

Précision de l'information collectée chaque heure par un accéléromètre fixé à l'oreille de la truie gestante pour la caractérisation de son activité physique

Florian BUSNEL et Nathalie QUINIOU

IFIP – Institut du Porc, La Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

nathalie.quiniou@ifip.asso.fr

Avec la collaboration technique de Michel MARCON, Delphine LOISEAU, Maxime FOUBERT,

Didier PILORGET, Kélig ROCHER, Angélique DEBROISE (IFIP),

et de Pierre CHEREL et Michel LE MER (société RF-TRACK)

ainsi que le soutien financier du Ministère de l'Agriculture dans le cadre du projet CASDAR BEALIM.

Précision de l'information collectée chaque heure par un accéléromètre fixé à l'oreille de la truie gestante pour la caractérisation de son activité physique

L'étude a pour objectif d'évaluer la précision de l'algorithme appliqué pour traiter les mesures réalisées au moyen d'un accéléromètre fixé à l'oreille de la truie en gestation pour quantifier sur un pas de temps horaire le temps passé debout, couchée ou en marche. Ces informations sont comparées aux résultats de cinq à huit séances d'observations entre le 25^{ème} et le 108^{ème} jour de gestation de 17 truies issues de deux bandes, logées dans une grande case prévue pour accueillir au maximum trois bandes en mode dynamique. Au cours de chaque séance (de 9h00 à 17h00), la posture observée (debout, marche, couchée, assise) est notée pour chaque truie chaque minute, puis le temps passé dans chaque posture est cumulé par séance. Différentes hypothèses sont examinées pour associer (ou non) la position assise avec la position debout ou couchée, mais du fait de sa faible occurrence (moins de 6 minutes/8 heures), cela influence peu la précision de la détection de ces deux positions. Les truies sont observées debout immobiles ou en marche en moyenne 1h46 ($\pm$ 1h15 dont 22 % en marche) par séance. Le temps correspondant obtenu par accélérométrie est un peu plus élevé (2h00 $\pm$ 1h19, dont 33 % en marche). En supposant que l'accéléromètre a une chance sur deux de détecter une truie assise en position debout ou couchée, la sensibilité est en moyenne de 95,6 % pour la marche, de 90,5 % pour la position debout et de 96,1 %, pour la position couchée. La spécificité est supérieure à 96 % pour ces trois activités. Ces résultats indiquent que les informations agrégées sur un pas de temps horaire à partir d'une boucle fixée à l'oreille permettent de quantifier avec une précision élevée le temps passé par chaque truie en position couchée, debout ou en marche.

Precision of determining pregnant sow activity hourly from acceleration data provided by a sensor fixed to the ear

The aim of the present study was to evaluate the precision of determining pregnant sow activity automatically using an algorithm from data collected by an accelerometer fixed to the ear. Three activities were detected (i.e. lying, standing and walking) and the corresponding time budget was recorded on an hourly basis. These results were compared to data collected by direct observation carried out five or eight times between the 25th and 108th day of gestation on 17 sows in two batches kept in a large group managed in a dynamic way. From 9 am to 5 pm, individual activity (lying, standing, walking or sitting) was observed each minute; thereafter, time spent in each posture was summed per session of 8 hours. Different hypotheses were tested to check whether it was useful to combine sitting behaviour with standing or lying posture. Ultimately, either option had little influence on the method's sensitivity or specificity, due to the rarity of sitting behaviour (less than 6 minutes/8 hours). Based on observation, cumulative standing and walking activities averaged 1h46 ($\pm$ 1h15, 22 % walking) per sow, which was slightly lower than results given by the accelerometer (2h00 $\pm$ 1h19, 33 % walking). Assuming that sitting is identified as either standing or lying with similar probabilities, sensitivity averaged 95.6 %, 90.5 % and 96.1 % for walking, standing and lying postures, respectively. Specificity exceeded 96 % for all activities. According to these results, pre-processed data collected from an accelerometer fixed to the sow's ear appear to be precise enough to quantify the time spent lying, standing or walking.

INTRODUCTION

L'alimentation de précision appliquée à la truie est un concept qui suppose l'acquisition d'informations, un modèle permettant d'estimer ses besoins nutritionnels et l'utilisation d'un dispositif d'alimentation permettant de lui apporter chaque jour de l'aliment en quantité et en qualité optimale pour couvrir ses besoins. A partir du modèle développé par l'INRA (Dourmad *et al.*, 2005), la ration peut être adaptée à chaque truie en fonction de son âge, de son poids vif (PV) et de son épaisseur de lard dorsal (ELD) mesurés en début de gestation, de manière à atteindre un objectif d'état à la mise bas.

L'alimentation individuelle des truies gestantes peut être envisagée en auge individuelle quand la truie est élevée en loge, mais pendant une phase d'élevage en groupe, elle implique l'utilisation d'équipements d'alimentation automatisés. Il est ainsi possible de mettre en œuvre une alimentation de précision pour les truies élevées dans des cases équipées de distributeur(s) automatique(s) de concentré (DAC). Ceux-ci sont parfois associés à des bascules automatiques permettant de peser régulièrement les truies sans contention.

Parmi les différents modes de logement en groupe, le système DAC est celui dans lequel le niveau d'activité est le plus élevé et le plus variable entre individus (Tertre et Ramonet, 2014). Or d'après Noblet *et al.* (1993), la dépense d'énergie double dès que la truie se met debout. Pour un même niveau d'apport énergétique global, une augmentation de ce poste de dépense se fait donc au détriment de la couverture des autres composantes du besoin, telle la constitution de réserves (Quiniou, 2003). Ainsi, après l'abandon des cages de contention vers un élevage en groupe, les éleveurs ont constaté une baisse de l'ELD du troupeau et ont dû, de façon empirique, revoir à la hausse le niveau de rationnement des truies.

Caractériser en continu de façon automatisée le niveau d'activité individuel quotidien des truies peut alors contribuer à améliorer l'ajustement des apports aux besoins ; pour ce faire, l'accélérométrie est une technique pertinente (Cornou et Lundbye-Christensen, 2010). Se pose alors la question de la mise au point d'un matériel fiable, robuste et peu coûteux. Dans un premier temps, il s'agit de pouvoir fixer le capteur sur la truie. Plusieurs études montrent que la fixation au cou (Escalante *et al.*, 2013), sur le dos (Ringgenberg *et al.*, 2010) ou à la patte (Cornou et Lundbye-Christensen, 2010 ; Ringgenberg *et al.*, 2010 ; Bertin et Ramonet, 2015) permet de caractériser la position debout avec une précision satisfaisante, mais que la tenue dans le temps de la fixation du dispositif sur l'animal n'est pas satisfaisante. La fixation à l'oreille est une alternative qui donne un signal un peu plus variable du fait des mouvements propres de l'oreille (Marchioro *et al.*, 2011), mais qui permet d'envisager une fixation à long terme. Il s'agit ensuite de

disposer d'un capteur qui puisse transmettre les données à distance et qui présente une autonomie d'alimentation électrique suffisante. Cela impose un prétraitement des données pour en limiter le volume. L'algorithme développé par Marcon *et al.* (2017) permet d'identifier les positions couchée, debout et marche avec une précision instantanée de 84,2%. L'objectif de cette étude est d'évaluer les résultats renvoyés par l'algorithme quand celui-ci est paramétré pour transmettre des données d'activité horaires.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et conditions de logement

L'étude est réalisée dans la station expérimentale IFIP de Romillé (35) sur 17 truies croisées Large White x Landrace issues de deux bandes. Les animaux sont logés en groupe entre le 25^{ème} et le 108^{ème} jour de gestation dans une grande case prévue pour accueillir trois bandes en mode dynamique. La distribution de la ration quotidienne commence à 12h00 et se poursuit jusqu'au lendemain en fin de matinée tant que la truie ne l'a pas consommée en totalité. L'étude menée entre le 21/06/17 et le 05/09/17 met en œuvre 17 accéléromètres de façon simultanée sur des truies issues de deux bandes présentes dans le groupe sur cette période.

1.2. Accéléromètre

Un suivi automatique quotidien et individuel de l'activité est réalisé avec les accéléromètres tout au long de la gestation. Le jour de la mise en groupe des truies, une boucle en résine est fixée sur la face interne de l'oreille droite de la truie (Figure 1). Elle contient l'accéléromètre et un dispositif de transmission par radiofréquence (une fois par heure) conçus pour consommer très peu d'énergie et faire en sorte que la batterie puisse assurer le fonctionnement de l'équipement pendant toute la durée de la carrière de la truie. En cas de perte ou de panne, l'accéléromètre est remplacé.

1.3. Mesures, calculs et analyses statistiques

Les mesures de mouvements réalisées sur trois axes (avec une fréquence de 4 Hz) par l'accéléromètre sont traitées par un algorithme embarqué dans un microcontrôleur qui les convertit en trois types de postures ou activités : debout (D_{acc}), marche (M_{acc}), couchée (C_{acc}) ; la position assise n'est pas différenciée par l'algorithme. Chaque heure, le temps passé dans chaque position est calculé par le boîtier et transmis à un ordinateur équipé d'un logiciel qui compile toutes les données horaires du jour dans un fichier.

Les truies sont observées dans le DAC habituellement entre 09h00 et 17h00, à trois exceptions près liées à des aléas de disponibilité de l'observateur réalisant les notations. Neuf truies de la bande 485 sont observées cinq fois entre le 73^{ème} et le 101^{ème} jour de gestation (entre le 21/06 et le 19/07/17). Les données de la dernière séance d'observation ne sont pas utilisées car les truies n'ont pu être observées entre 12h00 et 13h00, c'est-à-dire au démarrage des stations d'alimentation. Huit truies de la bande 487 sont observées sept fois entre le 32^{ème} et 74^{ème} jour de gestation (entre le 23/06 et le 28/07/17) puis une fois de plus au 106^{ème} jour (le 05/09/17). Les données de la 3^{ème} séance (le 07/07/17) sont acquises entre 10h00 et 18h00 et sont conservées pour l'analyse, mais pas celles de la 4^{ème} séance (le 12/07/17) car les truies n'ont pu être observées entre 13h00 et 14h00.



Figure 1 – Boucle (femelle) de fixation de l'accéléromètre à l'oreille (prototype développé par la société Rf-Track)

Chaque truie est repérée dans le groupe par la lettre écrite au marqueur sur son dos et ses deux flancs. Lors de chaque séance d'observation, l'observateur note toutes les minutes si la truie est debout (D_{obs}), couchée (C_{obs}), assise (A_{obs}) ou en marche (M_{obs}). Cette posture est alors supposée durer 1 minute et vient alimenter le calcul du temps passé dans chaque posture par heure par individu.

Les temps passés dans chaque position enregistrés par l'observateur ($D_{obs} + M_{obs} + C_{obs} + A_{obs}$) ou les accéléromètres ($D_{acc} + M_{acc} + C_{acc}$) sont utilisés pour quantifier, en minutes, les comportements vrais positifs (VP), vrais négatifs (VN), faux positifs (FP) et faux négatifs (FN). Puis la sensibilité ($SE = VP / (VP + FN)$), la spécificité ($SP = VN / (VN + FP)$) et l'exactitude globale de détection de chaque posture ($Ex = (VN + VP) / (VP + VN + FP + FN)$) sont calculées. Comme l'algorithme ne permet pas de détecter la position assise, différentes hypothèses sont testées pour évaluer l'incidence de, respectivement, l'association de la position A_{obs} à la position D_{obs} ou C_{obs} ou une répartition à 50% entre les deux sur la qualité de prédiction.

La sensibilité et la spécificité obtenues pour chaque activité sont utilisées pour calculer la probabilité de détection correcte (Prob) que la truie réalise cette activité, après une pondération pour le temps relatif (Prev pour prévalence) consacré à cette dernière sur les 8 heures étudiées, selon la méthode proposée par Cornou et Lundbye-Christensen (2010) :

$$Prob = (SE \times Prev) / (SE \times Prev + (1 - SP) \times (1 - Prev))$$

L'évolution des critères de précision est évaluée au fil des séances. Le temps consacré à chaque activité est calculé par jour par truie à partir de la somme des activités enregistrées par heure. Les données sont analysées avec le logiciel SAS (v9.4, Inst. Inc. Cary, NC). Le coefficient de Pearson est calculé avec la procédure CORR. La procédure UNIVARIATE est utilisée pour vérifier la normalité des variables. Quand cette condition n'est

pas vérifiée, un test non paramétrique (procédure NPAR1WAY) est utilisé pour étudier successivement l'effet de la bande et de la séance intra-bande.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les séances d'observation permettent de disposer d'une base de 878 données horaires individuelles, dont 736 ont été conservées pour l'analyse, une fois retirées les journées d'observation incomplètes. La base de données obtenue par accélérométrie, établie à partir des mêmes truies sur les mêmes jours et heures, compte 16 données manquantes liées au dysfonctionnement d'un accéléromètre sur une truie lors de deux séances (bande 485, 4^{ème} séance ; bande 487, 2^{ème} séance).

Sur les 17 boucles installées avant la mise en groupe, quatre ont dû être remplacées (perte ou panne), tandis que les 13 autres transmettaient encore des données à l'entrée en maternité. Au total, les analyses portent sur 720 données qui correspondent à 90 équivalents séance x truie.

2.1. Activités observées en moyenne au cours des séances

En accord avec les travaux antérieurs de Bertin et Ramonet (2015), l'étude des données individuelles acquises pendant les différentes séances d'observation permet de constater une très grande hétérogénéité du temps passé en marche ou debout, ainsi que du cumul des deux (Figure 2). Sur 8 heures d'observation, les truies sont debout immobiles ou en marche (i.e. $D_{obs} + M_{obs}$) en moyenne 1h46 ($\pm 1h15$), dont 22 % en marche. Le temps correspondant obtenu par accélérométrie est un peu plus élevé (2h00 $\pm 1h19$, dont 33 % en marche), mais l'écart entre les deux méthodes n'est pas significatif ($P = 0,25$). Elles passent en moyenne moins de 6 minutes (1,25 %) en position assise sur la période de la journée observée (Figure 2d).

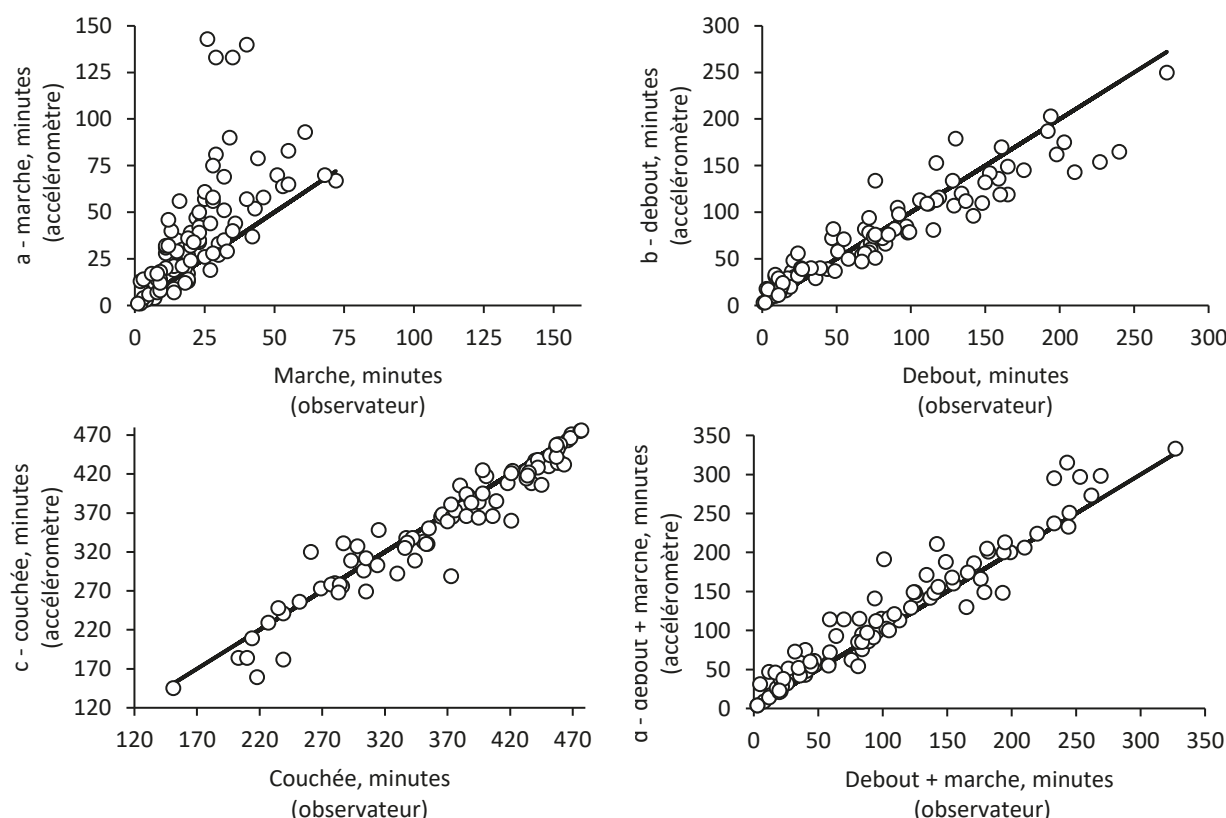


Figure 2 – Comparaison des 90 couples (équivalents séance x truie) de mesures du temps passé sur 8 heures dans différentes positions ou activités par l'observateur ou par accélérométrie (les lignes continues sont les bissectrices)

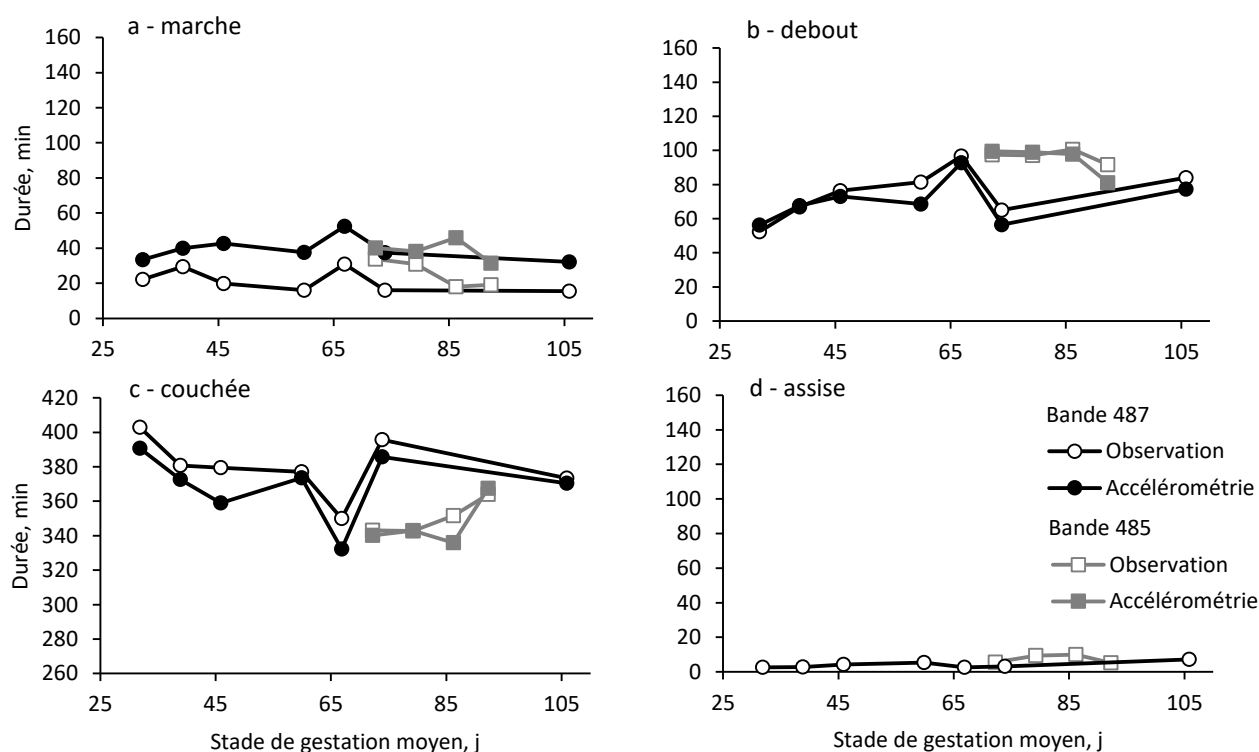


Figure 3 – Temps moyen (sur 8 heures) passé en position couchée (a), debout (b), marche (c) ou assise (d) selon la bande et le stade de gestation, déterminé par un observateur ou par accélérométrie

La corrélation entre les observations directes et les mesures réalisées par accélérométrie est, respectivement, de 0,66 ($P < 0,001$) pour la marche, 0,94 ($P < 0,001$) pour la position debout, 0,96 ($P < 0,001$) pour la somme des deux et 0,96 ($P < 0,001$) pour la position couchée. La corrélation pour la marche augmente à 0,81 après retrait des quatre points pour lesquels le temps passé en marche est de plus de 130 minutes selon l'accéléromètre contre moins de 50 minutes réellement observées (Figure 2a). Ces quatre points concernent une seule truie équipée d'un accéléromètre tombé en panne et ayant cessé d'émettre avant la dernière séance d'observation. Lors de cette dernière séance, le temps de marche enregistré avec l'accéléromètre de remplacement est de 32 minutes, contre 75 minutes lors de la première séance également réalisée avec un autre accéléromètre. Pour ces quatre points, la surévaluation du temps de marche était de 103 à 136 minutes au détriment à la fois du temps passé couchée et du temps passé debout, mais ils n'expliquent pas à eux seuls l'écart moyen obtenu à chaque séance entre les observations et les enregistrements réalisés par accélérométrie sur ce critère pour cette bande (Figure 3a).

Le temps consacré à la marche semble rester relativement stable au cours de la gestation pour les truies des deux bandes (Figure 3a). Les données acquises à partir de la bande 487 semblent indiquer une augmentation du temps passé debout entre le début et le milieu de la gestation (Figure 3b). Cependant, cette évolution est suivie d'une diminution brutale, sans événement particulier noté ce jour-là sur le groupe ou l'ambiance (la température ambiante étant proche de 19°C).

2.2. Précision

2.2.1. Prise en compte ou non des observations A_{obs}

Le fait d'associer toutes les minutes passées en position assise à celles passées debout ($A_{obs} + D_{obs}$) ou couchée ($A_{obs} + C_{obs}$) ou le fait de les répartir équitablement entre les deux ($A_{obs}/2 + D_{obs}$

et $A_{obs}/2 + C_{obs}$) a eu très peu d'influence sur la précision de la détection de ces positions par l'accéléromètre (Tableau 1). La suite des analyses est réalisée en considérant que les probabilités que l'accéléromètre confonde la position assise avec les positions debout ou couchée sont égales ; le temps d'observation correspondant est réparti à 50,% entre ces deux positions.

2.2.2. Sensibilité

La sensibilité est la probabilité de détecter une position quand elle est effectivement adoptée par la truie. Elle est de 95,56 % pour la marche. Pour les positions debout et couchée, elle est respectivement de 90,50 et 96,09 % (Tableau 1). Avec la même boucle fixée à l'oreille et le même algorithme de traitement mais un pas de temps de 0,0625 seconde, Marcon *et al.* (2017) obtiennent une spécificité proche pour la position couchée (94,3 %) mais beaucoup plus faible pour la position debout (66,9 %) et la marche (68,4 %). Cet écart traduit le fait qu'agréger les résultats sur un pas de temps plus long permet à des erreurs de détection de se compenser l'une l'autre (notamment lors des changements d'allure, i.e. marche vs debout immobile) et ainsi de passer inaperçues. Néanmoins, avec un pas de temps de 1 seconde et un accéléromètre fixé au cou, Cornou et Lundbye-Christensen (2010) parviennent à détecter des comportements actifs (96,0 %) et passifs (94,0 %) avec une spécificité très élevée. De même, avec un accéléromètre fixé au dos ou à la patte et un pas de temps de 5 secondes, Ringgenberg *et al.* (2010) obtiennent une sensibilité d'environ 93 % pour la position couchée et 99,5 % pour la détection de la station debout, mais sans distinction entre la position debout statique ou mobile (marche).

Aucune différence significative n'est apparue entre bandes pour la sensibilité de la détection des différentes postures (Tableau 1) ; les écarts observés à la fin de la gestation restent limités à quelques pourcents (Figure 4). Bien que la truie équipée d'un accéléromètre ne fonctionnant pas correctement soit conservée

dans la base de données, il ne semble pas que les erreurs de détection de la marche mentionnées plus haut pèsent sur la qualité globale de la précision. En effet, aucun effet significatif du jour d'observation n'est obtenu à partir des données de la bande 487 à laquelle cette truie appartient ($P = 0,714$).

Tableau 1 - Précision moyenne¹ de la détection du type de position sur 8 heures d'observation (%)

Prise en compte A_{obs}		Marche	Debout	Couchée
Sensibilité	100% D_{obs}^2	95,56	88,83	96,62
	100% C_{obs}^2	95,56	91,67	95,50
	50% / 50%²	95,56	90,50	96,09
	P-values³			
	Effet bande	0,236	0,930	0,220
	Effet séance			
	bande 485	0,248	0,317	0,137
	bande 487	0,714	0,592	0,707
Spécificité	100% D_{obs}^2	96,24	98,84	97,33
	100% C_{obs}^2	96,24	98,38	98,41
	50% / 50%²	96,24	98,65	97,95
	P-values³			
	Effet bande	0,724	0,199	0,928
	Effet séance			
	bande 485	0,009	0,153	0,350
	bande 487	0,979	0,889	0,278
Exactitude	100% D_{obs}^2	96,31	96,08	93,85
	100% C_{obs}^2	96,31	96,41	93,34
	50% / 50%²	96,31	96,32	96,85
	P-values³			
	Effet bande	0,794	0,189	0,026
	Effet séance			
	bande 485	0,010	0,792	0,445
	bande 487	0,956	0,878	0,668
Prévalence	50% / 50%²	4,8	17,4	77,5
Prédiction	50% / 50%²	65,66	87,33	99,23

¹Nombre d'observations : 90 ; calcul réalisé à partir des cumuls de temps passé dans chaque position sur 8 heures d'observation. Temps observé en position assise (A_{obs}), debout (D_{obs}) et couchée (C_{obs}).

²La position assise est cumulée à 100% avec la position D_{obs} ou la position C_{obs} , ou répartie équitablement entre les deux.

³Test non paramétrique de Wilcoxon (proc Npar1way) réalisé à partir des résultats obtenus en supposant que la position assise est associée à 50% avec la position D_{obs} et 50% avec la position C_{obs} .

2.2.3. Spécificité

La spécificité évalue la probabilité de ne pas détecter une posture quand celle-ci n'est pas adoptée par la truie. Elle est supérieure de 96,24 % pour la marche, 98,65 % pour la position debout et de 97,95 % pour la position couchée. Ces valeurs sont du même ordre que celles rapportées par Cornou et Lundbye - Christensen (2010) pour les comportements actifs ou passifs (respectivement 96 et 94 %) et par Rikkenberg *et al.* (2011) pour la posture debout (99,7 %).

2.2.4. Exactitude globale

De façon relativement logique, les niveaux élevés de sensibilité et de spécificité obtenus pour chaque posture conduisent à des exactitudes globales très élevées, environ de 96 % pour les trois postures.

La probabilité d'une détection correcte est très élevée (99,23 %) pour une posture à forte prévalence telle que la position couchée (77,5 % du temps d'observation). Ce niveau est identique à celui obtenu par Cornou et Lundbye-Christensen (2010) pour les comportements passifs (99 %). Pour l'activité de marche et la posture debout, la probabilité de détection correcte faiblit ce qui peut être mis en relation avec le moindre temps consacré à ces deux activités (respectivement 4,9 % et 17,7 % du temps sur les 8 heures d'observation). Ce dernier résultat est en accord avec les conclusions antérieures de Cornou et Lundbye-Christensen (2010). Toutefois, dans l'étude de ces auteurs, les truies consacraient trois fois plus de temps à la marche que dans la nôtre (17,4 vs 4,8 %, Tableau 1) pour une probabilité de prédiction de 50 % (vs 65,7 % dans la nôtre). Cette baisse importante de probabilité de prédiction correcte des différents comportements actifs mais peu fréquents conduit ces auteurs à les cumuler et la probabilité de prédiction correcte augmente alors à 79 %. Ce cumul n'a pas été pratiqué ici. En effet, compte tenu des différences de coût énergétique importantes entre l'activité de marche et la position debout (E. Labussière, communication personnelle), il semble important de quantifier distinctement ces deux activités.

CONCLUSION

Plus de 75 % des boucles auriculaires équipées de l'accéléromètre ont tenu et fonctionné pendant toute la période de gestation en groupe, ce qui est très satisfaisant à ce stade de développement du prototype.

Les résultats obtenus indiquent que les informations agrégées sur un pas de temps horaire par l'algorithme, à partir des mesures réalisées chaque seconde sur trois axes par un accéléromètre placé dans la boucle fixée à l'oreille, permettent de quantifier avec une précision élevée le temps passé par chaque truie en position couchée, debout ou en marche. L'étude doit se poursuivre par la mise en œuvre de rations journalières tenant compte en temps réel du type et du niveau d'activité de chaque truie pour assurer une meilleure couverture de ses besoins énergétiques.

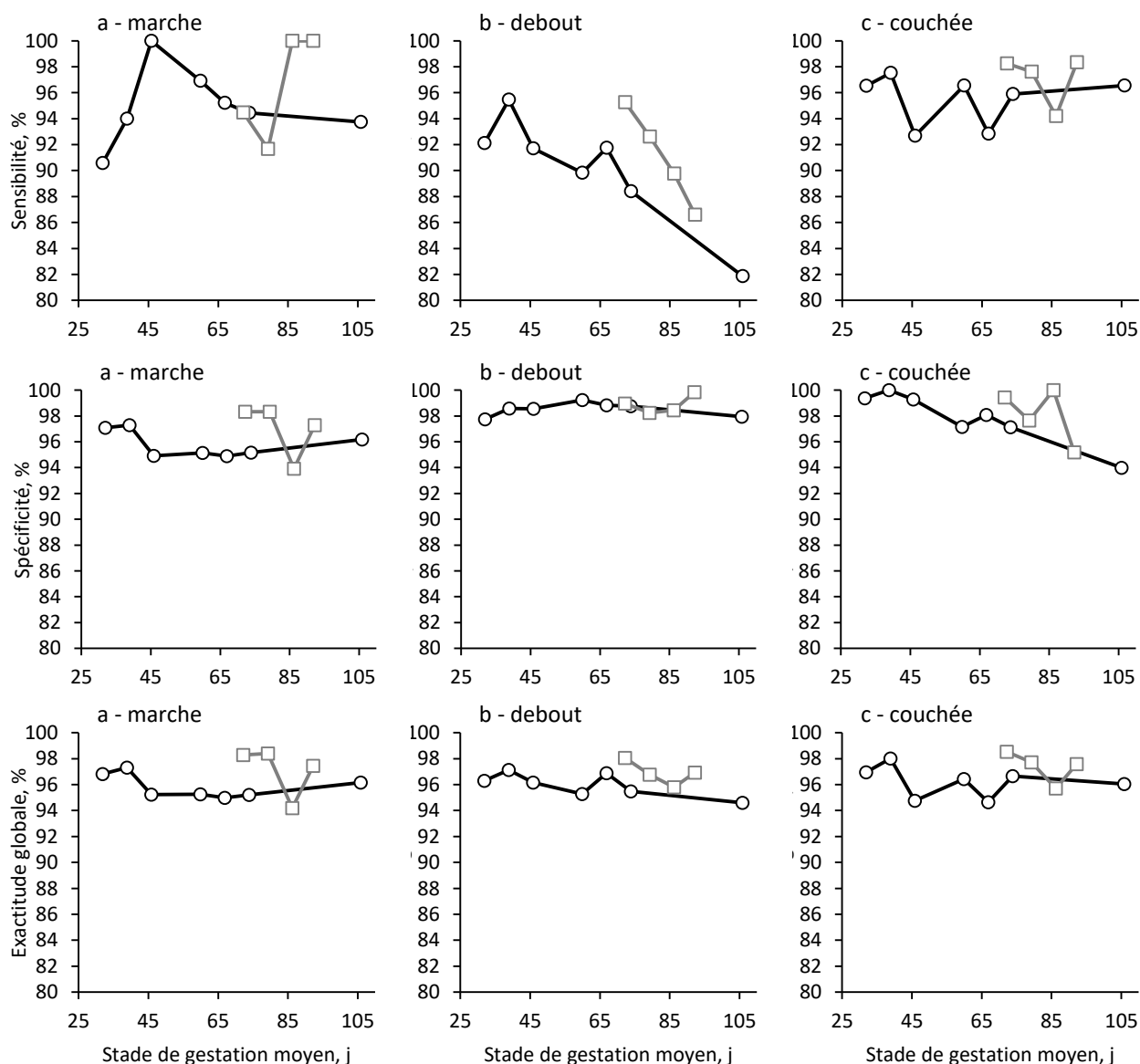


Figure 4 – Evolution des critères d'évaluation de la précision¹ de la détection des positions marche (a), debout (b) et couchée (c) selon la bande (□ : 485, ○ : 487) et le stade de gestation moyen lors de la séance d'observation

¹Sans prise en compte des observations de la position assise. Les P-values des effets de la bande ou du stade de mesure intra-bande sont indiquées dans le tableau 1

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertin C., Ramonet Y., 2015. Utilisation d'accéléromètres pour évaluer l'activité physique des truies gestantes logées en groupe : développement de la méthode et utilisation dans six élevages au DAC. Journées Rech. Porcine, 47, 229-234.
- Cornou C., Lundbye-Christensen S., 2010. Classification of sows' activity types from acceleration patterns using univariate and multivariate models. Comput. Electronics Agric., 72, 53-60.
- Dourmad J.-Y., Etienne M., Noblet J., Valancogne A., Dubois S., Van Milgen J., 2005. InraPorc : un outil d'aide à la décision pour l'alimentation des truies reproductrices. Journées Rech. Porcine, 37, 299-306.
- Escalante H.J., Rodriguez S.V., Cordero J., Kristensen A.R., Cornou C., 2013. Sow-activity classification from acceleration patterns: a machine learning approach. Comput. Electronics Agric., 93, 17-26.
- Marchioro G.F., Cornou C., Kristensen A.R., Madsen J., 2011. Sows' activity classification device using acceleration data: a resource constrained approach. Comput. Electronics Agric., 77, 110-117.
- Marcon M., Melot G., Courboulay V., Boulot S., Rousselière Y., 2017. Monitoring du niveau d'activité des truies par un accéléromètre communiquant placé sur la boucle d'identification. Journées Rech. Porcine, 49, 171-172.
- Noblet J., Shi X.S., Dubois S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. Livest. Prod. Sci., 34, 127-136.
- Quiniou N., 2003. Effet du nombre de repas sur la reconstitution des réserves et le comportement des truies en gestation selon le mode de logement. Journées Rech. Porcine, 35, 149-154.
- Ringgenberg N., Bergeron R., Devillers N., 2010. Validation of accelerometers to automatically record sow postures and stepping behaviour. Anim. Behav. Sci., 128, 37-44.
- Tertre A., Ramonet Y., 2014. Evaluation de l'activité motrice des truies en groupes en élevage de production. Journées Rech. Porcine, 46, 267-268.