

# Alimentation de précision des truies gestantes : prise en compte de la santé, du comportement et de l'environnement

Maëva DURAND<sup>1</sup>, Jean-Yves DOURMAD<sup>1</sup>, Christine LARGOUËT<sup>2</sup>, Céline TALLET<sup>1</sup>, Charlotte GAILLARD<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France

<sup>2</sup>IRISA, 35000, Rennes, France

Courriel : maeva.durand@inrae.fr

■ Grâce au développement de nouvelles technologies et de capteurs innovants, une alimentation individualisée des truies gestantes est possible, à court terme dans les fermes commerciales. Pour cela, les modèles nutritionnels évoluent vers une intégration en temps réel de nouveaux critères permettant de caractériser les conditions d'élevage, les comportements et la santé.

## Introduction

L'alimentation de précision en élevage permet de mieux prendre en compte les besoins nutritionnels individuels des animaux. L'objectif est de fournir à l'animal l'apport idéal d'aliment, en quantité et en composition. Cette approche est particulièrement intéressante chez la truie en gestation (Gaillard *et al.*, 2020a), élevée en groupe depuis 2013 dans l'Union européenne. Au sein d'un groupe de truies, il existe une variabilité des besoins nutritionnels liée principalement au rang de portée, à l'état corporel lors de l'insémination et au stade de gestation. Le développement d'automates rend possible une distribution individualisée d'aliments, et ainsi, une réduction des situations de déficit ou d'excès des apports en nutriments et en énergie lors de la gestation des truies (Gaillard *et al.*, 2019). Il est donc important de pouvoir prédire au mieux les besoins nutritionnels individuels.

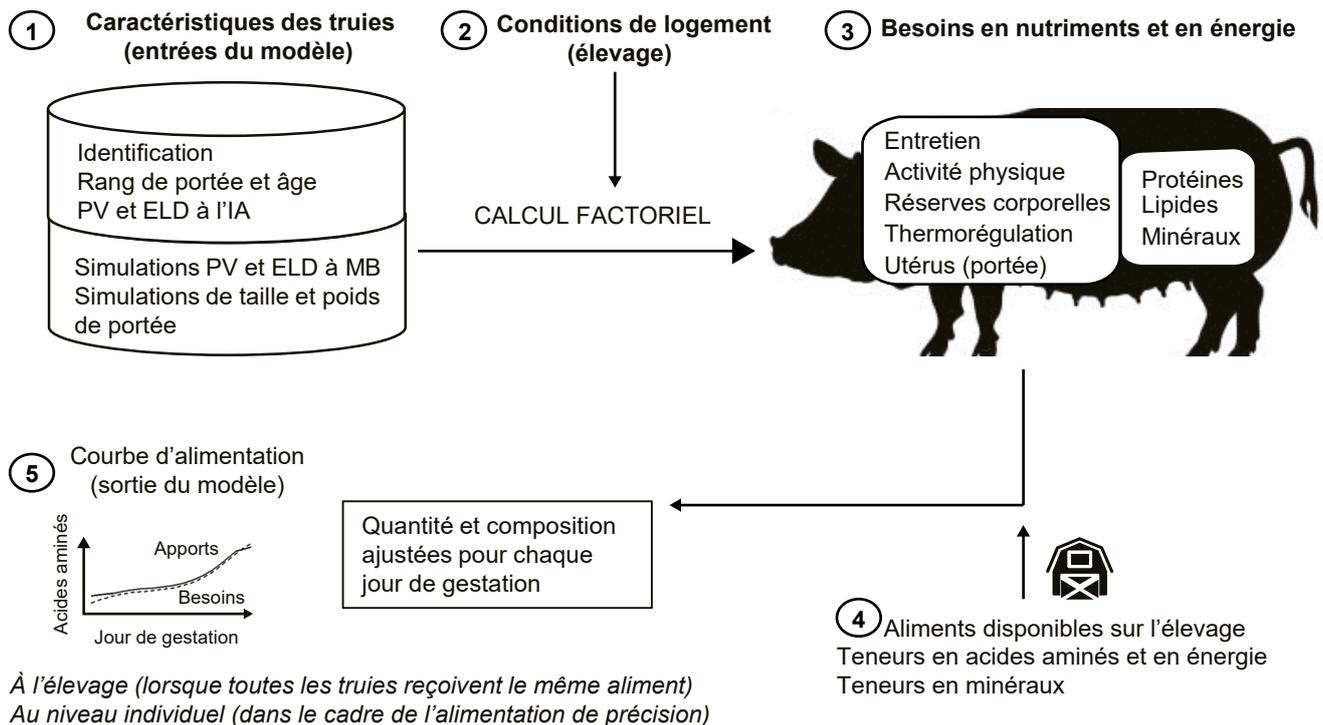
Un modèle pour les truies gestantes dérivé d'InraPorc (Gaillard *et al.*, 2019)

prédit les besoins journaliers individuels en énergie, en acides aminés et en minéraux (figure 1). Dans ce modèle, les besoins de la truie sont calculés selon une approche factorielle comme la somme de différentes dépenses : entretien, réserves corporelles, développement des fœtus, activité physique et thermorégulation. En pratique, l'estimation des besoins nutritionnels est réalisée principalement selon l'âge, le poids vif et l'Épaisseur de Lard Dorsal (ELD) de la truie lors de l'insémination ainsi que selon les objectifs à la mise bas. Le modèle intègre également une prédiction de la taille et du poids de la portée à la mise bas, fondée sur des données historiques de l'élevage et sur l'âge de la truie. Il peut aussi tenir compte de quelques autres critères, lorsque ces derniers sont disponibles, comme l'activité physique ou les conditions de logement (ex. température ambiante, mode de logement). Mais généralement, l'activité est fixée par défaut à 4 h debout pour toutes les truies, et la température ambiante est supposée rester dans la zone de thermoneutralité, ce qui n'influence donc pas le calcul des besoins.

Une fois les besoins individuels estimés par le modèle, les apports peuvent être calculés et de nouvelles stratégies d'alimentation peuvent se mettre en place. C'est le cas de l'alimentation de précision, stratégie décrite précédemment, qui notamment réduit le coût alimentaire grâce à l'utilisation d'un mélange en proportions variables de deux aliments aux teneurs nutritionnelles différentes (Gaillard *et al.*, 2019 ; Gaillard *et al.*, 2020a). L'alimentation de précision permet ainsi de s'adapter à la diversité des besoins nutritionnels des truies au sein du troupeau mais aussi aux ressources alimentaires de l'élevage (Pomar *et al.*, 2009 ; Gaillard *et al.*, 2020a).

Au-delà de l'alimentation de précision, l'élevage de précision, d'une manière générale, s'est développé depuis plusieurs années. L'utilisation des nouvelles technologies et de l'intelligence artificielle a rapidement progressé, avec des perspectives d'application en élevage porcin. Par exemple, des réseaux de neurones peuvent détecter automatiquement

Figure 1. Représentation du modèle nutritionnel des truies en gestation (inspiré de Gaillard et al., 2019).



ELD : Épaisseur de Lard Dorsal ; IA : Insémination Artificielle ; MB : Mise Bas ; PV : Poids Vif.

l'activité des animaux à partir d'enregistrements vidéo (Benjamin et Yik, 2019). Ainsi, des capteurs innovants mesurent des critères relatifs au comportement (ex. alimentaire, abreuvement, activité) de l'animal, et à l'environnement d'élevage (ex. température ambiante, qualité de l'air). Ces innovations permettent d'envisager une évolution des modèles nutritionnels actuels en intégrant ces nouveaux critères dans le calcul des besoins en temps réel. L'intégration de données en temps réel à l'échelle de la journée, comme le poids ou le comportement des animaux, améliorerait également la précision des calculs du modèle. Cependant, elle nécessiterait un investissement technologique conséquent et le développement de méthodes d'analyse pour ces nouvelles données, avant d'être intégrées dans les modèles nutritionnels.

L'objectif de cette publication est de proposer un bilan des connaissances actuelles sur les effets *i)* du comportement et de la santé, et *ii)* de l'environnement sur les besoins nutritionnels des truies gestantes, en vue *iii)* de mesurer et d'intégrer à terme ces nouveaux critères dans l'estimation réel des besoins nutritionnels des truies gestantes grâce

au développement d'approches d'apprentissage automatique.

## 1. Comportement et état de santé, des facteurs de variation à considérer pour le calcul des besoins nutritionnels

### ■ 1.1. Apport d'aliment et consommation d'eau

Au cours de la gestation, les besoins alimentaires augmentent en lien avec le gain de poids des truies et le développement de la portée, ce qui incite à accroître les apports alimentaires à la fin de la gestation. L'apport alimentaire évolue aussi selon le rang de portée entre 2,5 et 3,0 kg par jour, en moyenne, pour les truies primipares et multipares. Cependant, il existe une grande variabilité potentielle des quantités distribuées, dépendant de l'état corporel et du poids au début de la gestation et des objectifs de mise bas (Gaillard et al., 2020b ; Marcon et al., 2020).

La consommation hydrique intègre les variables suivantes : la quantité

d'eau bue pour couvrir les besoins, la consommation d'eau supplémentaire (liée par exemple à de la potomanie) et la quantité d'eau associée à un gaspillage (visant à rafraîchir la truie ou à jouer dans le cas des plus jeunes), cette dernière étant également influencée par le débit et la forme de l'abreuvoir (Renaudeau et al., 2001 ; Chen et al., 2020). Chez le porc, la consommation d'eau varie en fonction du niveau d'alimentation, de la température ambiante, du type de logement et de l'individu lui-même (Massabie et al., 2014). En moyenne, dans l'étude de Marcon et al. (2020) les truies gestantes alimentées à l'aide d'un automate alimentaire (DAC) et disposant d'un abreuvoir à volonté consomment  $7,7 \pm 2,9$  L par jour. Cette valeur est inférieure à celle mesurée par Madec (1985) chez des truies bloquées ( $17 \pm 6,9$  L par jour). Dans les deux cas il est intéressant de noter la très forte variabilité entre truies, avec des coefficients de variation de respectivement 39 et 41 %. D'après Kruse et al. (2010), la consommation d'eau et la quantité ingérée d'aliment sont corrélées positivement jusqu'à 60 jours de gestation, avec un ratio moyen de 5,8 L d'eau bue par kg d'aliment, pour une consommation totale journalière de 16,7 L.

## ■ 1.2. Niveau d'activité physique

L'activité physique est dépendante de la parité, du stade de gestation de la truie, du type de logement et du mode d'élevage (Cornou et Lundbye-Christensen, 2008). Si le temps passé debout pour une truie en groupe a été établi à 4 h/j en moyenne (Bertin et Ramonet, 2015), il existe une variabilité entre les individus et des différences entre les systèmes de logement. Une heure d'activité journalière supplémentaire pour une truie de 200 kg se traduit par une augmentation du besoin alimentaire de 0,30 kJ d'énergie métabolisable par kg de poids métabolique ( $PV^{0,75}$ ) et par minute (Noblet *et al.*, 1993), soit environ 75 g/j (pour un aliment à 12,8 MJ d'énergie métabolisable/kg, **tableau 1**). L'intégration de l'activité physique individuelle dans le calcul des besoins nutritionnels permet donc de gagner en précision (Dourmad *et al.*, 2008 ; Marcon *et al.*, 2020). De plus, le type d'activité doit être détaillé au-delà de la simple identification de la durée passée debout. En effet, les besoins en énergie sont doublés entre la position couchée et la position debout (statique) chez la truie en gestation (Noblet *et al.*, 1993) et doublés à nouveau entre la position debout statique et la position debout en mouvement (Marcon *et al.*, 2020). En outre, la prise en compte du nombre de changements de position pourrait également contribuer à préciser le calcul des besoins nutritionnels. Dans les conditions d'élevage de leur étude, Bertin et Ramonet (2015) observent que les truies changent en moyenne 29 fois de position sur une journée, avec une forte variabilité s'étalant de 8 à 76 fois selon les truies.

## ■ 1.3. Comportement social

Le comportement social influence les besoins nutritionnels des truies gestantes, principalement à cause de son effet sur l'activité physique. Une augmentation des tensions sociales, et plus particulièrement des comportements agressifs entre congénères, induit une consommation d'énergie plus importante et un moindre accès

**Tableau 1.** Apports nutritionnels (en g/jour pour un aliment formulé à 12,8 MJ/kg d'énergie métabolisable) nécessaire pour couvrir l'activité physique supplémentaire d'une truie gestante au-delà de 4 h passées en position debout (calculé d'après Noblet *et al.*, 1993).

Poids de la truie (kg)	Temps supplémentaires passés debout (heure par jour)		
	+ 1 h	+ 2 h	+ 3 h
150	60	121	181
200	75	150	224
250	88	177	265

à l'alimentation en situation de compétition, (i.e. lorsque plusieurs truies partagent la même auge). Par exemple, une augmentation de 1 % du nombre de combats gagnés est associée à un gain de poids vif de 0,09 kg et d'ELD de 0,02 mm (Norrington *et al.*, 2019). Plusieurs solutions, notamment alimentaires, peuvent diminuer les agressions. Par exemple, l'incorporation de parois végétales dans la ration à hauteur de 344 g de fibres par kg d'aliment (vs 176 g/kg) réduit le temps excessif d'exploration de l'environnement tout en diminuant le nombre de comportements agonistiques entre les truies (Danielsen et Vestergaard, 2001). Le comportement social est directement relié à la hiérarchie qui régule l'accès et l'ordre d'alimentation ainsi que le comportement alimentaire (Spooler et Vermeer, 2015). Ainsi, la réduction de l'accès à l'alimentation, par exemple, lorsque l'on accroît le nombre de truies par stalle d'alimentation, peut augmenter les tensions sociales et donc modifier les besoins nutritionnels au sein du groupe de truies. C'est d'ailleurs dans la zone d'alimentation qu'ont lieu 69 % des agressions (Norrington *et al.*, 2019). Dans cet essai, le développement d'automates alimentaires, avec une identification de l'animal, a permis de s'assurer que chaque truie consommait bien sa ration attribuée et de limiter des « vols de ration » au sein du groupe.

La hiérarchie reste un facteur important à prendre en compte, car elle impacte l'ordre de passage à l'automate alimentaire et probablement l'activité physique (*via* les tensions sociales).

## ■ 1.4. État de santé

L'état de santé d'un animal influence ses besoins nutritionnels tout en étant également impacté par les apports nutritionnels. L'ingestion d'aliments et le comportement alimentaire (le nombre et la durée des visites passées à l'alimentateur) peuvent constituer des critères d'intérêt pour comprendre cette interrelation.

Une truie malade ou en situation de mal-être diminue son ingestion ainsi que son niveau d'activité, *via* des modifications physiologiques et métaboliques. En effet, une baisse de la quantité d'aliment ingéré d'environ 10 à 20 % est souvent le signe précoce d'un problème de santé ou une maladie déjà déclarée (Kyriazakis et Doeschl-Wilson, 2009). De plus, en cas de maladie, la répartition des besoins nutritionnels est modifiée, souvent en faveur du système immunitaire et en défaveur des fonctions de production (Johnson, 1997 ; Le Floch, 2000). Une augmentation du métabolisme basal, et par conséquent de la température corporelle, entraîne un accroissement des besoins énergétiques et une modification des voies métaboliques de synthèse des protéines (Johnson, 1997 ; Le Floch *et al.*, 2004). Même si les résultats divergent selon les études, les apports de protéines et d'acides aminés dans la ration pourrait jouer un rôle dans l'atténuation de ces symptômes en participant à la synthèse des protéines immunitaires (Le Floch, 2000), sans nécessiter la mobilisation des réserves. En effet, certains acides aminés comme le tryptophane et la thréonine jouent

un rôle important dans la régulation de la réponse du système immunitaire pendant une infection, une inflammation ou en fin de gestation, ce qui peut conduire à un accroissement de leurs besoins (Le Floc'h *et al.*, 2011). Toutefois ces résultats obtenus pour la plupart chez le porcelet restent à approfondir chez la truie en gestation.

Le comportement alimentaire peut varier sous la dépendance de différentes régulations physiologiques, tels que la capacité d'ingestion de l'animal, son stade physiologique et ses performances de reproduction (Friend, 1971). C'est aussi un élément informatif de l'état de santé de l'animal. Des études chez le veau ont montré que le nombre de visites non alimentaires (sans consommation d'aliment) au distributeur de lait peut constituer un indicateur de maladies, notamment digestives. Les veaux malades réduisent leurs visites à l'automate d'environ 25 % (Weary *et al.*, 2009). Une modification du nombre de visites à l'alimentateur pour une truie donnée pourrait permettre d'identifier des troubles de santé chez celle-ci (Cornou et Kristensen, 2013). En pratique, les truies en gestation sont rationnées, pour éviter un état d'engraissement excessif qui peut être délétère lors de la parturition et pendant la lactation (Dourmad *et al.*, 2021). Elles consomment généralement leur ration en une seule visite « alimentaire » par jour, de courte durée. Ce faible temps et cette faible fréquence de repas peuvent se traduire par des problèmes de bien-être identifiés notamment par le développement de stéréotypies, signes de mal-être courants chez les truies gestantes (Dourmad *et al.*, 2021). Les visites « non alimentaires » quant à elles peuvent varier entre les truies ou lors d'épisodes sanitaires. Dans l'étude de Gaillard *et al.* (2021), les primipares ont réalisé, en moyenne, seulement 3,8 visites non alimentaires contre 4,5 pour les multipares dans les 85 premiers jours de gestation. Ainsi, l'enregistrement individuel des visites non-alimentaires serait intéressant afin de détecter des problèmes de santé ou de mal-être (pouvant influencer les besoins nutritionnels), à condition que ce nombre soit stable au cours de la gestation pour chaque truie.

## 2. Facteurs environnementaux affectant les besoins nutritionnels

### ■ 2.1. Température et humidité

La zone de confort thermique se définit comme une plage de températures dans laquelle la dépense énergétique pour la thermorégulation reste stable et minimale indépendamment de la température ambiante, de même que les besoins nutritionnels et les performances associées (Wegner *et al.*, 2016). Elle est incluse dans la zone de thermoneutralité, délimitée par la Température Critique inférieure (TCi) et la Température Critique d'évaporation (TCe). Pour des truies élevées en groupe, la zone de thermoneutralité se situe entre 16 et 20 °C (Verstegen et Curtis, 1988). Elle est plus élevée en case individuelle avec une TCe entre 20-23 °C (Noblet *et al.*, 1988). Des températures situées en dehors de cette zone de thermoneutralité peuvent entraîner diverses modifications physiologiques et comportementales, comme un risque d'hypothermie ou d'hyperthermie, voire conduire à la mort de l'animal (figure 2).

La TCi varie entre les truies en fonction de leur poids et de leur ELD : elle diminue lorsque le poids et l'ELD augmentent. Le niveau alimentaire influence également la production de chaleur interne et donc la TCi. Holmes et Close (1977) ont ainsi estimé qu'une truie maigre de 140 kg devrait consommer 59 g/j d'aliment supplémentaire (à 12,1 MJ d'énergie métabolisable par kg d'aliment) pour compenser 1 °C de froid contre seulement 34 g/j pour une truie de même poids vivif mais avec un état corporel plus gras. Pour des truies de même poids, l'ingestion joue également un rôle dans la variabilité de la TCi. Un bas niveau d'ingestion conduit à une moindre production d'extra chaleur, entraînant une TCi plus élevée et ainsi une plus grande sensibilité au froid (Holmes et Close, 1977). Pour compenser la perte de chaleur, les apports énergétiques journaliers peuvent être augmentés. Il

n'y a pas d'étude montrant que la composition des rations en acides aminés ou en minéraux des truies gestantes peut influencer la TCi. La TCi diminue lorsque les truies sont logées sur une litière de paille (Verstegen et Curtis, 1988). Grâce au logement en groupe, pour lutter contre le froid, les truies peuvent aussi se blottir les unes contre les autres (comportement de blottissement) et ainsi limiter la déperdition de chaleur (Dourmad *et al.*, 2008) réduisant le besoin énergétique de thermorégulation.

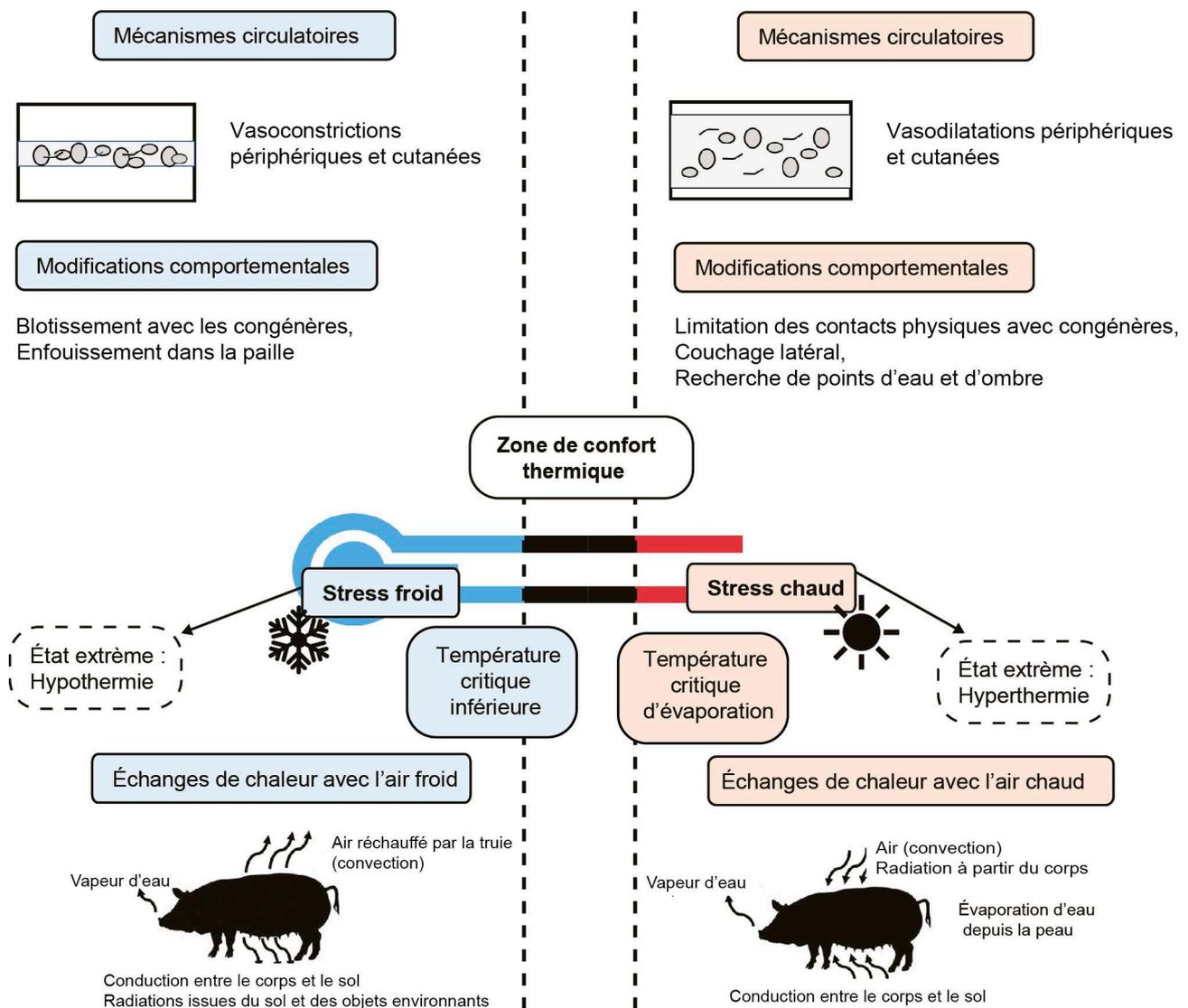
Dans la zone de stress thermique chaud, la température corporelle et la fréquence respiratoire augmentent (Schild, 2018). Dans la littérature, très peu de données sont disponibles pour la truie en gestation, qui se trouve très rarement dans cette situation, du fait du rationnement alimentaire qui accroît la TCe, tandis que c'est fréquemment le cas chez la truie en lactation nourrie à volonté (Renaudeau *et al.*, 2001).

L'humidité relative peut modifier l'effet de la température et doit donc être considérée conjointement à celle-ci. Lorsque l'humidité augmente, la température ressentie s'accroît également en situation de température élevée (Holmes et Close, 1977). Pour les températures basses, il est fréquent d'observer des phénomènes de condensation entraînant des parois et des sols humides défavorables au confort thermique des animaux. L'Index Température-Humidité (ITH) peut être utilisé pour évaluer le niveau de stress thermique d'un animal, notamment chez la truie (Wegner *et al.*, 2016). Ainsi, au-delà d'une valeur de ITH de 74, Wegner *et al.* (2014, 2016) observent des effets défavorables sur le taux de fécondation des truies et sur la survie des porcelets à la naissance.

### ■ 2.2. Qualité du logement : sol et air

Les effets du logement sur les besoins nutritionnels et la santé ont surtout été évalués chez le porc en croissance, mais on peut supposer que ces résultats peuvent également concerner les truies gestantes.

Figure 2. Modifications physiologiques et comportementales de la truie selon la température ambiante (Schild, 2018).



La nature du sol, et plus particulièrement, le type de litière impacte le bien-être et l'activité physique des porcs. Il influence également la déperdition de chaleur des animaux et la TCI modifiant les besoins énergétiques. Le logement sur paille augmente le comportement de fouille et d'exploration, ce qui accroît les besoins nutritionnels, du fait de l'élévation du niveau d'activité physique (Meunier-Salaün *et al.*, 2001). Mais il diminue la dépense d'énergie liée à des comportements anormaux comme les stéréotypies, réduites avec un logement sur paille. Ainsi, l'efficacité alimentaire peut être améliorée, en plus du bien-être des truies (Le Floc'h *et al.*, 2021), si la dépense énergétique supplémentaire liée à l'accroissement de l'activité s'équilibre avec la moindre dépense, liée aux stéréotypies moins fréquentes et

avec l'apport supplémentaire d'énergie issu de l'ingestion de paille. Cet équilibre a cependant une forte variabilité due à la consommation de paille et le niveau d'activité de l'individu (Croney et Millman, 2007).

L'espace au sol disponible par animal est un facteur primordial pour les performances, la santé et le bien-être des truies. En Europe, la surface minimale au cours de la gestation est de 2,25 m<sup>2</sup> par truie, avec une adaptation selon le nombre d'animaux logés ensemble. Salak-Johnson *et al.* (2007) ; (2012) ont montré que les truies disposant d'un espace de seulement 1,4 m<sup>2</sup> par animal présentaient un état corporel moins favorable avec un score de lésion plus élevé par rapport à celles disposant d'un espace de 2,3 ou 3,3 m<sup>2</sup> (au sein d'un

groupe de 5 truies). L'augmentation de l'espace disponible par truie (3,3 vs. 1,4 m<sup>2</sup>) peut également avoir un effet positif sur leur poids vif, leur ELD, et la taille de leur portée (Salak-Johnson *et al.*, 2012). Il est aussi intéressant de noter qu'une augmentation de l'espace par truie entraîne une diminution des agressions et des blessures associées, une modification des réponses comportementales (ex. interactions sociales positives, mastication dans l'air), de l'activité physique (ex. temps passé debout ou à boire) et du statut immunitaire (ex. ratio de cellules immunitaires, Salak-Johnson *et al.*, 2012). Cependant, il est nécessaire de mettre ce facteur en relation avec le nombre de truies par groupe, qui peut également faire varier la fréquence et le nombre d'agressions pour une même densité

au m<sup>2</sup> (Spoolder et Vermeer, 2015), les possibilités de fuite étant plus élevées dans les grands groupes.

Les taux d'ammoniac et de dioxyde de carbone dans l'air impactent fortement la santé et les performances des animaux (Choi *et al.*, 2011). Chez le porc à l'engraissement, l'exposition à des niveaux élevés de ces gaz diminue l'appétit et en conséquence le gain moyen quotidien. En été comme en hiver, une ventilation minimale suffisante et optimale, en augmentant le renouvellement de l'air et l'évacuation de l'air vicié, permet de contrer ces problèmes. Elle favorise ainsi la consommation d'aliment et la croissance des animaux. Toutefois, une ventilation minimale trop élevée accroît la déperdition de chaleur et les risques de courant d'air. En l'absence de chauffage, en période hivernale, elle s'accompagne d'un accroissement des besoins énergétiques de thermorégulation conduisant à une dégradation de l'efficacité alimentaire (Massabie *et al.*, 1997), et une satiété que l'on peut fréquemment rencontrer chez les truies gestantes en hiver. De même qu'une mauvaise conception des entrées d'air peut être problématique en cas de coulées d'air froid tombant sur les animaux, en situation de sous-ventilation hivernale. Le niveau de ventilation affecte aussi le comportement, l'activité des animaux, et la santé respiratoire. Ces résultats laissent donc penser que les besoins nutritionnels pourraient être modifiés chez la truie en gestation selon la qualité de l'air et les modalités de ventilation. La prise en compte de l'activité physique des truies, de la température et de l'humidité de l'air constituerait une première approche pour intégrer les effets du logement dans les modèles nutritionnels.

### ■ 2.3. Influence de la lumière et du bruit

Peu d'études se sont intéressées à l'influence de la durée d'éclairage sur les composants des besoins nutritionnels des truies gestantes. Chez la truie en lactation, Stevenson *et al.* (1983) ont montré qu'une augmentation du temps de luminosité se traduit par un poids de portée plus élevé au sevrage et un retour en chaleur plus rapide

après sevrage. Cependant, aucun effet n'a pu être démontré sur le poids vif ou sur l'ingestion chez la truie. Une étude a été réalisée chez le porc à l'engraissement par Baldwin et Start (1985) sur la motivation à l'obtention de lumière supplémentaire. Elle a mis en évidence que des porcs, soumis à l'obscurité et entraînés, actionnaient un interrupteur pour obtenir entre 1,5 et 2,0 h de lumière supplémentaires par jour. À l'inverse, les porcs exposés à une lumière continue n'actionnaient pas l'interrupteur pour obtenir des périodes d'obscurité. En outre, une étude chez le porc en croissance démontre que le passage de 8 à 14 h d'éclairage artificiel réduit le nombre de stéréotypies, le temps passé en posture inactive ou à une exploration excessive du sol (Martelli *et al.*, 2005). L'effet de la lumière sur l'activité physique et les besoins nutritionnels mériterait donc d'être testé et évalué chez la truie en gestation.

Le niveau sonore impacte le comportement et la physiologie des animaux, *via* une action sur les hormones du stress (Turner *et al.*, 2005). Le système d'élevage a un effet direct sur le niveau sonore dépendant notamment du système d'alimentation (présence et nombre d'automates) ou de logement (ventilation, type de sol, Wegner *et al.*, 2019). Chez le porc, une exposition au-delà de 100-135 dB entraîne une diminution de l'ingestion, du gain de poids mais aussi des performances de reproduction (Manci *et al.*, 1988). La législation européenne impose un seuil maximal de 85 dB pour le niveau sonore dans les bâtiments d'élevage. Le niveau sonore modifie également à court terme l'activité et le comportement social des porcs, impactant leurs besoins nutritionnels (Talling *et al.*, 1996 ; Otten *et al.*, 2004). Cependant, sur le long terme, il semble y avoir un effet d'habituation des porcs à un niveau sonore constant, continu et identique sur une période donnée (Kittawornrat et Zimmerman, 2011). C'est pourquoi lorsque l'on étudie l'effet sonore il convient de distinguer la nature et le type de son : continu ou soudain, habituel ou imprévu, la fréquence et l'intensité de celui-ci (Talling *et al.*, 1996).

Tout comme les facteurs comportementaux, les conditions d'élevage sont importantes à prendre en compte pour prédire les besoins nutritionnels chez la truie en gestation. Elles doivent être caractérisées et leur influence quantifiée plus précisément afin de les inclure dans les modèles nutritionnels existants.

## 3. Vers un ajustement automatique et en temps réel des rations pour améliorer le calcul journalier des besoins nutritionnels de la truie en gestation

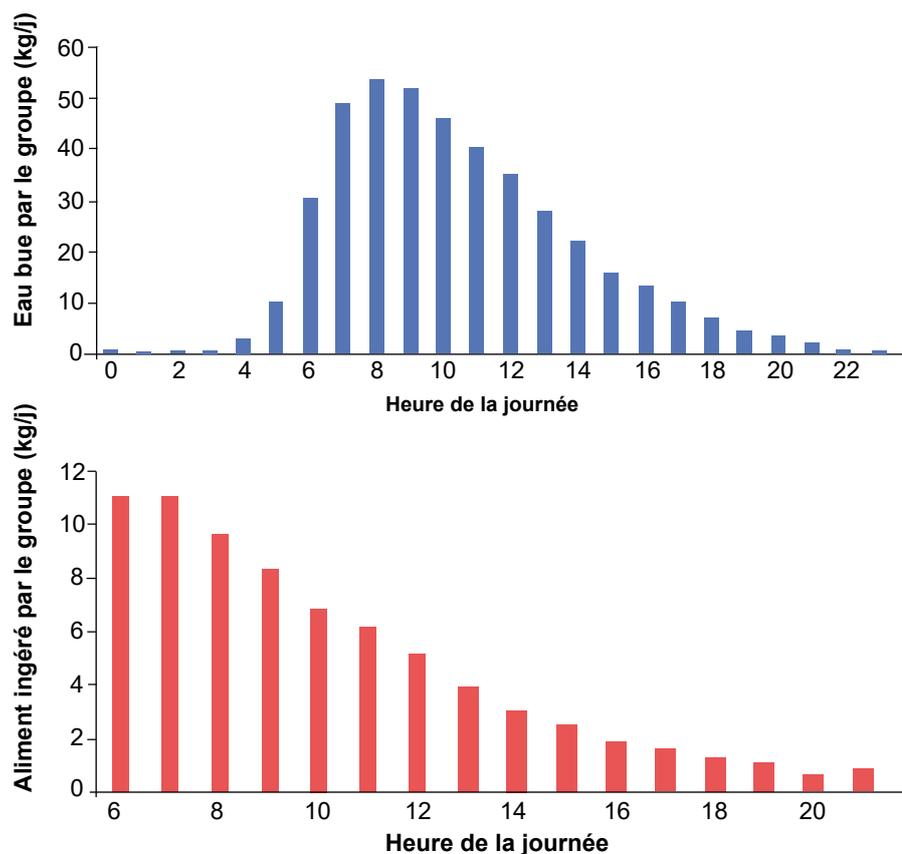
Améliorer les capacités des modèles nutritionnels en intégrant au sein de ceux-ci des connaissances extraites des données fournies par les capteurs, de plus en plus présents sur les exploitations, est une solution progressivement envisagée. Ces capteurs mettent à disposition des données qu'il est possible de relier aux comportements et à la santé des animaux. Cependant, extraire des connaissances utiles à leur intégration au sein des modèles nécessite des traitements aujourd'hui principalement réalisés par des algorithmes d'apprentissage.

### ■ 3.1. Des capteurs pour la mesure et l'enregistrement de nouveaux critères

Les nouveaux critères utilisables par les modèles nutritionnels évoqués précédemment peuvent être mesurés par différents types de capteurs. Comme les automates alimentaires, des capteurs d'eau associés à une identification de la truie permettent d'enregistrer la consommation individuelle en eau et le nombre de visites à l'abreuvoir (Kashiha *et al.*, 2013 ; Alameer *et al.*, 2020).

Avant de pouvoir utiliser un indicateur de comportement alimentaire ou d'abreuvement sur divers troupeaux, il faut tout d'abord tenir compte d'un schéma spécifique à l'individu variant selon le cycle circadien (figure 3). Des variations de comportements ont lieu au cours de la journée avec des phases

**Figure 3.** Consommation d'eau et ingestion alimentaire totale au sein d'une bande de truies gestantes, en fonction du moment de la journée (Kruse *et al.*, 2011).



d'alimentation, de repos, etc. De plus, en ce qui concerne les truies, il est également important de prendre en considération le rang hiérarchique. Les truies multipares ont généralement accès aux alimentateurs et aux abreuvoirs avant les primipares et les truies de rang hiérarchique bas au sein du groupe.

La principale difficulté dans l'analyse consiste à définir un niveau basal spécifique à chaque truie de façon à pouvoir par la suite identifier des variations indicatrices de situations particulières. Il est possible de s'appuyer sur des données déjà collectées afin d'identifier ce niveau basal.

Des balances intégrées dans les automates d'alimentation ou d'abreuvement, ou des méthodes d'analyse d'images et de vidéos (Pezzuolo *et al.*, 2018) permettent de peser ou d'estimer le poids de l'animal sans intervention humaine. La mesure de l'état corporel pourrait sûrement aussi être automatisée chez la truie *via* l'analyse d'images en trois dimensions, comme c'est déjà le cas chez la vache laitière

(Le Cozler *et al.*, 2019), mais pour le moment ces méthodes ne sont pas opérationnelles chez la truie. En effet, l'évaluation des réserves par des scores visuels a été longtemps utilisée mais jugée peu fiable. C'est pourquoi elle est aujourd'hui remplacée par la mesure de l'ELD, plus précise, mais encore difficilement automatisable.

L'enregistrement du niveau d'activité physique est rendu possible grâce à des accéléromètres ou des caméras. Les accéléromètres ont pour désavantages d'être coûteux, invasifs et fragiles mais leurs données sont facilement analysables par des algorithmes fixant des seuils de détection pour chaque activité définie. Contrairement aux accéléromètres, les enregistrements vidéo sont peu coûteux et non-invasifs. Cependant, la détection des activités est réalisée manuellement, une tâche fastidieuse et chronophage, même pour des experts du domaine. L'automatisation de la détection des activités physiques des animaux à partir des vidéos est une piste prometteuse. Des travaux novateurs comme ceux de Labrecque

*et al.* (2020) émergent, déterminant l'activité de chaque truie automatiquement. Cependant, cette approche ne peut encore être opérationnelle dans les élevages commerciaux, la position couchée étant la seule détectée avec une précision acceptable.

Concernant les modifications comportementales et physiologiques de la truie, signes de troubles pathologiques, il est également possible de s'appuyer sur des mesures de capteurs (tableau 2). La température corporelle, est l'un des principaux indicateurs de troubles de santé et de stress thermique mesuré en élevage. La température cutanée peut être mesurée automatiquement et en continu grâce à des caméras thermiques placées dans la salle ou grâce à des capteurs auriculaires sur la truie (Benjamin et Yik, 2019). Les troubles respiratoires peuvent être détectés grâce à des analyses sonores distinguant les vocalisations, des toux pathologiques et non pathologiques (Yin *et al.*, 2020). Les boiteries représentent un problème fréquent chez les truies gestantes, qui affectent leur démarche, leur posture et leur activité physique. Elles peuvent être identifiées grâce à des capteurs de position et des accéléromètres, des logiciels d'analyse de démarche par vidéo, ou des capteurs d'appui sur le sol de chaque membre (Pluym *et al.*, 2013 ; Marcon *et al.*, 2020).

La température et l'humidité ambiante peuvent être mesurées par des capteurs disposés dans la salle de gestation. La localisation des animaux dans l'espace et leur proximité entre eux peuvent également constituer une mesure indirecte des effets de la température, comme par exemple des comportements de blotissement en période froide ou d'évitement de courants d'air froid (Jackson *et al.*, 2020). La localisation des animaux, à l'échelle du groupe, est étudiée chez le porc en croissance *via* l'analyse d'images vidéo rapportant le taux d'occupation horaire des différentes aires de la salle (Nilsson *et al.*, 2015). La détection automatique à un niveau individuel se développe mais reste imparfaite actuellement (Alameer *et al.*, 2020). Pour le moment, ces approches ne sont pas opérationnelles chez les truies en gestation.

**Tableau 2.** Exemple de capteurs et de leurs applications pour la mesure de modifications comportementales et physiologiques des porcs (Cornou et Kristensen, 2013 ; Matthews et al., 2016 ; Benjamin et Yik, 2019).

Capteurs	Catégorie	Applications
Caméras 2D/3D	Comportement et physiologie	Estimations du poids vif Détection des comportements agressifs, de la modification de la posture et de la démarche Observation du comportement social et maternel
Microphones	Sons	Détection de pic de stress, de maladies respiratoires
Imagerie thermique	Physiologie	Détection de désordres physiologiques (maladie, stress thermique, stress) et d'inflammations locales (mammites, boiteries)
Accéléromètres	Activité physique	Détection de modification de démarche Observation du comportement social et maternel

### ■ 3.2. Les algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser et intégrer les nouveaux critères des modèles nutritionnels

L'apprentissage automatique, et en particulier le « *machine learning* », commence à être utilisé pour l'étude du comportement animal et de son environnement de vie. L'objectif consiste à extraire et à identifier, à partir des données issues des capteurs présentés plus haut, des comportements types afin d'évaluer et de signaler une perturbation par rapport à un niveau basal. Les techniques classiques peuvent être classées en deux domaines : l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé (figure 4).

Il existe deux grands types de méthodes supervisées : la régression qui crée un modèle permettant par la suite de répondre à des tâches de prédiction, et la classification qui regroupe des individus partageant des caractéristiques similaires (figure 4). La principale caractéristique des méthodes supervisées, qui sont celles produisant aujourd'hui les meilleures performances, est qu'elles nécessitent des annotations (ou labellisations) des données (principalement des images) pour l'entraînement des algorithmes. Ces annotations, dans le domaine de l'alimentation de précision, sont actuellement réalisées manuellement par des experts du domaine et nécessitent par conséquent des moyens importants

en temps et en compétences. Dans le domaine, une approche fondatrice est celle de Alameer *et al.* (2020), un système automatisé d'analyse d'images, à partir de nombreuses observations reportées manuellement, et d'un modèle de « *machine learning* », recensant les comportements d'activité, d'alimentation et d'abreuvement des porcs.

Les méthodes non supervisées sont principalement utilisées pour le « *clustering* » qui agrège dans des « *clusters* » des animaux partageant des schémas comportementaux semblables. L'intérêt de ces méthodes est qu'elles ne nécessitent pas de données étiquetées. Par exemple, Gauthier (2021) a utilisé une méthode de clustering sur des séries temporelles d'ingestion alimentaire afin d'inférer des prototypes de courbes d'ingestion pour les truies en lactation. Ces prototypes sont ensuite utilisés, en temps réel, dans le but de prédire la ration et la composition de l'aliment à distribuer.

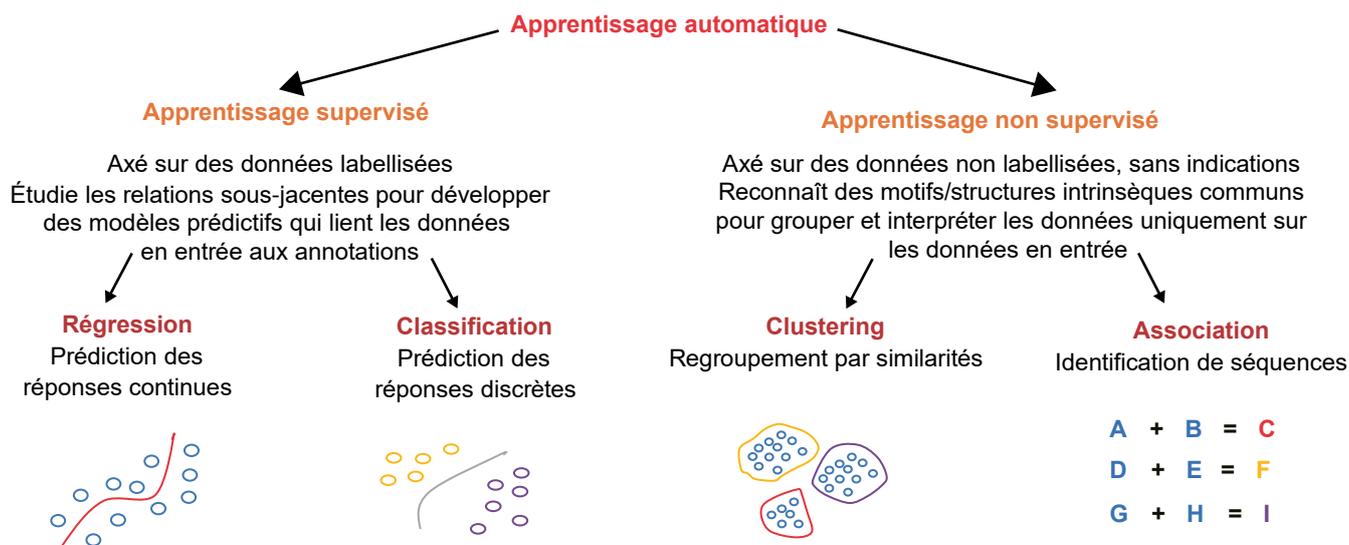
Concernant l'évaluation des méthodes d'apprentissage automatique, les performances des algorithmes doivent être testées lors de la phase d'apprentissage mais aussi dans leurs conditions d'usage en fermes commerciales. La validation opérationnelle fait face à d'autres problèmes tels que les regroupements d'animaux au sein desquels il est plus difficile d'identifier les individus, les variations de luminosité, etc., ce qui peut affecter les performances des algorithmes.

Aujourd'hui parmi toutes les méthodes envisageables, seules les méthodes supervisées proposent des résultats suffisamment fiables permettant une exploitation en conditions opérationnelles même si certaines solutions non-supervisées, sur un certain type de données (séries temporelles), émergent peu à peu (Gauthier, 2021). Cependant, pour chaque environnement, exploitation et type d'animaux, il est nécessaire de disposer de données étiquetées afin que l'apprentissage du modèle soit adapté aux conditions d'utilisation. Ce prérequis est une limitation forte puisqu'il est difficilement envisageable de demander aux éleveurs d'annoter de nombreuses données, en particulier les images.

### ■ 3.3. Proposition de solutions d'intégration de nouveaux critères aux modèles nutritionnels

Les modèles nutritionnels existants pourraient être améliorés *via* l'intégration de ces nouveaux critères comportementaux et environnementaux. L'application de cette stratégie requiert d'utiliser des algorithmes d'analyse des données enregistrées par les capteurs en temps réel ou à faible temps différé, comme les algorithmes de « *machine learning* ». Cependant, une étape importante est de veiller à la qualité des données collectées par les automates. Si la collecte doit être automatisée pour des questions de temps réel (journalier), le format des données en

Figure 4. Méthodes et algorithmes répertoriés par type d'apprentissage automatisé.



entrée doit être adapté à l'algorithme d'analyse. Les étapes d'extraction et de nettoyage des données doivent être automatisées et sûres (Friggens et Robert, 2016). En effet, la collecte d'un grand nombre de données par des capteurs s'accompagne généralement d'informations totalement ou partiellement manquantes ou de données erronées (comme par exemple une mauvaise identification de l'animal). Un système automatique permettant d'éliminer ou de corriger ces données erronées de manière efficace serait nécessaire avant toute utilisation en temps réel.

Afin de faire face aux difficultés de l'analyse de données comportementales, une approche idéale serait d'avoir deux niveaux d'apprentissage pour les algorithmes : au niveau individuel et au niveau du groupe. Le système d'aide à la décision pourrait délivrer en sortie des informations agrégées et compréhensibles pour l'éleveur ainsi que des recommandations ou actions. Les actions correctrices pourraient être par exemple l'ajustement automatique à la hausse de la ration en cas de période froide ou d'une suractivité des truies. Cependant, il convient de faire coïncider la précision du modèle nutritionnel avec celle du matériel de distribution, mais également du matériel d'acquisition des données. La finesse de l'apport

calculé d'un aliment donné doit correspondre à la possibilité de l'automate à la délivrer (Gaillard *et al.*, 2020a).

En cas de situations détectées comme anormales, comme une altération des comportements alimentaire ou d'abreuvement, le système d'aide à la décision pourrait également générer des alertes. Certains systèmes existent déjà pour la détection et la prévention de problèmes de santé, y compris chez les truies gestantes, notamment les boiteries et les maladies digestives (Madsen et Kristensen, 2005 ; Cornou et Kristensen, 2013 ; Kashiha *et al.*, 2013) mais aussi des combats et autres comportements délétères chez le porc (Prunier *et al.*, 2019). Alameer *et al.* (2020) ont développé chez le porc en croissance un système de reconnaissance de posture et d'étude de l'abreuvement afin d'évaluer l'état de santé. Les réseaux neuronaux créés ont permis la détection de ces postures avec une précision supérieure à 95 %, tant au niveau du groupe qu'au niveau individuel. Ces travaux pourraient être étendus aux truies en gestation. Ainsi, la multiplicité des capteurs et le développement de méthodes comme le « *machine learning* » permettent d'imaginer des systèmes d'aide à la décision complet. Cependant, il convient, avant de

travailler sur l'intégration de ces nouveaux critères comportementaux dans les modèles nutritionnels, de répondre aux interrogations suivantes : comment les intégrer ? quels sont les seuils ou catégories à définir ? etc.

## Conclusion

L'enjeu des prochains modèles nutritionnels est de caractériser plus précisément les besoins des truies en gestation, en tenant compte de la forte variabilité entre individus liée au comportement, à la santé ou aux conditions d'élevage. L'élevage de précision peut y répondre grâce à la collecte continue et en temps réel de données par des capteurs et l'analyse de ces données grâce à des méthodes d'apprentissage automatisé. Cependant, inclure des nouveaux critères d'entrée et ainsi complexifier le modèle nécessite d'approfondir et quantifier le lien entre ces critères et les besoins en nutriments pour chaque jour de gestation.

## Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004.

## Références

- Alameer A., Kyriazakis I., Bacardit J., 2020. Automated recognition of postures and drinking behaviour for the detection of compromised health in pigs. *Sci. Rep.*, 10, 13665. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70688-6>
- Baldwin B.A., Start I.B., 1985. Illumination preferences of pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 14, 233-243. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(85\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0168-1591(85)90004-8)
- Benjamin M., Yik S., 2019. Precision livestock farming in swine welfare: A review for swine practitioners. *Animals*, 9, 133. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>
- Bertin C., Ramonet Y., 2015. Utilisation d'accéléromètres pour mesurer l'activité physique des truies logées en groupes. Développement de la méthode et utilisation dans six élevages. *Journ. Rech. Porcine*, 47, 229-234.
- Chen C., Zhu W., Steibel J., Siegford J., Han J., Norton T., 2020. Classification of drinking and drinker-playing in pigs by a video-based deep learning method. *Biosyst. Eng.*, 196, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.05.010>
- Choi H.L., Han S.H., Albright L.D., Chang W.K., 2011. The correlation between thermal and noxious gas environments, pig productivity and behavioral responses of growing pigs. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8, 3514-3527. <https://doi.org/10.3390/ijerph8093514>
- Cornou C., Lundbye-Christensen S., 2008. Classifying sows' activity types from acceleration patterns. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 111, 262-273. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.06.021>
- Cornou C., Kristensen A.R., 2013. Use of information from monitoring and decision support systems in pig production: Collection, applications and expected benefits. *Livest. Sci.*, 157, 552-567. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.07.016>
- Croney C.C., Millman S.T., 2007. Board-Invited Review: The ethical and behavioral bases for farm animal welfare legislation. *J. Anim. Sci.*, 85, 556-565. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-422>
- Danielsen V., Vestergaard E.M., 2001. Dietary fibre for pregnant sows: effect on performance and behaviour. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 71-80. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00197-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00197-3)
- 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., Gauthier R., Gaillard C., 2021. Evolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices: historiques et perspectives. *Journ. Rech. Porcine*, 53, 133-144. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2021.34.2.4861>
- 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>
- Friggens N., Robert P.E., 2016. Faire émerger les informations clés des données de l'élevage de précision. In: *Élevage de précision*, Éditions France Agricole, Paris, France, 270p.
- 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., Brossard L., Dourmad J.Y., 2020a. Improvement of feed and nutrient efficiency in pig production through precision feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 268, 114611. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114611>
- Gaillard C., Quiniou N., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.Y., 2020b. Evaluation of a decision support system for a precision feeding of gestating sows. *J. Anim. Sci.*, 98, 1-12. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa255>
- Gaillard C., Julienne A., Dourmad J.Y., 2021. Comportement alimentaire des truies en gestation recevant une alimentation de précision. *Journ. Rech. Porcine*, 53, 201-202.
- Gauthier R., 2021. Système d'alimentation de précision des truies en lactation par modélisation et machine learning. Thèse de doctorat, Institut Agro, Rennes, France, 252p.
- Holmes C.W., Close W.H., 1977. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in pigs. In: *Nutrition and the Climatic Environment*, Haresign W., Swan H., Lewis D. (Eds.), Londres, Royaume-Uni, 51-74.
- Jackson P., Nasirahmadi A., Guy J.H., Bull S., Avery P.J., Edwards S.A., Sturm B., 2020. Using CFD modelling to relate pig lying locations to environmental variability in finishing pens. *Sustainability*, 12, 19-28. <https://doi.org/10.3390/su12051928>
- Johnson R.W., 1997. Inhibition of growth by pro-inflammatory cytokines: an integrated view. *J. Anim. Sci.*, 75, 1244-1255. <https://doi.org/10.2527/1997.7551244x>
- Kashiha M., Bahr C., Haredasht S.A., Ott S., Moons C.P.H., Niewold T.A., Odeberg F.O., Berckmans D., 2013. The automatic monitoring of pigs water use by cameras. *Comput. Electron. Agric.*, 90, 164-169. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.09.015>
- Kittawornrat A., Zimmerman J.J., 2011. Toward a better understanding of pig behavior and pig welfare. *Anim. Health Res. Rev.*, 12, 25-32. <https://doi.org/10.1017/S1466252310000174>
- Kruse S., Stamer E., Traulsen I., Krieter J., 2010. Relationship between feed, water intake, and body weight in gestating sows. *Livest. Sci.*, 137, 37-41. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.09.025>
- Kruse S., Stamer E., Traulsen I., Krieter J., 2011. Temporal pattern of feeding and drinking behaviour of gestating sows. *Arch. Anim. Breed.*, 54, 490-503. <https://doi.org/10.5194/aab-54-490-2011>
- Kyriazakis I., Doeschl-Wilson A., 2009. Anorexia during infection in mammals: variation and its sources. In: *Voluntary feed intake in pigs*, Torrallardona D., Roura E. (Eds.), Wageningen, Pays-Bas, 307-321.
- Labrecque J., Gouineau F., Rivest J., Germain G., 2020. Suivi individuel des porcs et collecte de métriques comportementales en temps réel avec des caméras de sécurité. *Journ. Rech. Porcine*, 52, 379-384.
- Le Cozler Y., Allain C., Caillot A., Delouard J.M., Delattre L., Luginbuhl T., Faverdin P., 2019. High-precision scanning system for complete 3D cow body shape imaging and analysis of morphological traits. *Comput. Electron. Agric.*, 157, 447-453. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.019>
- Le Floc'h N., 2000. Conséquences d'un état inflammatoire ou infectieux sur le métabolisme et le besoin en acides aminés chez le porc. *INRA Prod. Anim.*, 13, 3-10. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2000.13.1.3763>
- Le Floc'h N., Melchior D., Obléd C., 2004. Modifications of protein and amino acid metabolism during inflammation and immune system activation. *Livest. Prod. Sci.*, 87, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.09.005>
- Le Floc'h N., Otten W., Merlot E., 2011. Tryptophan metabolism, from nutrition to potential therapeutic applications. *Amino Acids*, 41, 1195-1205. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0752-7>
- Le Floc'h N., Boudon A., Montagne L., Gilbert H., Gondret F., Lebret B., Lefaucheur L., Louveau I., Merlot E., Père M.C., Meunier-Salaün M.C., Prunier A., Quesnel H., 2021. Santé et bien-être de la truie gestante et du porc en croissance. *INRAE Prod. Anim.*, 34, 48-79. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2021.34.3.4879>
- Madec F., 1985. La consommation d'eau chez la truie gestante en élevage intensif. *Journ. Rech. Porcine*, 17, 223-236.
- Madsen T.N., Kristensen A.R., 2005. A model for monitoring the condition of young pigs by their drinking behaviour. *Comput. Electron. Agric.*, 48, 138-154. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.02.014>
- Manci K.M., Gladwin D.N., Vilella R., Cavendish M.G., 1988. Effects of aircraft noise and sonic booms on domestic animals and wildlife: a literature synthesis. U.S. Fish and wildlife service national ecology research center, Ft. Collins, Technical Report, PB-89-115026/XAB; NERC-88/29, 86p.
- Marcon M., Quiniou N., Courboulay V., Rousselière Y., Melot G., Meunier-Salaün M.C., Labussière E., Ramonet Y., Chérel P., Le Mer M., 2020. Améliorer les performances et le bien être des truies gravides par la mobilisation de nouvelles technologies pour une alimentation de précision et la détection de signaux comportementaux. *Innov. Agron.*, INRAE, 79, 245-256.

- Martelli G., Scalabrin M., Scipioni R., Sardi L., 2005. The effects of the duration of the artificial photoperiod on the growth parameters and the behaviour of heavy pigs. *Vet. Res. Commun.*, 29, 367-369. <https://doi.org/10.1007/s11259-005-0367-8>
- Massabie P., Granier R., Le Dividich J., 1997. Effects of environmental conditions on the performance of growing-finishing pigs. In: Proc. 5<sup>th</sup> ILES, Bloomington, États-Unis, 1010-1016.
- Massabie P., Roy H., Boulestreau-Boulay A.L., Dubois A., 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs. Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porcs. IFIP, CRAB, CRPAL, Rapport 16p.
- Matthews S.G., Miller A.L., Clapp J., Plötz T., Kyriazakis I., 2016. Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs. *Vet. J.*, 217, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.09.005>
- Meunier-Salaün M.C., Edwards S.A., Robert S., 2001. Effect of dietary fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 53-69. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00196-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00196-1)
- Nilsson M., Herlin A.H., Ardo H., Guzhva O., Astrom K., Bergsten C., 2015. Development of automatic surveillance of animal behaviour and welfare using image analysis and machine learned segmentation technique. *Animal*, 9, 1859-1865. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001342>
- Noblet J., Etienne M., Dourmad J.Y., 1988. Besoins énergétiques de la truie allaitante : détermination par la méthode factorielle. *INRA Prod. Anim.*, 1, 355-358. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1988.1.5.4471>
- Noblet J., Shi X.S., Dubois S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 127-136. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(93\)90041-F](https://doi.org/10.1016/0301-6226(93)90041-F)
- Norring M., Valros A., Bergman P., Marchant-Forde J.N., Heinonen M., 2019. Body condition, live weight and success in agonistic encounters in mixed parity groups of sows during gestation. *Animal*, 13, 392-398. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001453>
- Otten W., Konitz E., Puppe B., Tuchscherer M., Brüssow K.P., Nurnberg G., Stabenow B., 2004. Acute and long-term effects of chronic intermittent noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympathetic-adrenomedullary axis in pigs. *Anim. Sci.*, 78, 271-283. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054060>
- Pezzuolo A., Guarino M., Sartori L., González L.A., Marinello F., 2018. On-barn pig weight estimation based on body measurements by a Kinect v1 depth camera. *Comput. Electron. Agric.*, 148, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.003>
- Pluym L.M., Maes D., Vangeyte J., Mertens K., Baert J., Van Weyenberg S., Millet S., Van Nuffel A., 2013. Development of a system for automatic measurements of force and visual stance variables for objective lameness detection in sows: SowSIS. *Biosyst. Eng.*, 116, 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.06.009>
- Pomar C., Dubeau F., Van Milgen J., 2009. La détermination des besoins nutritionnels, la formulation multicritère et l'ajustement progressif des apports de nutriments aux besoins des porcs : des outils pour maîtriser les rejets d'azote et de phosphore. In : Les nouveaux enjeux de la nutrition et de l'alimentation du porc. Dossier, INRA Prod. Anim., 22, 49-54. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2009.22.1.3333>
- Prunier A., Tallet C., Lagarrigues G., Sakri O., Vidal A., Coulon Lauture F., Brulais S., Godin C., Labyt E., 2019. Vers une détection automatisée des comportements délétères des porcs en élevage. *Journ. Rech. Porcine*, 51, 25-30.
- Renaudeau D., Quiniou N., Noblet J., 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 79, 1240-1249. <https://doi.org/10.2527/2001.7951240x>
- Salak-Johnson J.L., Niekamp S.R., Rodriguez-Zas S.L., Ellis M., Curtis S.E., 2007. Space allowance for dry, pregnant sows in pens: Body condition, skin lesions, and performance. *J. Anim. Sci.*, 85, 1758-1769. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-510>
- Salak-Johnson J.L., DeDecker A.E., Horsman M.J., Rodriguez-Zas S.L., 2012. Space allowance for gestating sows in pens: Behavior and immunity. *J. Anim. Sci.*, 90, 3232-3242. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4531>
- Schild S.L.A., 2018. Giving birth outdoors: Impact of thermal environment on sow' parturition and piglet survival. Thèse de Doctorat, Aarhus University, Foulum, Danemark, 177p.
- Spoolder H.A.M., Vermeer H.M., 2015. Gestation group housing of sows. In: The gestating and lactating sow, Farmer C. (Ed), Wageningen, Pays-Bas, 47-72. [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-803-2\\_3](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-803-2_3)
- Stevenson J.S., Pollmann D.S., Davis D.L., Murphy J.P., 1983. Influence of Supplemental Light on Sow Performance during and after Lactation. *J. Anim. Sci.*, 56, 1282-1286. <https://doi.org/10.2527/jas1983.5661282x>
- Talling J.C., Waran N.K., Wathes C.M., Lines J.A., 1996. Behavioural and physiological responses of pigs to sound. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 48, 187-201. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(96\)01029-5](https://doi.org/10.1016/0168-1591(96)01029-5)
- Turner J.G., Parrish J.L., Hughes L.F., Toth L.A., Caspary D.M., 2005. Hearing in laboratory animals: strain differences and nonauditory effects of noise. *Comp. Med.*, 55, 12-23.
- Verstegen M.W.A., Curtis S.E., 1988. Energetics of sows and gilts in gestation crates in the cold. *J. Anim. Sci.*, 66, 2865-2871. <https://doi.org/10.2527/jas1988.66112865x>
- Weary D.M., Huzzey J.M., von Keyserlingk M.A.G., 2009. Board-Invited Review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. *J. Anim. Sci.*, 87, 770-777. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1297>
- Wegner K., Lambertz C., Daş G., Reiner G., Gaulty M., 2014. Climatic effects on sow fertility and piglet survival under influence of a moderate climate. *Animal*, 8, 1526-1533. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001219>
- Wegner K., Lambertz C., Das G., Reiner G., Gaulty M., 2016. Effects of temperature and temperature-humidity index on the reproductive performance of sows during summer months under a temperate climate: Climatic Effects on Sow Reproduction. *J. Anim. Sci.*, 87, 1334-1339. <https://doi.org/10.1111/ajsi.12569>
- Wegner B., Spiekermeier I., Nienhoff H., Grobe-Kleinmann J., Rohn K., Meyer H., Plate H., Gerhardy H., Kreienbrock L., Beilage E., Kemper N., Fles M., 2019. Status quo analysis of noise levels in pig fattening units in Germany. *Livest. Sci.*, 230, 103847. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103847>
- Yin Y., Tu D., Shen W., Bao J., 2020. Recognition of sick pig cough sounds based on convolutional neural network in field situations. *Inf. Process. Agric.*, 8, 2214-3173. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.11.001>

## Résumé

Une meilleure prise en compte de la variabilité des besoins nutritionnels entre les truies gestantes permet de réduire les coûts alimentaires sans détériorer leurs performances. Les modèles nutritionnels prédisent les besoins journaliers et peuvent être couplés à des automates pour délivrer un mélange individualisé d'aliments. La variabilité des besoins nutritionnels entre truies gestantes peut s'expliquer par certaines caractéristiques individuelles (ex. âge, poids vif, rang de portée, état corporel, stade de gestation), par leur comportement (ex. activité physique, interactions sociales), par leur santé et par les conditions d'élevage (ex. température ambiante, type de logement). Des capteurs sont désormais capables d'enregistrer ces différents facteurs de variation des besoins nutritionnels et d'aider à la détection de troubles occasionnels aux niveaux individuel ou collectif (ex. santé ou dysfonctionnement technique). Grâce aux techniques de l'intelligence artificielle, qui rendent possible l'analyse et l'exploration de données hétérogènes, et à l'intégration de nouveaux critères comportementaux et environnementaux dans les modèles nutritionnels, il est aujourd'hui envisageable de prédire les besoins journaliers nutritionnels d'une truie en gestation de manière encore plus précise, voire en temps réel.

## Abstract

---

### **Precision feeding of gestating sows: considering health, welfare and environmental conditions**

*Better consideration of the variability between gestating sows when it comes to nutrient requirements reduces feed costs without performance deterioration. Nutritional models predicting daily requirements can be coupled with automated systems to deliver an individualized mixture of diets. The variability of nutritional requirements among gestating sows is due to their characteristics (e.g. age, live weight, parity, body condition, stage of gestation), their behaviour (e.g. physical activity, social interactions), their health, and the breeding conditions (e.g. ambient temperature, housing system). Sensors can be used to record these factors of variation of nutritional requirements and help detect occasional disorders at the individual or collective levels (ex. health or technical dysfunction). Thanks to artificial intelligence techniques, which allow the analysis and exportation of heterogeneous data, and the integration of these new behavioural and environmental parameters into nutritional models, it is now possible to meet individual daily requirements more precisely, even in real time.*

DURAND M., DOURMAD J.-Y., LARGOUËT C., TALLET C., GAILLARD C., 2021. Alimentation de précision des truies gestantes : prise en compte de la santé, du comportement et de l'environnement. INRAE Prod. Anim., 34, 293-304.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2021.34.4.5369>



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.