données individuelles de 1 450 truies dans deux fermes, Gauthier *et al.* (2019) ont calculé les besoins individuels en lysine SID selon le modèle InraPorc. Les besoins moyens pour les portées 1, 2 et 3+ s'élevaient respectivement à 8,3 – 7,3 et 6,7 g de lysine SID par kg d'aliment. Cependant, en raison de la variabilité des besoins, des apports plus élevés sont nécessaires pour répondre aux besoins de la majorité des truies, comme illustré à la figure 7. Par exemple, pour répondre aux besoins de 80 % des truies, l'approvisionnement en lysine SID doit dépasser 9,8 – 8,6 et 7,6 g/kg d'aliment, pour les parités 1, 2 et 3 et plus, respectivement, soit environ 15 % de plus que le besoin moyen.

Figure 6. ***Évolution du niveau moyen et de la dispersion des besoins en lysine digestibles au cours de la gestation (Gaillard* et al.*, 2019).***

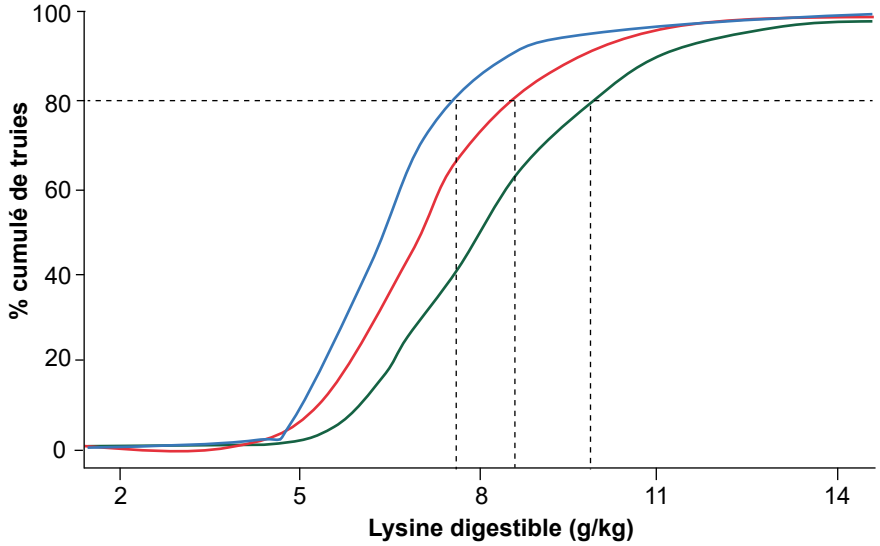


■ 5.4. Vers une alimentation de précision des truies

L'utilisation de données individuelles collectées par l'éleveur (évènements, taille de portée, poids des porcelets…) ou à l'aide de capteurs (poids vif, épaisseur de lard dorsal, consommation d'aliment, température ambiante, activité physique…) en combinaison avec des modèles nutritionnels permet d'envisager le développement de systèmes d'aide à la décision capables de déterminer au jour le jour la quantité optimale et la composition de l'aliment à distribuer à chaque truie du troupeau, et de piloter des équipements « intelligents » de distribution d'aliment mettant en œuvre ces décisions (figure 8).

Ainsi, une alimentation de précision, appliquée au niveau individuel ou à l'échelle d'un petit groupe, semble une stratégie prometteuse pour mieux adapter l'apport en nutriments aux besoins individuels, améliorer l'efficacité de l'utilisation des nutriments et réduire le coût de l'alimentation. L'intérêt d'une telle stratégie d'alimentation de précision a été évalué par simulation chez les truies gestantes (Dourmad *et al.*, 2017 ; Gaillard *et al.*, 2020). Dans cette étude, une stratégie d'alimentation conventionnelle en une phase (CG) a été comparée à une stratégie d'alimentation de précision consistant en un mélange journalier de deux régimes avec une teneur en nutriments faible (FG) ou élevée (EG). La teneur en lysine digestible était de 4,8, 3,0 et 6,0 g/kg d'aliment et la teneur en protéines de 14, 9 et 16 % respectivement dans les régimes CG, FG et EG. En moyenne, le taux d'incorporation du régime FG dans la stratégie de précision était de 84 %, la valeur étant plus faible

Figure 7. ***Évolution, selon le rang de portée (bleu : rang1, orange : rang 2 et vert : rang 3), du taux de couverture des besoins en lysine des truies en lactation en fonction de la teneur dans l'aliment. Les lignes en pointillés correspondent à l'apport permettant de couvrir les besoins de 80 % des truies. (Gauthier* et al.*, 2019).***



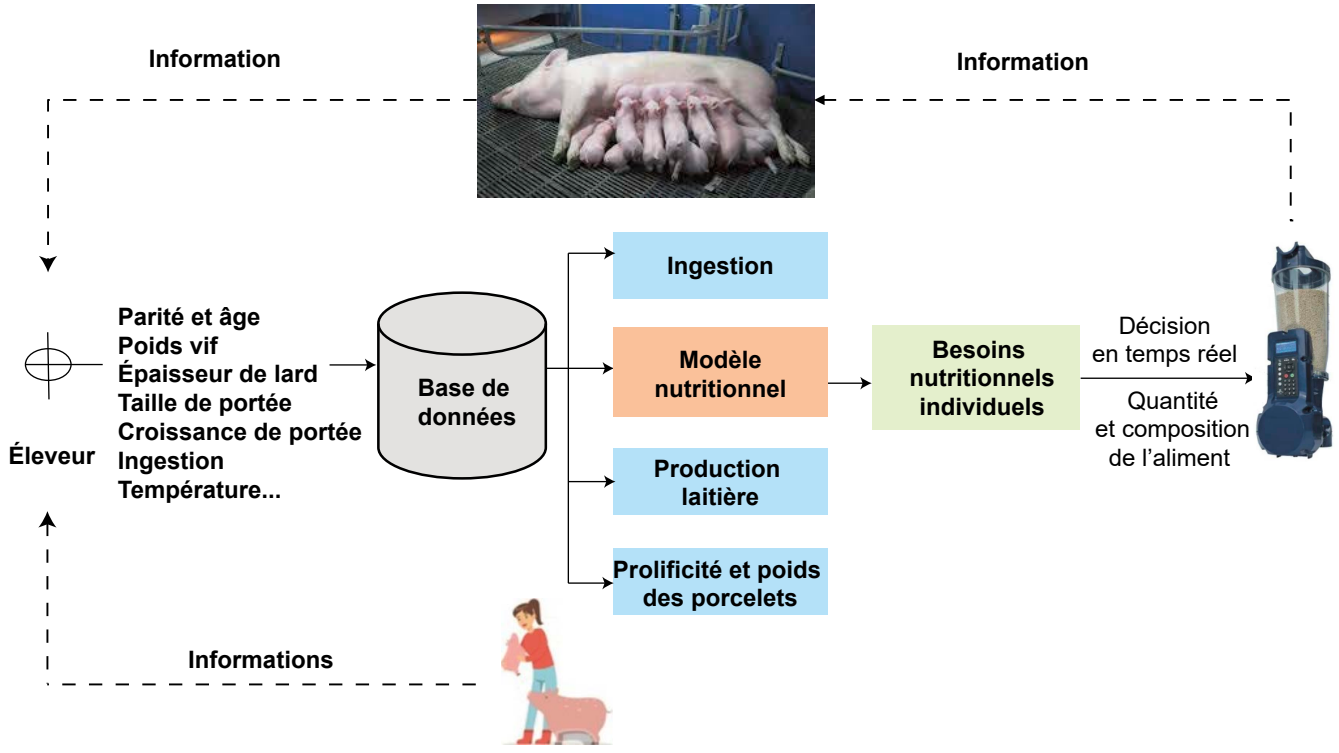
chez les truies de première parité (67 %). Par rapport à la stratégie en une phase, l'alimentation de précision a entraîné une diminution de 24 % de l'apport total de protéines, une réduction de 30 % de l'excrétion d'azote et une diminution de 4,6 % du coût alimentaire. De plus, la proportion de truies sous-alimentées en AA au cours des semaines 3 et 4 de lactation est passée de plus de 60 % avec l'alimentation conventionnelle à moins de 5 % avec l'alimentation de précision. Parallèlement, la proportion de truies suralimentées a été considérablement réduite.

De la même manière, Gauthier (2021) a évalué dans un essai conduit au Canada sur 500 truies l'intérêt de l'alimentation de précision chez la truie en lactation. Une stratégie d'alimentation conventionnelle en une phase (CL) était comparée à une stratégie d'alimentation de précision consistant en le mélange de deux régimes avec une teneur en nutriments faible (FL) ou élevée (EL). La teneur en lysine digestible s'élevait à respectivement 10,1, 6,5 et 13,5 g/kg d'aliment et la teneur en protéines à 17,9, 12,3 et 22,50 % dans les régimes CL, FL et EL. En moyenne, le taux d'incorporation du régime FL dans la stratégie de précision était de 29 %. Par rapport à la stratégie en une phase, l'alimentation de précision a entraîné une diminution de 20 % de l'apport total de protéines, une réduction de 28 % de l'excrétion d'azote et une diminution de 11 % du coût alimentaire.

6. De nouveaux objectifs en lien avec l'évolution de la demande sociétale

Jusqu'à récemment, la maximisation des performances de reproduction des truies et de leurs portées était le principal objectif pris en compte lors de la définition des apports nutritionnels. Cela impliquait *i)* de considérer

Figure 8. ***Représentation schématique de l'application de l'alimentation de précision aux truies reproductrices (d'après Gauthier* et al.*, 2019 ; Gaillard et al., 2019, 2020 ; Gauthier, 2021).***



les effets à court et long termes de la nutrition sur la fertilité et la longévité des truies, ainsi que sur la prolificité, la survie et la croissance des porcelets, et *ii)* d'adapter la nutrition dans le temps en fonction de l'amélioration de ces performances résultant de la sélection. Cependant, plus récemment, de nouveaux objectifs ont émergé en relation avec la préoccupation croissante de la société pour le bien-être des animaux et l'environnement.

■ 6.1. Bien-être animal

Dans de nombreux pays, le bien-être animal devient l'une des principales préoccupations des consommateurs et des citoyens en matière d'élevage. Cela a plusieurs conséquences sur la nutrition des truies. En effet, changer la stratégie d'alimentation et la composition de l'alimentation peut constituer un levier intéressant pour améliorer le bien-être des truies, mais l'alimentation doit également s'adapter aux changements induits par les différentes réglementations bien-être ou des spécifications liées à des cahiers des charges spécifiques, notamment en termes de logement des truies. À partir d'une étude de terrain évaluant le bien-être des truies gestantes dans 16 élevages, Cariolet *et al.* (1997) ont ainsi montré une relation entre le bien-être et la notation d'état corporel des truies. La fréquence des stéréotypies (considérées comme des comportements anormaux) et le temps passé debout après le repas diminuaient lorsque le score d'état corporel augmentait, et dans le même temps, la survenue de lésions corporelles, un indicateur de mal-être, diminuait. Fait intéressant, il y avait une relation positive entre les performances du troupeau et les caractéristiques de bien-être mesurées dans l'enquête. Une gestion appropriée de l'état corporel est donc très importante non seulement pour la reproduction, comme détaillé précédemment, mais aussi pour le bien-être. Cependant, l'état corporel optimal peut être différent selon l'objectif visé, une plus grande adiposité pouvant être nécessaire pour améliorer le bien-être des truies et pour maximiser les performances de reproduction. Un autre domaine de recherche important en ce qui concerne la nutrition et le bien-être des truies concerne l'utilisation d'aliments riches en fibres pendant la gestation (Philippe *et al.*, 2008). Les régimes riches en fibres présentent en effet un intérêt majeur pour induire la satiété sans apport énergétique excessif au travers de différents mécanismes sensoriels post-ingestifs et post-absorptifs (Meunier-Salaün et Bolhuis, 2015). Il en résulte une réduction de l'apparition de comportements anormaux tels que les stéréotypies, cet effet étant principalement lié à l'accroissement de la durée d'ingestion. Ceci est pris en compte dans la directive européenne (2008/120/CE). Par ailleurs ces régimes, qui entrainent un développement accru du tube digestif, favorisent également l'appétit des truies au cours de la lactation qui suit (Guillemet *et al.*, 2006). Également pour des raisons de bien-être, les truies gestantes doivent maintenant être élevées en groupe, ce qui rend leur alimentation individuelle plus difficile, en particulier lorsqu'elles sont élevées en petits groupes avec une mangeoire commune. Toutefois, l'hébergement groupé de truies gestantes a également favorisé le développement de technologies innovantes permettant la distribution de rations individualisées, pour des truies élevées en grands groupes, à l'aide de distributeurs électroniques automatisés et de l'identification individuelle des animaux. Cela offre alors de nouvelles opportunités pour mieux nourrir les truies gestantes en fonction de leurs besoins individuels (Dourmad *et al.*, 2017).

■ 6.2. Environnement

La question environnementale constitue une préoccupation majeure pour la production porcine depuis les années 90. Afin de réduire l'excrétion d'azote, de phosphore et d'oligo-éléments dans les effluents, ainsi que les émissions de gaz et d'odeurs, de nombreuses recherches ont été menées chez le porc en croissance et la truie reproductrice pour assurer une meilleure concordance entre les apports et les besoins (Dourmad et Jondreville, 2007). Dans la formulation pratique des aliments, cela a abouti à l'inclusion de contraintes maximales sur la teneur totale en protéines et P des régimes et à l'inclusion accrue d'AA libres et de phytase microbienne dans les régimes alimentaires des truies. Des approches par analyse du cycle de vie sont également en cours de développement pour la formulation multi-objectifs d'aliments pour réduire les impacts environnementaux de l'alimentation animale (Garcia-Launay *et al.*, 2018).

■ 6.3. Acceptation sociale de l'élevage

Les systèmes de production porcine, de même que l'élevage plus généralement, sont remis en question par la société à un niveau beaucoup plus global, quant à leur durabilité à l'échelle de la planète. Ceci peut affecter les stratégies d'alimentation. Par exemple, la question de la concurrence entre l'alimentation animale et l'alimentation humaine est de plus en plus soulevée, avec des implications pratiques en termes de choix des ingrédients alimentaires et de compétition pour l'utilisation des surfaces agricoles. Certaines filières de production ou certains pays imposent également des contraintes spécifiques sur l'origine des matières premières, tels que non-OGM, produits localement, sans additifs, sans déforestation… Tout cela peut affecter, directement ou indirectement, la formulation des aliments. Le développement de l'agriculture biologique avec des contraintes particulières sur les ingrédients et additifs alimentaires, et le coût très élevé des sources de protéines, soulève également des questions spécifiques pour la formulation des aliments dans ces systèmes. Plus généralement, le compromis à trouver entre productivité et bien-être animal est également remis en question. Pour les truies, cela peut par exemple concerner l'augmentation de la mortalité des porcelets et, dans une certaine mesure, de la mortalité des truies, associée à l'augmentation de la prolificité, en particulier dans la perspective du passage en cases libre en maternité.

■ 6.4. Réduction de l'utilisation de médicaments

Une autre évolution importante intervenue ces dernières années est la demande croissante de la société et

des consommateurs pour la réduction de l'utilisation de médicaments vétérinaires. Cette évolution est principalement motivée par le développement de la résistance microbienne aux antibiotiques et par la question de la présence éventuelle de résidus dans les viandes. Chez la truie, les risques de problèmes de santé sont plus élevés pendant la période de mise bas et la lactation. L'alimentation, en particulier à la fin de la gestation, autour de la mise bas et pendant la lactation, apparaît comme un outil important pour maintenir la santé des truies et des porcelets, tout en réduisant les médications. L'effet de l'alimentation sur le syndrome SDPP, qui affecte la survie des porcelets et la longévité des truies (Niemi *et al.*, 2017), a été démontré il y a de nombreuses années (Göransson, 1989) avec un risque accru d'occurrence associé à des rations à haute teneur en protéines et en énergie, ce qui est souvent le cas à l'entrée en maternité. À l'inverse, un effet préventif de l'inclusion de fibres alimentaires a été démontré à différentes reprises (Göransson, 1989) en accord avec des résultats récents soulignant l'importance du microbiote et sa possible modulation par la formulation ou l'utilisation d'additifs ou de composés « naturels » (Tan *et al.*, 2015).

■ 6.5. Adaptation au changement climatique

Avec le changement climatique, il y a un risque croissant d'occurrence de périodes de canicule, même dans les zones tempérées. Les truies en lactation sont les plus sensibles au stress thermique, car leur zone de thermoneutralité est basse en raison d'une consommation alimentaire élevée et d'un métabolisme intense, tandis que les truies gestantes sont moins sensibles au chaud, du fait de leur alimentation restreinte. En situation de stress thermique, la modification de la composition du régime alimentaire et la modulation de la dynamique des apports d'aliments au cours du nycthémère permettent de limiter la chute de performances et d'améliorer le bien-être des truies, en apportant une ration mieux adaptée et en favorisant une consommation plus élevée (Renaudeau *et al.*, 2012 ; Dourmad *et al.*, 2015).

Conclusion

Les stratégies d'alimentation des truies ont radicalement changé au cours des dernières décennies. Ces changements ont été motivés à la fois par l'amélioration des performances de reproduction, résultant notamment de la sélection et de l'utilisation du croisement, et par la génération de nouvelles connaissances scientifiques, fournissant des concepts et des données nouvelles.

Bien que des progrès restent à accomplir, les relations entre la nutrition et la reproduction sont bien mieux comprises, ainsi que leurs bases biologiques, permettant une approche intégrée de l'alimentation des truies. Jusqu'au milieu des années quatre-vingt, les recommandations nutritionnelles des truies étaient principalement basées sur des relations empiriques entre les apports en nutriments et les performances. Par la suite, des méthodes analytiques ou factorielles ont été progressivement développées afin de calculer les besoins en fonction des différentes dépenses et permettre leur adaptation à des objectifs de performance et des conditions de logement spécifiques. Des modèles mathématiques ont ensuite été développés, intégrant toutes les connaissances disponibles sur l'utilisation des nutriments chez les truies, et des outils d'aide à la décision ont été produits à partir de ces modèles. Une question importante en suspens reste de savoir comment mieux gérer en pratique la variabilité des besoins entre truies. Dans cette perspective, les résultats récents indiquent que l'alimentation de précision, appliquée au niveau individuel ou en petit groupe, semble une stratégie prometteuse pour mieux adapter les apports en nutriments aux besoins individuels, améliorer leur efficience d'utilisation et réduire l'excrétion et le coût de l'alimentation.

À l'avenir, on s'attend à de nouveaux défis issus des préoccupations croissante de la société pour l'environnement, le bien-être et la santé, et des enjeux liés à l'adaptation au changement climatique. L'élevage porcin, comme la plupart des élevages, est remis en question par la société en termes de durabilité et d'acceptabilité globales. Cela jouera un rôle majeur dans l'évolution des systèmes d'élevage et vraisemblablement dans l'évolution de la conduite et de l'alimentation des truies, nécessitant de nouvelles connaissances scientifiques et le recours à de nouvelles technologies, en particulier celles du numérique.

Références

Aherne F.X., Kirkwood R.N., 1985. Nutrition and sow prolificacy. J. Reprod. Fert. Suppl., 33, 169-183.

ARC, 1981. The Nutrient Requirements of Pigs. Commonwealth Agricultural Bureau. London, 309pp.

Bauman D.E., Currie W.B., 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. J. Dairy Sci., 63, 1514-1529. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83111-0

Berry D.P., Figgens N.C., Lucy M., Roche J.R., 2016. Milk production and fertility in cattle. Annu. Rev. Anim. Biosci., 4, 269-290. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021815-111406

Bidanel J.P., Silalahi P., Tribout T., Canario L., Ducos A., Garreau H., Gilbert H., Larzul C., Milan D., Riquet J., Schwob S., Mercat M.J., Hassenfratz C., Bouquet A., Bazin C., Bidanel J., 2020. Cinquante années d'amélioration génétique du porc en France : bilan et perspectives. INRA Prod. Anim., 33, 1-16. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2020.33.1.3092

Bikker P., Blok M.C., 2017. Phosphorus and calcium requirements of growing pigs and sows. CVB documentation report 59. https://doi.org/10.18174/424780

Cariolet R., Vieuille C., Morvan P., Madec F., Meunier-Salaün M.C., Vaudelet J.C., Courboulay V., Signoret J.P., 1997. Évaluation du bien être chez la truie gestante bloquée. Relation entre le bien être et la productivité numérique. Journées Rech. Porcine, 29, 149-160.

Coffey M.T., Diggs B.G., Handlin D.L., Knabe D.A., Maxwell C.V., Noland Jr. P.R., Prince T.J., Gromwell G.L, 1994. Effects of dietary energy during gestation and lactation on reproductive performance of sows: a cooperative study. J. Anim. Sci., 72, 4-9. https://doi.org/10.2527/1994.7214

Cole D.J.A., 1982, Nutrition and reproduction. In: D.J.A. Cole and G.J. Foxcroft (Eds), Control of pig reproduc-

tion. London, Butterworth. https://doi.org/10.1016/B978-0-408-10768-6.50034-4

CVB, 2016. CVB Veevoedertabel 2016. Chemische samenstellingen en nutritionele waarden van voedermiddelen. http://www.cvbdiervoeding.nl/

Dourmad J.Y., 1987. Composition du gain de poids de la truie gestante : prévision en fonction des apports énergétiques et protéiques. Journées Rech. Porcine, 10, 203-214.

Dourmad J.Y., 1991. Effect of feeding level in the gilt during pregnancy on voluntary feed intake during lactation and changes in body composition during gestation and lactation. Livest. Prod. Sci., 27, 309-319. https://doi.org/10.1016/0301-6226(91)90126-B

Dourmad J.Y., Jondreville C., 2007. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. Livest. Sci., 192, 192-198. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.002

Dourmad J.Y., Etienne M., Prunier A., Noblet J., 1994. Effect of energy and protein intake of sows on their longevity. Livest. Prod. Sci., 40, 87-97. https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)90039-6

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. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.019

Dourmad J.Y., Le Velly V., Lechartier C., Gourdine J.L., Renaudeau D., 2015. Influence de la température ambiante chez la truie allaitante, une approche par méta-analyse et modélisation. Journées Rech. Porcine, 47, 105-110.

Dourmad J.Y., Brossard L., Pomar C., Pomar J., Gagnon P., Cloutier L., 2017. Development of a decision support tool for precision feeding on pregnant sows. Precision Livestock Farming, 17, 584-592.

Dourmad J.Y., Gauthier R., Gaillard C., 2021. Évolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices : historique et perspectives. 53èmes Journées de la Recherche Porcine, Ifip; Inrae, France. pp.133-144. https://hal.inria.fr/hal-03213417

Elsley F.W.H., Bannerman M., Bathurst E.V.J., Bracewell E.G., Cunningham J.M.M., Dodsworth T.L., Dodds P.A., Forbes T.J., 1969. The effect of level of feed intake in pregnancy and in lactation upon the productivity of sows. Anim. Prod., 11, 225-241. https://doi.org/10.1017/S0003356100026830

Friend D.W., 1971. Self-selection of feed and water by swine during pregnancy and lactation. J. Anim. Sci., 32, 658-663. https://doi.org/10.2527/jas1971.324658x

Gaillard C., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.Y., 2019. Exploration of individual variability to better predict the nutrient requirements of gestating sows. J. Anim. Sci., 97, 4934-4945. https://doi.org/10.1093/jas/skz320

Gaillard C., Quiniou N., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.Y., 2020. Evaluation of a decision support system for precision feeding of gestating sows. J. Anim. Sci., 98, 1-12. https://doi.org/10.1093/jas/skaa255

Garcia-Launay F., Dusart L., Espagnol S., Laisse-Redoux S., Gaudré D., Méda B., Wilfart A., 2018. Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. Br. J. Nutr., 120, 1298-1309. https://doi.org/10.1017/S0007114518002672

Gauthier R., 2021. Système d'alimentation de précision des truies en lactation par modélisation et machine learning. Thèse de doctorat, L'Institut Agro, Agrocampus Ouest, 231 pages.

Gauthier R., Largouët C., Gaillard C., Cloutier L., Guay F., Dourmad J.Y., 2019. Dynamic modeling of nutrient use and individual requirements of lactating sows. J. Anim. Sci., 97, 2822-2836. https://doi.org/10.1093/jas/skz167

Göransson L., 1989. The effect of feed allowance in late pregnancy on the occurrence of agalactia post-partum in sows. J. Vet. Med., 36, 505-513. https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1989.tb00760.x

Guillemet R., Dourmad J.Y., Meunier-Salaün, M.C., 2006. Feeding behavior in primiparous lactating sows: Impact of a high-fiber diet during pregnancy. J. Anim. Sci., 84, 2474-2481. https://doi.org/10.2527/jas.2006-024

Gueguen L., Perez J.M., 1981. A re-evaluation of recommended dietary allowances of Ca and P for pigs. Proc. Nutr. Soc., 40, 273-278. https://doi.org/10.1079/PNS19810043

Henry Y., Etienne M., 1978. Alimentation énergétique du porc. Journées Rech. Porcine, 19, 119-166.

IFIP, 2017. Le porc par les chiffres. IFIP (Ed), 38 p.

INRA, 1984. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. INRA (Ed), 282 p.

INRA-AFZ, 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Sauvant D., Perez J.M., Tran G. (Eds). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 301p.

INRA-CIRAD-AFZ, 2018. Feed tables. https://www.feedtables.com/content/tables.

Jondreville C., Dourmad J.Y., 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. INRA Prod. Anim., 18, 183-192. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2005.18.3.3523

Jongbloed A.W., Everts H., Kemme P.A., Mroz Z., 1999. Quantification of absorbability and requirements of macro-elements. In: I. Kyriazakis (Ed), Quantitative biology of the pig. CAB International, Wallingford, UK, 275-298.

Kemme P.A., Jongbloed A.W., Mroz Z., Beynen A.C., 1997. The efficacy of Aspergillus Niger phytase in rendering phytate phosphorus available for absorption in pigs is influenced by pig physiological status, J. Anim. Sci., 75, 2129-2138. https://doi.org/10.2527/1997.7582129x

King R.H., 1987. Nutritional anoestrus in young sows. Pig News Inf., 8, 15-22.

Le Goff G., Noblet J., 2001. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. J. Anim. Sci., 79, 2418-2427. https://doi.org/10.2527/2001.7992418x

Léon E., Madec F., 1992. Étude de la phase périnatale chez le porc dans trois élevages. 1 – La pathologie à la mise bas. Journées Rech. Porcine, 24, 89-98.

MacLean C.W., 1968. The thin sow problem. Vet. Rec., 83, 308-316. https://doi.org/10.1136/vr.83.13.308

Maes D.G.D., Janssens G.P.J., Delputte P., Lammertyn A., de Kruifa A., 2004. Backfat measurements in sows from three commercial pig herds: relationship with reproductive efficiency and correlation with visual body condition scores. Livest. Prod. Sci., 91, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.015

Martineau G.P., 1996. Body building syndromes in sows. Proc. American Assoc. Swine Practitioners. Denver, CO, 345-348.

Meunier-Salaün M.C., Bolhuis J.E., 2015. High-fibre feeding in gestation. In: C. Farmer (Ed), The gestating and lactating sow, 95-116. Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-803-2_5

Miquet J.M., Madec F., Paboeuf F., 1990. Épidémiologie des troubles de la mise bas chez la truie. Journées Rech. Porcine, 22, 325-332.Ngo T.T., Quiniou N., Heugebaert S., Paboeuf F., Dourmad J.Y., 2012. Influence du rang de portée et du nombre de porcelets allaités sur la production laitière des truies. Journées Rech. Porcine, 44, 195-196.

Niemi J.K., Bergman P., Ovaska S., Sevón-Aimonen M.L., Heinonen M., 2017. Modeling the costs of postpartum dysgalactia syndrome and locomotory disorders on sow productivity and replacement. Front. Vet. Sci., 4, article 181.https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00181

Noblet J., van Milgen J., 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. J. Anim. Sci., 82, E229-E238.

Noblet J., Dourmad J.Y., Etienne M., 1990. Energy utilization in pregnant and lactating sows: modelling of energy requirements. J. Anim. Sci., 68, 562-572. https://doi.org/10.2527/1990.682562x

Noblet J., Fortune H., Shi X.S., Dubois S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. J. Anim. Sci., 72, 344-354. https://doi.org/10.2527/1994.722344x

NRC, 1979. Nutrient Requirements of Swine. Eighth Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC, 62 p.

NRC, 1988. Nutrient Requirements of Swine. Ninth Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC, 93 p.

NRC, 1998. Nutrient Requirements of Swine. Tenth Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC, 189 p.

NRC, 2012. Nutrient Requirements of Swine. Eleventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC, 400 p.

O'Grady J.F., Elsley F.W.H., MacPherson R.M., McDonald I., 1973. The response of lactating sows and their litters to different dietary energy allowances. 1. Milk yield and composition, reproductive performance of sows and growth rate of litters. Anim. Prod., 17, 65-74. https://doi.org/10.1017/S0003356100030294

Oldham J.D., 1991. AFRC technical committee on responses to nutrients. Theory of response to nutrients by farm animals. Pregnancy and lactation. Nutr. Abstr. Rev., 61, 683-722.

Pettigrew J.E., Gill M., France J., Close W.H., 1992. A mathematical integration of energy and amino acid metabolism of lactating sows. J. Anim. Sci., 70, 3742-3761. https://doi.org/10.2527/1992.70123742x

Philippe F.X., Remience V., Dourmad J.Y., Cabaraux J.F., vandenheede M., Nicks B., 2008. Les fibres dans l'alimentation des truies gestantes : effets sur la nutrition et conséquences sur le comportement des animaux, les performances et les rejets dans l'environnement. INRA Prod. Anim., 21, 277-290. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2008.21.3.3402

Pomar C., Harris D.L., Minvielle F., 1991. Computer simulation model of swine production systems: II. Modeling body composition and weight of female pigs, fetal development, milk production, and growth of suckling pigs. J. Anim. Sci., 69, 1489-1502. https://doi.org/10.2527/1991.6941489x

Quesnel H., Mejia-Guadarrama C.A., Pasquier A., Dourmad J.Y., Prunier A., 2005. Dietary protein restriction during lactation in primiparous sows with different live weights at farrowing: II. Consequences on reproductive performance and interactions with metabolic status. Reprod. Nutr. Dev., 45, 57-68. https://doi.org/10.1051/rnd:2005005

Quiniou N., 2005. Influence de la quantité d'aliment allouée à la truie en fin de gestation sur le déroulement de la mise bas, la vitalité des porcelets et les performances de lactation. Journées Rech. Porcine, 37, 187-194.

Quiniou N., 2016. Conséquences de l'hétérogénéité des réserves corporelles de la truie à la fin de la gestation sur le déroulement de la mise bas et les performances de lactation. Journées Rech. Porcine, 48, 207-2012.

Quiniou N., Quesnel H., 2008. Effet de la quantité d'aliment allouée aux truies pendant le premier mois de gestation sur la reconstitution des réserves et les caractéristiques de la portée à la naissance : premiers résultats. Journées Rech. Porcine, 40, 227-232.

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, 5-16. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2012.25.1.3191

Quiniou N., Boudon A., Dourmad J.Y., Moinecourt M., Priymenko N., Narcy A., 2019. Modélisation du besoin en calcium et variations du rapport phospho-calcique de l'aliment selon le niveau de performance de la truie reproductrice. Journées Rech. Porcine, 51,141-152.

Ramonet Y., Meunier-Salaün M.C., Dourmad J.Y., 1999. High fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behaviour of the animals. J. Anim. Sci., 77, 591-599. https://doi.org/10.2527/1999.773591x

Renaudeau D., Collin A., Yahav S., de Basilio 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. https://doi.org/10.1017/S1751731111002448

Roinsard A., Maupertuis F., Gain C., Pierre P., 2019. Le pâturage tournant pour des truies gestantes en plein-air : un levier pour diminuer la consommation d'aliment en agriculture biologique. Journées Rech. Porcine, 51, 165-166.

Salmon-Legagneur E., 1965. Quelques aspects des relations nutritionnelles entre gestation et lactation chez la truie, Ann. Zootech., 14, 1-137. https://doi.org/10.1051/animres:19650501

Stein H.H., Sève B., Fuller M.F., Moughan P.J., de Lange C.F.M., 2007. Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. J. Anim. Sci., 85, 172-180. https://doi.org/10.2527/jas.2005-742

Tan C.Q., Wei H.K., Sun H.Q., Long G., Ao J.T., Jiang S.W., Peng J., 2015. Effects of supplementing sow diets during two gestations with konjac flour and Saccharomyces boulardii on constipation in peripartal period, lactation feed intake and piglet performance. Anim. Feed Sci. Tech., 210, 254-262. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.013

Tybirk P., Sloth N.M., Kjeldsen N., Weber N., 2020. Danish Nutrient Standards (30th edition of the official Danish Nutrient Standards). Institution Seges, Danish Pig Research Centre, 14p.

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. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020

Whittemore C.T., 1993. The science and practice of pig nutrition. Longman Scientific Technical. Longman Group, UK. 661 p.

Whittemore C.T., 1996. Nutrition reproduction interaction primiparous sows. Livest. Prod. Sci., 46, 46-83. https://doi.org/10.1016/0301-6226(96)00019-X

Whittemore C.T., Franklin M.F., Pearce B.S., 1980. Fat changes in breeding sows. Anim. Prod., 31, 183-190. https://doi.org/10.1017/S0003356100024430

Whittemore C.T., Morgan C.A., 1990. Model components for the determination of energy and protein requirements for breeding sows: a review. Livest. Prod. Sci., 26, 1-37. https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90053-9

Williams I.H., Close W.H., Cole D.J.A., 1985. Strategies for sow nutrition: predicting the response of pregnant animals to protein and energy intake. In: W. Haresign & D.S.A. Cole (Eds), 133-147. Recent Advances in Animal Nutrition, Butterworth, London, UK. https://doi.org/10.1016/B978-0-407-01161-8.50010-0

Résumé

Ces dernières années, avec le développement de l'utilisation de truies hyperprolifiques, les performances de reproduction ont considérablement augmenté dans les élevages. Cette amélioration des performances a été l'un des principaux moteurs de l'évolution des besoins nutritionnels des truies gestantes et allaitantes. Dans le même temps, de nombreuses connaissances scientifiques ont été produites permettant, à l'aide de la modélisation mathématique, une approche holistique du raisonnement des apports en énergie, en Acides Aminés (AA) et en minéraux. L'objectif de cette synthèse est à la fois de décrire ces évolutions et de montrer comment l'état actuel des connaissances sur la nutrition des truies peut être utilisé pour développer des modèles et des outils d'aide à la décision, et ainsi améliorer les stratégies d'alimentation dans les élevages. Différents exemples sont présentés pour illustrer comment l'utilisation de tels outils peut aider à optimiser la productivité des truies, en particulier dans le cadre du développement de l'alimentation de précision. Jusqu'à récemment, la maximisation des performances de reproduction des truies et de leurs portées a constitué le principal objectif dans la définition des apports nutritionnels. Cette situation évolue rapidement vers de nouveaux objectifs liés aux préoccupations croissantes de la société pour le bien-être animal et l'environnement qui deviennent maintenant prioritaires. Cela jouera un rôle majeur dans l'évolution future des systèmes d'élevage porcins, et de la conduite et de l'alimentation des truies, faisant appel à de nouvelles connaissances scientifiques et au développement de nouvelles technologies, en particulier celles du numérique.

Abstract

Evolution of nutritional concepts and feeding approach in sows: history and perspectives

In recent years, with the use of hyper prolific sows, the reproductive performance of sows has drastically improved. Currently, on many farms in EU, the average litter size exceeds 15 piglets at farrowing and 13 at weaning. These changes in performance have been the major drivers for the evolution of sow nutritional requirements during pregnancy and lactation. At the same time, a large amount of scientific knowledge has been generated over the past 30 years that has allowed, with the help of mathematical modelling, a holistic approach to supplying energy, amino acids and minerals to sows. The aim of this review is to describe evolutions in the approach to sow feeding over the past few decades and show how the current state of knowledge on sow nutrition can be used to develop models and decision support tools and improve feeding strategies in practice. Examples are given to illustrate how using such tools can help optimize the productivity of sows. Until recently, maximizing reproductive performance of sows and their litters has been the main objective considered when defining nutritional supplies. Currently, new objectives related to the increasing societal concern for animal welfare and the environment have become the priority. This will play a major role in the future evolution of pig farming systems and the management and feeding of sows, which calls for new scientific knowledge and development of new technologies, especially those from the digital area.

DOURMAD J.-Y., GAUTHIER R., GAILLARD C., 2021. Évolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices : historique et perspectives. INRAE Prod. Anim., 34, 111-126.
https://doi.org/10.20870/productions-animales.2021.34.2.4861

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr
La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.