

CARACTÉRISATION DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE INDIVIDUELLE ET JOURNALIÈRE DES TRUIES EN GESTATION ET ESTIMATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

Margaux DESMET

Résumé

L'activité physique est une composante du besoin énergétique dans les modèles nutritionnels. Pour les truies gestantes logées en groupe, elle est estimée et moyennée à 240 min debout par jour. Or, le groupe permet plus d'activité (déplacements, interactions) et il existe une forte variabilité interindividuelle. L'accéléromètre est un outil fiable pour suivre l'activité des truies, mais est coûteux et invasif, au contraire du suivi par caméra. L'objectif premier de cette étude est de caractériser l'activité physique individuelle des truies logées en groupe durant leur gestation. L'objectif second est de comparer les résultats obtenus avec les accéléromètres et ceux obtenus avec l'analyse automatique des vidéos. Selon les données issues des accéléromètres, une truie en gestation reste debout 236 \pm 73 min/j (moyenne \pm écart-type) et se déplace 99 \pm 33 min/j. Le temps debout durant la gestation évolue différemment selon le rang de portée ($P < 0,05$). Le temps en mouvement diminue de façon linéaire et identique pour tous les rangs de portée ($P < 0,001$). Les profils d'activité des truies semblent être groupables en fonction de leurs caractéristiques individuelles. Au cours de la journée, le pic d'activité liée à l'accès à la ration est ordonné selon la hiérarchie. L'analyse vidéo n'a pas donné de résultats concluants à l'échelle individuelle mais est performante à l'échelle du groupe, malgré la synchronisation temporelle et la calibration des caméras imparfaites. La prise en compte de l'activité physique individuelle et journalière dans l'estimation des besoins énergétiques implique une augmentation moyenne de la ration de 250 g/j, à vitesse de marche lente.

Mots-clés : comportement ; accéléromètre ; suivi multi-caméra ; budget-temps ; alimentation sur-mesure

Abstract

Physical activity is a part of energy requirements in nutritional model. For gestating sows living in groups, physical activity was averaged at 240 min standing per day. However, in group they should be more active (moving, social interactions). There is also a strong interindividual variation. On one hand, accelerometers are used to monitor sows, but are invasive and costly. On the other hand, video analysis is non-invasive and can monitor multiple sows at the same time. The first goal of this study is to characterize individual physical activity of gestating sows, secondly results from both accelerometers and videos are being compared. According to accelerometer data, a gestating sow stands 236 \pm 73 min/day (mean \pm standard deviation) and moves 99 \pm 33 min/day. Standing time variates in a non-linear way during gestation according to the sow parity ($P < 0,05$). Moving time decreases in the same linear way for all parity ranks ($P < 0,001$). Individual activity profiles are linked to sows' characteristics and can be clustered in profile types. Video analysis did not show usable results at the individual scale but shows a certain performance at the group level, even with some constraints in the camera calibration phase and time synchronisation. Taking individual physical activity into account in nutritional models fine-tunes energy requirement estimations for gestating sows: at a slow walking speed, mean daily feed ration increases by 250 g/day.

Keywords : behaviour ; accelerometer ; multi-camera monitoring ; time-budget ; precision feeding

Remerciements

Je tiens à remercier Charlotte et Clément pour leur temps et leur accompagnement. Vous m'avez permis de beaucoup progresser et de confirmer mon envie de continuer dans la recherche. Ce stage a été une grande source d'épanouissement professionnel, et j'espère que la suite de mon parcours professionnel suivra le même schéma.

Je remercie également l'UMR PEGASE de manière générale pour son accueil et son ambiance bienveillante. Particulièrement, j'aimerai remercier Fred, Eric, Myriam et Fred pour toutes les pauses de midi que nous avons passé ensemble et aux collègues stagiaires avec qui j'ai passé de très bons moments, à savoir Laurine, Elsa et Messan.

Enfin, je remercie mon conjoint, Thomas, pour m'avoir soutenue tout au long de mon parcours à Purpan.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-16-CONV-0004 (#DigitAg).

Sommaire

Résumé	II
Remerciements	III
Sommaire	1
Liste des abréviations	3
Introduction générale	1
PARTIE 1 : Contexte autour de l'étude	2
1 INRAE, institut au cœur de la recherche sur la nutrition sur-mesure porcine	3
1.1 INRAE généralités	3
1.2 UMR PEGASE	4
1.3 Le projet SOMOVE et #Digitag	4
2 La conduite du troupeau de truies	5
2.1 La conduit en bandes	6
2.2 La gestation : phase centrale du cycle de reproduction de la truie	6
2.3 Un état corporel optimal à atteindre en fin de gestation	7
2.4 Comportements naturels du porc et hiérarchie sociale	7
2.5 Changement des conditions de logement des truies gestantes	8
2.6 Les impacts de ce changement sur le bien-être des truies et sur leur activité physique	8
3 L'alimentation sur-mesure pour la truie gestante	9
3.1 Caractérisation des besoins énergétiques d'une truie gestante	9
3.2 Modéliser les besoins au cours de la gestation	9
3.3 Les gains observés d'une alimentation sur mesure comparés à une alimentation conventionnelle	10
3.4 La mise en place de cette alimentation sur mesure en élevage	10
3.5 L'évaluation de l'activité physique et de la dépense énergétique associée	10
3.6 Les progrès technologiques permettant l'apport individualisé de la ration et le suivi de l'activité physique individuelle	11
4 Objectifs de l'étude	12
PARTIE 2 : Matériel et méthodes	13
1 Dispositif expérimental	14
1.1 Animaux, logement et alimentation	14
1.2 Prises de mesures	14
2 Traitement des données d'activité	16
2.1 Données issues des accéléromètres	16
2.2 Données d'activité issues des vidéos	18
3 Calculs	19
3.2 Conditions climatiques	20
3.3 Santé et caractéristiques de la truie	20
3.4 Identification de phases de gestation	20
3.5 Activité intra-journalière	21
4 Analyses statistiques	21
4.1 Exploration des distributions des activités	21
4.2 Modélisation de l'activité	21
4.3 Description des modèles	22
4.4 Méthodes de clustering	22
4.5 Analyse de l'activité physique intra-journalière	23
4.6 Comparaison des besoins énergétiques	23
PARTIE 3 : Résultats	24
1 Comparaison des données issues de l'analyse vidéo avec les données d'accéléromètres	25
1.1 Analyse des vidéos : mosaïquage et identification limitée	25
1.2 Représentation des heures de la journée	26
1.3 Activité physique à l'échelle individuelle	26
1.4 Activité du groupe au cours de la gestation	27
2 Activité au cours de la gestation – données accéléromètres	28

2.1	<i>Statistiques descriptives</i>	28
2.2	<i>Activité debout au cours de la gestation</i>	31
2.3	<i>Activité en mouvement au cours de la gestation</i>	33
3	Clustering par k-moyennes	34
3.1	<i>Nombre de clusters optimal</i>	34
3.2	<i>Différences d'activité selon les clusters</i>	34
3.3	<i>Différences de caractéristiques des clusters</i>	35
4	Activité au sein de la journée – données accéléromètres.....	36
4.1	<i>Évènement ordonné : plage horaire DAC</i>	37
4.2	<i>Évènement libre : plage horaire paille</i>	37
5	Impact de l'activité physique individualisée sur les besoins énergétiques.....	37
PARTIE 4 : Discussion et propositions		39
1	L'activité physique varie au cours de la gestation	40
1.1	<i>Moyenne d'activité et variabilité</i>	40
1.2	<i>Effet de l'avancée de la gestation sur l'activité physique</i>	40
1.3	<i>Impact des caractéristiques des truies sur l'activité physique prédictive</i>	41
1.4	<i>Classification des profils d'activité individuels</i>	41
2	L'activité physique intra-journalière est dépendante de facteurs externes	42
3	Généralisation de nos résultats	42
4	Les défis rencontrés pour le suivi automatique de l'activité physique de nos deux méthodes	43
4.1	<i>Echantillonnage</i>	43
4.2	<i>Précision des accéléromètres</i>	43
4.3	<i>Le traitement des images a impacté le suivi des truies par caméra</i>	44
5	Estimation des besoins énergétiques associée à l'activité physique dans le cadre d'une alimentation sur mesure	45
6	Propositions et perspectives	46
6.1	<i>Utilisation de l'analyse par vidéo et modèle généralisable</i>	46
6.2	<i>Conditions de logement des truies et extrapolation des résultats</i>	46
6.3	<i>Comportements de la truie et activité physique</i>	47
6.4	<i>Effet de la race</i>	47
Conclusion		48
Table des figures		57
Table des tableaux		58
Table des annexes		73

Liste des abréviations

AIC = Critère d'information d'Akaike

Alim_AM = Alimentation sur-mesure

Alim_AC = Alimentation conventionnelle

BEA = Bien-être animal

BIC = Critère d'information bayésien **DAC** = Distributeur automatique de concentrés

ELD = Épaisseur de lard dorsal

GAM = Modèle additif généralisé

GAMM = Modèle additif mixte généralisé

H = Humidité

IA_ELD = Épaisseur de lard dorsal à l'insémination

IA_PV = Poids vif à l'insémination

PV^{0,75} = Poids métabolique

T = Température

THI = Index de température humidité

UE3P = Unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs

Introduction générale

La maîtrise des coûts alimentaires constitue un enjeu majeur pour la filière porcine. L'alimentation du troupeau représentait 60% des coûts de production pour un élevage porcin français en 2023 (IFIP 2024). Dans ce contexte, améliorer l'efficacité alimentaire est un levier d'action pour l'amélioration de la compétitivité des élevages porcins. Outre les aspects alimentaires, la société questionne l'élevage sur ses impacts environnementaux et sur le bien-être animal (BEA) au sein des élevages. L'acceptabilité et la durabilité de la filière porcine dans le contexte actuel passent donc par une amélioration de ces aspects.

L'alimentation sur-mesure est un concept prometteur pour répondre à ces enjeux. Utilisant les nouvelles technologies, il vise à ajuster plus finement les apports aux besoins des individus. Les distributeurs automatiques de concentrés (DAC) permettent l'application de cette stratégie alimentaire en fournissant automatiquement un mélange d'aliments propre à chaque individu en fonction des besoins, estimés via un modèle nutritionnel (Gaillard, Brossard, Dourmad 2020; Dourmad et al. 2008). Pour la truie gestante, ces modèles prennent en compte certaines caractéristiques propres de la truie à l'insémination tel que son poids et son épaisseur de lard dorsal (ELD), marqueur des réserves adipeuses, ainsi que son âge ou rang de portée. A partir de ces données initiales et des objectifs fixés pour les performances à la mise-bas, les besoins en énergie et acides aminés vont être calculés pour chaque jour de gestation et tous les individus du troupeau.

Cependant, il existe des écarts entre les réserves maternelles observées à la mise-bas et celles modélisées qui ne proviennent pas d'une différence de performance à la mise-bas (Quiniou 2021). Par ailleurs, certaines données d'entrée ne sont renseignées qu'au niveau moyen du troupeau, comme l'activité physique. Or, celle-ci est variable en fonction de l'individu et pourrait évoluer selon le stade de gestation (Gaillard et al. 2021). Prendre en compte une valeur individuelle et journalière d'activité physique pourrait donc affiner l'estimation des besoins énergétiques et réduire les écarts constatés. Pour étudier l'activité physique, des capteurs contenant un accéléromètre sont fixés sur l'animal pour mesurer avec précision et en continu l'activité individuelle. Cependant ils sont coûteux, fragiles et invasifs. Une autre méthode en développement est l'analyse de l'activité *via* des vidéos, qui pourrait être une bonne alternative. A ce propos, INRAE développe un algorithme en collaboration avec la société DILEPIX (start-up experte en intelligence artificielle) qui devrait fournir des valeurs individuelles d'activité *via* l'analyse automatique des vidéos.

Ainsi, l'objectif de ce projet est d'évaluer l'intérêt d'intégrer l'activité physique individuelle obtenue à l'aide de données issues d'accéléromètres et d'un algorithme d'analyse vidéo dans l'estimation des besoins énergétiques des truies gestantes. Après avoir établi le contexte général ainsi que la méthodologie utilisée pour collecter et analyser des données d'activité physique sur les truies gestantes, ce mémoire présentera les résultats d'activité physique individuelle et les liens entre celle-ci et les caractéristiques individuelles puis leurs effets sur l'estimation des besoins de la truie gestante *via* des simulations. La discussion permettra de comparer nos résultats aux études proches de notre sujet avant de conclure sur l'apport et la mise en pratique pour l'alimentation de la truie gestante.

PARTIE 1 : Contexte autour de l'étude

1 INRAE, institut au cœur de la recherche sur la nutrition sur-mesure porcine

Dans cette première section, nous présenterons INRAE, structure de recherche publique, ainsi que le projet SOMOVE dont ce mémoire fait partie et #Digitag qui a financé ce mémoire.

1.1 INRAE généralités

1.1.1 Définition

INRAE est né en 2019 de la fusion entre deux instituts français : l'INRA et l'IRSTEA. A ce propos, il est défini par le *décret n° 2019-1046 du 10 octobre 2019* comme « Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) » et est à ce titre « un établissement public national à caractère scientifique et technologique placé sous la tutelle conjointe du ministre chargé de la recherche et du ministre chargé de l'agriculture » (Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation 2019). Les objectifs affichés de cet organisme sont de produire et diffuser à un vaste public des connaissances scientifiques, y compris à travers des réseaux internationaux, mais également de soutenir et de participer à l'enseignement supérieur (Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation 2019).

1.1.2 Organisation de l'institut

INRAE est dirigé par un président, Philippe MAUGUIN, sélectionné pour quatre ans par la commission d'examen qui l'aura auditionné au préalable parmi six candidats au maximum (Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation 2019). A la direction de l'institut se trouve également le conseil d'administration, composé de dix-huit personnes outre le président (Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation 2019). Ces membres sont choisis par certains ministères, par le personnel de l'établissement ou encore choisis « en fonction de leurs compétences dans les secteurs de l'agriculture, de l'environnement et de l'alimentation » (Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation 2019). Également, un comité d'éthique est formé pour examiner « les questions éthiques que peuvent soulever les recherches, en France et à l'étranger, [...] en particulier, celles qui intéressent les relations entre sciences et société » (INRAE 2024a). Enfin, un conseil scientifique est nommé : « [c'] est l'instance de réflexion et de proposition de l'institut en matière de politique scientifique et technologique, ainsi que d'évaluation des activités de recherche » (Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation 2019). Pour une vue d'ensemble sur l'organisation d'INRAE, un organigramme est proposé en Annexe 1.

INRAE est un acteur majeur de la recherche en agriculture au niveau mondial, avec plus de 450 partenaires nationaux ou internationaux. Il est également membre de plusieurs partenariats et réseaux comme Animal Task Force, un réseau de vingt-cinq représentants de l'industrie agroalimentaire, de l'agriculture ou de la recherche (INRAE 2024b). Au niveau français, INRAE est un organisme public moteur et à ce titre il s'associe régulièrement avec des organismes externes tel que des instituts techniques, e.g. l'IFIP-Institut du porc, ou des entreprises privées (INRAE 2024c).

L'institut emploie plus de 8 000 agents titulaires et 2 500 contractuels pour 273 unités de recherches et 10 000 ha de parcelles dédiées à l'expérimentation (INRAE 2025). Elles sont

divisées en dix-huit centre régionaux et un centre-siège en Île-de-France. Cette dispersion permet aux centres d'être proches des problématiques régionales pour développer leurs axes de recherche en conséquence (INRAE 2024d).

1.2 UMR PEGASE

Le centre Bretagne-Normandie emploie 1 200 hommes et femmes dans vingt-deux unités de recherche (INRAE 2025). Le centre a défini les axes de recherches suivants : agroécologie, biologie intégrative et prédictive des plantes et des animaux d'élevage, économie et politiques publiques et enfin écoconception de la qualité des aliments et nutrition. S'étalant sur une partie du Nord et du Nord-Ouest de la France, les unités du centre se retrouvent à Caen, Quimper ou encore Rouen, bien qu'une concentration d'unités s'observe vers la métropole rennaise. Dans cet environnement, on trouve l'Unité Mixte de Recherche Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Élevage (PEGASE), qui mène « [des] recherches sur la biologie animale et les systèmes d'élevage dans le but ultime d'améliorer la durabilité et la compétitivité de l'élevage » (INRAE 2024e). Elle regroupe des professionnels d'INRAE et de l'enseignement supérieur avec l'Institut Agro Rennes-Angers. Cet UMR est constitué de cinq équipes de recherches complémentaires :

- BIENETRE qui se penche sur l'étude des besoins comportementaux et physiologiques pour le bien-être et la santé des animaux d'élevage,
- BIOFONTE qui est spécialisée sur l'étude des fonctions biologiques de l'échelle de l'expression des gènes jusqu'aux organes,
- GGA qui se concentre sur la sélection avicole,
- SYSMO qui s'attache à étudier de la ressource alimentaire jusqu'à la qualité des produits finis, les stratégies d'élevage des monogastriques,
- SYSTELL qui étudie les systèmes d'élevage laitiers ruminants.

L'équipe SYSMO, dont ce stage fait partie, a pour but de produire de nouvelles références nutritionnelles et d'évaluer la qualité des produits liés à l'élevage des monogastriques, leur vulnérabilité face au réchauffement climatique et enfin les leviers de développement pour mieux intégrer les élevages porcins dans leur environnement notamment via les stratégies alimentaires (INRAE 2024e). En particulier, des recherches se focalisent sur la nutrition sur mesure porcine avec des projets tel que le projet SOMOVE (No. 7376619) soutenu par le compte d'affectation spéciale développement agricole et rural (CASDAR).

1.3 Le projet SOMOVE et #Digitag

1.3.1 Projet SOMOVE

L'objectif du projet SOMOVE (septembre 2022 - février 2025) est de développer un logiciel d'analyse d'images afin de mieux piloter l'alimentation et le bien-être des truies gestantes. Il a été soutenu à hauteur d'environ 400 000 € par France AgriMer suite à l'appel à Projet CASDAR Connaissances 2022. Le projet est piloté par Charlotte GAILLARD, chargée de recherche en alimentation sur mesure du porc et de la vache laitière à INRAE, en collaboration avec d'autres organismes que sont l'IFIP-Institut du porc, la société privée DILEPIX, experte en intelligence artificielle et vision par ordinateur au service de l'agriculture et enfin la coopérative porcine

CIRHYO. L'INRIA, institut de recherche en numérique, est également membre du projet. Ce projet s'étend sur plusieurs domaines, à savoir le numérique, la santé et le BEA et enfin l'environnement. Dans la majorité des élevages commerciaux, les truies sont nourries avec un unique aliment, qui ne prend pas en compte la variabilité des besoins entre les truies et à travers la gestation. L'alimentation sur mesure (en quantité et composition en acides aminés notamment) a pour but d'alimenter individuellement les truies en fonction de leurs besoins (Pomar et al. 2009). Pour affiner cette estimation des besoins énergétiques (quantité d'aliment) durant la gestation, le projet SOMOVE consiste à suivre l'activité physique de chaque truie gestante de manière automatique à l'aide de caméras et d'analyse d'images. En plus du volet alimentaire, les sorties du logiciel d'analyse d'images à l'échelle de la demi-seconde (activité physique, localisation et coordonnées de points d'intérêt) pourraient être utilisées pour définir des indicateurs de l'état de santé et de bien-être de la truie. Le suivi des truies par caméra apporte des solutions non-invasives et prometteuses afin d'optimiser et de moderniser l'élevage porcin.

Pour ce projet, des expérimentations ont été réalisées en station expérimentale dans lesquelles les truies ont été suivies par vidéo sur trois gestations. Une partie des vidéos a été analysée par le logiciel développé par DILEPIX dans le but d'identifier la truie, de la situer dans la salle de gestation et de décrire son activité. Le projet a été valorisé à travers des articles scientifiques et de colloques, des posts LinkedIn, e.g. le post de Carnot France Futur Elevage (Carnot France Futur Elevage 2024) ainsi que des articles dans des revues spécialisées pour un public plus large, e.g. article du 26 avril 2024 dans Réussir porc -Techporc (IFIP 2024). Ce mémoire a été également été valorisé sous la forme d'un poster et d'un article associé de deux pages, qui seront présentés aux Journées de la Recherche Porcine 2026.

1.3.2 #DigitAg

#DigitAg est le seul institut de convergence français pour l'agriculture, les instituts de convergence ayant pour but « d'initier une nouvelle démarche visant à structurer quelques centres rassemblant des forces scientifiques pluridisciplinaires de grande ampleur et de forte visibilité pour mieux répondre à des enjeux majeurs » (Lecointe 2016). #DigitAg est porté par INRAE et a reçu un financement de 9,9 M€ pour dix ans (2016-2026) utilisé notamment pour des projets de thèse, de recherches et des stages de M2 (DigitAg 2022). Également, #DigitAg est investi dans la formation d'étudiants par la création d'une Graduate School (regroupement de formations proposées par l'Université de Montpellier, l'Institut-Agro Montpellier et par AgroParisTech) (DigitAg 2022). Les sujets financés par ces budgets concernent les enjeux et problématiques soulevés par l'agriculture numérique, dont font parties la nutrition porcine et plus spécialement la nutrition sur mesure. Ce stage a bénéficié d'une bourse #DigitAg, aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-16-CONV-0004, afin de poursuivre l'analyse des sorties logiciel produites pendant SOMOVE.

2 La conduite du troupeau de truies

Cette partie vise à présenter la méthode de gestion du troupeau et les indicateurs de performance des animaux, son évolution vis-à-vis de la législation et l'impact de celle-ci sur les truies.

2.1 La conduit en bandes

La conduite en bandes est pratiquée dans la majorité des élevages français, dont la majeure partie se trouvent en bâtiment : 96 % des élevages n'ont aucun porc en plein air (Agreste 2024). Également, le sol de ces bâtiments est constitué de caillebotis intégral pour 88 % des élevages (Agreste 2024). La conduite en bandes consiste à gérer un groupe de truies, *i.e.* la bande, qui se trouvent toutes à un même stade physiologique, *e.g.* en chaleur ou en gestation (Chambre d'agriculture Bretagne 2025). Cela permet de traiter toute une bande de façon identique et de pouvoir prévoir la date de mise-bas ou d'insémination pour tout un groupe, facilitant ainsi la gestion de l'élevage. Les bandes se succèdent dans les différentes salles de l'exploitation, suivant généralement le principe « tout plein, tout vide » ce qui permet d'utiliser de manière optimisée le bâtiment avec des périodes de vide sanitaire entre les bandes et d'optimiser l'organisation du travail et les tâches techniques au niveau hebdomadaire (Chambre d'agriculture Bretagne 2025).

2.2 La gestation : phase centrale du cycle de reproduction de la truie

Le cycle reproductif d'une truie du cheptel de l'élevage se compose de l'insémination, de la gestation, de la lactation, de l'intervalle entre le sevrage des porcelets et la nouvelle insémination (Figure 1). La durée de la gestation est de trois mois, trois semaines et trois jours, *i.e.* environ 115 jours, ce qui représente la majeure partie du temps du cycle reproductif (78 %). La carrière productive d'une truie commence lors de sa 1^{ère} saillie fécondante au sein de l'élevage et se termine lors de sa mise à la réforme selon les critères de performances définis par l'éleveur ou pour des raisons de santé. Ses performances sont suivies tout au long du cycle reproductif, que ce soit les caractéristiques corporelles de l'individu au cours de la gestation (poids et ELD) ou les performances à la mise-bas (prolificité, qualités maternelles *via* la production laitière).

Schéma de la vie d'une truie reproductrice en conventionnel

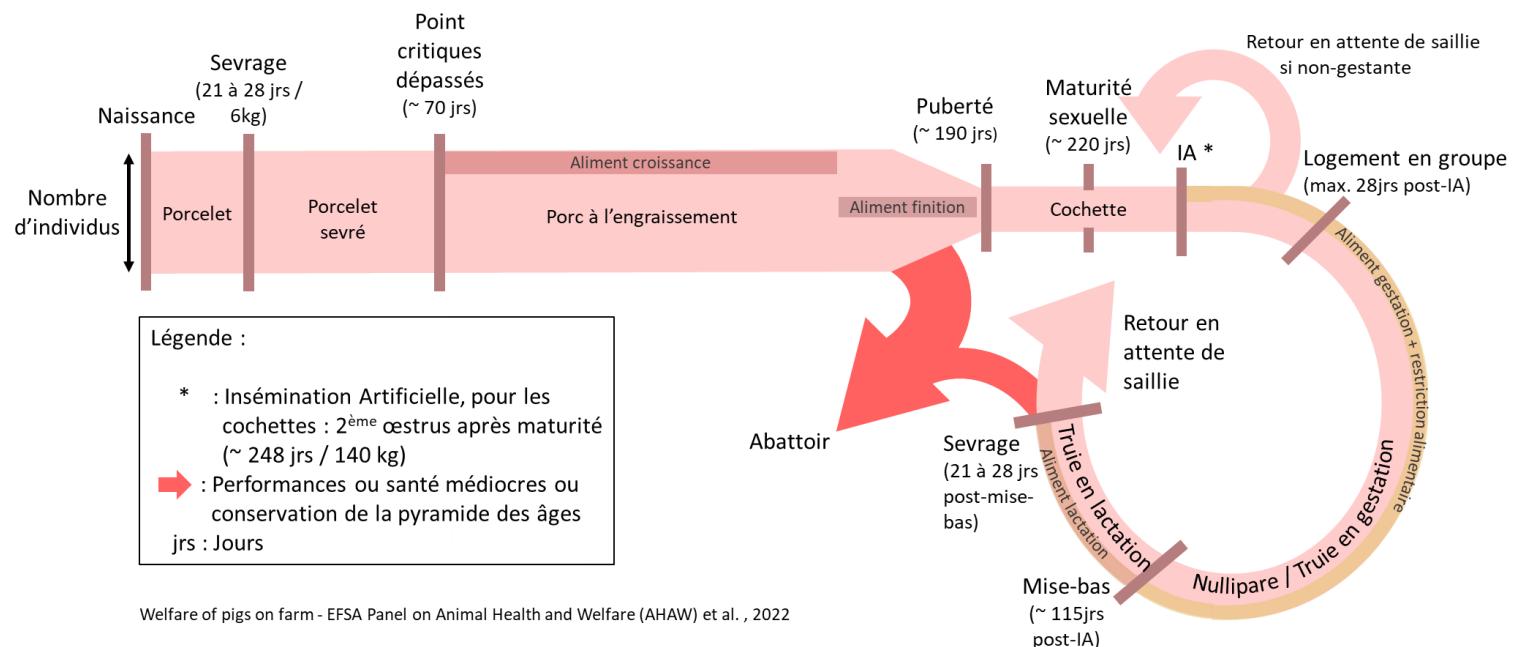


Figure 1 : Schéma de la vie d'une truie reproductrice en élevage conventionnel français

La sélection génétique effectuée sur les 40 dernières années a considérablement augmenté les niveaux de performances des animaux pour répondre aux enjeux alimentaires mondiaux (Bidanel et al. 2020). Les caractères majoritairement sélectionnés pour les lignées maternelles de truies sont les qualités maternelles, leur prolificité ainsi que leur fertilité. Ainsi en 2013, une truie produisait trois porcelets de plus qu'en 1973, tout en produisant des fœtus 40 % plus lourds ; avec néanmoins une mortalité et une variation du poids inter-porcelets plus élevées (Kim et al. 2013; Canario 2006; Dourmad et al. 2010). Pour soutenir ces hautes performances, il faut pouvoir assurer la bonne alimentation des animaux durant la croissance des fœtus sans être préjudiciable aux réserves corporelles de la truie, essentielles pour la longévité de sa carrière (Dourmad, Gauthier, Gaillard 2021). La gestation est une phase qui permet la restauration des réserves corporelles mobilisées à la précédente lactation, la bonne implantation et croissance des fœtus et la croissance maternelle.

2.3 Un état corporel optimal à atteindre en fin de gestation

Les caractéristiques corporelles des truies à la mise-bas sont hautement modulables et dépendantes du plan d'alimentation utilisé en gestation (Solà-Oriol, Gasa 2017). En effet, les truies sont capables d'ingérer plus de deux fois plus que leurs besoins associés en gestation (Cools et al. 2014). Il est cependant primordial d'avoir des truies ni trop grasses, ni trop maigres au moment de la mise-bas. D'un côté, les truies trop grasses ont des difficultés à la mise-bas et durant la lactation, e.g. la durée de mise-bas est prolongée favorisant le nombre de mort-nés (Oliviero et al. 2010). Plus les truies sont grasses, plus la consommation alimentaire est réduite en lactation, entraînant une mobilisation excessive des réserves corporelles. De l'autre côté, les truies trop maigres, mettent bas des porcelets plus légers et ont une proportion de mort-nés plus importante, ont une moindre production laitière ce qui réduit la croissance des porcelets notamment (Thongkhuy et al. 2020; Amdi et al. 2014; Quiniou 2016). Ainsi, une truie située dans la plage optimale de réserves adipeuses semble avoir des risques de problèmes péri-partum réduits et de meilleures performances productives. Cette plage est dépendante de la génétique utilisée et de la conduite technique du troupeau (par exemple entre un sevrage à 21 ou 28 jours) et serait, selon la revue de la littérature effectuée par Muro et al. (2023), située entre 15 et 20 mm. Ainsi les truies sont rationnées au cours de la gestation pour atteindre cet état corporel optimal en fin de gestation.

2.4 Comportements naturels du porc et hiérarchie sociale

Bien que les porcs aient été sélectionnés pour des raisons productives, ils n'ont pas complètement perdu leurs comportements naturels, i.e. le comportement des sangliers ou des porcs vivants dans des conditions de liberté (CNRBEA et al. 2023). A savoir, un porc a besoin d'un espace de vie suffisamment grand pour qu'il puisse compartimenter celui-ci suivant ses besoins, e.g. exploration, déjection, alimentation ou repos (CNRBEA et al. 2023). Également, il a des besoins sociaux : le porc est un animal grégaire (CNRBEA et al. 2023). En groupe, ils s'organisent autour d'une hiérarchie fixe qui régule l'accès aux ressources, basée sur l'âge et le poids : les plus vieilles et lourdes sont généralement les dominantes (CNRBEA et al. 2023). La hiérarchie est une composante primordiale dans les groupes de porcs, celle-ci se créant dès la naissance pour l'accès aux tétines (CNRBEA et al. 2023). L'ordre d'accès à l'aliment, et plus particulièrement au DAC, est un bon indicateur de la hiérarchie. Elle induit des comportements antagonistes, i.e. une interaction entre deux individus qui comporte une menace, une agression ou un combat, des dominants vers les dominés sans réponse de ces derniers. En cas de manque de stimulation, e.g. manque de substrat pour fouiller, ces comportements tendent à se multiplier (CNRBEA et al. 2023). En groupe, des comportements positifs sont également fréquents : flairage, jeu ou le toilettage mutuel (CNRBEA et al. 2023).

2.5 Changement des conditions de logement des truies gestantes

Par le passé, les truies gestantes étaient logées individuellement en stalles que ce soit en gestation, en lactation ou durant l'attente avant la nouvelle saillie. Pour des questions d'efficacité, ces méthodes d'élevage ont été préférées car rendant la truie facilement accessible à l'éleveur avec un moindre risque de blessure par les congénères. Elles offrent la possibilité de les nourrir individuellement (e.g. possibilité d'ajuster la quantité donnée) et favorisent la mise en place des embryons et réduisent le risque d'écrasement des porcelets en lactation (Harris et al. 2013; Liu et al. 2022). Cependant, l'utilisation quasi-constante des stalles pour la contention des truies empêche l'expression des comportements naturels, caractérisée par une hausse des stéréotypies, un indicateur de mal-être mental (Tokareva 2021). Ainsi, selon l'arrêté du 16 janvier 2003 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs, de nouvelles normes ont été appliquées pour la truie gestante : « Les truies et les cochettes sont élevées en groupe pendant une période débutant quatre semaines après la saillie et s'achevant une semaine avant la date prévue pour la mise bas » et « l'utilisation d'attaches pour les truies et les cochettes est interdite » (Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales 2003). Il existe deux grands types de groupes pour les truies gestantes : les groupes statiques ou dynamiques. Les groupes statiques permettant à la hiérarchie de rester stable une fois établie alors qu'un groupe dynamique dont les membres changent régulièrement implique une constante remise en question de cette hiérarchie (Lanthony, Durand, et al. 2022). Cet arrêté s'adressant aux exploitations néo-construites ou aux reconstructions, il faudra attendre janvier 2013 avant qu'il ne s'applique à toutes, en réponse notamment à la directive européenne 2008/120/EC (Conseil Européen 2008). Au niveau international hors-UE, les règles encadrant la production porcine sont moins restrictives, seuls quelques pays ont également limité l'utilisation de stalle de gestation, comme le Canada ou certains états des Etats-Unis (Boutros 2023).

2.6 Les impacts de ce changement sur le bien-être des truies et sur leur activité physique

La mise en groupe des truies a permis à celles-ci de pouvoir exprimer plus de comportements naturels. C'est un point positif concernant le BEA, ceci a par conséquent fait diminuer les comportements stéréotypiques (Tokareva 2021). Plusieurs études relatent également que les truies en logement collectif ont de meilleures conditions physiques (force et endurance) mais reçoivent plus de blessures cutanées (morsures, griffures, caudophagie), et boivent plus (Schenck et al. 2008; Verdon et al. 2015; Maes, Pluym, Peltoniemi 2016). Ceci est dû à la hiérarchie de la bande qui s'établit avec des comportements agonistiques (Verdon et al. 2015).

L'activité physique des truies pendant la période de gestation a considérablement évolué. Si en stalle les mouvements étaient restreints, le logement en groupe permet aux truies de se déplacer dans la salle et d'interagir entre elles (Anil, Anil, Deen 2002; Ramonet, Tertre 2014). Les interactions sociales des truies sont également à l'origine de modifications de l'activité physique (Durand et al. 2021). Les dépenses physiques liées au logement en groupe doivent être prises en compte, en particulier lorsqu'on cherche à estimer finement les besoins énergétiques individuels. Ici, les prendre en compte dans les modèles nutritionnels pourrait combler une partie de la différence entre les besoins énergétiques prédicts en fonction d'un objectif d'état corporel et celui observé après ce même apport. La partie suivante présente l'estimation de ces besoins dans la cadre d'une alimentation sur mesure au niveau individuel.

3 L'alimentation sur-mesure pour la truie gestante

Dans cette section, nous présenterons la structure des besoins énergétiques des truies et comment nous les estimons. La nutrition sur-mesure sera présentée ainsi que ses gains associés, puis nous expliciterons les technologies nécessaires à son application.

3.1 Caractérisation des besoins énergétiques d'une truie gestante

Différents compartiments sont pris en compte dans l'estimation des besoins énergétiques de l'animal et peuvent être divisés en deux catégories : les besoins d'entretien et les besoins de production. Les besoins d'entretien correspondent aux besoins du métabolisme de base poids constant et en thermoneutralité. Pour la truie gestante, il est évalué à 440 kJ d'énergie métabolisable, exprimée par kg de poids métabolique ($PV^{0,75}$) pour le rendre indépendant du stade de gestation (Noblet, Dourmad, Etienne 1990). L'activité physique est un facteur intrinsèque qui influe sur ce besoin d'entretien. Après ceux-ci, il existe les besoins de production, pour la truie gestante : le développement de la portée et des glandes mammaires, la constitution des réserves lipidiques ainsi que la croissance de la truie lorsqu'elle n'a pas atteint sa maturité physique. A ce propos, les cochettes ont des besoins énergétiques supérieurs aux truies à maturité corporelle durant la gestation (Solà-Oriol, Gasa 2017). Il est communément admis que les besoins d'entretien et ceux de la portée sont prioritaires par rapport aux autres compartiments qui jouent le rôle de « tampon » vis-à-vis des apports excessifs ou déficitaires en énergie (Dourmad et al. 2008). Le besoin d'entretien est le besoin majoritaire sur l'ensemble de la gestation et représente 76% du besoin énergétique total (Gaillard et al. 2019). Ces besoins ne sont néanmoins pas constants au cours du cycle reproductif. Par rapport au reste du cycle, les besoins énergétiques des truies gestantes sont plus élevés que ceux d'une truie vide, mais considérablement plus bas que ceux de la phase de lactation (National Research Council 1998; Dourmad et al. 2005). Ils sont également évolutifs au cours de la gestation car les besoins pour la portée sont très faibles en début de gestation mais deviennent conséquents : le poids des porcelets est multiplié par cinq sur les 45 derniers jours de gestation (McPherson et al. 2004).

3.2 Modéliser les besoins au cours de la gestation

Afin d'estimer les besoins individuels des truies pour chaque jour de la gestation, on utilise des modèles nutritionnels qui prennent en données d'entrée les caractéristiques individuelles de la truie à l'insémination, *i.e.* son poids, son ELD, son rang de portée et son âge. L'âge et le poids à l'insémination permettent d'estimer le poids à la mise-bas grâce à une équation préalablement ajustée pour l'élevage considéré (Quiniou 2019). En complément de ce poids estimé, un objectif d'ELD et des attendus de poids de portée à la mise-bas, utilisant l'historique de performances de l'élevage selon le rang de portée, sont utilisés comme objectifs à la mise-bas (Quiniou 2021). Ces modèles sont caractérisés par une approche factorielle car ils représentent la truie avec différents compartiments allant d'un état initial connu (insémination) à un état final attendu (mise-bas). Ces modèles peuvent être soit déterministe, *i.e.* les mêmes données d'entrée du modèle donneront toujours les mêmes sorties, soit stochastique, *i.e.* incluant un effet aléatoire amenant de la variabilité dans les sorties du modèle (Sauvant 2005). Ils sont dynamiques ou statiques, si l'échelle du temps est respectivement prise en compte ou ne l'est pas. Enfin, ces modèles sont soit mécanistes, *i.e.* ils ont pour but de décrire les mécanismes biologiques sous-jacents par des équations, soit empiriques, *i.e.* représenter la relation entre plusieurs variables basée sur des observations (Engels, Grosjean, Conotte

2024; Ellis et al. 2020). Dans la présente étude, un modèle mécaniste, déterministe, dynamique par approche factorielle est utilisé.

3.3 Les gains observés d'une alimentation sur mesure comparés à une alimentation conventionnelle

Le modèle utilisé dans le cadre du projet SOMOVE est une adaptation du module truie d'InraPorc® de 2008 en langage python et dont le détail des équations est disponible en Annexe 2 (Dourmad et al. 2008; Gaillard et al. 2019). Par simulation, l'application d'une alimentation sur mesure (*i.e.* un ajustement individuel et quotidien de l'apport en énergie et acides aminés) permet de réduire la proportion de truies en excès de nutriments sur la majorité de la gestation et de réduire le nombre de truies en déficit de nutriments sur la fin de gestation comparativement à une alimentation conventionnelle avec un unique aliment (Figure 2).

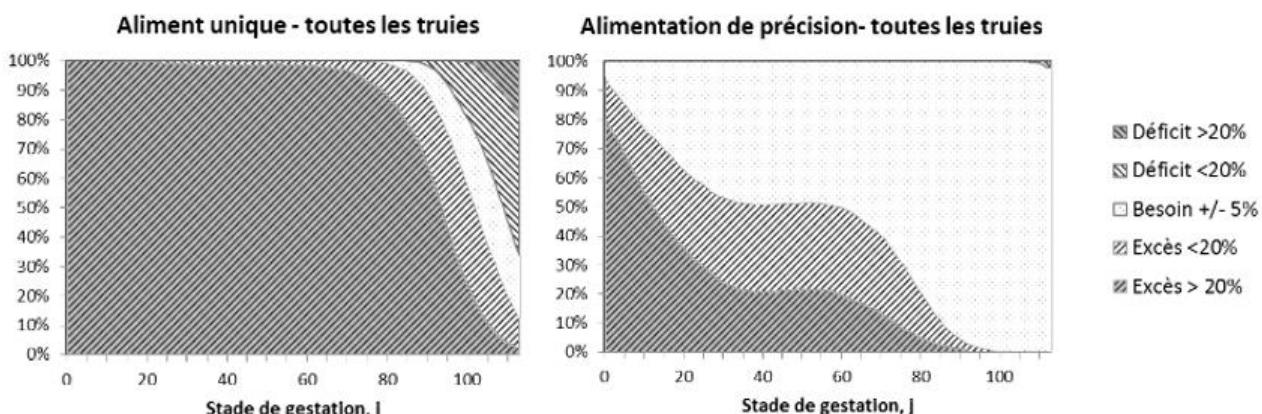


Figure 2 : Comparaison de l'adéquation besoins-apport des truies selon le type d'alimentation (Dourmad et al. 2018)

3.4 La mise en place de cette alimentation sur mesure en élevage

La mise en application de cette stratégie d'alimentation sur mesure nécessite un DAC permettant de mixer deux aliments, un riche en acides aminés et autre un pauvre dans des proportions variables pour satisfaire les besoins de l'ensemble des individus. Évaluer en élevage expérimental, cette stratégie a permis de réduire de 18 % les excréptions d'azote et de réduire légèrement les coûts alimentaires de 3,4 € par gestation sans impacter les performances en maternité (Gaillard, Dourmad 2022). Sur le long terme, l'utilisation de cette stratégie d'alimentation a permis de conserver des réserves corporelles considérées comme optimales contrairement à une alimentation conventionnelle où les truies possédaient des réserves observées plus faibles qu'attendu au bout de trois cycles consécutifs de gestation (Ribas, Quiniou, Gaillard 2024). Également, des porcelets nés de truies alimentées avec une alimentation sur mesure ont connu une mortalité plus faible sur la période naissance-sevrage (Cloutier et al. 2024). Une meilleure estimation des besoins énergétiques de la truie gestante est attendue dans un futur proche avec la possibilité d'incorporer une activité physique individuelle (Quiniou 2021).

3.5 L'évaluation de l'activité physique et de la dépense énergétique associée

Dans les besoins d'entretien des modèles nutritionnels, l'activité physique moyenne d'une truie est estimée à 4 h/jour d'activité « debout », *i.e.* truie en appui sur ses quatre membres immobiles (Noblet, Shi, Dubois 1993; Abarnou et al. 2023). Cette activité représente une dépense de $27 \text{ kJ/PV}^{0.75}$ pour 100 min, soit plus de deux fois plus que les dépenses associées à la position « couchée », *i.e.* flanc touchant complètement ou partiellement le sol et truie inactive, ($13 \text{ kJ/PV}^{0.75}$ pour 100 min) mais bien moins que la position « mouvement », *i.e.* debout avec les quatre membres actifs, valant $85 \text{ kJ/PV}^{0.75}$ pour 100 min à 1,5 km/h (Tableau 1 ; (Labussiere et al. 2022; J. Noblet, Shi, Dubois 1993; Abarnou et al. 2023). Chez le porc spécifiquement, la position debout est gourmande en énergie (quatre fois plus élevée que chez d'autres espèces) ce qui peut impacter considérablement ses besoins énergétiques (Noblet, Shi, Dubois 1993).

Tableau 1 : Dépense énergétique associée à certains types d'activité (Labussiere et al. 2022; Noblet, Shi, Dubois 1993)

Activité (100min)	Couchée	Debout	Mouvement (1,5km/h)	Mouvement (3km/h)	Mouvement (4,5km/h)
Dépense (en $\text{kJ/PV}^{0.75}$)	13	27	85	117	187

Cette estimation moyenne de 4h debout, pourtant utilisée dans de nombreux modèles, est probablement incomplète. L'activité physique des truies dépend premièrement de facteurs externes comme les conditions de logement, *i.e.* stalle versus groupe (cf Contexte 2.6) ou les conditions climatiques. Sur ce dernier point, la température ou l'humidité impactent l'activité physique : plus elles sont élevées au-dessus de la zone de thermoneutralité, plus l'activité physique des truies est réduite (Huynh et al. 2005; Abarnou et al. 2023). Cependant, même en subissant les mêmes conditions extrinsèques, l'activité physique est extrêmement variable entre les individus (Noblet, Shi, Dubois 1993; Ramonet, Tertre 2014). Il est possible de penser que des facteurs liés à la truie elle-même rentrent en compte : leurs caractères physiques, *e.g.* poids ou ELD, et leur stade physiologique, *e.g.* rang de portée ou absence/présence de gestation. Sur ce point, il semblerait qu'en gestation l'activité physique décroît au profit d'un plus grand temps passé couchée, alors qu'elle est actuellement estimée comme étant stable durant la gestation (Marchant-Forde, Marchant 2004). Ces facteurs ne sont pas intégrés dans l'estimation actuellement utilisée, ce qui pourrait grandement la faire varier. Également, aucun suivi de l'activité ne s'est fait sur plusieurs gestations, afin de savoir si le profil d'activité, *i.e.* la répartition individuelle du temps alloué à la pratique des activités physiques et leur évolution au cours d'une période donnée, est stable sur plusieurs gestations.

3.6 Les progrès technologiques permettant l'apport individualisé de la ration et le suivi de l'activité physique individuelle

3.6.1 Distributeurs automatiques de concentrés (DAC)

Avec des truies logées en groupe et un accès simultané à l'aliment, la quantité distribuée et ingérée par chaque truie est inconnue. Les truies dominantes auront tendance à manger plus, empiétant sur la ration de leurs congénères (Durand et al. 2021). La distribution manuelle est chronophage pour l'éleveur et il lui est impossible, pour les tailles de cheptel actuel, d'ajuster précisément la quantité et la composition distribuées à l'échelle d'un petit groupe ou de l'individu. Ainsi, sans la présence d'une machine autonome, l'alimentation sur mesure en élevage est limitée. L'arrivée des DAC a permis de lever cette limite en proposant une identification des truies par puce électronique individuelle. Le DAC reconnaît l'individu et distribue la ration allouée. Celle-ci peut être composée de plusieurs aliments si l'automate est équipé de plusieurs trémies, permettant de s'adapter aux besoins estimés de la truie. Les

courbes d'alimentation sont calculées à partir d'un modèle qui prédit les besoins nutritionnels individuels et les mélanges d'aliments au long de la gestation (cf Contexte 3.2).

3.6.2 Suivi automatisé de l'activité individuelle

3.6.2.1 Les accéléromètres

L'activité physique des truies peut être enregistrée par des accéléromètres fixés aux oreilles des truies. Ces capteurs transforment à l'aide d'un algorithme interne l'accélération dans les trois dimensions de l'espace en temps passé par activité. Ils ont été utilisés dans plusieurs études, en premier lieu pour connaître leur fiabilité et leur adéquation avec les caractéristiques de l'élevage porcin. Cependant les truies arrivent très souvent à détruire ou arracher le boîtier de ses congénères (Ramonet, Bertin 2015). Un autre problème lié aux accéléromètres est son coût élevé par rapport au nombre de pertes de ces capteurs. Également, l'utilisation d'un capteur par individu rend le processus peu applicable à de grands groupes et très invasif au moment de la pose. Les données d'accéléromètre sont cependant fiables ce qui rend ces capteurs pertinents dans le cadre d'expérimentations (Oczak et al. 2022).

3.6.2.2 L'analyse automatique par données vidéos

Ces dernières années, l'analyse automatique du comportement par vidéo a émergé (Yang, Xiao 2020). Les vidéos sont analysées par des algorithmes capables de les annoter selon l'identité et la posture de l'animal (Yang, Xiao 2020). Sur le principe, cette méthode de suivi offre de nombreux avantages. Premièrement, une caméra peut être utilisée pour plusieurs truies, limitant drastiquement le nombre d'appareils nécessaires. Les caméras étant hors de portée des animaux, elles sont donc beaucoup moins sujettes à la casse ou à la perte. La mise en place est donc moins longue, notamment du fait qu'il n'y ait aucun animal impliqué. Cependant, il est essentiel de noter qu'en cas d'utilisation de plusieurs caméras, le positionnement de celles-ci doit être minutieusement réfléchi. Autrement, des problèmes peuvent survenir au moment de l'analyse par l'algorithme. Récemment, des études portant sur cette méthode d'analyse ont été publiées. Il en ressort qu'un certain nombre de contraintes techniques (différenciation des individus, perte d'identifiant de l'animal) doivent être gérées, ce qui complique l'utilisation de cette méthode (Mar et al. 2023). Cependant, les résultats de l'utilisation d'un algorithme sur des données vidéos pour l'analyse des mouvements d'animaux, en gérant ces-dites contraintes, indiquent une bonne fiabilité de cette méthode. Van Hertem et al. (2014) obtiennent une classification correcte boîteuse / non-boîteuse sur des vaches laitières à 81.2 % (Wu et al. 2020). Cette technologie reste récente et nécessite donc d'être comparée à des technologies éprouvées comme référence, telles que le sont les accéléromètres ou encore l'œil humain.

4 Objectifs de l'étude

Ainsi, il semble pertinent de demander : comment évolue l'activité physique individuelle des truies en gestation suivies grâce à de nouvelles technologies ? L'objectif de ce stage est d'évaluer l'intérêt d'intégrer l'activité physique individuelle, obtenue à l'aide d'accéléromètres et de vidéos, dans l'estimation des besoins énergétiques des truies gestantes. Le but premier est d'investiguer l'activité physique et le profil d'activité de ces truies afin d'en caractériser l'évolution individuelle au cours de la gestation. Les données issues d'analyse vidéo automatique sur certains jours de gestation seront comparées à celles issues d'accéléromètres afin d'en éprouver la fiabilité. Dans un second temps, l'activité physique individuelle sera intégrée au modèle nutritionnel décrit précédemment. Les besoins individuels simulés au cours de la gestation seront comparés à ceux initialement estimés avec une activité physique stable et unique pour l'ensemble des truies du troupeau.

PARTIE 2 : Matériel et méthodes

Cette partie a pour objectif de présenter les conditions dans lesquelles l'expérimentation a été réalisée. Par la suite, elle détaillera la méthode de traitement des données utilisée dans cette étude puis les méthodes d'analyse de données.

1 Dispositif expérimental

1.1 Animaux, logement et alimentation

Le protocole de cette étude a été lu et approuvé par le comité d'éthique sur l'expérimentation animale (Rennes, France ; Référence : APAFiS #24663) et elle s'est déroulée en suivant la législation française concernant la production de porc à visée commerciale et celle encadrant l'expérimentation et le soin aux animaux. L'étude a eu lieu de juillet 2021 à décembre 2022 au sein de l'Unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs (**UE3P**) de INRAE Bretagne-Normandie, Saint-Gilles (35), France (doi:10.15454/1.5573932732039927E12).

Deux bandes (**bande_14** et **bande_15**) de truies de respectivement 20 et 19 individus, logées dans deux salles différentes, ont été suivies sur trois gestations, mais une seule gestation (la première) sera étudiée dans ce rapport. Initialement, ces truies ont été logées dans des cases individuelles pour y être inséminées puis elles ont rejoint la salle de gestation (logement en groupe) au troisième jour post-insémination. Chaque salle de gestation de 7,5 m x 8 m avait un sol en béton paillé quotidiennement, la paille étant distribuée entre 8 h et 10 h. Deux DAC (Gestal, JYGA Technologies Inc., Quebec, Canada) et deux abreuvoirs connectés (Aqualab, Asserva, Lamballe, France) étaient placés dans chaque salle, fonctionnant avec reconnaissance d'une puce placée à l'oreille de chaque truie. Ce système permettait de suivre le nombre et la durée des visites de chaque truie au DAC ou à l'abreuvoir. La ration journalière s'initialisait à 00 h mais les DAC étaient ouverts toute la journée, permettant un accès à la ration selon les besoins de la truie. Les truies ont été nourries avec deux stratégies distinctes : une alimentation sur-mesure (**Alim_AM**) et une alimentation conventionnelle (**Alim_AC**) basée sur les courbes d'alimentation usuellement appliquées à l'UE3P. Alim_AM a été construite en suivant les besoins en lysine digestible calculés par le modèle pour truies en gestation de Gaillard *et al.* de 2019. Pour appliquer Alim_AM, deux aliments avec des teneurs en lysine digestible différentes (8,5 g/kg ou 3,3 g/kg) ont été mélangés en proportion variable selon l'individu et le jour de gestation tandis que Alim_AC recevait un mélange fixe tout au long de la gestation.

1.2 Prises de mesures

Trois caméras dômes de résolution 1920x1080 (Hikvision, Noisy le Grand, France) ont été fixées au plafond afin de couvrir toutes les zones d'une salle de gestation (Figure 3). Les enregistrements ont été faits en continu et à des périodes distinctes de 24 h, au début (j 14-15 et/ou j 30) et à la fin (j 101 à 103) de la période de logement en groupe et ont été analysées par un algorithme (Dilepix, Rennes, France). Les caméras avaient un horodatage intégré sur les images afin de les synchroniser.

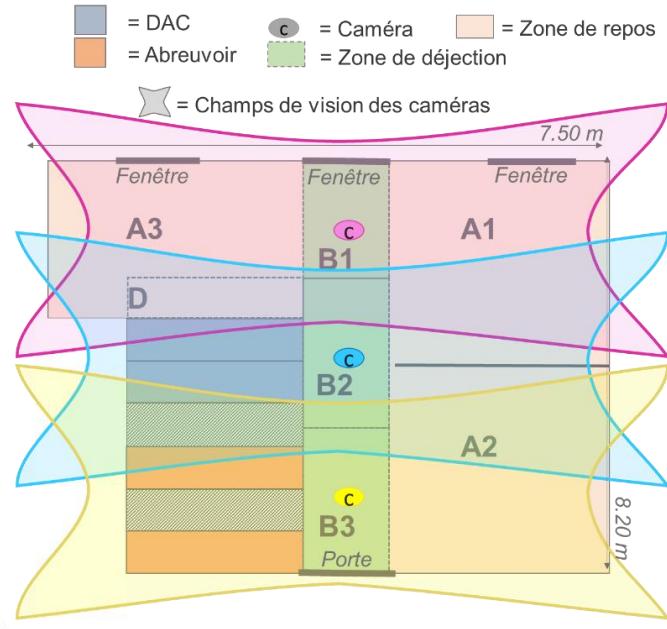


Figure 3 : Représentation des conditions de logement et du placement des caméras pour les données vidéo.

Le réseau de neurones a été préalablement entraîné à reconnaître chaque individu, leur localisation, e.g. A1 ou A3 (Figure 3), et les activités pratiquées : Debout, Couchée Latéralement, Couchée sur le ventre, Assise, Boit et Mange (Tableau 2). Cet entraînement a été fait à l'aide d'une partie d'un jeu de données de l'UE3P, composé d'images annotées manuellement. Le réseau a été en suivant évalué sur le reste du jeu de données. Pour les localisations, les scores de précision, de rappel et leur F-mesure sont de 95% en moyenne. L'algorithme reconnaît les activités citées précédemment avec une précision, un rappel et une F-mesure de plus de 65% en moyenne (Dilepix 2024).

Cet algorithme a été utilisé pour l'analyse des jours sélectionnés. Premièrement, il traite les sorties vidéos indépendamment : il reconnaît les animaux et l'activité pratiquée (inférence) puis redresse les vidéos (Figure 4). Les images prises par les caméras sont plus ou moins déformées, e.g. une sortie de caméra Fish-Eye est très déformée, le but de cette étape est d'homogénéiser les images obtenues afin qu'elles puissent être superposées. Deuxièmement, les sorties vidéos sont analysées comme un ensemble. Pour ceci, un mosaïquage a été réalisé pour créer une image unique à partir des différentes sorties. Différents points, nommés points d'intérêt, sont placés au même endroit sur toutes les images et ceux-ci sont superposés manuellement. Une fois que ces points sont superposés, la matrice de transformation a été calculée pour pouvoir transformer les sorties en un ensemble unique. Cette matrice est spécifique à la position des caméras (inclinaison, direction...). Nos caméras ont été déplacées plusieurs fois au cours de l'expérimentation, le mosaïquage et le redressement des caméras ont été réalisés plusieurs fois. Une fois le mosaïquage réalisé, l'algorithme suit les truies et renvoie ses sorties. Celles-ci sont sous forme d'un fichier .csv et d'un fichier .json (non-présenté ni utilisé dans ce mémoire). Les mesures sont prises toutes les demi-secondes pour chaque individu, une ligne par mesure. Celles-ci détaillent par colonne l'heure de la prise, l'identifiant de l'individu, l'activité, la localisation et les coordonnées (x et y séparément) du cou, du nez et de la queue dans l'image.

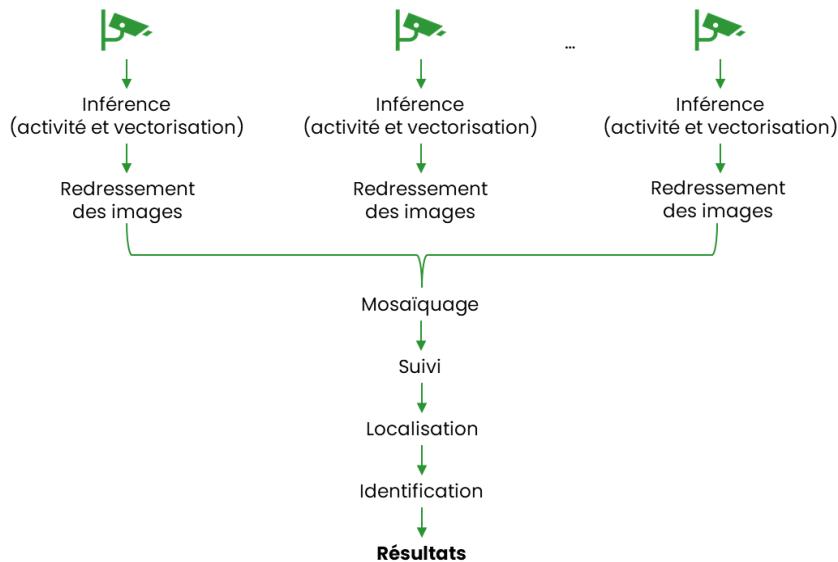


Figure 4 : Schématisation du fonctionnement de l'algorithme (Dilepix 2024)

Des accéléromètres (RF-Track, Rennes, France ; Annexe 3) ont été placés à l'oreille de 24 truies au total : 20 en bande_14 et quatre truies en bande_15 au 4^{ème} ou 5^{ème} jour post-insémination jusqu'à la fin de la période de logement en groupe. L'accéléromètre mesurait le temps passé (min) « couchée », « debout » et « mouvement ». Les données renvoyées sont sous format .csv, un fichier par jour avec une ligne par heure par individu. Par colonne est détaillée : l'identifiant de l'animal, celui du capteur, la date, les temps passés debout, en mouvement et couché, la dépense énergétique calculée par l'UE3P et l'état de la batterie du capteur.

Pour la première gestation (juillet – octobre 2021) la température (**T**) en degrés Celsius et l'humidité en % (**H**) ont été relevés par des capteurs EL-USB-2- 124 LCD (Lascar Electronics, Royaume-Uni), placés à 1,8 m de hauteur dans les bâtiments logeant les truies. Les mesures de température et d'humidité ont été prises par intervalle de 15 min du début de la gestation au 105^{ème} jour (ou 83^{ème} pour Bande_15). Les mesures de l'ELD (en millimètres, **IA_ELD**) et du poids de la truie (en kg, **IA_PV**) ont été relevée à l'insémination. Pour chaque truie, la présence ou non de boiterie et de bursites a été relevée de manière hebdomadaire par des personnes formées au protocole Welfare Quality® (Velarde et al. 2009).

2 Traitement des données d'activité

Nous allons désormais aborder les méthodes utilisées pour nettoyer et homogénéiser les données, afin de les exploiter par la suite.

2.1 Données issues des accéléromètres

Les données d'activité ont été nettoyées, elles comptaient à l'origine 45 599 observations, mesurant chacune une heure par individu. Tout d'abord, les heures enregistrées ayant moins de 59 min observées ont été écartées (45 466 observations). Ensuite, les observations erronées causées par des problèmes d'enregistrements ont été retirées (35 461 observations).

Les données d'activité ont été bornées du 5^{ème} jour de gestation au 110^{ème} jour (30 028 observations) et les données du 59^{ème} au 65^{ème} jour de gestation (ou du 37^{ème} au 45^{ème} pour bande_15) sont indisponibles pour tous les individus à cause d'un problème de synchronisation des capteurs. De plus, sept truies ayant moins de 30 jours d'observations ont été écartées ainsi qu'une truie non-gestante. Il y a donc 12 truies suivies dans la bande_14 et quatre truies suivies dans la bande_15 (27 231 observations). Enfin, les observations éventuellement dupliquées ont été supprimées (27 173 observations).

Afin d'avoir des jours homogènes en durée, *i.e.* 24 h, les jours comprenant moins de 19 h enregistrées ont été écartés (26 804 observations). Cette limite a été fixée car représentant au moins 80% dudit jour, permettant de représenter correctement la distribution de chaque activité. Finalement pour les jours incomplets, les heures manquantes ont été approximées *via* la durée moyenne de pratique de chaque activité de l'heure manquante au jour J – 1 et J + 1 (27 330 observations). Si les mesures d'activités ne sont pas disponibles pour le jour précédent ou suivant, *e.g.* car on comblerait le premier jour de suivi, alors uniquement les valeurs du jour restant sont considérées (5 observations concernées) ; il n'y a eu aucun cas pour lequel les deux jours encadrants étaient manquants. Enfin, les mesures ont été agrégées par jour par individu (1 139 jours). Les données sont donc longitudinales mais déséquilibrées, *i.e.* tous les individus n'ont pas le même nombre de jours observés (Figure 5).

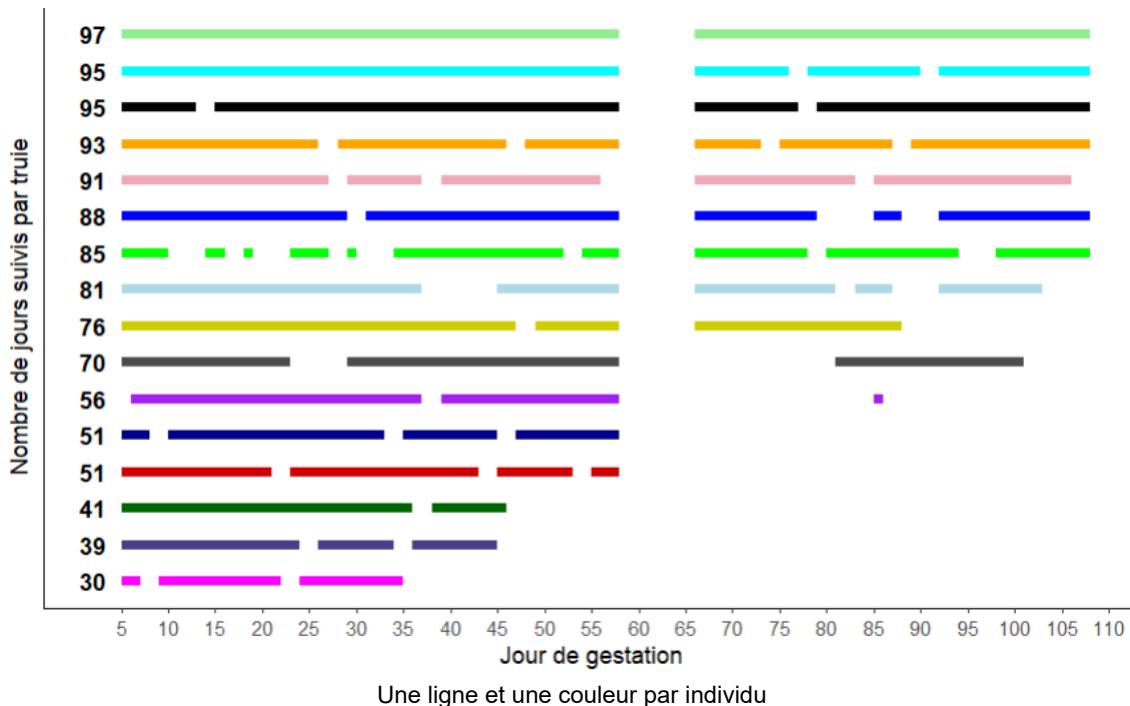


Figure 5 : Nombre de jours suivis et leur répartition par individu au cours de la gestation

Pour les bursites, une échelle de gravité a été mise en place selon le nombre de membres touchés : 0 si aucune bursite et + 1 point par membre impacté. Pour la boiterie un score de 0 (boiterie_0) était attribué pour un animal sain et 1 pour une truie boiteuse (boiterie_1).

Pour l'analyse intra journalière de ces données et pour la comparaison avec les données vidéos, les mesures d'une heure d'activité prises dans la première moitié de l'heure, *e.g.* une heure enregistrée de 10h20 à 11h20, ont été considérées comme prises à l'heure exacte, *e.g.* cela se simplifie en 10h. Inversement, les mesures entamées dans la deuxième partie de l'heure (31min à 59min) sont arrondies à l'heure suivante.

2.2 Données d'activité issues des vidéos

Les données provenant des truies non-gestantes ont été écartées. Afin de pouvoir comparer les deux méthodes (accéléromètre et vidéo), les observations vidéo ont été groupées par heure et par individu.

Les activités suivies ne sont pas identiques entre les données issues des accéléromètres ou des vidéos : l'accéléromètre différencie la marche (variable mouvement) d'une position debout statique (variable debout) ce qui n'est pas le cas de la vidéo (item unique debout). Afin de pouvoir analyser la fiabilité de l'analyse vidéo, il a été décidé de se baser sur les données accéléromètres afin de créer la catégorie mouvement. La somme du temps moyen debout et du temps moyen en mouvement a été faite, puis la part de chacune de ces variables dans ce total a été utilisée. Ce total est composé à 70% de temps debout et à 30% de temps en mouvement avec peu de variation au cours de la gestation. Une certaine variabilité a été observée entre les truies mais elle a été ignorée pour cette transformation, ne pouvant pas déterminer le niveau d'activité spécifique des truies non-suivies par accéléromètre. Ainsi, l'item initial debout des données vidéos a été scindé en deux catégories : debout, qui vaut 70% de l'item initial et mouvement qui en vaut 30% (Tableau 2). Les données vidéos ne sont donc plus indépendantes des accéléromètres, étant désormais basées sur la répartition des activités des données accéléromètres. Également, les catégories « couchée sur le ventre » et « couchée latéralement » ont été regroupées en « couchée » et les activités « assise », « mange » et « boit » ont été associées à « debout ».

Tableau 2 : Caractérisation de l'activité en fonction de l'outil utilisé (Accéléromètre vs. Vidéo)

Activités	Accéléromètre	Vidéo
Debout	Truie en appui sur ses quatre membres immobiles (Abarnou et al. 2023).	70% de la durée enregistrée ou la truie est en appui sur ses quatre membres, en mouvement ou immobile.
Mouvement	Debout avec les quatre membres actifs (Abarnou et al. 2023).	30% de la durée enregistrée ou la truie est en appui sur ses quatre membres, en mouvement ou immobile.
Couchée :	Flanc touchant complètement ou partiellement le sol et truie inactive.	Somme du temps passé Couchée latéralement et Couchée sur le ventre.
Dont :		
Couchée latéralement		Truie inactive reposant sur son flanc, les quatre pattes du même côté (Abarnou et al. 2023).
Couchée sur le ventre		Truie inactive reposant sur son ventre, au moins une patte non-visible (Abarnou et al. 2023).
Boit		Truie debout dans la zone d'abreuvement, abreuvoir électronique détectant sa présence.
Mange		Truie debout dans l'automate et qui consomme sa ration, détectée au DAC.

3 Calculs

Cette partie récapitule les méthodes utilisées pour définir certains paramètres utilisés dans la caractérisation de l'activité physique ou dans l'estimation des besoins énergétiques.

3.1.1 Vitesse de marche

Pour l'activité « mouvement », ni l'accéléromètre ni l'analyse vidéo ne mesurent la vitesse de marche ou de course. Or la vitesse de marche impacte fortement l'estimation de la dépense énergétique associée (cf Contexte 3.5). Cette vitesse dépend premièrement du type de sol, *e.g.* sol plein ou caillebotis^a, de son état, *i.e.* sec, gras, sale ou propre (Thorup et al. 2007; Von Wachenfelt et al. 2008; Devillers et al. 2019). Également la direction de marche, *i.e.* courbe ou rectiligne, et la présence de boiterie influent sur la vitesse de marche (von Wachenfelt, Pinzke, Nilsson 2009; Devillers et al. 2019; Grégoire et al. 2013). Aucune étude n'a mesuré la vitesse de marche d'un cochon ou d'une truie sur sol paillé. Les vitesses de marche mesurée dans ces études sont visibles dans le Tableau 3. Dans le cas de notre expérimentation, le sol est en béton avec paille.

Tableau 3 : Vitesse de marche d'une truie selon le type de sol et son état

Direction		Vitesse de marche (km/h)						
		Thorup et al. (2007)	Von Wachenfelt, Pinzke, Nilsson (2009)	Von Wachenfelt et al. (2008)	Grégoire et al. (2013)		Devillers et al. (2019)	
					Avec boiterie	Sans boiterie	Avec boiterie	Sans boiterie
Rectiligne	Propre	3,17		5,94				
	Sale			4,03				
	Gras	2,66						
	Mouillé	2,84						
	Non-spécifié				2,99	3,46	2,74	3,06
Courbe	Propre		3,96					
	Sale		3,60					

Jaune : caillebotis Rouge : béton

À la vue des conditions de logements durant l'expérimentation, il a été décidé que la vitesse de marche moyenne sans boiterie serait de :

$$(2,66 + 2,84) / 2 = 2,75 \text{ km/h},$$

Pour les truies boiteuses, un pourcentage de diminution de vitesse a été estimé :

$$((2,99 * 100 / 3,46) + (2,74 * 100 / 3,06)) / 2 = -12 \text{ %}.$$

La vitesse de marche des truies boiteuse est donc estimée à :

$$2,75 * 0,88 = 2,42 \text{ km/h}.$$

^a : Pour le caillebotis, l'espacement entre les planches et la taille des planches montrent une tendance à influer sur la vitesse de marche (Devillers et al. 2019).

Les besoins énergétiques seront estimés avec le modèle de Gaillard et al. (2019), dont la dépense liée à l'activité debout vaut $0,30 \text{ kJ/min/kg PV}^{0,75}$ (Dourmad et al., 2008). Les dépenses énergétiques liées à l'activité mouvement de Labussière et al. (2022) et la dépense liée au temps debout ont été utilisées pour établir une relation linéaire entre dépense et vitesse de marche, valant :

$$\text{Dépense énergétique (kJ/min/ kg PV}^{0,75}) = 0,30 + 0,22 \times \text{vitesse de marche}$$

En plus de la stratégie initiale (4 h debout/j), deux stratégies ont été mises en place : une estimation avec une vitesse de marche lente et une seconde avec un mouvement rapide, utilisant les données d'accéléromètre. La première a une vitesse de marche estimée à 1,5 km/h pour une truie saine et 1,32 km/h en cas de boiteries. Les dépenses énergétiques associées au mouvement sont donc de $0,62 \text{ kJ/min/ kg PV}^{0,75}$ pour une truie saine et $0,28 \text{ kJ/min/ kg PV}^{0,75}$ si boiteuse. Pour le mouvement rapide, les vitesses sont celles précédemment calculées c'est-à-dire de 2,75 km/h pour les individus sains et 2,42 km/h pour les boiteuses, avec des dépenses énergétiques de 0,89 et 0,82 kJ/min/ kg PV^{0,75} respectivement.

Cette dépense est intégrée au modèle d'estimation des besoins énergétiques de Gaillard et al. (2019) qui estime l'apport alimentaire, en kg/gestation.

3.2 Conditions climatiques

Les mesures de température et d'humidité ont été moyennées par heure. Ces deux variables ont également été regroupées dans l'index de température-humidité (**THI**), calculé selon la formule fournie par Wegner et al. (2016) :

$$\text{THI} = [(1.8 \times T) + 32] - [(0.55 \times (H/100)) \times [((1.8 \times T) + 32) - 58]].$$

3.3 Santé et caractéristiques de la truie

La présence de boiterie et de bursites a été relevée avec un pas de temps hebdomadaire entre chaque observation. Dans le cas de deux observations consécutives relevant d'un problème d'aplomb, les jours non-observés entre ces deux observations ont été comblés avec les mêmes problèmes relevés. Pour les autres jours non-observés, l'animal est supposé n'avoir aucun problème d'aplomb.

La hiérarchie au sein d'une bande a été estimée via l'ordre moyen de passage au DAC sur toute la gestation (Lanthony, Durand, et al. 2022).

3.4 Identification de phases de gestation

Les valeurs moyennes journalières de l'activité debout ont été calculées puis lissées avec la fonction *smooth.spline* (paramètre de lissage : span = 0,75) du package *stats* (R Core Team 2024, Vienne, Autriche). Les changements de phase ont été définis grâce à l'étude de la dérivée de la courbe. Ces changements correspondent aux points d'inflexion caractérisés par une dérivée nulle.

3.5 Activité intra-journalière

Un pic d'activité est défini ici comme une hausse importante de l'activité physique par rapport à l'activité physique moyenne (temps debout et temps en mouvement). Un pic d'activité est caractérisé par deux composantes : sa durée (h) et l'intensité de l'activité physique associée. L'intensité est calculée comme étant la somme du temps d'activité de chaque heure du pic. Un pic doit avoir une activité minimale de 10 min/h (activité physique moyenne sur une heure). Également, l'aire entre la courbe d'activité physique et le seuil de 10 min/h doit être supérieure à 10, pour ne considérer que des variations importantes (Annexe 4). Deux pics mitoyens sont déclarés différents si la durée d'activité chute d'au moins 40% entre deux heures consécutives : dans ce cas le premier pic s'arrête avant la chute et le second commence à partir de celle-ci (Annexe 4).

4 Analyses statistiques

Cette partie récapitule les méthodes utilisées pour analysées les données récoltées. L'analyse des données s'est faite sur le logiciel R v4.4.1 (R Core Team 2025). Pour les représentations graphiques comprenant des courbes lissées, elles ont été tracées avec la fonction `geom_smooth` du package `ggplot2` (Wickham et al. 2007) avec le paramètre `span`, responsable de la puissance du lissage, à 0,75 afin de réduire le bruit des données.

4.1 Exploration des distributions des activités

Pour évaluer la corrélation linéaire entre les activités, un test de corrélation par la méthode de Pearson a été effectué. Le coefficient d'asymétrie, permettant de caractériser l'asymétrie des queues de la courbe de distribution, et l'aplatissement (ou kurtosis), représentant notamment la quantité de valeurs autour de la moyenne par rapport à une distribution normale, ont été utilisés. Le coefficient d'asymétrie permet de déterminer s'il existe ou non une plus grande quantité de valeurs extrêmes d'un côté, *i.e.* une queue longue, d'un côté de la courbe par rapport à une distribution normale. Le kurtosis observe la quantité de valeurs proches de la moyenne, *i.e.* la hauteur de la cloche, et la taille des queues des deux côtés de la cloche.

4.2 Modélisation de l'activité

Pour analyser les données, le package `mgcv` a été utilisé (Wood 2017). Notamment, la fonction `gamm` a été choisie car représentant un modèle additif mixte généralisé, abrégé en **GAMM**, pouvant modéliser les données longitudinales déséquilibrées (Mundo, Tipton, Muldoon 2022). Un GAMM a été préféré en comparaison à un modèle linéaire mixte car il n'assume pas de relation linéaire entre les variables (Mundo, Tipton, Muldoon 2022). Le modèle GAMM est composé d'un modèle additif généralisé (**GAM**) pour représenter les effets fixes et lissés, *i.e.* termes représentés par une fonction de lissage ou spline, et d'un modèle linéaire aux effets mixtes pour les effets aléatoires, *e.g.* intercepts individuels. La méthode suivie afin d'affiner le modèle sera une méthode descendante, *i.e.* utiliser toutes les covariables incluses dans un premier modèle puis les soustraire une à une, avec comme critères discriminants principaux le critère d'information bayésien (**BIC**) puis le critère d'information d'Akaike (**AIC**) jusqu'à obtenir un modèle restreint dont tous les effets restants sont significatifs. Dans le cas de petits effectifs, le BIC est préféré car étant plus pénalisant vis-à-vis de la complexité du modèle (Lebarbier, Mary-Huard 2006). Selon l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, l'AIC est cependant plus performant pour les modèles « composés d'une multitude de « petits effets » » (Lebarbier, Mary-Huard 2004). Le modèle sera donc

sélectionné selon ces critères. Un effet est considéré significatif si $P\text{-value} < 0,05$ et une tendance sera observée pour une $P\text{-value}$ comprise entre 0,05 et 0,10 exclus. Pour évaluer l'impact de nos effets fixes sur les variables d'intérêt étudiées en minimisant le biais, le maximum de vraisemblance sera utilisé et préféré au maximum de vraisemblance restreint.

4.3 Description des modèles

L'objectif de cette modélisation est de sélectionner les covariables dont l'influence sur le temps debout et en mouvement est la plus forte pour une complexité la plus faible possible, compte-tenu du faible effectif de cette étude et de la quantité de bruit sur les données. Tous les effets significatifs ne seront donc pas forcément inclus dans la modélisation finale. La modélisation avec la covariable THI au lieu des deux covariables T et H a été envisagée mais son effet étant constamment moins important que les deux autres, elle ne sera pas présentée dans ce document.

Pour ne pas sur-complexifier le modèle, le rang de portée des truies a été simplifié en groupe : P1 ($n = 4$) pour les nullipares, P2 ($n = 6$) pour les primipares et P3 ($n = 6$) pour les multipares. Pour la hiérarchie, les truies dominantes (H1, $n = 4$) ont un ordre de passage moyen entre 1 et 5 inclus, les truies intermédiaires (H2, $n = 8$) un ordre compris entre 6 et 13 inclus et enfin les truies dominées (H3, $n = 4$) un ordre moyen supérieur à 14.

En reprenant la méthode descendante, le premier modèle comprend tous les effets fixes soit : IA_PV, IA_ELD, Boiterie, Bursite, T, H, THI, Alimentation (Alim_AM ou Alim_AC), Bande (Bande_14, Bande_15), Rang de portée (P1, P2 et P3), Hiérarchie (H1, H2 ou H3). Pour ne pas assumer d'évolution linéaire de l'activité physique au cours de la gestation, l'effet du jour de gestation est estimé à l'aide d'une spline avec au maximum neuf bases. Afin d'avoir une estimation plus précise qu'à l'échelle de la bande, l'effet du jour de gestation a été estimé pour chaque groupe de rang de portée. En supplément un effet aléatoire « truie » a été ajouté, effet permettant d'avoir un intercept individuel. La corrélation temporelle des observations, corrélation autorégressive d'ordre 2, et la variance différente selon les groupes de rang de portée ont été prises en compte dans les modèles.

Les hypothèses inhérentes au modèle GAMM ont été testées, *i.e.* distribution normale des erreurs, homoscédasticité et indépendances des observations, cette dernière étant prise en charge par la structure de corrélation autorégressive d'ordre 2.

4.4 Méthodes de clustering

Faire du clustering permettra de vérifier s'il existe des types de profils d'activité physique en lien avec les caractéristiques des truies. Pour le clustering, il a été réalisé avec le package kml3d supportant la méthode de clustering des k-moyennes pour données longitudinales (Genolini et al. 2015). Cette méthode a été choisie car elle permettait de traiter les trajectoires des individus, y compris en cas de données multivariées (Genolini et al. 2015). Comme l'ordre de grandeur entre debout et mouvement n'est pas identique, les valeurs seront centrées-réduites pour déterminer l'appartenance aux différents clusters. Pour choisir le k optimal, *i.e.* le nombre de clusters, les indices de Davies-Bouldin, Ray-Turin et de Calinski-Harabasz et le BIC ont été considérés avec 30 initialisations aléatoires pour chaque indice. Pour comparer les groupes sur leurs attributs qualitatifs, un test exact de Fisher sera effectué car performant même sur les petits effectifs (Perezgonzalez 2015). Pour les caractéristiques quantitatives, un test de Kruskal-Wallis a été préféré car non-paramétrique et pouvant comparer plusieurs

groupes ensemble. Si ce dernier est significatif, un test de Dunn avec correction de Bonferroni est utilisé pour décrire précisément entre quels groupes se situe la différence.

4.5 Analyse de l'activité physique intra-journalière

Pour calculer l'aire sous la courbe, la fonction *trapz* du package *pracma* (Borchers 2011) est utilisée car la courbe est une suite de segments.

La journée fut scindée en trois plages horaires selon l'organisation de l'élevage. La plage horaire DAC a été définie de 21 h à J -1 à 6 h à J, l'ouverture du DAC se faisant à 00 h. La plage horaire paille a été posée de 7 h à 12 h, la distribution de paille étant faite entre 8 h et 10 h. L'objectif est de comparer l'activité physique selon le rang hiérarchique en fonction du type d'évènement se produisant : évènement « ordonné », *i.e.* la ressource de l'évènement n'est pas en libre-accès ou sa quantité est limitée et son accès est régulé par l'ordre hiérarchique, ou évènement « libre », *i.e.* la ressource est en libre-accès ou sa quantité est suffisante pour que tous les membres du groupe puissent y accéder directement. L'accès au DAC est un évènement ordonné : l'hypothèse est que les truies dominantes y ont accès en premier, une heure de début de pic plus précoce, tandis que les truies dominées doivent attendre, pic plus long et heure de début plus tardive que les dominantes. Il est supposé que les truies de rang hiérarchique moyen ou faible (H2 et H3) ont une activité physique plus intense, lié à l'attente et aux interactions entre individus pour l'accès à la ressource. Au contraire, l'accès à la paille est considéré comme un évènement libre : les groupes hiérarchiques ne devraient avoir pas ou peu de différence sur l'heure de début, la durée et l'intensité des pics. Il est supposé que l'effet du rang hiérarchique soit moins important sur ce type d'évènement. Pour les comparaisons entre groupes hiérarchiques, un test de Kruskal-Wallis sera utilisé. En cas de *P-value* < 0,10, un test de Dunn avec correction de Bonferroni sera effectué.

4.6 Comparaison des besoins énergétiques

Pour comparer les apports énergétiques entre les stratégies d'évaluation des besoins (initiale, vitesse lente ou vitesse rapide ; cf Matériel et méthodes 3.1), un modèle linéaire mixte a été utilisé grâce à la fonction *lmer* du package *lme4* (Bates et al. 2015). La stratégie d'évaluation est vue comme un effet fixe et la truie comme un effet aléatoire.

PARTIE 3 : Résultats

1 Comparaison des données issues de l'analyse vidéo avec les données d'accéléromètres

Cette première partie traite de l'évaluation de la fiabilité du suivi par algorithme des vidéos en comparant ses résultats avec ceux obtenus à l'aide des accéléromètres.

1.1 Analyse des vidéos : mosaïquage et identification limitée

Les salles de gestation ont été filmées par plusieurs caméras en même temps, créant trois images pour reconstituer la salle entière. Idéalement, ces différentes images devraient être parfaitement superposées afin de renvoyer à l'algorithme une image globale nette. Seulement, ces superpositions sont imparfaites : l'image et la truie peuvent être « dédoublées ». Cette imperfection ne permet plus à l'algorithme d'identifier correctement la truie (Figure 6). Par conséquent, il renvoie les mesures d'activité de cette truie « dédoublée » en la renommant avec un identifiant aléatoire, ce qui ne permet pas de retrouver l'individu suivi. Une mauvaise synchronisation des caméras augmente les risques d'avoir des images dédoublées, ce qui était notre cas.

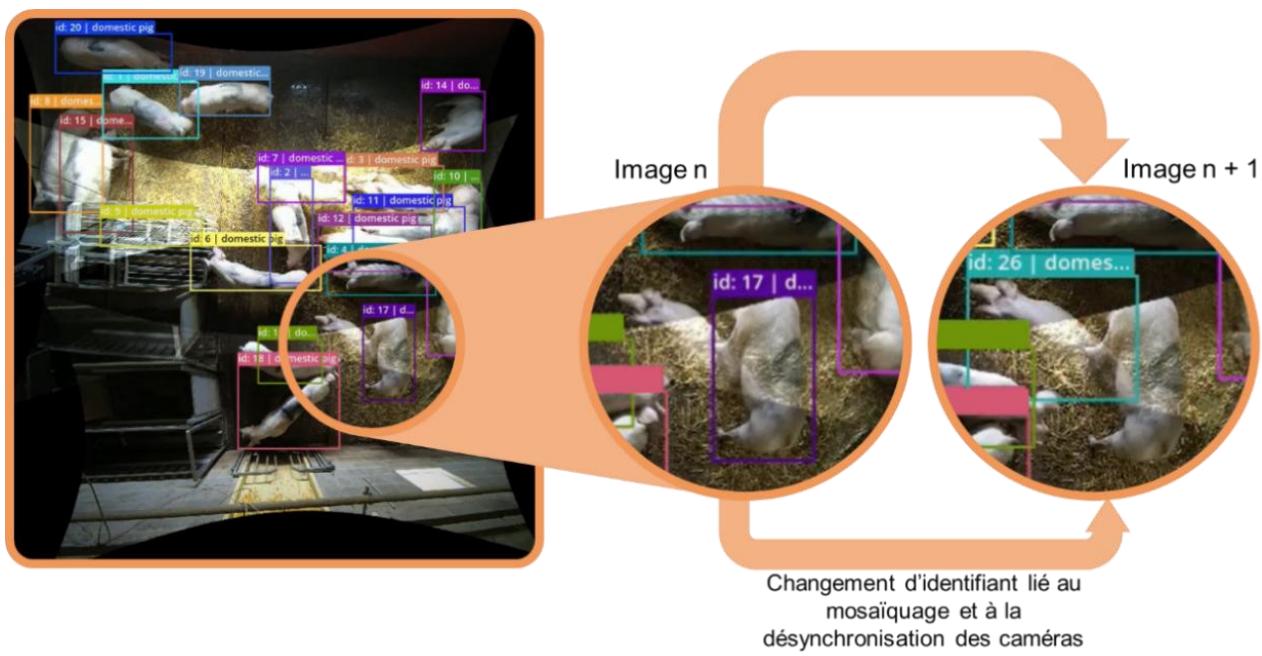


Figure 6 : Exemple de perte d'identification d'une truie par l'algorithme sur les données vidéos

Sur les journées analysées, très peu de truies ont été correctement identifiées et suivies. On compte en moyenne 17 % du temps analysé alloué à des truies correctement identifiées. Seulement, sur le temps analysable par truie à savoir 1 440 min ou 24 h d'analyse par truie, la durée correctement suivie, *i.e.* avec bonne identification des individus, est de 3 % en moyenne (Annexe 5). Enfin, pour les analyses avec une bonne identification, la durée moyenne suivie sur une heure pour le suivi de toutes les truies d'une bande est de 39 min contre 60 min par truie idéalement, soit par exemple 1 140 min pour une heure de suivi concernant la bande_14. Au maximum sur une heure, un individu a été suivi pendant 34 min. Cependant, les truies font face à une forte disparité concernant la durée analysée par individu. Par exemple, pour le jour 16 de bande_14, trois truies représentent 42% de la durée de suivi correct, pour vingt truies suivies.

1.2 Représentation des heures de la journée

L'analyse de l'activité physique à partir des vidéos montre une distribution temporelle inégale : la majorité des observations avec une identification correcte se concentre entre 00h et 10h. Pour les journées où les truies ont été suivies à la fois par accéléromètres et par caméra, une comparaison entre le nombre et la durée des comportements *via* vidéo, d'une part, et l'activité moyenne quotidienne mesurée par les accéléromètres, d'autre part, révèle une correspondance : le pic d'enregistrements vidéo coïncide avec le pic d'activité physique des truies (Figure 7).

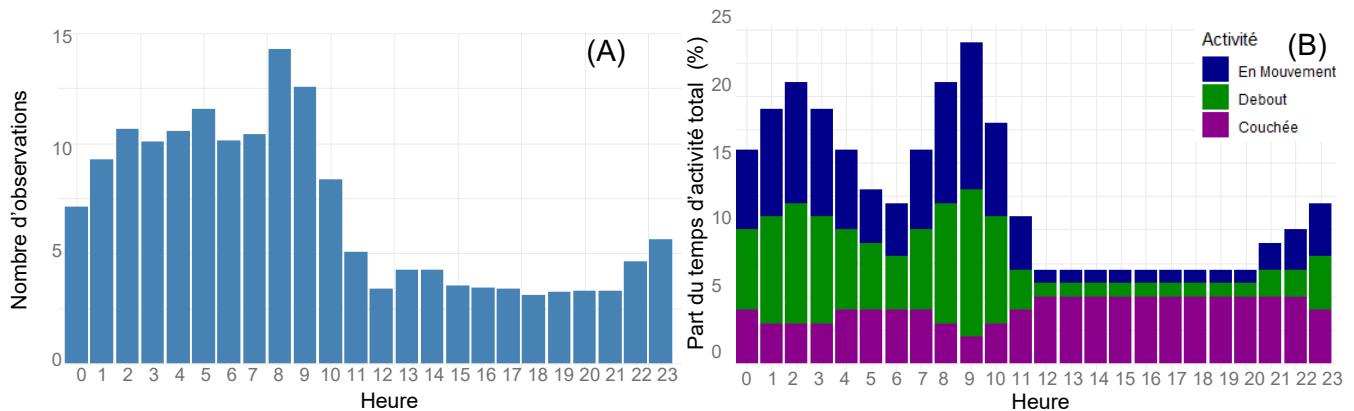


Figure 7 : Comparaison du nombre moyen d'observations avec identification correcte collectées par l'analyse vidéo d'une part (A) et du temps en activité par heure sur le total pratiqué des données accéléromètres (B) d'autre part

Ceci implique que sur tous les jours suivis par vidéo, 72% des heures suivies avec identification sont comprises dans la plage horaire 00h-10h.

1.3 Activité physique à l'échelle individuelle

1.3.1 A l'échelle journalière

A l'échelle de la journée, cela implique une surreprésentation des comportements debout et mouvement, au détriment de l'activité couchée. Les comparaisons suivantes ont été faites sur les jours suivis par les méthodes vidéo et accéléromètre. En moyenne sur les données issues des accéléromètres, la répartition d'une journée est composée de $17 \pm 1\%$ (moyenne \pm écart-type) de temps debout, $6 \pm 2\%$ de temps en mouvement et $77 \pm 2\%$ de temps couchée. A contrario, sur les enregistrements corrects des données vidéos ce ratio se compose de $28 \pm 6\%$ de temps debout, $12 \pm 3\%$ en mouvement et $61 \pm 9\%$ de temps couchée, avec cependant une forte disparité selon les jours analysés. Par exemple pour les truies de bande_14 suivies à la fois par vidéo et accéléromètre au jour 26 de gestation, les ratios sont de 31 % de temps debout, 13 % en mouvement et 55 % couchée pour la vidéo contre 15, 8 et 77 % respectivement pour les données accéléromètre (Annexe 6). A l'échelle de la journée et individuellement, le système de capture et d'analyse vidéo n'est pas fiable.

1.3.2 Comparaison entre les deux méthodes sur des heures et des truies identiques

Cependant, si l'on compare les deux méthodes uniquement sur les heures et les truies suivies à la fois par accéléromètre et vidéo, nous pouvons regarder les performances de l'algorithme pour détecter les comportements. Pour les accéléromètres, les budgets-temps moyens sont de $28 \pm 9\%$ de temps debout, $10 \pm 2\%$ en mouvement et $62 \pm 9\%$ couchée. Ces ratios sont de $28 \pm 6\%$ de temps debout, $12 \pm 3\%$ en mouvement et $61 \pm 9\%$ de temps couchée pour les données vidéos. Ces budgets-temps moyens sont proches, cependant on observe tout de même une certaine disparité entre les jours sur ces ratios (

Tableau 4).

Tableau 4 : Correspondance entre temps enregistré à la fois par accéléromètre et vidéo et part des activités pour les truies suivies à la fois par accéléromètre et vidéo à l'échelle individuelle

Jour	n	Type de données	Temps debout cumulé (min)	Temps en mouvement cumulé (min)	Temps couchée cumulé (min)	Ratio debout (%)	Ratio mouvement (%)	Ratio couchée (%)
Jour 16 - bande_14	13	vidéo accéléromètre	188 1 744	81 912	329 3 938	31 18	13 10	55 72
Jour 26 - bande_14	13	vidéo accéléromètre	241 2 383	103 1 040	345 4 136	35 27	15 12	50 61
Jour 105 – bande_14	7	vidéo accéléromètre	73 1 110	31 456	204 2 089	24 25	10 11	66 63
Jour 16 - bande_15	2	vidéo accéléromètre	25 311	11 83	96 803	19 26	8 7	73 67
Jour 32 - bande_15	2	vidéo accéléromètre	17 380	7 80	35 438	29 43	12 8	59 49

En termes de temps suivi cependant, il manque une certaine partie des heures d'activité des truies (Tableau 4). Avec des budgets-temps similaires entre méthodes, il semble que l'algorithme n'ai pas réussi à utiliser toutes les sorties des caméras mais que, quand il arrive à identifier les truies, il analyse correctement les comportements.

Malgré ceci, le faible temps analysé ne rend pas exploitable le suivi issu des vidéos à l'échelle individuelle. Cependant, il est possible de regarder les budgets-temps à l'échelle du groupe, ce qui supprime le souci de l'identification.

1.4 Activité du groupe au cours de la gestation

Concernant l'activité physique à l'échelle de la bande, seules les mesures de la bande_14 ont permis de comparer les deux méthodes sur les mêmes données car elle comptait suffisamment d'individus enregistrés (Jour 16 et 26 : 13 truies et Jour 105 : 7 truies ; Vidéo : 19 truies suivies). Sans considérer l'identification des individus, la répartition du temps par activité sur ces jours est également proche entre les deux méthodes : en moyenne les vidéos ont des ratios de 16 % de temps debout, 7 % de temps en mouvement et 77 % de temps couchée (accéléromètre : 17 % debout, 7 % en mouvement et 78 % couchée). Il y a peu de variations entre les ratios des jours suivis par vidéo et accéléromètre (Tableau 5).

Tableau 5 : Répartition du temps par activité selon la méthode de prise de mesure pour des activités suivies à l'échelle du groupe

Jour	Ratio debout (%)		Ratio mouvement (%)		Ratio couchée (%)	
	Accéléromètre	Vidéo	Accéléromètre	Vidéo	Accéléromètre	Vidéo
Jour 16 - bande_14	15,1	14,8	7,7	6,4	77,2	78,8
Jour 26 – bande_14	18,9	17,6	7,4	7,6	73,6	74,8
Jour 105 - bande_14	16,6	15,9	6,4	6,8	76,9	77,2

En considérant toutes les données vidéos, les budgets-temps quotidiens affichent peu de variation avec en moyenne 17 ± 1 % de temps debout, 7 ± 1 % de temps en mouvement et 76 ± 2 % de temps couchée. Ce budget-moyen est très proche de celui obtenu par accéléromètres. En considérant les budgets-temps horaires, on constate que le temps en mouvement semble être le mieux estimé par vidéo, contrairement à debout et couchée (Annexe 6). La mauvaise estimation du temps debout ou couchée ne semble pas suivre de schéma particulier, mais on constate que la période 1h-12h, période la plus active de la journée, comporte le plus d'erreurs de suivi (Annexe 7).

En revanche, la durée des suivis à l'échelle du groupe est faible : pour un groupe d'en moyenne 18 individus, l'ensemble des truies feraient 39 ± 37 min d'activité debout, 17 ± 16 min d'activité mouvement et 176 ± 56 min de temps couchée sur une heure. Le total serait de 232 min, soit 13 min d'activité suivie par truie par heure.

A l'échelle du groupe sur la journée, les budgets-temps vidéo sont plus proches des budgets-temps accéléromètre qu'en considérant uniquement les truies correctement identifiées. Cela s'explique par le nombre plus conséquent d'observations à l'échelle du groupe. Ces résultats suggèrent que l'algorithme est performant pour reconnaître les activités pratiquées. Cependant, au regard du temps suivi, on constate que l'algorithme n'analyse qu'une partie de la journée : il « perd » fréquemment l'individu qu'il suit, identifié ou non. Ce comportement se traduit par une durée moyenne de suivi de 1 m et 10 s. Ceci est dû aux traitements des vidéos avant l'analyse par l'algorithme, traitement qui sera discuté dans la partie 4 : Discussion.

2 Activité au cours de la gestation – données accéléromètres

Cette partie est consacrée à l'analyse de l'activité physique sur toute la gestation. Elle vise à caractériser le profil d'activité physique individuel, l'existence de groupes de profils ou les liens entre caractères individuels et activité physique.

2.1 Statistiques descriptives

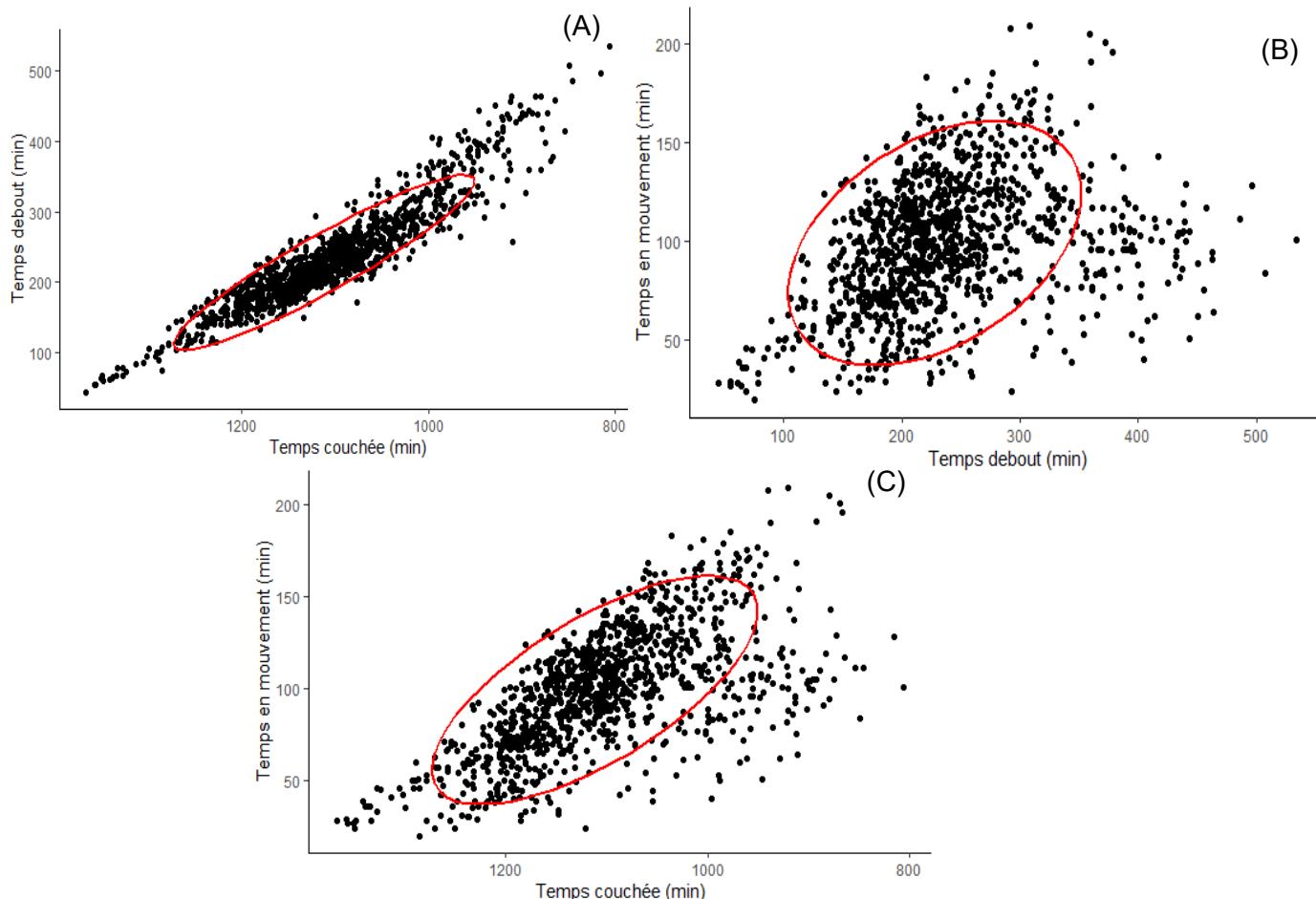
2.1.1 Base de données et lien entre les variables

La base de données comprend 27 173 observations, chacune correspondant à une heure d'activité, réparties sur 1 095 jours enregistrés pour les 16 truies suivies. En moyenne, une truie a été suivie sur 71 jours de gestation, avec un minimum de 30 jours et un maximum de 97 jours (Quartile 1 : 51 ; Médiane : 79 ; Quartile 3 : 92).

Les variables mouvement et couchée présentent des distributions proches de la loi normale :

- mouvement : coefficient d'asymétrie = 0,2 ; aplatissement = 3,0 ;
- couchée : coefficient d'asymétrie = -0,2 ; aplatissement = 3,2,

La variable debout suit également une distribution quasi normale avec cependant une asymétrie à droite impliquant une grande proportion de valeurs extrêmes élevées (coefficient d'asymétrie = 0,8, Aplatissement = 4,1). Une forte corrélation négative de Pearson (corrélation = -0,9, $P\text{-value} < 0,001$) est observée entre les activités debout et couchée (Figure 8). En revanche, la relation négative entre couchée et mouvement semble plus modérée (Figure 8 ; corrélation = -0,7, $P\text{-value} < 0,001$). Une faible corrélation significative a été mise en évidence entre les variables debout et mouvement (Figure 8 ; corrélation = 0,4 ; $P\text{-value} < 0,001$).



Ellipsoïde rouge : zone avec 90 % des observations ; le temps couché est présenté de manière décroissante

Figure 8 : Relation entre les valeurs des variables couchée et debout (A), entre mouvement et debout (B) et entre mouvement et couchée (C)

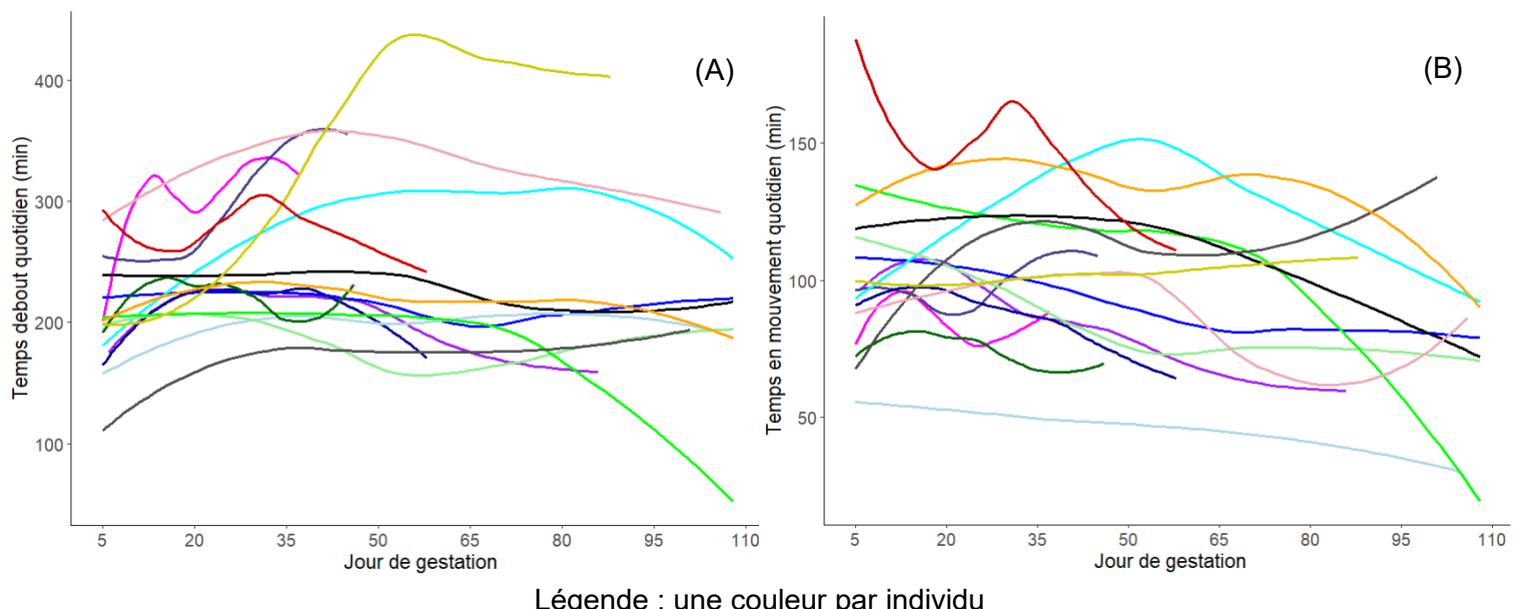
Concernant les phases de gestation (cf Matériel et Méthode 3.4), un premier point d'infexion se trouve entre le jour 40 et 41, et représente la fin de la première phase (Phase 1 : 0 - 41 jours de gestation). Un autre point d'infexion a été identifié entre le jour 58 et 66 mais l'absence de données empêche l'obtention d'un jour plus précis. Cette période a donc été intégrée dans la deuxième phase jusqu'au prochain point d'infexion, au jour 79. La deuxième phase s'étend donc du jour 41 au jour 79, et la troisième phase du jour 80 à la fin de la gestation.

2.1.2 Individu et jour moyen

La truie « moyenne » du jeu de données appartient au groupe de rang de portée P2 (truite gestante de sa deuxième portée) et au groupe H2 (ordre de passage au DAC entre 6 et 13 inclus), avec une IA_ELD de 14 mm et un IA_PV de 207 kg. En termes d'activité quotidienne, une truite passe en moyenne :

- 236 ± 73 min (soit environ 4h) debout,
- 99 ± 33 min en mouvement,
- 1103 ± 91 min (soit environ 18h) couchée.

L'écart-type est important, les truites ont une évolution du temps debout et en mouvement très variable d'un individu à l'autre : les truites possèdent un profil d'activité propre (Figure 9).



Concernant les indicateurs de santé, une truite présente en moyenne un score de bursite égal à 1 tous les 22 jours ; des boiteries ont été observées seulement 43 fois sur huit truites. Les conditions ambiantes étaient relativement stables, avec une température moyenne de 21°C et une humidité moyenne de 75%. Les valeurs maximales observées étaient de 26°C (au 51^{ème} jour) et 84% (au 90^{ème} jour). Les statistiques descriptives des principales variables sont disponibles dans le Tableau 6.

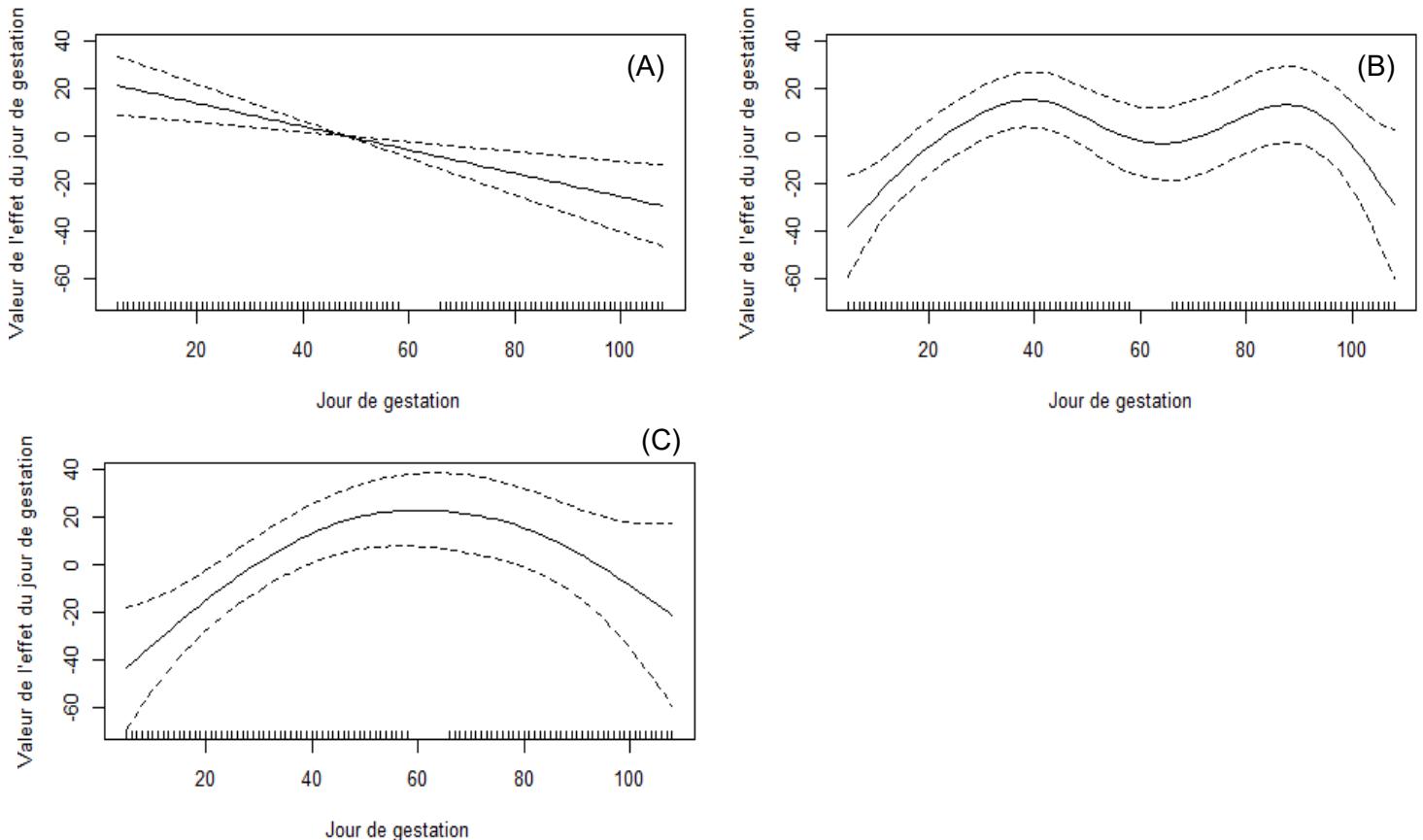
Tableau 6 : Statistiques descriptives (moyenne, médiane, quartile 1 et 3, minimum et maximum) des variables d'activité et des conditions d'ambiance

Général (n = 16)	Variable	Moyenne	Min	Q1	Médiane	Q3	Max	Variable	Répartition	
									Groupes	Effectifs
Activités, min	Debout	236	45	190	224	269	534	Hiérarchie	H1-H2-H3	4-8-4
	Mouvement	99	20	76	99	120	209	Rang de portée	P1-P2-P3	4-6-6
	Couchée	1103	806	1050	1109	1163	1367	Alimentation	AC-AM	9-7
Conditions d'ambiance	Humidité, %	75	52	72	76	78	84			
	Température, °C	21	18	20	20	21	26			
	THI	65	62	63	64	65	73			

2.2 Activité debout au cours de la gestation

Le modèle pour l'activité debout a été choisi car il a un BIC faible (+2 par rapport au BIC le plus faible) et un AIC faible (-3 par rapport à l'AIC du modèle au BIC le plus faible) en intégrant une variable explicative supplémentaire, IA_PV (Annexe 8).

Le jour de gestation a un impact sur le temps passé debout ($P\text{-value} < 0,01$) : la pratique de l'activité debout varie au cours de la gestation. Cette évolution est différente selon le rang de portée ($P\text{-value} < 0,01$). Pour P2 et P3, la relation entre le jour de gestation et le temps passé debout n'est pas linéaire (Figure 10), comme le suggèrent les degrés de libertés effectifs utilisés (P2 : edf = 4,6 ; P3 : edf = 2,5 ; $P\text{-value} < 0,01$), qui sont supérieurs à 1^b. Au contraire, pour les nullipares cette évolution est linéaire (edf = 1,0 ; $P\text{-value} < 0,001$; Figure 10).



Courbes en pointillées : intervalle de confiance à 95 % ; (A) : truies nullipares ; (B) : truies primipares ; (C) : truies multipares.

Figure 10 : Effet du jour de gestation sur le temps debout quotidien au cours de la gestation selon le rang de portée

L'effet de la boiterie est significatif ($P\text{-value} < 0,001$) : une truie boiteuse est debout $39,5 \pm 10,1$ min de moins qu'en étant saine. On constate également un effet significatif de l'IA_ELD sur la durée de l'activité debout ($P\text{-value} < 0,001$) à hauteur de $-14,0 \pm 2,8$ min/mm d'IA_ELD : plus une truie est debout, plus elle est maigre et inversement. Enfin, l'IA_PV impacte le temps debout ($P\text{-value} = 0,014$), son effet est chiffré à $-0,5 \pm 0,2$ min/ kg. Ces résultats sont regroupés

^b edf : degrés de liberté effectifs, indiquent la complexité de la courbe. Un edf = 1 correspond à une relation linéaire, plus l'edf est grand, plus la courbe est complexe (Centre de la science de la biodiversité du Quebec 2023).

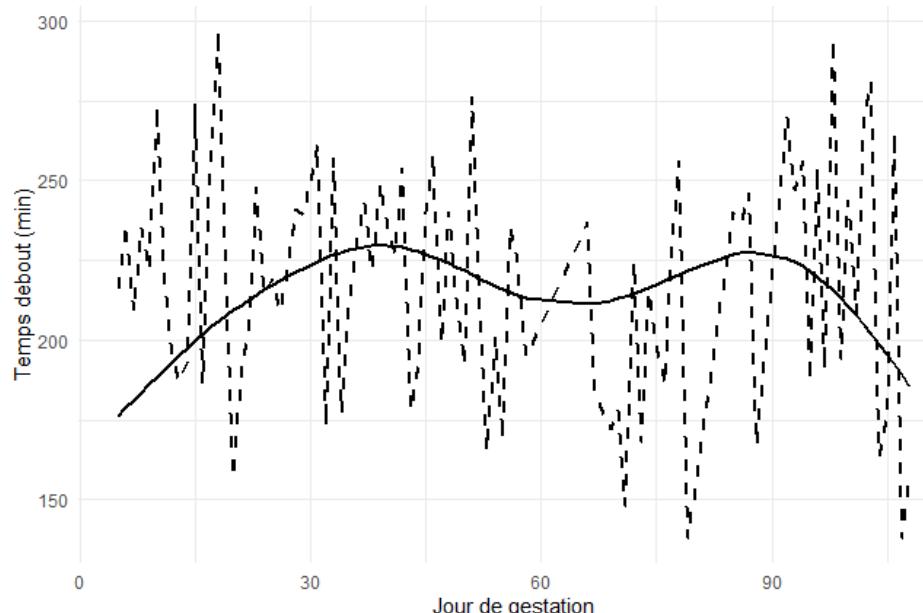
dans le Tableau 7 présenté ci-dessous. L'ensemble de ces effets fixes et de l'effet lissé du jour de gestation expliquent 37% de la variation du temps debout au cours de la gestation (R^2 de la partie GAM = 0,37), sans prendre en compte les effets aléatoires.

Tableau 7 : Description du modèle Debout retenu

Légende : $P\text{-value} < 0,001 = \text{****}$; $P\text{-value} < 0,01 = \text{***}$; $P\text{-value} < 0,05 = \text{**}$; $P\text{-value} < 0,1 = \text{*}$; $P\text{-value} > 0,01 = \text{.}$; IA_ELD : Epaisseur de lard dorsal à l'insémination ; IA_PV : Poids à l'insémination ; Boiterie_1 : individu boiteux ; P1 : nullipare, P2 : primipare, P3 : multipare.

Variable	Forme ou valeur	Erreur-type	edf	P-value	AIC	BIC
Modèle Debout (Maximum de vraisemblance)						11 843,81 11 927,42
Intercept	337,7	50,9		***		
Jour						
P1	Spline selon le rang de portée		1,00	***		
P2			4,7	**		
P3			2,5	**		
IA_ELD	-14,0	2,8		***		
IA_PV	0,5	0,2		*		
Boiterie_1	-39,5	10,1		***		

Un exemple de prédictions du modèle par rapport aux données réelles est présenté ci-dessous en Figure 11. Quand il est utilisé sur des truies n'ayant pas servi à sa calibration, le modèle estime un intercept individuel correct avec environ dix observations.



Légende : Courbe pointillée : données réelles ; Courbe pleine : prédictions du modèle Debout. La truie représentée est la même que celle présenté en Figure 12.

Figure 11 : Prédictions du Modèle Debout par rapport aux données réelles pour une truie primipare

Selon l'analyse des résidus, les hypothèses du modèle sont vérifiées. A noter qu'ils renvoient une hétéroscédasticité faible restante et leur distribution est quasi normale (Annexe 9).

2.3 Activité en mouvement au cours de la gestation

Le modèle pour représenter le temps en mouvement a été choisi car il a un BIC faible (+ 3 points par rapport au modèle au BIC le plus faible) et un AIC faible également (-2 points par rapport au modèle au BIC le plus faible) en intégrant une variable explicative supplémentaire, le type d'alimentation (Annexe 10).

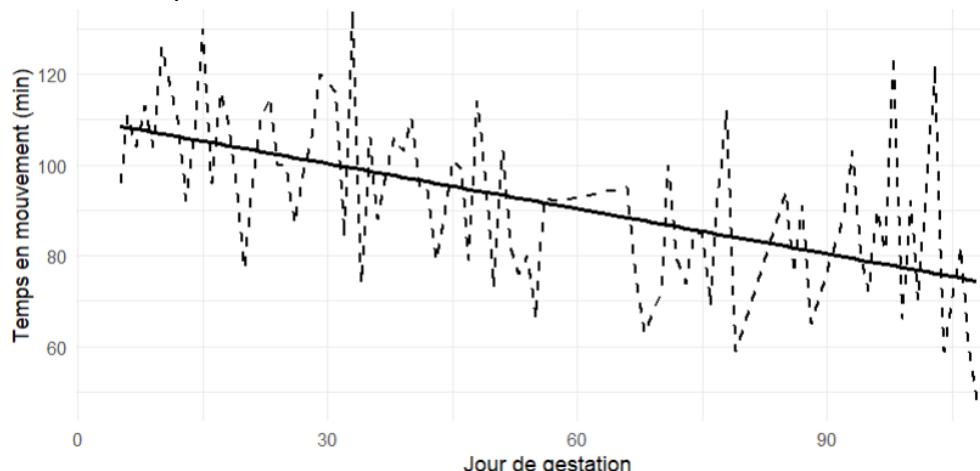
Le jour de gestation a un effet linéaire pour tous les rangs de portée ($P < 0,001$). Son effet a été testé sous la forme d'une fonction lissée selon le rang de portée, identique au modèle Debout, mais son effet étant linéaire pour deux rangs de portée ($edf = 1,0$; $P1, P < 0,001$ et $P3, P = 0,05$) et proche de la linéarité pour le dernier rang de portée ($P2, edf = 1,5$ et $P-value < 0,001$) il a été décidé de le simplifier en effet fixe. Le jour de gestation a un effet sur le temps en mouvement quotidien à hauteur de $-0,3 \pm 0,04$ min/j ($P < 0,001$). Le type d'alimentation a un impact sur le temps en mouvement : une truie avec une alimentation sur-mesure est en mouvement $22,9 \pm 10,6$ min/j de plus en comparaison avec une truie avec une alimentation conventionnelle ($P = 0,03$). Une truie boiteuse marche moins qu'une truie saine, à hauteur de $-22,5 \pm 4,5$ min/jour ($P-value < 0,001$). Ces effets seuls expliquent la variation du temps en mouvement à hauteur de 23 % (R^2 de la partie GAM = 0,23). Un récapitulatif des effets de ce modèle est proposé ci-dessous (Tableau 8).

Tableau 8 : Description du modèle Mouvement

Légende : $P-value < 0,001 = ^{***}$; $P-value < 0,01 = ^{**}$; $P-value < 0,05 = ^{*}$; $P-value < 0,1 = ^{.}$; $P-value > 0,01 = ^{..}$; Alim_AM : truies recevant une alimentation sur mesure ; Boiterie_1 : individu boiteux

Variable	Forme ou valeur	Erreur-type	P-value	AIC	BIC
Modèle Mouvement (Maximum de vraisemblance)					
Intercept	102,5	7,2	< 2E-16	10 065,22	10 140,79
Jour	-0,3	0,04	< 2E-16		
Alim_AM	22,9	10,6	0,03		
Boiterie_1	-22,5	4,5	7,99E-07		

Un exemple de prédiction du modèle Mouvement comparé aux données réelles est proposé en Figure 12. De même que le modèle Debout, il estime correctement les intercepts individuels des truies écartées à partir de 10 observations.



Légende : Courbe pointillée : données réelles ; Courbe pleine : prédictions du modèle Mouvement. La truie représentée est la même que celle présenté en Figure 11.

Figure 12 : Prédiction du Modèle Mouvement par rapport aux données réelles

L'analyse des résidus permet de valider les hypothèses du modèle, avec toutefois des queues pour la distribution des résidus plus longues qu'une distribution normale (Annexe 11).

3 Clustering par k-moyennes

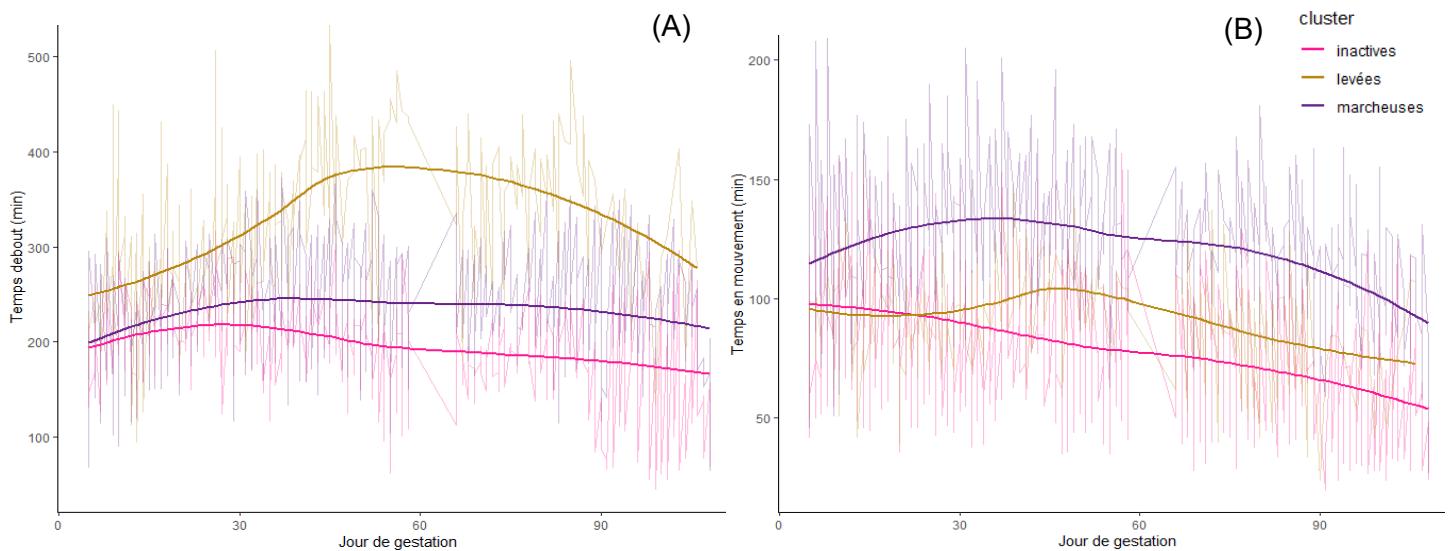
3.1 Nombre de clusters optimal

Le nombre de cluster optimal a été testé pour $k \in [2:4]$. Les indices n'ont pas tous convergé vers un k unique, mais les indices de Ray-Turi, BIC et Davies-Bouldin ont tous indiqué $k=3$ comme étant un nombre de clusters correct (Annexe 12). Cependant, l'indice de Calinski-Harabasz est maximisé à $k = 2$. Il a été décidé de conserver $k = 3$, trois clusters nommés « inactives », « marcheuses » et « levées ». L'existence de ces trois clusters suggère donc qu'il existe des profils d'activité communs entre les individus.

3.2 Différences d'activité selon les clusters

On dénombre sept individus dans le cluster « inactives » avec en moyenne 71 jours suivis par truie, cinq dans le cluster « marcheuses » pour une moyenne de 81 jours suivis et quatre pour le groupe « levées » avec une moyenne de 59 jours suivis par truie. Les truies du cluster « levées » sont debout en moyenne 315 min et en mouvement 93 min, le cluster « marcheuses » est debout en moyenne 234 min et en mouvement 124 min et le cluster « inactives » est debout en moyenne 202 min et en mouvement 82 min. Ces moyennes sont significativement différentes (debout : $P\text{-value} = 0,007$; mouvement : $P\text{-value} = 0,007$). Pour le temps debout, les clusters « inactives » et « levées » sont les seuls ayant une différence significative ($P\text{-value} = 0,005$). Les autres clusters ne sont pas différents (« inactives »-« marcheuses » : $P\text{-value} = 0,73$; « marcheuses »-« levées » : $P\text{-value} = 0,17$). Pour le temps en mouvement, le cluster « marcheuses » est significativement différent des « inactives » et affiche une tendance différente par rapport aux « levées » (« inactives »-« marcheuses » : $P\text{-value} = 0,007$; « levées »-« marcheuses » : $P\text{-value} = 0,07$). Le duo restant n'affiche aucune différence, possiblement à cause d'un problème de convergence (« inactives »-« levées » : $P\text{-value} = 1$). Ces différences suggèrent une différenciation des clusters réussie par la méthode k-moyennes compte-tenu du faible effectif. Les « levées » sont en moyenne plus longtemps debout, les « marcheuses » sont plus en mouvement et les « inactives » les moins debout et en mouvement. Les trajectoires moyennes des clusters sont visibles sur la Figure 13.

Les écarts-types quotidiens moyens des clusters sont également différents ($P\text{-value} = 0,03$). Pour la variable debout, le cluster « levées » (écart-type = 72 min) est significativement différent des « inactives » (écart-type = 41 min) et montre une tendance différente par rapport aux « marcheuses » (écart-type : 40 min) (« levées »-« inactives » : $P\text{-value} = 0,04$; « levées »-« marcheuses » : $P\text{-value} = 0,06$). Le couple « inactives »-« marcheuses » n'affiche aucune différence ($P\text{-value} = 1$). Pour l'écart-type quotidien du temps en mouvement, il n'y a aucune différence entre les clusters ($P\text{-value} = 0,11$). L'écart-type du temps en mouvement des truies « inactives » vaut 21 min, celui des truies « levées » 19 min et celui des « marcheuses » 27 min.



Légende : trait transparent : moyennes brutes ; trait plein : moyennes lissées

Figure 13 : Temps quotidien moyen debout (A) et en mouvement (B) selon le cluster

3.3 Différences de caractéristiques des clusters

3.3.1 Hiérarchie

Il n'y a pas de différence significative entre les clusters « levées » et « inactives » sur les groupes de hiérarchie, de même pour les clusters « levées » et « marcheuses » (« inactives »-« levées » : $P\text{-value} = 0,48$; « levées-marcheuses » : $P\text{-value} = 0,71$). En revanche, on constate une tendance différente entre les clusters « inactives » et « marcheuses », ayant un groupe de hiérarchie moyen de 2,4 et 1,4 respectivement ($P\text{-value} = 0,053$).

3.3.2 Rang de portée

Pour les groupes de rang de portée, on observe une tendance entre les clusters ($P\text{-value} = 0,07$). Entre les clusters « levées » et « inactives », une tendance est trouvée, avec un rang de portée moyen de 2,8 contre 1,6 respectivement ($P\text{-value} = 0,06$) ; entre les clusters « levées » et « marcheuses » (moyenne = 2,4), il n'y a aucune différence ($P\text{-value} = 1$) et de même pour le duo « inactives » et marcheuses » ($P\text{-value} = 0,12$).

3.3.3 Alimentation

Pour l'alimentation, on observe une tendance entre les clusters ($P\text{-value} = 0,07$). Dans le détail, il y a une différence significative entre les clusters « levées » et « marcheuses » : le cluster « levées » contient uniquement des truies alim_AC et « marcheuses » une majorité d'Alim_AM, à savoir quatre truies sur cinq ($P\text{-value} = 0,048$). Aucune différence n'est trouvée entre le duo « levées »-« inactives » et « inactives »-« marcheuses » (« levées »-« inactives » : $P\text{-value} = 0,24$ et « inactives »-« marcheuses » : $P\text{-value} = 0,29$).

3.3.4 ELD

Pour l'ELD à l'insémination, les groupes montrent des tendances différentes ($P\text{-value} = 0,02$). Le duo « inactives »-« levées » est le seul avec une différence significative, avec des

moyennes de respectivement 15,7mm et 11,5mm (*P-value* = 0,02). Les deux duos restants, avec comme moyenne 14 mm pour « marcheuses », n'affichent aucune différence statistique (« inactives »-« marcheuses » : *P-value* = 0,44 ; « marcheuses »-« levées » : *P-value* = 0,56).

3.3.5 Poids

Enfin, pour le poids à l'insémination, les clusters affichent des différences significatives (*P-value* = 0,03). Les paires « inactives »-« marcheuses » et « inactives »-« levées » affichent des tendances différentes, avec des moyennes de 177 kg, 230 kg et 224 kg respectivement pour « inactives », « marcheuses » et « levées » (« inactives »-« marcheuses » : *P-value* = 0,08 ; « inactives »-« levées » : *P-value* = 0,06). Entre « marcheuses » et « levées », aucune différence n'est à noter (*P-value* = 1).

Le Tableau 9 récapitule les caractéristiques de chaque cluster. Un récapitulatif par individu est disponible en Annexe 13.

Tableau 9 : Valeurs moyennes des variables par cluster

IA_ELD : épaisseur de lard dorsal à l'insémination ; IA_PV : poids à l'insémination ; AP : alimentation sur-mesure ; AC : alimentation conventionnelle

Cluster	Temps debout quotidien et écart-type (min)	Temps en mouvement quotidien et écart-type (min)	Groupe de rang de portée	IA_ELD (mm)	Nombre d'individus par alimentation	IA_PV (kg)	Groupe hiérarchique
« Inactives »	202 ± 41	82 ± 21	1,6	15,7	AP : 3 - AC : 4	177	2,4
« Marcheuses »	234 ± 40	124 ± 27	2,4	14,0	AP : 4 - AC : 1	230	1,4
« Levées »	315 ± 72	93 ± 19	2,8	11,5	AP : 0 - AC : 4	224	2

4 Activité au sein de la journée – données accéléromètres

L'objectif de cette partie est d'analyser l'activité intra-journalière en fonction notamment de la hiérarchie du groupe. En moyenne, 93 % de l'activité physique quotidienne est fait de 21 h à 12h, faisant écho à l'heure d'ouverture du DAC (00 h) et la distribution de paille (8 h à 10 h environ). Visuellement, les rangs hiérarchiques ont des trajectoires moyennes différentes, indiquant que l'activité physique intra-journalière peut être influencée par celle-ci (Figure 14).

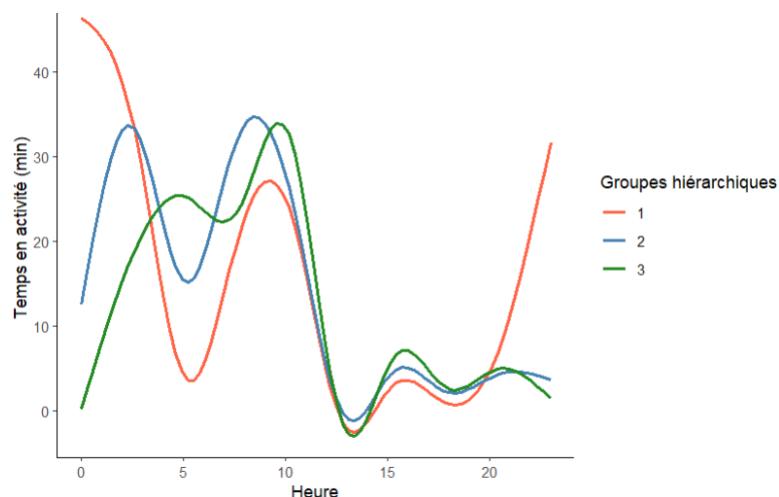


Figure 14 : Temps d'activité physique quotidien moyen par heure selon le rang hiérarchique

4.1 Évènement ordonné : plage horaire DAC

4.1.1 Heure de début de pic

L'heure moyenne de début de pic est différente selon les groupes hiérarchiques (*P-value* = 0,005). Elle diffère significativement entre le groupe H1 (dominantes, heure de début moyenne = 23 h 51) et H3 (dominées, heure de début moyenne = 3 h 9) (*P-value* = 0,003). Pour les deux duos restants, aucune différence a été mise en évidence avec H2 ayant une heure de début moyenne à 1 h 46 (H1 – H2 : *P-value* = 0,18 ; H2-H3 : *P-value* = 0,18).

4.1.2 Durée et intensité

Il n'y a aucune différence en termes de durée de pic (*P-value* = 0,27). Les pics du groupe H1 durent en moyenne 3 h 32, ceux de H2 2 h 35 et ceux de H3 2 h 29. Les groupes sont également identiques sur l'intensité moyenne des pics (*P-value* = 0,12) avec comme valeur moyenne 39, 34 et 31 min/h pour H1, H2 et H3 respectivement.

4.2 Évènement libre : plage horaire paille

L'heure moyenne de début de pic est identique selon les rangs hiérarchiques (*P-value* = 0,99) avec l'heure moyenne de début valant : 8h16 pour H1 et H2 et 8h25 pour H3. De même, l'intensité et la durée moyenne des pics ne sont pas différents selon le rang de portée (intensité : *P-value* = 0,68 ; durée : *P-value* = 0,32). L'intensité et la durée moyenne des pics du groupe H1 valent 103 min/h pour une durée de 2 h 44 ; celles du groupe H2 valent 102 min/h pour 2 h 48 et celles du groupe H3 111 min/h pour 3 h.

Il ressort donc que la hiérarchie ne semble pas influer les évènements libres. Pour les évènements ordonnées, seule l'heure de début de pic change de façon significative selon la hiérarchie.

5 Impact de l'activité physique individualisée sur les besoins énergétiques

L'intégration de l'activité physique individuelle et journalière modifie significativement les apports énergétiques comparés à la stratégie initiale (*P-value* < 0,001). En moyenne et à l'échelle de la gestation, ce sont 28 kg supplémentaires d'aliment par truie pour la stratégie lente et 41 kg dans le cas d'un mouvement rapide. En moyenne, cela équivaut à 250 g/j pour la vitesse lente et 360 g pour la vitesse rapide, ce qui est supérieur au seuil de tolérance des DAC qui est de 50 g. Cependant, en accord avec la variation inter-individuelle du niveau d'activité, les besoins supplémentaires sont variables, allant de 60 g/j à 420 g/j pour l'apport supplémentaire maximum (Figure 15).

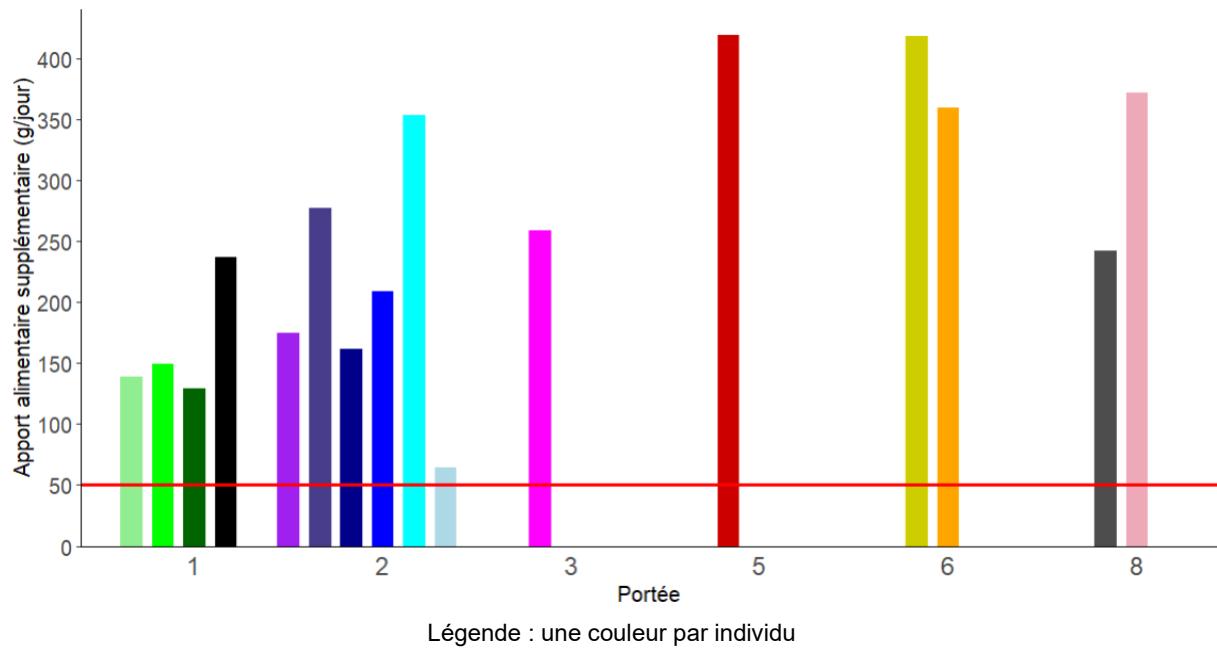


Figure 15 : Apports alimentaires quotidiens individuels supplémentaire avec une stratégie lente comparée à la valeur moyenne d'activité physique de quatre heures debout pour l'ensemble des truies.

PARTIE 4 : Discussion et propositions

La partie suivante remettra en perspective les résultats obtenus par rapport à l'activité physique estimée dans les modèles nutritionnels. En suivant, nous aborderons l'utilisation de nos résultats puis les contraintes rencontrées au cours de cette étude. Nous discuterons ensuite les besoins énergétiques estimés dans cette étude puis nous proposerons certains axes de recherche à considérer pour une modélisation de l'activité physique généralisable.

1 L'activité physique varie au cours de la gestation

1.1 Moyenne d'activité et variabilité

Les truies étudiées dans ce mémoire passaient en moyenne 236 ± 73 min debout, 99 ± 33 min en mouvement, et 1103 ± 91 min couchées, soit un budget-temps de 16 % debout, 7 % en mouvement (23% d'activité physique) et 77 % couchées. Précédemment, un suivi de l'activité physique de truies gestantes en groupe dynamique *via* des accéléromètres a indiqué que les truies passaient 18 % de leur temps debout et 5% en mouvement, ce qui est très proche de nos résultats (Quiniou, Marcon 2019). Des porcs en groupe statique de cinq individus, de la croissance à la finition, ont montré une part d'activité physique (mouvement et debout compris) de 18 % en moyenne, ce qui est également proche (Gonyou, Chapple, Frank 1992). Enfin, nos résultats sont semblables à ceux obtenus par Nielsen, Lawrence et Whittemore (1995) qui rapportent en moyenne 24% du temps consacré à de l'activité physique pour des porcs en croissance, sans distinction selon la taille du groupe statique (5, 10, 15 ou 20 individus).

Cependant, cette présente étude a observé une grande variabilité entre les truies dans la quantité d'activité physique pratiquée, comme le montre les écart-types des moyennes. Ceci s'observe également dans d'autres études, relatant une forte variabilité entre les truies suivies (Ramonet, Bertin 2015; Noblet, Shi, Dubois 1994). Une autre étude portant sur la distance parcourue quotidiennement sur des porcs en croissance constate une forte variabilité entre les individus (Kapun, Adrion, Gallmann 2023). Cette étude constate également une forte variabilité intra-individu, *i.e.* la distance parcourue par un même porc varie considérablement d'un jour à l'autre, ce qui est le cas dans notre étude (Kapun, Adrion, Gallmann 2023). Ces différences impliquent l'existence de différents profils d'activité physique selon les individus, contrairement au profil unique pris en compte dans les modèles nutritionnels actuels.

1.2 Effet de l'avancée de la gestation sur l'activité physique

A notre connaissance, aucune étude ne traite de l'évolution de l'activité physique au cours de la gestation chez les truies. L'étude d'Anil et al. (2002) sur des truies gestantes en groupe conclue à une augmentation de la proportion de temps passé debout entre le jour de l'entrée en logement groupé et deux semaines après l'entrée pour les nouvelles truies. Ceci s'accorderait avec l'évolution du temps debout des truies des groupes P2 et P3, mais le rang de portée des truies suivies n'est pas mentionné dans l'étude. Cette augmentation de l'activité physique pourrait être due à l'instauration de la hiérarchie au sein du groupe. Pour les porcs en engrangement, il semble que l'activité soit décroissante avec le temps passé en engrangement (Kapun, Adrion, Gallmann 2023). Dans l'étude de Street et Gonyou (2008), la proportion de temps debout diminue de 5 % entre la première semaine et la huitième semaine d'engrangement. Nous retrouvons dans notre étude une décroissance générale de l'activité physique, mais l'activité debout n'est pas strictement décroissante pour certains rangs de portée. L'effet du jour de gestation, bien que faible ($-0,3 \pm 0,04$ min/j), s'additionne pour impacter considérablement l'activité physique (-30 min en mouvement au jour 100). Ainsi, l'estimation utilisée actuellement ne représente pas l'activité variable dans le temps.

1.3 Impact des caractéristiques des truies sur l'activité physique prédictive

Dans notre étude, le rang de portée influence considérablement le temps debout. Ce résultat n'est pas toujours retrouvé dans la littérature. Clarke et al. (2018) n'ont trouvé aucun effet du rang de portée sur le budget-temps des truies, cependant les observations utilisées sont courtes (vidéo d'une min/animal) ce qui pourrait expliquer ce résultat. Ramonet et Bertin (2015) ont trouvé un effet du rang de portée dans deux élevages sur six observés, ces deux élevages semblant très différents (groupe statique contre dynamique, 84 m² contre 285, 36 truies contre 115). L'effet du rang de portée ne semble donc pas certain. Il se pourrait également que l'effet des conditions de logements contrebalance celui du rang de portée, masquant celui-ci.

Nous avons également constaté un lien entre IA_ELD et IA_PV et activité physique. Nous expliquons le lien entre IA_ELD et activité par le fait que l'épaisseur de lard dorsal pourrait être une conséquence de l'activité physique : une truie très active ne reçoit pas assez d'énergie et la puise dans ses réserves, résultant en une condition physique moins bonne. Cependant, notre modèle manque d'individus pour pouvoir généraliser ces résultats, e.g. un seul individu d'IA_ELD 10, 11, 16 ou 20 mm, et une analyse avec d'autres IA_ELD pourrait l'affiner. Aucune étude ne porte sur le lien entre le poids à l'insémination et l'activité physique. Cependant, nous avons utilisé le poids à l'insémination comme effet fixe pour prédire le temps debout. Or, le poids est lié au rang de portée : une cochette est plus légère qu'une truie multipare. L'effet de l'IA_PV est donc potentiellement redondant avec celui du rang de portée.

Enfin, la santé des membres impacte l'activité physique : la boiterie a un effet sur le temps en mouvement et nous retrouvons ces résultats dans la littérature : une truie boiteuse passe plus de temps couchée qu'une truie saine (Ala-Kurikka et al. 2017). Cependant leurs résultats ne sont pas quantifiés, nous estimons son effet à – 39,5 min/jour de boiterie pour le temps debout et – 22,5 min/jour de boiterie pour le temps en mouvement.

1.4 Classification des profils d'activité individuels

L'analyse par cluster avait pour but de regrouper les individus selon leur profil d'activité pour déterminer si des caractéristiques propres à chaque groupe pourraient être utilisées pour attribuer une valeur d'activité physique à une truie non suivie individuellement. A notre connaissance, la seule étude à avoir fait des classes par classification ascendante hiérarchique selon l'activité physique est celle de Marcon et al. (2020). Celle-ci observait le temps en activité et le temps couché ainsi que le nombre de changement de positions. Ils ont obtenu cinq classes de comportements, avec deux dont le rang de portée moyen était significativement différent des autres (Marcon, Quiniou, et al. 2020). Le groupe des truies plus jeunes changeait plus souvent de position et le groupe des plus vieilles truies changeait moins souvent (Marcon, Quiniou, et al. 2020). Également, trois groupes de truies ayant des temps d'activité moyens significativement supérieurs ou inférieurs aux autres ont été trouvés, sans lien avec les caractéristiques des truies (Marcon, Quiniou, et al. 2020). Nous avons trouvé des résultats différents de ceux-ci, mais nous pensons que notre effectif était trop faible pour pouvoir représenter toutes les classes d'activité physique. Compte-tenu de la variabilité entre les individus, il serait nécessaire d'avoir un échantillon plus grand pour mieux spécifier les clusters à considérer.

2 L'activité physique intra-journalière est dépendante de facteurs externes

Les pics d'activités apparaissaient après l'ouverture des DAC et après la distribution de paille, résultats que l'on retrouve dans la littérature. Nielsen, Lawrence et Whittemore (1995) reportaient une hausse soudaine de l'activité juste après la distribution de paille et Fraser et al. (1991) constataient que les cochons étaient plus actifs quand la paille était fraîche. Une étude réalisée également à l'UE3P (cf Matériels et Méthodes 1.1) constatait une plus forte activité après l'ouverture du DAC à minuit (Durand et al. 2023).

Les pics d'activité de la période DAC correspondaient aux horaires d'accès du DAC en fonction de la hiérarchie, et non simplement à l'horaire d'ouverture du DAC : le DAC s'ouvre à 00 h mais les truies H3 commencent à être actives à 3 h en moyenne au contraire des H1 qui commencent à 00 h. Le fait d'établir cette différence témoigne du fait que le rang hiérarchique est stable et respecté entre les truies dominantes et dominées, ce point étant décrit dans la littérature (Durand et al. 2023). Dans notre étude, la non-significativité des différences entre les pics d'activité H1, H3 et H2 pourrait être dû au faible nombre d'individus dans notre étude, de même pour les tests sur l'intensité et la durée des pics. L'absence de différences significatives est également due à l'unité de mesure utilisée : un pas de temps d'une minute aurait été préférable à l'heure.

L'heure approximative de la distribution de paille coïncide avec les pics observés pendant l'horaire paille, ceci peu importe la hiérarchie. L'absence de différences entre rangs hiérarchiques sur l'heure de début, contrairement à l'ouverture du DAC, semble confirmer l'hypothèse formulée précédemment (cf. Matériels et Méthodes 4.5). Cependant, nos résultats sont à pondérer compte-tenu des problèmes d'effectif et d'unité. L'unité utilisée (h) est peut-être trop large pour pouvoir affirmer des différences entre les groupes sur la durée du pic. L'intensité a pu également être impactée par ce paramètre. Il n'a pas été possible de comparer les deux types d'événements, ordonnée ou libre, sur l'intensité ou sur la durée des pics, les deux ressources étant différentes (paille ou concentré). Pour ceci, il faudrait mettre en place deux types d'évènement avec la même ressource, e.g. avec une distribution de granulé en DAC et une distribution sans contrainte de quantité et sans limite d'accès.

3 Généralisation de nos résultats

En dehors de l'effet de la taille d'échantillon qui impacte la généralisation de nos résultats, point qui sera discuté ci-dessous, ceux-ci doivent être considérés dans le cadre de notre expérimentation. En effet, les conditions de logement influencent considérablement l'activité physique, réduisant la portée de nos résultats. L'apport de paille dans les enclos impacte l'activité physique des truies suivies. L'étude de Morgan et al. (1998) rapportent un plus grand temps passé debout (+4 %) mais aussi un plus grand temps couché en dehors de leur abri. Également, Guy et al. (2002) indiquant que les groupes évoluant sur des surfaces paillées étaient plus souvent en activité (+2,3 % en mouvement, + 10% debout) et moins souvent couchés que les groupes en caillebotis intégral. Il semble que la forme de l'enclos n'a pas d'influence sur l'activité physique mais l'espace disponible pour chaque individu l'influence : une plus forte densité est associée à une activité physique accrue (Wiegand, Gonyou, Curtis 1994). Cependant, le nombre d'individu au m^2 n'a pas d'effet sur l'activité physique selon d'autres études qui incluaient différentes densités et différentes tailles de groupe (Spicer, Aherne 1987; Street, Gonyou 2008). A densité égale, la taille du groupe ne semble pas avoir d'impact sur l'activité physique (Nielsen, Lawrence, Whittemore 1995). Cependant, la structure du groupe, i.e. statique ou dynamique, a un effet sur l'activité physique (Durrell et al. 2002).

Dans cette étude, les truies en groupe dynamique passaient plus de temps debout (+17 %) et plus de temps en mouvement (+2 %). Cependant, ces chiffres représentent uniquement les cinq premières semaines de la période de logement en groupe. A notre connaissance, aucune étude ne compare l'activité physique en groupe statique ou dynamique sur l'entièreté de la gestation. Une autre étude comparant le temps debout de truies en gestation de différents élevages trouve un effet de l'élevage (Ramonet, Bertin 2015). Les enclos étaient tous en caillebotis intégral, avec comme différences la dimension des cases, le type et la taille des groupes et le type de DAC utilisé, impliquant que les conditions de logement influencent l'activité physique (Ramonet, Bertin 2015). Ainsi, nos résultats ne peuvent pas être généralisés à d'autres types de groupes ou de logements mais indiquent que ces facteurs influencent l'activité physique des truies.

4 Les défis rencontrés pour le suivi automatique de l'activité physique de nos deux méthodes

4.1 Echantillonnage

La petite taille d'échantillon dans notre étude a diminué la puissance des tests et de la modélisation (risques de faux-positifs et faux-négatifs). Pour cette raison, nous ne pouvons pas conclure au non-effet des variables exclues de nos modèles, *e.g.* le rang hiérarchique. De plus, cette taille réduite couplé à la forte variabilité inter-individu rend très probable le surajustement des modèles sur nos données. Par exemple, le « creux » entre le jour 50 et 70 dans la courbe de l'évolution de l'effet du jour de gestation pour les truies P2 est potentiellement un surajustement à nos données. Nous avons des données manquantes du jour 59 à 65 et certaines mesures précédentes et suivantes sont basses^c ce qui a probablement contribué à cet effet de « creux ». Pour les tests effectués sur les clusters par exemple, il est probable qu'un grand nombre de résultats non-significatifs soit causés par la taille d'échantillon.

4.2 Précision des accéléromètres

Nous avons considéré les accéléromètres comme fiables, cependant les évaluations de ces appareils sont plus nuancées. Durant les essais de Quiniou et Marcon (2019) et ceux de Ramonet et Bertin (2015) sur des truies en caillebotis intégral, ces appareils avaient une sensibilité, *i.e.* la probabilité que le capteur renvoie le comportement réellement effectué par l'animal, de plus de 90 % pour debout, mouvement et couchée. La spécificité, *i.e.* la capacité du capteur à ne pas détecter un comportement non-pratiqué par l'animal, et l'exactitude, *i.e.* le pourcentage de bonnes réponses du capteur sur le total des réponses, étaient de plus de 96 % pour ces trois activités (Quiniou, Marcon 2019; Ramonet, Bertin 2015). Cependant, Marcon *et al.* (2017) sur caillebotis intégral reportent une sensibilité de 94 % pour couchée et respectivement 67 et 68 % pour debout et mouvement. La spécificité du temps couchée est de 83% et de plus de 93 % pour les deux derniers comportements, pour une exactitude générale de 84 % (Marcon *et al.* 2017). Cette étude indique que l'accéléromètre ne détecte pas tout le temps debout et le temps en mouvement passés par l'animal, ce qui impacte

^c : L'activité physique est très variable d'un jour à l'autre, résultant en des jours à forte activité suivis de jours à faible activité. Compte-tenu de notre faible effectif, chaque point a un poids élevé sur les paramètres du modèle. Si, après ou avant la période sans données, les mesures prises sont des jours à faible activité, le modèle interprétera cette période comme moins active que les précédentes bien que cela ne soit pas forcément le cas.

fortement l'estimation des dépenses énergétiques des truies. Enfin, l'essai de Marcon *et al.* (2020) sur des truies en aire paillée donnent des résultats similaires pour l'activité couchée mais moins bons pour debout avec une sensibilité de 68 % et une spécificité de 76 % ; l'activité mouvement est également moins bien suivie, avec des valeurs de spécificité de 41 % et de 78 % pour la spécificité. Ces résultats s'expliqueraient par la présence de la paille dans la salle (investigations, mouvements de têtes) (Marcon, Quiniou, et al. 2020). Ainsi, nous pouvons considérer qu'une certaine partie des comportements réellement pratiqués, particulièrement pour le mouvement, ne sont pas détecté ou mal identifiés lorsque l'on s'éloigne des conditions dans lesquel les accéléromètres ont été calibrés. Les estimations d'activité et des besoins énergétiques ne sont donc pas totalement fiables sur sol en béton paillé, mais sont jugées satisfaisantes.

4.3 Le traitement des images a impacté le suivi des truies par caméra

Le suivi individuel des animaux automatiquement par caméra est limité par la superposition spatiale des caméras et la synchronisation temporelle.

Il y a peu d'études sur le suivi d'animaux d'élevage avec plusieurs caméras. Il n'y a, à l'heure actuelle, aucune méthodologie commune pour traiter les images. Cependant pour les traiter, les paramètres intrinsèques de la caméra, *i.e.* les propriétés de la caméra, et les paramètres extrinsèques, *i.e.* la position et l'orientation de la caméra par rapport aux coordonnées réelles, doivent être estimées (Cardoen *et al.* 2025). Nous les avons estimés manuellement cependant ceci a fortement diminué la performance de l'algorithme. Dans la littérature, un certain nombre d'études utilisent des librairies issues de OpenCV^d (Bradski 2000) pour estimer les paramètres intrinsèques et extrinsèques (Phan *et al.* 2025; Cardoen *et al.* 2025). L'étude de Yamamoto (2025) établit les paramètres intrinsèques et extrinsèques grâce à la méthode de Zhang *et al.* (2000), qui fait correspondre les coordonnées réelles et celles des images. Celle de Shirke *et al.* (2021) ne précise pas la méthode d'obtention des paramètres intrinsèques. Ces deux dernières études utilisent en suivant des transformations projectives, *i.e.* une manière de représenter un plan ou un objet (ici l'image) sous un autre point de vue, pour aligner les différentes coordonnées. Shirke *et al.* (2021) utilisent pour ceci des points d'intérêt et estiment l'homographie avec RANSAC, un algorithme permettant d'estimer les paramètres d'un modèle ou d'estimer les coordonnées des points d'intérêt dans l'espace (Fischler, Bolles 1981). Estimer l'homographie en utilisant RANSAC est réalisable à l'aide d'OpenCV, avec le module « Camera Calibration and 3D Reconstruction » qui propose cette méthode. Par ailleurs, ce module propose également une méthode pour estimer les paramètres intrinsèques.

De plus, la synchronisation temporelle des caméras et du DAC est primordiale dans le cadre du suivi d'individus avec plusieurs caméras (Myat Noe *et al.* 2025; Cardoen, Leroux, Simoens 2024). Sans cette synchronisation, l'algorithme duplique les individus car ceux-ci apparaîtront autant de fois que de caméras désynchronisées les suivent. Nos caméras étaient synchronisées à partir de l'horodatage interne des caméras, ce qui n'assure pas une synchronisation parfaite si elles ont du retard. Sur certaines études ayant également rencontré cette contrainte, ce souci a été pris en charge en rectifiant manuellement les différences, en calculant les temps de retard ou avance de chaque caméra (Shirke *et al.* 2021; Myat Noe *et al.* 2025). Une piste envisagée pour la résolution de ce problème pourrait aussi être l'utilisation du « Network Time Protocol » (Mills, Mills 2006), qui permettrait de n'avoir qu'une source pour

^d OpenCV (Open Computer Vision) est une bibliothèque libre d'accès d'algorithme dédiés au traitement d'image. Cardoen *et al.* (2005) utilise la librairie ArUco Marker Detection (S. Garrido-Jurado *et al.* 2014) pour l'estimation des paramètres intrinsèques. Phan *et al.* (2025) et Cardoen *et al.* (2025) utilisent OpenCV solvePnP pour les paramètres extrinsèques.

toutes les caméras : elles ne dépendraient pas de leur horodatage individuel mais de l'horodatage unique du réseau. Ainsi, il apparaît que notre méthode de traitement des données ne nous a pas permis de juger les performances de l'algorithme.

A cause de ceci, le temps suivi est faible. A l'échelle individuelle, seulement 3 % du temps analysable par truie a été suivi. Le faible temps enregistré à l'échelle du groupe est plus surprenant : sans l'identification, nous nous attendions à avoir considérablement plus de temps suivi, ce qui n'est pas le cas. Cependant, les budgets-temps obtenus à l'échelle du groupe et à l'échelle individuelle et horaire, par analyse vidéo sont très proches de ceux obtenus avec accéléromètres. Notre étude a également mis en lumière que l'algorithme d'analyse vidéo n'est pas fiable concernant les budgets-temps à l'échelle individuelle et journalière. La sur-représentation des activités debout et mouvement s'expliquerait par la moindre efficacité de l'algorithme à détecter les truies couchées, pour plusieurs raisons autres que le traitement des images. Premièrement, les truies dorment en groupe compact, ce qui limite l'identification ; ce soucis est également décrit dans la littérature comme un frein pour l'analyse vidéo sur l'espèce porcine (Reza et al. 2025; Shirke et al. 2021). Deuxièmement, il est possible qu'une truie en mouvement ait plus de chances d'être reconnue par l'algorithme, notamment en se déplaçant d'une zone mal couverte vers une zone mieux couverte, ou en s'individualisant temporairement d'un groupe. Par exemple, une truie qui se lève pour changer de position se détache momentanément de ses congénères, devenant plus visible et donc détectable par l'algorithme pendant ce court instant.

Nos résultats suggèrent donc que cette technologie ne permet actuellement pas un suivi individuel. Cependant, les ratios corrects obtenus à l'échelle du groupe permettraient d'estimer les moyennes d'activité du groupe. Cependant, si l'algorithme utilisé dans cette étude ne se révèle pas assez performant pour poursuivre ces recherches, il pourrait être envisagé d'utiliser YOLO (Redmon et al. 2016), un algorithme de détection d'objets par ailleurs déjà utilisé dans le projet SOMOVE (cf Contexte 1.3.1). Celui-ci est utilisé dans toutes les études citées dans cette partie, exceptée celle de Yamamoto et al. (2025) qui utilise Faster R-CNN (Girshick 2015).

5 Estimation des besoins énergétiques associée à l'activité physique dans le cadre d'une alimentation sur mesure

Nous avons observé que la prise en compte de l'activité physique individuelle et journalière dans l'estimation des besoins énergétiques conduisait à une augmentation de ces besoins. La valeur de quatre heure debout obtenue sur des truies logées en stalle de Noblet et al. (1993) sous-estime l'activité physique moyenne des truies en gestation groupée. L'apport supplémentaire moyen est de 250 g, ce qui est bien supérieur au seuil de précision des DAC, qui est de 50 g. Ainsi, l'utilisation de cette activité physique individuelle dans le cadre de la nutrition sur-mesure semble réalisable avec les outils à notre disposition.

Cependant, deux points sont à discuter car impactant grandement les besoins énergétiques associées : la vitesse de marche et les dépenses énergétiques estimées selon l'activité. Sur le premier point, nos deux stratégies testées (vitesse lente ou rapide) ne découlent pas sur les mêmes surcoûts : + 8 % ou + 12 % d'apports alimentaires respectivement, qui impacteront les résultats économiques de l'élevage. Ainsi, de vraies questions se posent, la première étant : quelle est la vitesse de marche moyenne d'un individu au sein d'une bande ? Il est important de considérer que toutes les études utilisées pour déterminer de la vitesse de mouvement n'ont pas été réalisées sur des truies étudiées dans leur environnement quotidien, mais plutôt

sur des individus marchant dans des couloirs ou des espaces spécialement aménagés. Il est raisonnable de penser que certains facteurs du logement en groupe peuvent impacter la vitesse de marche (interactions, paille, nombre d'individus au m²...).

Sur le second point, nous avons utilisé l'estimation de la valeur énergétique du mouvement de Labussière et al. (2022), celle de l'activité debout proposée dans le modèle de Gaillard et al. (2019) et la dépense de l'activité couchée de Noblet et al. (1993). Cependant, les dépenses estimées ne sont pas totalement identiques entre les études : Noblet et al. (1993) estiment une dépense de 0,27 kJ/min/PV^{0,75} lorsque la truie est couchée, alors que Labussière et al. (2022) constate une dépense de 0,29 pour cette même activité. L'activité antérieure modifie la dépense énergétique de l'activité actuelle : la dépense de couchée après avoir été en mouvement est de 0,34 au lieu des 0,29 initiaux (Labussière et al. 2022). Parallèlement, la dépense de l'activité debout est estimée à 0,41 initialement et atteint 0,56 après une activité de marche (Labussière et al. 2022). À l'échelle de la gestation, ces différences pourraient impacter les apports supplémentaires liés à l'activité physique individuelle. L'utilisation de l'outil vidéo pourrait permettre de prendre en compte la vitesse de marche et l'activité précédemment effectuée afin de prédire plus précisément les besoins énergétiques. Aussi, si l'apport énergétique augmente, nous pouvons nous demander si l'impact économique de cette augmentation sera contrebalancé par l'amélioration des performances des truies.

6 Propositions et perspectives

6.1 Utilisation de l'analyse par vidéo et modèle généralisable

Suite à ces premières analyses et modélisation de l'activité physique, un suivi avec plus d'individus devrait être envisagé afin de préciser les estimations des effets significatifs et le généraliser. Le développement du suivi par vidéo est prometteur pour suivre à moindre coût un grand nombre d'individus mais également de suivre la vitesse de marche des individus, ce qui affinerait considérablement l'estimation des besoins énergétiques. Les verrous technologiques rencontrés au cours de cette étude devront être levés (identification de l'animal conservé au cours du temps principalement) pour espérer une utilisation de cette méthode.

Également, dans l'optique de prédire l'activité sur toute la gestation avec quelques jours sélectionnées, nous conseillons d'augmenter le nombre de jours analysés. Compte-tenu de la variation quotidienne de l'activité physique, un suivi sur plusieurs jours à différentes périodes serait préférable, e.g. trois périodes de quatre jours suivis au début (J 30), milieu (J 60) et fin de gestation (J 90).

Nous suggérerions pour la suite d'estimer les paramètres intrinsèques des caméras à l'aide des méthodes présentées ci-dessus. Également, il serait préférable de ne pas repositionner ou déplacer les caméras pendant l'expérimentation, pour ne pas devoir recalibrer celles-ci. Enfin, il serait préférable de faire correspondre les points d'intérêt à l'aide d'algorithmes plutôt que par superposition manuelle.

6.2 Conditions de logement des truies et extrapolation des résultats

D'après la littérature, il serait utile de quantifier les effets des conditions de logements sur l'activité physique des truies en gestation, particulièrement l'effet de la paille sur celle-ci. Pour ceci, nous pourrions envisager un suivi avec des caméras sur deux types de salles, avec ou

sans paille de forme et dimensions proches. Grâce au suivi vidéo, nous devrions pouvoir suivre des bandes d'une vingtaine d'individus sur toute leur gestation, comme c'est le cas à l'UE3P dans ce mémoire. Il serait utile de regarder l'effet du traitement sur, par exemple, trois bandes différentes par traitement, afin d'avoir un nombre suffisant d'individus. Pour éviter tout biais, les alimentations devront être identiques et il serait important d'assurer une représentation égale de chaque rang de portée dans les groupes, afin d'homogénéiser l'effet du rang. L'ELD des truies pourrait également devoir être distribué de façon égale entre les bandes. Dans l'optique de la création d'une base de données utilisable pour la généralisation d'un modèle prédictif, il serait utile de consigner les différentes caractéristiques des truies comme cela a été fait dans ce mémoire.

6.3 Comportements de la truie et activité physique

Un paramètre qui affinerait l'estimation de l'activité individuelle serait le comportement de la truie. On constate que certains comportements de cochettes face à des tests de personnalité sont corrélés, e.g. temps debout face à un humain nouveau est corrélé négativement avec le mouvement face à un nouvel objet, suggérant un impact des mécanismes d'adaptation des individus sur l'activité physique (Janczak, Pedersen, Bakken 2003). Également Clarke *et al.* (2018) ont trouvé des liens entre activité et comportement, e.g. animaux jugés comme les plus calmes tendent à passer plus de temps debout. Une autre étude a également mis en évidence des corrélations entre activité et comportement, e.g. une corrélation positive entre le temps passé à explorer et un profil confiant et curieux (Rutherford *et al.* 2012). Cependant, une certaine partie des comportements observés dans ces études n'ont pas été corrélé avec un trait de personnalité ou un mécanisme d'adaptation (Clarke *et al.* 2018; Janczak, Pedersen, Bakken 2003). Il serait intéressant d'étudier l'impact des comportements de la truie sur son activité physique : il est possible que ces comportements influencent le profil d'activité *via* la façon d'être actif, e.g. le ratio temps passé par activité ou la forme de la courbe de l'activité physique en gestation, ou *via* la quantité d'activité physique pratiquée. En ce sens, cela permettrait de mieux prédire l'activité physique et donc les besoins énergétiques. Un lien entre activité physique et comportements individuels interrogerait aussi sur la stabilité du profil d'activité physique : est-ce stable au cours du temps car propre à l'individu ou les perturbations extrinsèques modulent plus fortement l'expression de l'activité physique ?

6.4 Effet de la race

Un effet à étudier dans l'optique d'une généralisation de la modélisation de l'activité physique serait d'intégrer l'effet de la race. Celle-ci influe non seulement les performances des individus, e.g. le gain moyen quotidien de la race Créole est moins important que celui de la race u Pietrain, mais également le comportement des individus, e.g. le nombre de repas ou la quantité d'aliment ingérée sont plus faibles pour les Créoles et Piétrains que les Large Whites (Renaudeau *et al.* 2006; Labroue *et al.* 1999). Pour des races ou des croisés plus proches, l'étude de Guy *et al.* (2002) rapporte peu de différences sur l'activité physique ou le comportement entre deux croisements, Large White × Landrace ou Large White × Landrace x Duroc ou Meishan, sauf pour les interactions sociales qui sont plus fréquentes pour les croisés Duroc/Meishan (Guy *et al.* 2002). Au sein d'une même race, deux lignées sélectionnées sur leur faible (CMJR -) ou haute (CMJR +) consommation moyenne journalière résiduelle n'ont pas les mêmes performances ni la même activité physique : la lignée CMJR - est moins souvent debout que la lignée CMJR + (Boudon *et al.* 2022). Il semble donc exister des différences entre les races et les lignées sur l'activité physique, différences qui devraient être intégrées à la modélisation de l'activité dans une optique de généralisation des modèles. En ce sens, étudier l'impact de la race, en premier lieu, de l'individu pourrait permettre de mieux prédire la quantité d'activité pratiquée.

Conclusion

L'activité physique des truies évolue au cours de la gestation et diffère considérablement entre les individus. On constate une évolution non-linéaire de l'activité debout pour les rangs de portée P2 et P3 : leur temps debout augmente durant six semaines, stagne pendant cinq semaines puis diminue les dernières semaines de gestation. Le temps debout pour les P1 et le temps en mouvement de tous les rangs de portée décroient de manière linéaire. Bien que très variables entre les truies, les profils d'activité individuels peuvent être regroupés ce qui suppose qu'il pourrait exister des profils types d'actives.

Par rapport à l'estimation actuellement utilisée dans les modèles nutritionnels pour truie de quatre heures debout par jour, l'activité réelle comporte également l'activité mouvement. Par jour, le temps debout moyen est toujours égal à quatre heures mais les truies passent également une heure et demie en mouvement en moyenne. L'estimation des besoins énergétiques en prenant en compte l'activité physique individuelle est supérieure aux estimations actuelles. Cette prise en compte implique une augmentation moyenne de 250 g d'aliments par jour, ce qui est considérable mais variable selon la vitesse de mouvement. Ainsi, l'activité physique individuelle devrait être intégrée aux modèles nutritionnels. Également, l'étude de la vitesse de mouvement pourrait être envisagée pour préciser les estimations.

L'activité physique peut être prédite grâce à plusieurs critères comme les caractéristiques des truies à l'insémination, ce qui permet d'envisager une modélisation à plus grande échelle pour l'intégrer aux modèles nutritionnels qui ne pourraient pas avoir accès à des données d'analyse de vidéos. En plus de celles étudiées dans ce mémoire, plusieurs autres variables explicatives devraient être étudiées. Parmi ces variables, les conditions de logements et la race de l'animal seraient à prioriser.

Pour pouvoir mettre en place une méthode généralisable à grande échelle, l'analyse d'images par algorithme est prometteuse mais se heurte à l'heure actuelle à plusieurs problématiques, dont le traitement d'image. Celui-ci doit être encore amélioré avant de pouvoir estimer la fiabilité de l'algorithme utilisé dans cette étude. Cependant, il semble performant pour reconnaître les activités pratiquées à l'échelle du groupe, ce qui est encourageant.

Références bibliographiques

- ABARNOU, Justine, DURAND, Maëva, DOURMAD, Jean-Yves et GAILLARD, Charlotte, 2023. Effects of thermal conditions on gestating sows' behaviors and energy requirements. *Journal of Animal Science*. 2023. Vol. 101, pp. skac413. DOI 10.1093/jas/skac413.
- AGRESTE, 2024. *Recensement agricole 2020 Le cheptel porcin en légère baisse et les élevages grossissent* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/publications-thematiques-et-donnees-associees-a1478.html>
- ALA-KURIKKA, Eve, HEINONEN, Mari, MUSTONEN, Katja, PELTONIEMI, Olli, RAEKALLIO, Marja, VAINIO, Outi et VALROS, Anna, 2017. Behavior changes associated with lameness in sows. *Applied Animal Behaviour Science*. 2017. Vol. 193, pp. 15-20. DOI 10.1016/j.applanim.2017.03.017.
- AMDI, Charlotte, GIBLIN, Linda, RYAN, Tomas, STICKLAND, NeilC. et LAWLOR, PeadarG., 2014. Maternal backfat depth in gestating sows has a greater influence on offspring growth and carcass lean yield than maternal feed allocation during gestation. *Animal*. 2014. Vol. 8, n° 2, pp. 236-244. DOI 10.1017/S1751731113002073.
- ANIL, Leena, ANIL, Sukumaranair S. et DEEN, John, 2002. Relationship between postural behaviour and gestation stall dimensions in relation to sow size. *Applied Animal Behaviour Science*. 2002. Vol. 77, n° 3, pp. 173-181. DOI 10.1016/S0168-1591(02)00048-5.
- BATES, Douglas, MÄCHLER, Martin, BOLKER, Ben et WALKER, Steve, 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using **lme4**. *Journal of Statistical Software* [en ligne]. 2015. Vol. 67, n° 1. DOI 10.18637/jss.v067.i01. Disponible à l'adresse : <http://www.jstatsoft.org/v67/i01/>
- BIDANEL, Jean-Pierre, SILALAHI, Parsaoran, TRIBOUT, Thierry, CANARIO, Laurianne, DUCOS, Alain, GARREAU, Hervé, GILBERT, Hélène, LARZUL, Catherine, MILAN, Denis, RIQUET, Juliette, SCHWOB, Sandrine, MERCAT, Marie-José, HASSENFRATZ, Claire, BOUQUET, Alain, BAZIN, Christophe et BIDANEL, Joel, 2020. Cinquante années d'amélioration génétique du porc en France : bilan et perspectives. *INRAE Productions Animales* [en ligne]. 2020. Vol. 33, n° 1. DOI 10.20870/productions-animales.2020.33.1.3092. Disponible à l'adresse : <https://productions-animales.org/article/view/3092>
- BORCHERS, Hans W., 2011. *pracma: Practical Numerical Math Functions* [en ligne]. 2011. Disponible à l'adresse : <https://CRAN.R-project.org/package=pracma>
- BOUDON, Anne, KARHAPÄÄ, Maija, SILJANDER-RASI, Hilkka, CANTALOUBE, Emma, BROSSARD, Ludovic, LE FLOC'H, Nathalie et MEUNIER-SALAÜN, Marie-Christine, 2022. Effect of moderate forced physical activity on behaviour, lameness and osteochondrosis in growing pigs from two divergent lines selected for feed efficiency. *Animal - Open Space*. 2022. Vol. 1, n° 1, pp. 100010. DOI 10.1016/j.anopes.2022.100010.
- BOUTROS, Magdaline, 2023. Au Québec, des truies en gestation sont encore élevées en cage. *Le Devoir* [en ligne]. 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.ledevoir.com/societe/777232/au-quebec-des-truies-en-gestation-sont-encore-dans-des-cages-qui-les-empechent-de-bouger>
- BRADSKI, Gary, 2000. The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal: Software Tools for the Professional Programmer*. 2000. Vol. 25, n° 11, pp. 120-123.
- CANARIO, Laurianne, 2006. Aspects génétiques de la mortalité des porcelets à la naissance et en allaitement précoce. 2006.
- CARDOEN, Thorsten, DE CARVALHO, Patricia Soster, ANTONISSEN, Gunther, TUYTTENS, Frank A. M., LEROUX, Sam et SIMOENS, Pieter, 2025. Multi-camera detection and tracking for individual broiler monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. Vol. 237, pp. 110435. DOI 10.1016/j.compag.2025.110435.
- CARNOT FRANCE FUTUR ELEVAGE, 2024. Carnot France Futur Elevage sur LinkedIn : Focus Projet SoMove: Piloter le bien-être et l'alimentation des truies.... *LinkedIn* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : https://fr.linkedin.com/posts/institut-carnot-france-futur-elevage_focus-projet-somove-piloter-le-bien-%C3%AAtre-activity-7237701060256047105-GnYv
- CENTRE DE LA SCIENCE DE LA BIODIVERSITÉ DU QUEBEC, 2023. *Workshop 8: Generalized additive models in R* [en ligne]. QCBS R Workshop Series, 8. Disponible à l'adresse : <https://r.qcbs.ca/workshop08/book-en/index.html>

- CHAMBRE D'AGRICULTURE BRETAGNE, 2025. Bien maîtriser la notion de conduite en bandes en élevage porcin. *Chambre d'agriculture Bretagne* [en ligne]. 2025. Disponible à l'adresse : <https://bretagne.chambres-agriculture.fr/mes-productions/elevage/porcs/conduites-delevage-en-porcs/la-conduite-en-bandes/>
- CLARKE, Taya, Pluske, John R., Miller, David W., Collins, Teresa et AND FLEMING, Patricia A., 2018. Parity Influences the Demeanor of Sows in Group Housing. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2018. Vol. 21, n° 1, pp. 17-26. DOI 10.1080/10888705.2017.1363651.
- CLOUTIER, Laetitia, GALIOT, Lucie, SAUVÉ, Béatrice, PIERRE, Carole, GUAY, Frédéric, DUMAS, Gabrielle, GAGNON, Patrick et LÉTOURNEAU MONTMINY, Marie-Pierre, 2024. Impact of Precision Feeding During Gestation on the Performance of Sows over Three Cycles. *Animals*. 2024. Vol. 14, n° 23, pp. 3513. DOI 10.3390/ani14233513.
- CNRBEA, AUBIN-HOUZELSTEIN, Genevieve, COURBOULAY, Valérie, DELSART, Maxime, MERLOT, Elodie, PAROIS, Séverine et TALLET, Céline, 2023. Caractéristiques et besoins physiologiques et comportementaux du porc *Sus scrofa domesticus*. 2023. pp. 47 p. DOI 10.17180/1dx7-2n47.
- CONSEIL EUROPÉEN, 2008. *Directive 2008/120/CE du Conseil du 18 décembre 2008 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs (version codifiée)*. 2008.
- COOLS, An, MAES, Dominiek, DECALUWÉ, Ruben, BUYSE, Johan, VAN KEMPEN, Theo A., LIESEGANG, Annette et JANSSENS, Geert P. J., 2014. Ad libitum feeding during the peripartal period affects body condition, reproduction results and metabolism of sows. *Animal Reproduction Science*. 2014. Vol. 145, n° 3, pp. 130-140. DOI 10.1016/j.anireprosci.2014.01.008.
- COUASNON, Marie, GAILLARD, Charlotte et DURAND, Maëva, 2023. Comportement de truies gestantes après répétition d'une compétition alimentaire. In : 55. *Journées de la Recherche Porcine (JRP)* [en ligne]. 2023. pp. 75. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-04047805>
- DEVILLERS, Nicolas, JANVIER, Emmanuel, DELIJANI, Farhoud, MÉTHOT, Steve, DICK, Kristopher J., ZHANG, Qiang et CONNOR, Laurie, 2019. Effect of Slat and Gap Width of Slatted Concrete Flooring on Sow Gait Using Kinematics Analysis. *Animals*. 2019. Vol. 9, n° 5, pp. 206. DOI 10.3390/ani9050206.
- DIGITAG, 2022. L'Institut Convergences. #DigitAg [en ligne]. 2022. Disponible à l'adresse : <https://www.hdigitag.fr/qui-sommes-nous/l-institut-convergences>
- DILEPIX, 2024. *Rapport de performance logiciel de monitoring d'activité individuelle. Version 1.0. Rapport de performance*. Rennes.
- DOURMAD, Jean-Yves, BROSSARD, Ludovic, POMAR, Candido et CLOUTIER, Laetitia, 2018. Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'alimentation de précision des truies en gestation. In : 50. *Journées de la Recherche Porcine* [en ligne]. IFIP - Institut du Porc. 2018. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02734000>
- DOURMAD, Jean-Yves, CANARIO, Laurianne, GILBERT, Helene, MERLOT, Elodie, QUESNEL, Helene et PRUNIER, Armelle, 2010. Evolution des performances et de la robustesse des animaux en élevage porcin. *INRA Prod Anim*. 2010. Vol. 23. DOI 10.20870/productions-animales.2010.23.1.3287.
- DOURMAD, Jean-Yves, ÉTIENNE, Michel, NOBLET, Jean, VALANCOGNE, Alain, DUBOIS, Serge et MILGEN, Jaap VAN, 2005. InraPorc : un outil d'aide à la décision pour l'alimentation des truies reproductrices. 2005.
- DOURMAD, Jean-Yves, ÉTIENNE, Michel, VALANCOGNE, Alain, DUBOIS, Serge, VAN MILGEN, Jaap et NOBLET, Jean, 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. *Animal Feed Science and Technology*. 2008. Vol. 143, n° 1-4, pp. 372-386. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2007.05.019. Scopus
- DOURMAD, Jean-Yves, GAUTHIER, Raphaël et GAILLARD, Charlotte, 2021. Évolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices : historique et perspectives. *INRAE Productions Animales*. 2021. Vol. 34, n° 2, pp. 111-126. DOI 10.20870/productions-animales.2021.34.2.4861.
- DURAND, Maëva, DOURMAD, Jean-Yves, JULIENNE, Aline, COUASNON, Marie et GAILLARD, Charlotte, 2023. Effects of a competitive feeding situation on the behaviour and energy requirements of gestating sows. *Applied Animal Behaviour Science*. 2023. Vol. 261, pp. 105884. DOI 10.1016/j.applanim.2023.105884.

- DURAND, Maëva, DOURMAD, Jean-Yves, LARGOUËT, Christine, TALLET, Céline et GAILLARD, Charlotte, 2021. Alimentation de précision des truies gestantes : prise en compte de la santé, du comportement et de l'environnement. *INRAE Productions Animales*. 2021. Vol. 34, n° 4, pp. 293. DOI 10.20870/productions-animales.2021.34.4.5369.
- DURRELL, Julie L., SNEDDON, Ian A., BEATTIE, Violet E. et KILPATRICK, David J., 2002. Sow behaviour and welfare in voluntary cubicle pens (small static groups) and split-yard systems (large dynamic groups). *Animal Science*. 2002. Vol. 75, n° 1, pp. 67-74. DOI 10.1017/S135772980005284X.
- ELLIS, Jennifer L., JACOBS, Marc, DIJKSTRA, Jan, VAN LAAR, Harmen, CANT, John P., TULPAN, Dan et FERGUSON, N., 2020. Review: Synergy between mechanistic modelling and data-driven models for modern animal production systems in the era of big data. *Animal*. 2020. Vol. 14, pp. s223-s237. DOI 10.1017/S1751731120000312.
- ENGELS, Guyliann, GROSJEAN, Philippe et CONOTTE, Raphaël, 2024. *Science des données biologiques II* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://wp.sciviews.org/sdd-umons2-2022/>
- FISCHLER, Martin A. et BOLLES, Robert C., 1981. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Commun. ACM*. 1981. Vol. 24, n° 6, pp. 381-395. DOI 10.1145/358669.358692.
- FRASER, David, PHILLIPS, P. A., THOMPSON, B. K. et TENNESSEN, T., 1991. Effect of straw on the behaviour of growing pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 1991. Vol. 30, n° 3, pp. 307-318. DOI 10.1016/0168-1591(91)90135-K.
- GAILLARD, Charlotte, BROSSARD, Ludovic et DOURMAD, Jean-Yves, 2020. Improvement of feed and nutrient efficiency in pig production through precision feeding. *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol. 268, pp. 114611. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2020.114611.
- GAILLARD, Charlotte et DOURMAD, Jean-Yves, 2022. Application of a precision feeding strategy for gestating sows. *Animal Feed Science and Technology*. 2022. Vol. 287, pp. 115280. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2022.115280.
- GAILLARD, Charlotte, DURAND, Maëva, LARGOUËT, Christine, DOURMAD, Jean-Yves et TALLET, Céline, 2021. Effects of the environment and animal behavior on nutrient requirements for gestating sows: Future improvements in precision feeding. *Animal Feed Science and Technology*. 2021. Vol. 279, pp. 115034. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2021.115034.
- GAILLARD, Charlotte, GAUTHIER, Raphaël, CLOUTIER, Laetitia et DOURMAD, Jean-Yves, 2019. Exploration of individual variability to better predict the nutrient requirements of gestating sows. *Journal of Animal Science*. 2019. Vol. 97, n° 12, pp. 4934-4945. DOI 10.1093/jas/skz320.
- GARRIDO-JURADO, Sergio, MUÑOZ-SALINAS, Rafael, MADRID-CUEVAS, Francisco J. et MARÍN-JIMÉNEZ, Manuel J., 2014. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*. 2014. Vol. 47, n° 6, pp. 2280-2292. DOI 10.1016/j.patcog.2014.01.005.
- GENOLINI, Christophe, ALACOQUE, Xavier, SENTENAC, Mariane et ARNAUD, Catherine, 2015. kml and kml3d: R Packages to Cluster Longitudinal Data. *Journal of Statistical Software*. 1 juin 2015. Vol. 65, pp. 1-34. DOI 10.18637/jss.v065.i04.
- GIRSHICK, Ross, 2015. *Fast R-CNN* [en ligne]. 2015. arXiv. arXiv:1504.08083. Disponible à l'adresse : <http://arxiv.org/abs/1504.08083>
- GONYOU, Harold W., CHAPPLE, Richard P. et FRANK, G. Robert, 1992. Productivity, time budgets and social aspects of eating in pigs penned in groups of five or individually. *Applied Animal Behaviour Science*. 1992. Vol. 34, n° 4, pp. 291-301. DOI 10.1016/S0168-1591(05)80090-5.
- GRÉGOIRE, Julie, BERGERON, Renée, D'ALLAIRE, Sylvie, MEUNIER-SALAÜN, Marie-Christine et DEVILLERS, Nicolas, 2013. Assessment of lameness in sows using gait, footprints, postural behaviour and foot lesion analysis. *animal*. 2013. Vol. 7, n° 7, pp. 1163-1173. DOI 10.1017/S1751731113000098.
- HARRIS, Erin K., BERG, Eric P., BERG, Ellen L. et VONNAHME, Kimberly A., 2013. Effect of maternal activity during gestation on maternal behavior, fetal growth, umbilical blood flow, and farrowing characteristics in pigs. *Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 91, n° 2, pp. 734-744. DOI 10.2527/jas.2012-5769.
- HUYNH, Thuy T. T., AARNINK, André J. A., GERRITS, Walter J. J., HEETKAMP, Marcel J. H., CANH, Truong T., SPOOLDER, Hans A. M., KEMP, Bas et VERSTEGEN, Martinus W. A., 2005. Thermal

- behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied Animal Behaviour Science*. 2005. Vol. 91, n° 1, pp. 1-16. DOI 10.1016/j.applanim.2004.10.020.
- IFIP, 2024. Analyse : International, des coûts de production toujours hauts pour les éleveurs, mais de bons résultats en 2023. *IFIP* [en ligne]. 2024. [Disponible à l'adresse : <https://ifip.asso.fr/place-des-marches/actualites-des-marches/analyse-international-des-couts-de-production-toujours-hauts-pour-les-eleveurs-mais-de-bons-resultats-en-2023/>]
- INRAE, 2024a. Comité d'éthique | INRAE. *inrae.fr* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/comite-dethique>
- INRAE, 2024b. Engagement stratégique dans l'espace européen de la recherche | INRAE. *inrae.fr* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/europe-international/engagement-strategique-lespace-europeen-recherche>
- INRAE, 2024c. Les partenaires d'INRAE | INRAE. *inrae.fr* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/collaborer/partenaires-inrae>
- INRAE, 2024d. Liste des centres INRAE | INRAE. *inrae.fr* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/centres>
- INRAE, 2024e. Équipes de recherche - UMR Pegase - Accueil. *UMR PEGASE* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://pegase.rennes.hub.inrae.fr/recherche/equipes-de-recherche>
- INRAE, 2025. Organisation INRAE : centres de recherche, départements et gouvernance | INRAE. *inrae.fr* [en ligne]. 2025. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/nous-connaitre/organigramme>
- JANCZAK, Andrew M, PEDERSEN, Lene J et BAKKEN, Morten, 2003. Aggression, fearfulness and coping styles in female pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 2003. Vol. 81, n° 1, pp. 13-28. DOI 10.1016/S0168-1591(02)00252-6.
- KAPUN, Anita, ADRION, Felix et GALLMANN, Eva, 2023. Evaluating the Activity of Pigs with Radio-Frequency Identification and Virtual Walking Distances. *Animals*. 2023. Vol. 13, n° 19, pp. 3112. DOI 10.3390/ani13193112.
- KIM, Sung Woo, WEAVER, Alexandra C., SHEN, Yan Bin et ZHAO, Yan, 2013. Improving efficiency of sow productivity: nutrition and health. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2013. Vol. 4, n° 1, pp. 26. DOI 10.1186/2049-1891-4-26.
- LABROUE, Florence, GUÉBLEZ, Ronan, MEUNIER-SALAÜN, Marie-Christine et SELLIER, Pierre, 1999. Feed intake behaviour of group-housed Piétrain and Large White growing pigs. *Annales de Zootechnie*. 1999. Vol. 48, n° 4, pp. 247-261. DOI 10.1051/animres:19990402.
- LABUSSIERE, Etienne, DUBOIS, Serge, ESNAULT, J et VAN MILGEN, Jaap, 2022. O66 Energy cost of physical activity (standing and walking) in finishing pigs and sows. *Animal - science proceedings*. 2022. Vol. 13, n° 3, pp. 325-326. DOI 10.1016/j.anscip.2022.07.076.
- LANTHONY, Mathilde, DANGLOT, Margot, ŠPINKA, Marek et TALLET, Céline, 2022. Dominance hierarchy in groups of pregnant sows: Characteristics and identification of related indicators. *Applied Animal Behaviour Science*. 2022. Vol. 254, pp. 105683. DOI 10.1016/j.applanim.2022.105683.
- LANTHONY, Mathilde, DURAND, Maëva, GUERIN, Carole, GAILLARD, Charlotte et TALLET, Céline, 2022. Hiérarchie dans les groupes de truies gestantes : méthodes de calcul, caractéristiques et lien avec les données d'alimentation. In : *54es Journées de la Recherche Porcine (JRP)* [en ligne]. Ifip. 2022. pp. 257. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-03573089>
- LEBARBIER, Emilie et MARY-HUARD, Tristan, 2004. *Le critère BIC : fondements théoriques et interprétation* [en ligne]. report. INRIA. Disponible à l'adresse : <https://inria.hal.science/inria-00070685>
- LEBARBIER, Émilie et MARY-HUARD, Tristan, 2006. Une introduction au critère BIC : fondements théoriques et interprétation. *Journal de la Société française de statistique*. 2006. Vol. 147, n° 1, pp. 39-57.
- LECOINTE, Yves, 2016. INSTITUTS CONVERGENCES CONVERGENCE LABS. . 2016.
- LIU, Tongshuai, KONG, Ning, LIU, Zhilong, XI, Lei, HUI, Xue, MA, Wei, LI, Xuanyang, CHENG, Pu, JI, Zhenzhen, YANG, Zhixiao et YANG, Xiao, 2022. New insights into factors affecting piglet crushing and anti-crushing techniques. *Livestock Science*. 2022. Vol. 265, pp. 105080. DOI 10.1016/j.livsci.2022.105080.

- MAES, Dominiek, PLUYM, Liesbet et PELTONIEMI, Olli, 2016. Impact of group housing of pregnant sows on health. *Porcine Health Management*. 2016. Vol. 2, n° 1, pp. 17. DOI 10.1186/s40813-016-0032-3.
- MAR, Cho Cho, ZIN, Thi Thi, TIN, Pyke, HONKAWA, Kazuyuki, KOBAYASHI, Ikuo et HORII, Yoichiro, 2023. Cow detection and tracking system utilizing multi-feature tracking algorithm. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13, n° 1, pp. 17423. DOI 10.1038/s41598-023-44669-4.
- MARCHANT-FORDE, Ruth M. et MARCHANT, Jeremy N., 2004. Pregnancy-related changes in behavior and cardiac activity in primiparous pigs. *Physiology & Behavior*. 2004. Vol. 82, n° 5, pp. 815-825. DOI 10.1016/j.physbeh.2004.06.021.
- MARCON, Michel, MEUNIER-SALAÜN, Marie-Christine, LE MER, Michel et ROUSSELIÈRE, Yvonnick, 2017. Accelerometer technology to perform precision feeding of pregnant sows and follow their health status. *European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF)*. 2017. Vol. 8.
- MARCON, Michel, QUINIOU, Nathalie, COURBOULAY, Valerie, ROUSSELIÈRE, Yvonnick, MELOT, Geoffrey, MEUNIER-SALAÜN, Marie-Christine, LABUSSIÈRE, Etienne, RAMONET, Yannick, CHEREL, Pierre et LE MER, Michel, 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. *Innovations Agronomiques*. 2020. Vol. 79, pp. 245. DOI 10.15454/vk07-4b16.
- MCPHERSON, Rebecca L., JI, Fei, WU, Gengyun, BLANTON, John R. et KIM, Sung W., 2004. Growth and compositional changes of fetal tissues in pigs. *Journal of Animal Science*. septembre 2004. Vol. 82, n° 9, pp. 2534-2540. DOI 10.2527/2004.8292534x.
- MILLS, David L. et MILLS, David L., 2006. *Computer Network Time Synchronization: The Network Time Protocol*. Boca Raton : CRC Press. ISBN 978-0-429-11439-7.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PÊCHE ET DES AFFAIRES RURALES, 2003. *Arrêté du 16 janvier 2003 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs* [en ligne]. 2003. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000005633899/2021-01-31>
- MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION, 2019. *Décret n° 2019-1046 du 10 octobre 2019 relatif à l'organisation et au fonctionnement de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement*. 2019.
- MORGAN, Colin A, DEANS, Lesley A, LAWRENCE, Alistar B et NIELSEN, Birte L, 1998. The effects of straw bedding on the feeding and social behaviour of growing pigs fed by means of single-space feeders. *Applied Animal Behaviour Science*. 1998. Vol. 58, n° 1, pp. 23-33. DOI 10.1016/S0168-1591(97)00141-X.
- MUNDO, Ariel I., TIPTON, John R. et MULDOON, Timothy J., 2022. Generalized additive models to analyze nonlinear trends in biomedical longitudinal data using R: Beyond repeated measures ANOVA and linear mixed models. *Statistics in medicine*. 2022. Vol. 41, n° 21, pp. 4266-4283. DOI 10.1002/sim.9505.
- MURO, Bruno Bd, CARNEVALE, Rafaela F., LEAL, Diego F., ALMOND, Glen W., MONTEIRO, Matheus S., POOR, André P., SCHINCKEL, Allan P. et GARBOSSA, Cesar Ap, 2023. The importance of optimal body condition to maximise reproductive health and perinatal outcomes in pigs. *Nutrition Research Reviews*. 2023. Vol. 36, n° 2, pp. 351-371. DOI 10.1017/S0954422422000129.
- MYAT NOE, Su, ZIN, Thi Thi, KOBAYASHI, Ikuo et TIN, Pyke, 2025. Optimizing black cattle tracking in complex open ranch environments using YOLOv8 embedded multi-camera system. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, n° 1, pp. 6820. DOI 10.1038/s41598-025-91553-4.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (éd.), 1998. *Nutrient requirements of swine*. 10th rev. ed. Washington, DC : National Academy Press. Nutrient requirements of domestic animals. ISBN 978-0-309-05993-0.
- NIELSEN, Birte L., LAWRENCE, Alistair B. et WHITTEMORE, Colin T., 1995. Effect of group size on feeding behaviour, social behaviour, and performance of growing pigs using single-space feeders. *Livestock Production Science*. 1995. Vol. 44, n° 1, pp. 73-85. DOI 10.1016/0301-6226(95)00060-X.
- NOBLET, Jean, DOURMAD, Jean-Yves et ETIENNE, Michel, 1990. Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. *Journal of Animal Science*. 1990. Vol. 68, n° 2, pp. 562-572. DOI 10.2527/1990.682562x.

- NOBLET, Jean, SHI, X. S. et DUBOIS, Serge, 1994. Composantes de la dépense énergétique au cours du nycthémère chez la truie adulte à l'entretien : rôle de l'activité physique. *INRAE Productions Animales*. 1994. Vol. 7, n° 2, pp. 135-142. DOI 10.20870/productions-animaux.1994.7.2.4164.
- NOBLET, Jean, SHI, X.S. et DUBOIS, S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. *Livestock Production Science*. 1993. Vol. 34, n° 1-2, pp. 127-136. DOI 10.1016/0301-6226(93)90041-F.
- OCZAK, Maciej, BAYER, Florian, VETTER, Sebastian, MASCHAT, Kristina et BAUMGARTNER, Johannes, 2022. Comparison of the automated monitoring of the sow activity in farrowing pens using video and accelerometer data. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 192, pp. 106517. DOI 10.1016/j.compag.2021.106517.
- OLIVIERO, Claudio, HEINONEN, Mari, VALROS, Anna et PELTONIEMI, Olli, 2010. Environmental and sow-related factors affecting the duration of farrowing. *Animal Reproduction Science*. 2010. Vol. 119, n° 1-2, pp. 85-91. DOI 10.1016/j.anireprosci.2009.12.009.
- PEREZGONZALEZ, Jose D., 2015. Fisher, Neyman-Pearson or NHST? A tutorial for teaching data testing. *Frontiers in Psychology* [en ligne]. 2015. Vol. 6. DOI 10.3389/fpsyg.2015.00223. Disponible à l'adresse : <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpsyg.2015.00223/abstract>
- PHAN, Thinh, TRAN, Hoang Kim, LOCKETT, Andrew, PHILLIPS, Isaac, KIDD, Michael T., MASON, James, AVENDANO, Santiago et LE, Ngan, 2025. *Broilertrack: Automatic Multi-Camera Multi-Broiler Tracking Via Enhanced Clustering Technique in Unified Plane* [en ligne]. SSRN Scholarly Paper. 2025. Rochester, NY : Social Science Research Network. 5333983. Disponible à l'adresse : <https://papers.ssrn.com/abstract=5333983>
- POMAR, Cândido, HAUSCHILD, Luciano, ZHANG, Guo-Hua, POMAR, Jesus et LOVATTO, Paolo Alberto, 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2009. Vol. 38, n° spe, pp. 226-237. DOI 10.1590/S1516-35982009001300023.
- QUINIOU, Nathalie, 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. *IFIP* [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://ifip.asso.fr/actualites/>
- QUINIOU, Nathalie, 2019. Modélisation de l'évolution moyenne du poids vif après la mise bas selon l'âge chez des truies croisées Large White x Landrace. [en ligne]. 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.feed-a-gene.eu/media/mod%C3%A9lisation-de-l%C3%A9volution-moyenne-du-poids-vif-apr%C3%A8s-la-mise-bas-selon-l%C3%A9gechez-des-truies>
- QUINIOU, Nathalie, 2021. Results of 15 Years of Precision Feeding of Hyper Prolific Gestating Sows. *Animals*. 2021. Vol. 11, n° 10, pp. 2908. DOI 10.3390/ani11102908.
- QUINIOU, Nathalie et MARCON, Michel, 2019. Adapter le rationnement des truies à leur activité : quelle précision d'un accéléromètre fixé à l'oreille ? In : *Bilan d'activité 2018 de l'IFIP-Institut du Porc* [en ligne]. pp. 80. Disponible à l'adresse : <https://ifip.asso.fr/documentation/1663-bilan-dactivite-de-lifip-institut-du-porc-2018/>
- R CORE TEAM, 2025. *R: A Language and Environment for Statistical Computing* [en ligne]. R. 2025. Viennes, Autriche. Disponible à l'adresse : <https://www.R-project.org/>
- RAMONET, Yannick et BERTIN, Carole, 2015. *Utilisation d'accéléromètres pour évaluer l'activité physique des truies gestantes logées en groupes. Développement de la méthode et utilisation dans six élevages au DAC*. [en ligne]. Research Report. Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Rond-Point Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cédex. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-01780152>
- RAMONET, Yannick et TERTRE, Anaïs, 2014. *Assessment of the motor activity of group-housed sows in commercial farms* [en ligne]. Research Report. Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-01780175>
- REDMON, Joseph, DIVVALA, Santosh, GIRSHICK, Ross et FARHADI, Ali, 2016. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. In : *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* [en ligne]. 2016. pp. 779-788. Disponible à l'adresse : https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/html/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.html
- RENAUDEAU, David, GIORGI, Mario, SILOU, Félix et WEISBECKER, Jean-Louis, 2006. Effect of Breed (Lean or Fat Pigs) and Sex on Performance and Feeding Behaviour of Group Housed Growing Pigs in a Tropical Climate. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2006. Vol. 19, n° 4, pp. 593-600. DOI 10.5713/ajas.2006.593.

- REZA, Md Nasim, LEE, Kyu-Ho, HABINEZA, Eliezel, SAMSUZZAMAN, KYOUNG, Hyunjin, CHOI, Young Kyung, KIM, Gookhwan et CHUNG, Sun-Ok, 2025. RGB-based machine vision for enhanced pig disease symptoms monitoring and health management: a review. *Journal of Animal Science and Technology*. 2025. Vol. 67, n° 1, pp. 17-42. DOI 10.5187/jast.2024.e111.
- RIBAS, Clément, QUINIOU, Nathalie et GAILLARD, Charlotte, 2024. On farm precision feeding of gestating sows based on energy and amino acids on farrowing performances and feeding behavior over 3 consecutive gestations. *Journal of Animal Science*. 2024. Vol. 102, pp. skae201. DOI 10.1093/jas/skae201.
- RUTHERFORD, Kenneth M. D., DONALD, Ramona D., LAWRENCE, Alistair B. et WEMELSVELDER, Françoise, 2012. Qualitative Behavioural Assessment of emotionality in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 2012. Vol. 139, n° 3, pp. 218-224. DOI 10.1016/j.applanim.2012.04.004.
- SAUVANT, Daniel, 2005. La modélisation de la réponse des porcs aux pratiques alimentaires et d'élevage. *Journées de la Recherche Porcine en France*. 2005. Vol. 37, pp. 283-290.
- SCHENCK, E. L., MCMUNN, K. A., ROSENSTEIN, D. S., STROSHINE, R. L., NIELSEN, B. D., RICHERT, B. T., MARCHANT-FORDE, Jeremy N. et LAY, Don C., Jr., 2008. Exercising stall-housed gestating gilts: Effects on lameness, the musculo-skeletal system, production, and behavior. *Journal of Animal Science*. 2008. Vol. 86, n° 11, pp. 3166-3180. DOI 10.2527/jas.2008-1046.
- SHIRKE, Aniket, SAIFUDDIN, Aziz, LUTHRA, Achleshwar, LI, Jiangong, WILLIAMS, Tawni, HU, Xiaodan, KOTNANA, Aneesh, KOCABALKANLI, Okan, AHUJA, Narendra, GREEN-MILLER, Angela, CONDOTTI, Isabella, DILGER, Ryan N. et CAESAR, Matthew, 2021. *Tracking Grow-Finish Pigs Across Large Pens Using Multiple Cameras* [en ligne]. 2021. arXiv. Disponible à l'adresse : <https://arxiv.org/abs/2111.10971>
- SOLÀ-ORIOL, David et GASA, Josep, 2017. Feeding strategies in pig production: Sows and their piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2017. Vol. 233, pp. 34-52. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.018.
- SPICER, H. M. et AHERNE, Frank X., 1987. The effects of group size/stocking density on weanling pig performance and behavior. *Applied Animal Behaviour Science*. 1987. Vol. 19, n° 1, pp. 89-98. DOI 10.1016/0168-1591(87)90206-1.
- STREET, Brandy R. et GONYOU, Harold W., 2008. Effects of housing finishing pigs in two group sizes and at two floor space allocations on production, health, behavior, and physiological variables1. *Journal of Animal Science*. 2008. Vol. 86, n° 4, pp. 982-991. DOI 10.2527/jas.2007-0449.
- THONGKHUY, Suphadtra, CHUAYCHU, SH. Boonnithi, BURARNRAK, Pitchaya, RUANGJOY, Puritchaya, JUTHAMANEE, Pattawan, NUNTAPAITOON, Morakot et TUMMARUK, Padet, 2020. Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows. *Livestock Science*. 2020. Vol. 234, pp. 103983. DOI 10.1016/j.livsci.2020.103983.
- THORUP, Vivi M., TØGERSEN, Frede A., JØRGENSEN, Bente et JENSEN, Bente R., 2007. Biomechanical gait analysis of pigs walking on solid concrete floor. *animal*. 2007. Vol. 1, n° 5, pp. 708-715. DOI 10.1017/S1751731107736753.
- TOKAREVA, Mariia, 2021. *MOTIVATED FOR MOVEMENT? EXERCISE AND THE GESTATION ENVIRONMENT ON SOW PERFORMANCE AND WELFARE*.
- VAN HERTEM, Tom, VIAZZI, Stefano, STEENSELS, Machteld, MALTZ, Ephraim, ANTWERPEN, Aharon, ALCHANATIS, Victor, SCHLAGETER-TELLO, Andres A., LOKHORST, Kees, ROMANINI, Eduardo C. B., BAHR, Claudia, BERCKMANS, Daniel et HALACHMI, Ilan, 2014. Automatic lameness detection based on consecutive 3D-video recordings. *Biosystems Engineering*. 2014. Vol. 119, pp. 108-116. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2014.01.009.
- VELARDE, Antonio, SCOTT, Kamara, EDWARDS, Sandra et DALMAU, Antoni (éd.), 2009. *Assessment protocol for pigs*. Lelystad : Welfare Quality Consortium. ISBN 978-90-78240-05-1.
- VERDON, Megan, HANSEN, Christian F., RAULT, Jean-Loup, JONGMAN, Ellen, HANSEN, Lisbeth U., PLUSH, Kate et HEMSWORTH, Paul H., 2015. Effects of group housing on sow welfare: A review. *Journal of Animal Science*. 2015. Vol. 93, n° 5, pp. 1999-2017. DOI 10.2527/jas.2014-8742.
- VON WACHENFELT, Hans, PINZKE, Stefan et NILSSON, Christer, 2009. Gait and force analysis of provoked pig gait on clean and fouled concrete surfaces. *Biosystems Engineering*. 2009. Vol. 104, n° 4, pp. 534-544. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2009.08.008.

- VON WACHENFELT, Hans, PINZKE, Stefan, NILSSON, Christer, OLSSON, Ove et EHLORSSON, Carl-Johan, 2008. Gait analysis of unprovoked pig gait on clean and fouled concrete surfaces. *Biosystems Engineering*. 2008. Vol. 101, n° 3, pp. 376-382. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2008.09.002.
- WEGNER, Kerstin, LAMBERTZ, Christian, DAS, Gürbüz, REINER, Gerald et GAULY, Matthias, 2016. Effects of temperature and temperature-humidity index on the reproductive performance of sows during summer months under a temperate climate. *Animal Science Journal*. 2016. Vol. 87, n° 11, pp. 1334-1339. DOI 10.1111/asj.12569.
- WICKHAM, Hadley, CHANG, Winston, HENRY, Lionel, PEDERSEN, Thomas Lin, TAKAHASHI, Kohske, WILKE, Claus, WOO, Kara, YUTANI, Hiroaki, DUNNINGTON, Dewey et VAN DEN BRAND, Teun, 2007. *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics* [en ligne]. 2007. Disponible à l'adresse : <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>
- WIEGAND, R. M., GONYOU, Harold W. et CURTIS, Stanley E., 1994. Pen shape and size: effects on pig behavior and performance. *Applied Animal Behaviour Science*. 1994. Vol. 39, n° 1, pp. 49-61. DOI 10.1016/0168-1591(94)90015-9.
- WOOD, Simon N., 2017. *Generalized Additive Models: An Introduction with R* [en ligne]. 2. Chapman and Hall/CRC. ISBN 978-1-315-37027-9. Disponible à l'adresse : <https://www.taylorfrancis.com/books/9781498728348>
- WU, Dihua, YIN, Xuqiang, JIANG, Bo, JIANG, Mei, LI, Zhenyu et SONG, Huaibo, 2020. Detection of the respiratory rate of standing cows by combining the Deeplab V3+ semantic segmentation model with the phase-based video magnification algorithm. *Biosystems Engineering*. 2020. Vol. 192, pp. 72-89. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2020.01.012.
- YAMAMOTO, Yota, AKIZAWA, Kazuhiro, AOU, Shunpei et TANIGUCHI, Yukinobu, 2025. Entire-barn dairy cow tracking framework for multi-camera systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1 février 2025. Vol. 229, pp. 109668. DOI 10.1016/j.compag.2024.109668.
- YANG, Qiumei et XIAO, Deqin, 2020. A review of video-based pig behavior recognition. *Applied Animal Behaviour Science*. 2020. Vol. 233, pp. 105146. DOI 10.1016/j.applanim.2020.105146.
- ZHANG, Zhengyou, 2000. A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2000. Vol. 22, n° 11, pp. 1330-1334. DOI 10.1109/34.888718.

Table des figures

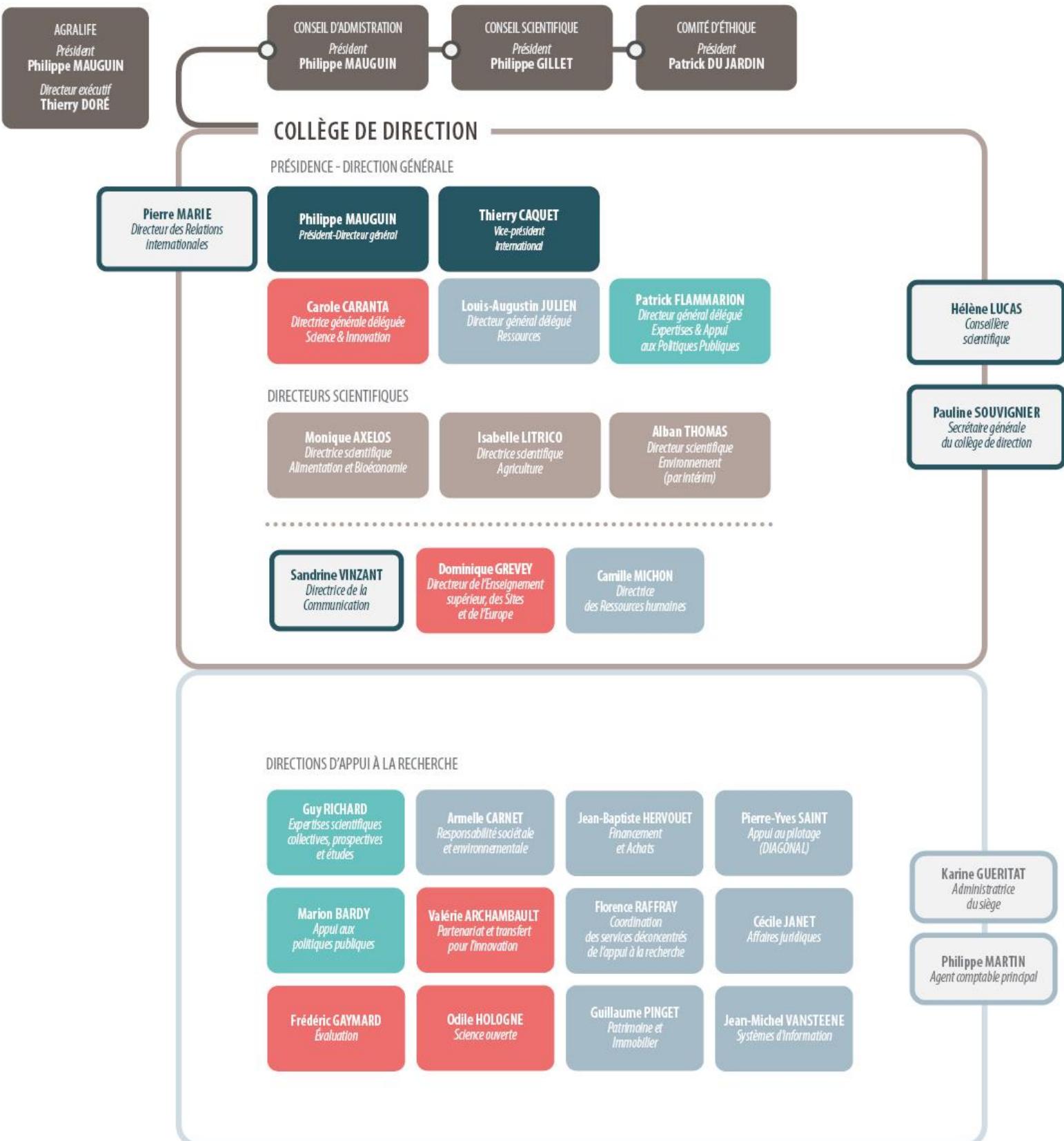
Figure 1 : Schéma de la vie d'une truie reproductrice en élevage conventionnel français	6
Figure 2 : Comparaison de l'adéquation besoins-apport des truies selon le type d'alimentation (Dourmad et al. 2018).....	10
Figure 3 : Représentation des conditions de logement et du placement des caméras pour les données vidéo	15
Figure 4 : Schématisation du fonctionnement de l'algorithme (Dilepix 2024)	16
Figure 5 : Nombre de jours suivis et leur répartition par individu au cours de la gestation	17
Figure 6 : Exemple de perte d'identification d'une truie par l'algorithme sur les données vidéos	25
Figure 7 : Comparaison du nombre moyen d'observations avec identification correcte collectées par l'analyse vidéo d'une part(A) et du temps en activité par heure sur le total pratiqué des données accéléromètres (B) d'autre part	26
Figure 8 : Relation entre les valeurs des variables couchée et debout (A), entre mouvement et debout (B) et entre mouvement et couchée (C)	29
Figure 9 : Temps debout (A) et en mouvement (B) quotidien au cours de la gestation par truie, une couleur par individu	30
Figure 10 : Effet du jour de gestation sur le temps debout quotidien au cours de la gestation selon le rang de portée	31
Figure 11 : Prédictions du Modèle Debout par rapport aux données réelles pour une truie primipare	32
Figure 12 : Prédictions du Modèle Mouvement par rapport aux données réelles.....	33
Figure 13 : Temps quotidien moyen debout (A) et en mouvement (B) selon le cluster	35
Figure 14 : Temps d'activité physique quotidien moyen par heure selon le rang hiérarchique	36
Figure 15 : Apports alimentaires quotidiens individuels avec une stratégie lente. Une couleur par individu.....	38

Table des tableaux

Tableau 1 : Dépense énergétique associée à certains types d'activité (Labussiere et al. 2022; Noblet, X.S. Shi, Dubois 1993)	11
Tableau 2 : Caractérisation de l'activité en fonction de l'outil utilisé (Accéléromètre vs. Vidéo) . Erreur ! Signet non défini.	
Tableau 3 : Vitesse de marche d'une truie selon le type de sol et son état	19
Tableau 4 : Correspondance entre temps enregistré à la fois par accéléromètre et vidéo et part des activités pour les truies suivies à la fois par accéléromètre et vidéo	27
Tableau 5 : Répartition du temps par activité selon la méthode de prise de mesure	28
Tableau 6 : Statistiques descriptives (moyenne, médiane, quartile, minimum et maximum) des variables d'activité et des conditions d'ambiance	30
Tableau 7 : Description du modèle Debout	32
Tableau 8 : Description du modèle Mouvement	33
Tableau 9 : Valeurs moyennes des variables par cluster	36

Annexes

Annexe 1 : Organigramme d'INRAE (INRAE 2025)



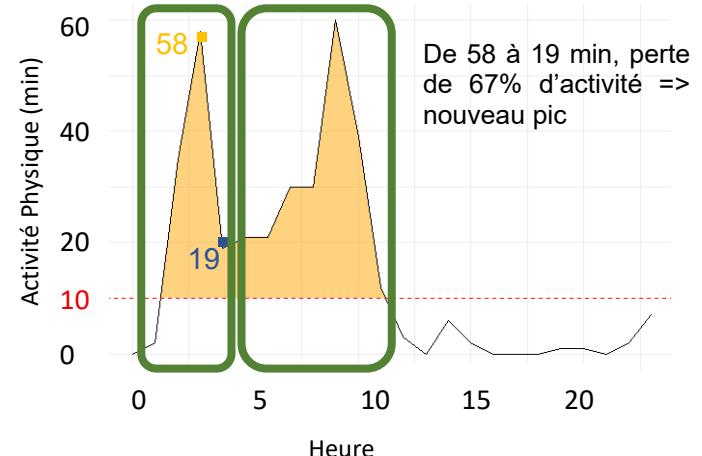
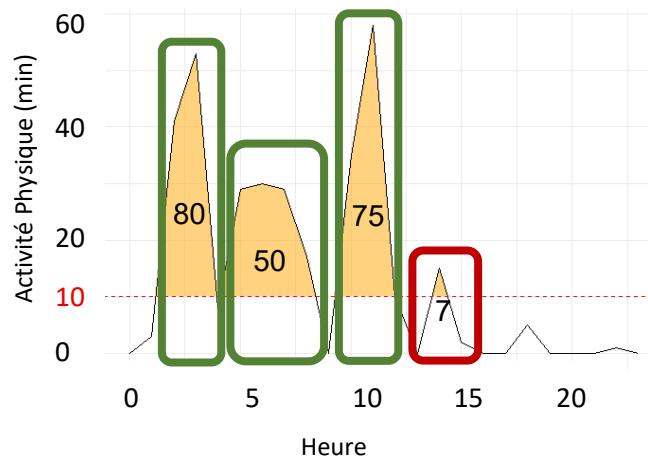
Annexe 2 : Équations retenues dans le modèle de Gaillard et al. (2019)
 Tableau en version française issue de Dourmad et al. (2018)

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

Annexe 3 : Photo d'un accéléromètre



Annexe 4 : Sélection des pics d'activité en fonction de l'aire sous la courbe (A) et de la différence de temps d'activité entre deux heures (B)



Annexe 5 : Correspondance entre temps enregistré par vidéo et bonne identification des truies

Gestation	1^{ère} gestation suivie						2^{ème} gestation suivie			3^{ème} gestation suivie					
	Bandes			14	15	4	5	11	12						
Jour de gestation	16	26	105	16	32	105	16	105	16	103	16	104	16	104	
Somme des enregistrements avec identification correcte (min)	888	1166	1185	971	676	842	556	1004	1953	1118	650	347	786	714	
Bonne identification sur le total suivi par algorithme	13%	17%	18%	17%	16%	18%	10%	18%	44%	22%	11%	6%	13%	14%	
Equivalence par rapport au temps capturable total	3%	4%	4%	3%	3%	4%	2%	4%	7%	5%	2%	1%	3%	3%	

Annexe 6: Correspondance entre temps enregistré sur la journée et part des activités pour les truies identifiées et suivies à la fois par accéléromètre et vidéo

Jour	n	Type de données	Temps debout cumulé (min)	Temps en mouvement cumulé (min)	Temps couchée cumulé (min)	Ratio debout (%)	Ratio mouvement (%)	Ratio couchée (%)
Jour 16 - bande_14	13	vidéo accéléromètre	188 2 817	81 1 414	329 14 478	31 15	13 8	55 77
Jour 26 - bande_14	13	vidéo accéléromètre	241 3 547	103 1 391	345 13 787	35 19	15 8	50 73
Jour 105 – bande_14	7	vidéo accéléromètre	73 1 675	31 645	204 7 750	24 16	10 6	66 77
Jour 16 - bande_15	2	vidéo accéléromètre	25 469	11 143	96 2 264	19 16	8 5	73 79
Jour 32 - bande_15	2	vidéo accéléromètre	17 491	7 110	35 2 275	29 18	12 4	59 79

Annexe 7 : Comparaison des budgets-temps de la bande 14 entre accéléromètre et analyse vidéo heure par heure à l'échelle du groupe

Le terme vidéo et la couleur rouge signifient que le budget-temps de l'activité observée est supérieur d'au moins 5% pour l'analyse vidéo par rapport à l'analyse avec accéléromètre. Le terme « accéléro » et la couleur marron signifient que le budget-temps est inférieur d'au moins 5% pour l'analyse vidéo par rapport aux accéléromètres. Le terme égal et la couleur verte signifient que le budget-temps est égal à $\pm 5\%$ entre l'analyse vidéo et accéléromètre.

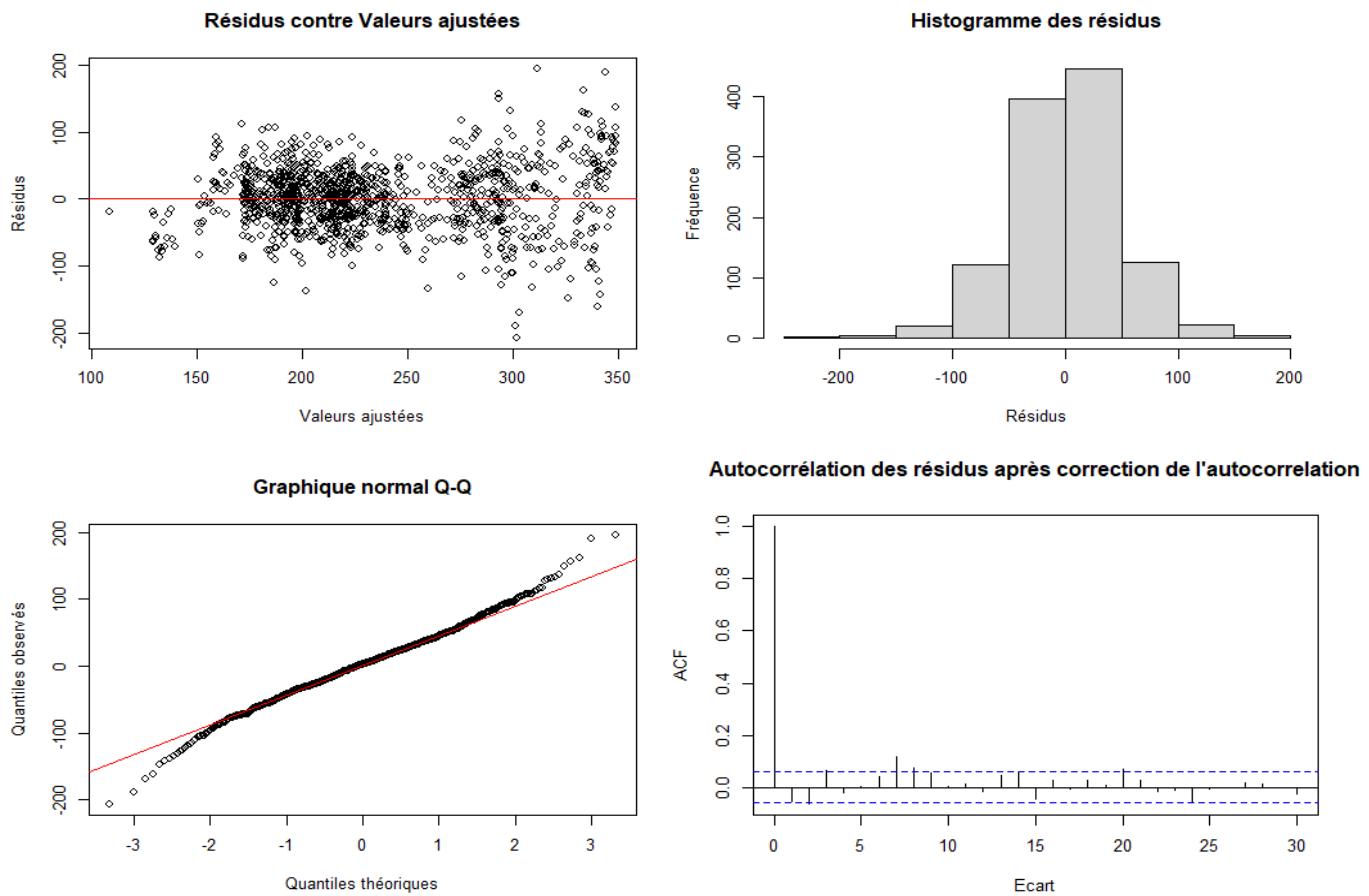
Heure	Jour 16 (n = 13)			Jour 26 (n = 13)			Jour 105 (n = 7)		
	Debout	Mouvement	Couchée	Debout	Mouvement	Couchée	Debout	Mouvement	Couchée
1	vidéo	égal	accéléro	vidéo	vidéo	accéléro	égal	vidéo	égal
2	vidéo	égal	accéléro	égal	égal	accéléro	vidéo	vidéo	accéléro
3	égal	égal	égal	égal	vidéo	accéléro	accéléro	égal	vidéo
4	égal	accéléro	vidéo	accéléro	accéléro	vidéo	égal	égal	égal
5	vidéo	égal	égal	vidéo	égal	accéléro	accéléro	égal	vidéo
6	accéléro	égal	vidéo	égal	égal	accéléro	vidéo	égal	égal
7	égal	égal	égal	accéléro	accéléro	vidéo	égal	égal	égal
8	égal	égal	accéléro	vidéo	égal	accéléro	accéléro	accéléro	vidéo
9	égal	égal	égal	égal	égal	égal	vidéo	vidéo	accéléro
10	accéléro	égal	vidéo	accéléro	égal	vidéo	égal	égal	égal
11	accéléro	égal	vidéo	égal	égal	accéléro	accéléro	égal	vidéo
12	accéléro	accéléro	vidéo	accéléro	accéléro	vidéo	égal	égal	égal
13	égal	égal	égal	accéléro	égal	vidéo	égal	égal	vidéo
14	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal
15	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal
16	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal
17	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal
18	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal
19	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal	égal
20	égal	égal	égal	vidéo	égal	accéléro	égal	égal	égal
21	égal	égal	égal	accéléro	égal	vidéo	égal	égal	égal
22	vidéo	égal	accéléro	accéléro	égal	vidéo	égal	égal	égal
23	accéléro	égal	vidéo	égal	égal	égal	égal	égal	égal
24	égal	égal	égal	vidéo	égal	accéléro	vidéo	égal	accéléro

Annexe 8 : Sélection du meilleur modèle pour l'activité debout.

Les modèles sont classés par ordre croissant sur le BIC, le modèle sélectionné est en gras.

Identifiant de la tentative	Terme enlevé	Termes conservés	AIC	BIC
17	IA_PV	Boiterie + IA_ELD	11850	11925
16	Bande	IA_PV + Boiterie + IA_ELD	11847	11927
21	IA_ELD	Boiterie	11859	11929
13	IA_PV	Boiterie + IA_ELD + Bande	11850	11930
11	Alimentation	IA_PV + Boiterie + IA_ELD + Bande	11845	11931
12	Bande	IA_PV + Boiterie + IA_ELD + Alimentation	11845	11931
20	Boiterie	IA_ELD	11861	11932
18	Boiterie	IA_PV + IA_ELD	11858	11934
19	IA_ELD	IA_PV + Boiterie	11860	11935
8	IA_PV	Boiterie + IA_ELD + Alimentation + Bande	11851	11936
7	Bursite	IA_PV + Boiterie + IA_ELD + Alimentation + Bande	11846	11937
14	Boiterie	IA_PV + IA_ELD + Bande	11857	11937
5	Alimentation	IA_PV + Boiterie + IA_ELD + Bande + Bursite	11847	11938
6	Bande	IA_PV + Boiterie + IA_ELD + Alimentation + Bursite	11847	11938
15	IA_ELD	IA_PV + Boiterie + Bande	11862	11942
9	Boiterie	IA_PV + IA_ELD + Alimentation + Bande	11857	11943
2	IA_PV	Boiterie + IA_ELD + Alimentation + Bande + Bursite	11852	11943
1		IA_PV + Boiterie + IA_ELD + Alimentation + Bande + Bursite	11848	11943
10	IA_ELD	IA_PV + Boiterie + Alimentation + Bande	11861	11946
3	Boiterie	IA_PV + IA_ELD + Alimentation + Bande + Bursite	11859	11949
4	IA_ELD	IA_PV + Boiterie + Alimentation + Bande + Bursite	11862	11953

Annexe 9 : Analyse des résidus pour le modèle debout



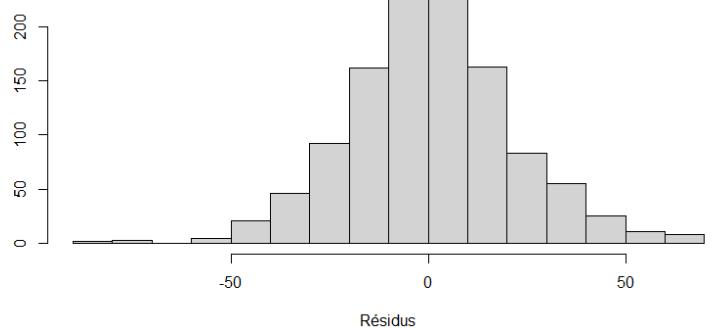
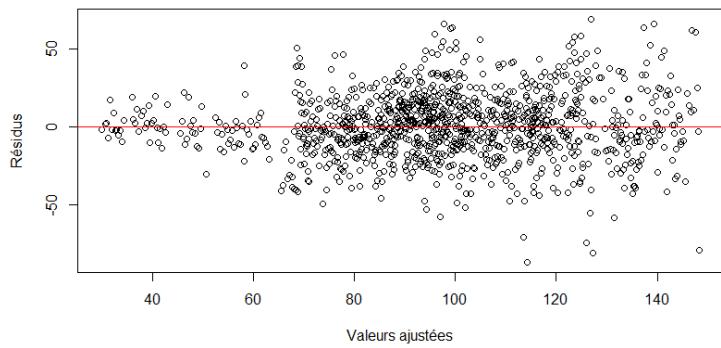
Annexe 10 : Sélection du meilleur modèle pour l'activité en mouvement.

Les modèles sont classés par ordre croissant sur le BIC, le modèle sélectionné est en gras. Plus d'effet fixes ont été testés pour mouvement, seuls les dix premiers et derniers, ainsi que le modèle comprenant tous les effets sont présentés.

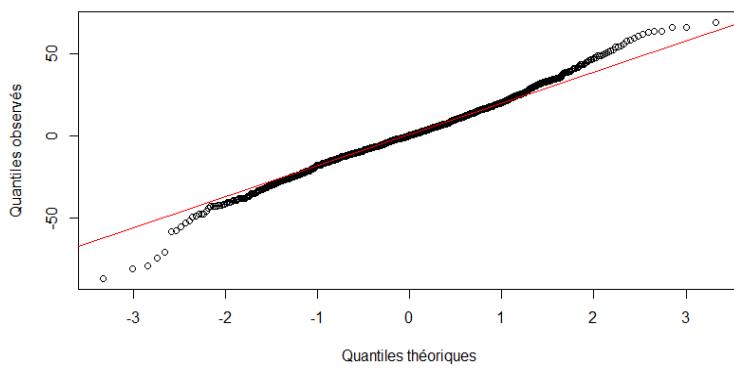
Identifiant de la tentative	Terme enlevé	Termes conservés	AIC	BIC
43	Alimentation	Boiterie + Jour de gestation	10070	10115
38	AI_ELD	Boiterie + Jour de gestation + Alimentation	10068	10118
40	Alimentation	Boiterie + AI_ELD + Jour de gestation	10071	10121
32	AI_PV	Boiterie + AI_ELD + Jour de gestation + Alimentation	10067	10122
34	AI_ELD	AI_PV + Boiterie + Jour de gestation + Alimentation	10067	10122
31	Bande	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Jour de gestation + Alimentation	10063	10124
28	AI_ELD	AI_PV + Boiterie + Jour de gestation + Alimentation + Bande	10064	10124
36	Alimentation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Jour de gestation	10069	10125
30	Alimentation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Jour de gestation + Bande	10065	10125
26	AI_PV	Boiterie + AI_ELD + Jour de gestation + Alimentation + Bande	10066	10126
		[...]		
1		AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Rang de portée + Jour de gestation + Alimentation + Bande + Bursite + Groupe hiérarchique	10062	10153
7	Alimentation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Rang de portée + Jour de gestation + Bande + Bursite + Groupe hiérarchique	10068	10154
45	Jour de gestation	Boiterie	10118	10158
42	Jour de gestation	Boiterie + Alimentation	10117	10162
3	Boiterie	AI_PV + AI_ELD + Rang de portée + Jour de gestation + Alimentation + Bande + Bursite + Groupe hiérarchique	10078	10164
39	Jour de gestation	Boiterie + AI_ELD + Alimentation	10114	10165
35	Jour de gestation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Alimentation	10111	10166
29	Jour de gestation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Alimentation + Bande	10109	10170
22	Jour de gestation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Alimentation + Bande + Bursite	10111	10176
14	Jour de gestation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Alimentation + Bande + Bursite + Groupe hiérarchique	10108	10183
6	Jour de gestation	AI_PV + Boiterie + AI_ELD + Rang de portée + Alimentation + Bande + Bursite + Groupe hiérarchique	10110	10196

Annexe 11 : Analyse des résidus pour le modèle mouvement

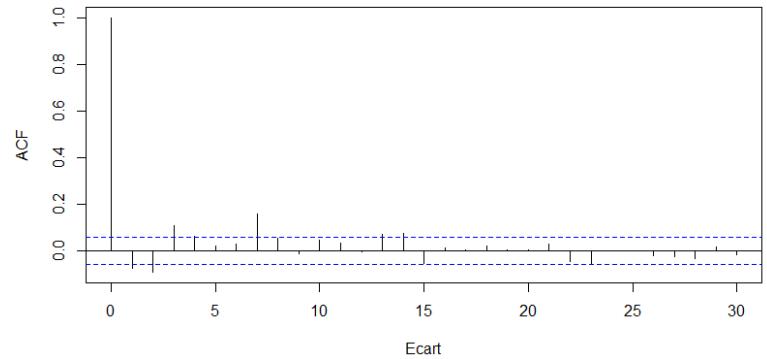
Résidus contre Valeurs ajustées



Graphique normal Q-Q

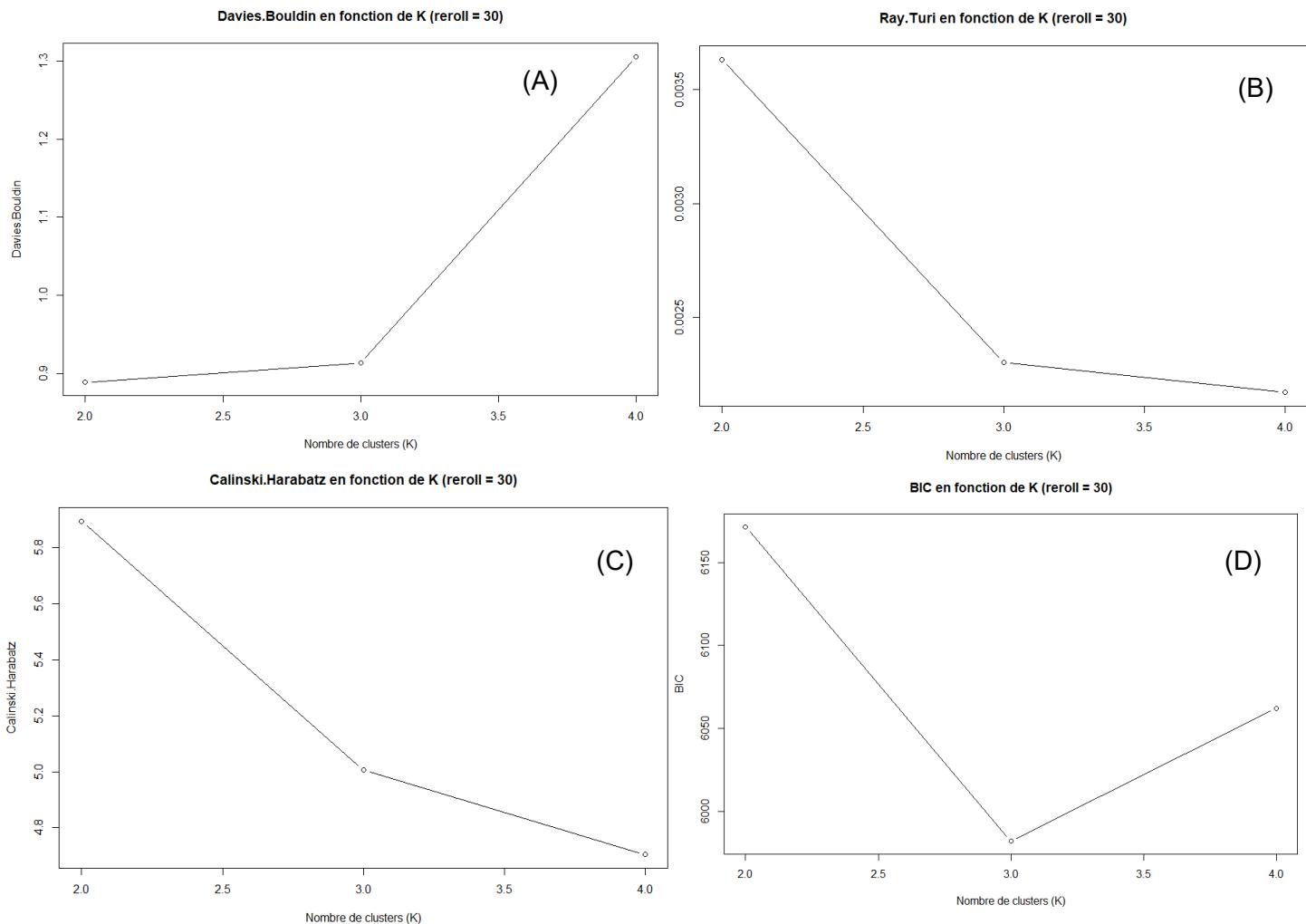


Autocorrélation des résidus après correction de l'autocorrelation



Annexe 12 : Indices de Davies-Bouldin (A), Ray-Turi (B), Calinski-Harabatz (C) et BIC (D) en fonction du nombre de clusters K pour 30 itérations.

Les indices de Davies-Bouldin et celui de Ray-Turi ainsi que le BIC doivent être minimisés, l'indice de Calinsky-Harabatz doit être maximisé.



Annexe 13 Tableau récapitulatif des caractéristiques des individus par cluster

Légende : inactives = rose ; marcheuses = violet ; levées = jaune ; IA_ELD : épaisseur de lard dorsal à l'insémination ; IA_PV: poids à l'insémination, Alim_AC : alimentation conventionnelle ; Alim_AM : Alimentation sur-mesure

Groupe de rang de portée	IA_ELD (mm)	Alimentation	IA_PV(kg)	Groupe hiérarchique
P2	14	Alim_AC	173	H2
P2	13	Alim_AM	173	H3
P2	19	Alim_AM	199	H2
P2	19	Alim_AC	202	H2
P1	16	Alim_AC	170	H3
P1	15	Alim_AM	160	H3
P1	14	Alim_AC	163	H2
P2	12	Alim_AM	185	H2
P1	12	Alim_AM	175	H2
P3	20	Alim_AM	307	H1
P3	13	Alim_AM	252	H1
P3	13	Alim_AC	231	H1
P3	12	Alim_AC	207	H2
P2	10	Alim_AC	177	H3
P3	13	Alim_AC	256	H2
P3	11	Alim_AC	254	H1

Table des annexes

Annexe 1 : Organigramme d'INRAE (INRAE 2025)	60
Annexe 2 : Equations retenues dans le modèle de Gaillard et al. (2019) (Dourmad et al. 2018).....	61
Annexe 3 : Photo d'un accéléromètre	62
Annexe 4 : Sélection des pics d'activité en fonction de l'aire sous la courbe (A) et de la différence de temps d'activité entre deux heures (B)	63
Annexe 5 : Correspondance entre temps enregistré par vidéo et bonne identification des truies	64
Annexe 6: Correspondance entre temps enregistré sur la journée et part des activités pour les truies identifiées et suivies à la fois par accéléromètre et vidéo	65
Annexe 7 : Comparaison des budgets-temps de la bande 14 entre accéléromètre et analyse vidéo heure par heure	66
Annexe 8 : Sélection du meilleur modèle pour l'activité debout.....	67
Annexe 9 : Analyse des résidus pour le modèle debout	68
Annexe 10 : Sélection du meilleur modèle pour l'activité en mouvement	69
Annexe 11 : Analyse des résidus pour le modèle mouvement	70
Annexe 12 : Indices de Davies-Bouldin (A), Ray-Turi (B), Calinski-Harabatz (C) et BIC (D) en fonction du nombre de clusters K pour 30 itérations.....	71
Annexe 13 Tableau récapitulatif des caractéristiques des individus par cluster.....	72