

Le phénotypage haut-débit de l'ingestion chez les petits ruminants

WEISBECKER J.L. (1), HUAU C. (1), BOMPA J.F. (1,2), MARCON D. (3), ESTIVALET L. (3), MARIE-ETANCELIN C. (1), TORTEREAU F. (1), HEIRMAN T. (1,2), LAPERRUQUE F. (1,2), FRANCOIS D. (1), MORENO-ROMIEUX C. (1), RICARD E. (1,2)

(1) INRAE, INPT-ENVY, INPT-ENSAT, GenPhySE – Castanet-Tolosan, France

(2) INRAE- CATI SICPA

(3) INRAE – Unité Expérimentale de La Sapinière, 18390 Osmoy- France

RESUME – Sélectionner les petits ruminants pour leur efficacité alimentaire permet à la fois de réduire les coûts alimentaires dans les élevages, mais aussi de limiter la production d'effluents comme les gaz à effet de serre et l'azote. La mise en place de cette sélection requiert que l'ingestion individuelle soit enregistrée. En petits ruminants laitiers, les distributeurs de concentré (DAC) ne sont utilisés qu'en salle de traite et ne délivrent qu'une partie du concentré quotidien : ils ne permettent donc pas d'enregistrer tout le concentré consommé par l'animal. En ovins allaitants, des DAC ACEMO[®] sont utilisés depuis les années 1990 en stations de contrôle individuel avec une version *ad libitum*. Par contre, très peu de dispositifs permettent l'enregistrement des ingestions de fourrage par des animaux élevés en lot. A INRAE, le CATI SICPA a mis au point à des fins de recherche différents distributeurs d'aliments adaptés aux petits ruminants, permettant l'enregistrement des ingestions de concentré (en mode *ad libitum* ou rationné), de fourrage et d'eau. Le distributeur d'eau a été couplé à un plateau de pesée animale permettant l'enregistrement automatique du poids de l'animal à chacune de ses visites. Les premières séries d'animaux ayant eu accès aux trois automates ont montré que les quantités journalières de fourrage consommées et d'eau bue seraient légèrement positivement corrélées (corrélation de +0,22), et que les nombres de visites à chacun des automates seraient également légèrement positivement corrélés (corrélations de +0,06 à +0,20). Les pesées des animaux recueillies automatiquement permettent une estimation quotidienne fiable de leur poids, corrélée à plus de 0,98 avec les pesées traditionnelles.

High-throughput phenotyping of intakes in small ruminants

WEISBECKER J.L. (1), HUAU C. (1), BOMPA J.F. (1,2), MARCON D. (3), ESTIVALET L. (3), MARIE-ETANCELIN C. (1), TORTEREAU F. (1), HEIRMAN T. (1,2), LAPERRUQUE F. (1,2), FRANCOIS D. (1), MORENO-ROMIEUX C. (1), RICARD E. (1,2)

(1) INRAE, INPT-ENVY, INPT-ENSAT, GenPhySE – Castanet-Tolosan, France

SUMMARY – Selecting small ruminants on their feed efficiency not only reduces feed costs at the farm-level, but also limits the production of effluents such as greenhouse gases and nitrogen. The implementation of this selection requires that individual intakes are recorded. In small dairy ruminants, automated concentrate feeders (ACF) are only used in the milking parlours and deliver only part of the daily concentrate: they, therefore, do not allow the recording of all the concentrate consumed by the animal. In meat sheep, ACEMO[®] ACFs have been used since the 1990s in individual control stations in the *ad libitum* version. On the other hand, very few devices allow the recording of forage intakes by animals reared in groups. At INRAE, the CATI SICPA has developed, for research purposes, various automated feeders adapted to small ruminants, allowing the recording of concentrate intakes (in *ad libitum* or restricted version), forage and water intakes. The water dispenser has been coupled to an animal weighing pan allowing the automatic recording of the animal's weight at each visit. The first series of animals that had access to the three devices showed that the daily quantities of forage and water consumed were slightly positively correlated (correlation of +0.22), and that the number of visits to each of the devices was also slightly positively correlated (correlations of +0.06 to +0.20). The automatically recorded body weights provide a reliable daily estimate of animal weight, correlated at more than 0.98 with traditional weighings.

INTRODUCTION

Quelle que soit l'espèce animale, les éleveurs sont intéressés par des animaux efficaces, c'est-à-dire ayant un bon niveau de production tout en diminuant la quantité d'aliment ingérée. Chez les petits ruminants, cela permet non seulement de réduire les coûts alimentaires mais aussi la production d'effluents comme les gaz à effet de serre et l'azote dans les fèces (Phocas et al., 2014). La connaissance de l'ingestion individuelle des animaux est un pré-requis à toute étude génétique de l'efficacité alimentaire. Chez les petits ruminants, l'alimentation est gérée par lots d'animaux, et l'accès à l'information individuelle est difficile. Les outils actuellement disponibles ne permettent pas d'obtenir des informations qualitativement et quantitativement suffisantes. Afin de nous permettre de mener à bien des projets de recherche en lien avec l'efficacité alimentaire, le CATI

(Centre Automatisé de Traitement de l'Information) SICPA (Systèmes d'Informations et de Calcul pour le Phénotypage Animal) d'INRAE a développé des outils d'enregistrement de l'ingestion adaptés aux ovins et aux caprins : des distributeurs automatiques de concentré (DAC) en versions *ad libitum* et rationnée, de fourrage (DAF) et d'eau (DH2O).

L'objectif de cet article est de présenter les outils développés, les données générées, et les premiers résultats en terme de consommations et de poids vif.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1 Les distributeurs

1.1.1 Principe général

Les automates développés par le CATI SICPA reposent sur l'utilisation de l'identification électronique (RFID) des animaux. Cela permet d'utiliser un même outil pour un lot

d'animaux et cela permet aussi à un animal d'utiliser les différents outils puisqu'ils fonctionnent avec la même puce d'identification. Les aliments sont contenus dans des trémies adaptées à chaque type d'aliment (Weisbecker et al., 2018).

Chaque distributeur ne pouvant accueillir en instantané qu'un seul animal, des systèmes de couloirs assurant une semi-contention permettent d'isoler l'animal qui s'alimente. En cas de rationnement, une porte-arrière permet de protéger de ses congénères l'animal qui consomme.

La présence d'un animal est détectée par une cellule infra-rouge, ce qui déclenche les accès aux aliments et le début d'enregistrement des données.

Les trois types de distributeurs sont entièrement autonomes en mode *ad libitum*. Une interface web a été développée pour assurer les sauvegardes des données de tous les distributeurs, visualiser en temps réel l'ensemble des données (consommations, poids vifs) et paramétrer le rationnement pour les DAC utilisés en version rationnée (Heirman et al., 2018).

1.1.2 Le Distributeur Automatique de Concentré

Le DAC est utilisable en version *ad libitum* ou en version rationnée. En mode *ad libitum*, le plein de l'auge est réalisé lorsque la quantité restante de concentré dans l'auge est inférieure au seuil fixé par l'utilisateur (par exemple, 300g). Les poids de concentré distribué et refusé (avec une précision de 1g) sont automatiquement enregistrés ainsi que les horaires de ces enregistrements. Le rationnement est paramétrable à l'échelle du lot, de l'individu ou des différentes expérimentations en cours. Son paramétrage peut porter sur le fractionnement de la quantité journalière par tranche horaire avec possibilité de fixer la quantité maximale du repas proposé à chaque visite. Dans cette version rationnée, la dose minimale distribuée est de 50g. Les DAC utilisés dans ce projet sont issus d'une pré-série industrielle, après que des prototypes aient été modifiés puis validés. L'accès à l'auge est permis par une porte qui s'abaisse à l'identification de l'animal. Dès qu'un second animal est identifié, la porte remonte automatiquement, condamnant l'accès et l'auge, ce qui empêche toute ingestion attribuée à plus d'un individu.

1.1.3 Le Distributeur Automatique de Fourrage

L'auge du DAF est placée sur un plateau de pesée (précision de 5g). Dès qu'un animal est détecté par la cellule infra-rouge, le poids de l'auge correspondant au début de la visite est automatiquement enregistré (ainsi que l'heure). A la sortie de l'animal (captée par la cellule infra-rouge), l'accès au distributeur est condamné durant deux secondes le temps que la pesée de l'auge soit stabilisée. Cette pesée stabilisée est enregistrée comme pesée de fin de visite (l'heure correspondante est enregistrée comme heure de fin de visite). Les DAF utilisés dans ce projet sont une seconde génération de prototype, fabriqués en interne.

1.1.4 Le Distributeur Automatique d'Eau

Le DH2O est branché sur un réservoir tampon, ce qui permet de s'affranchir des variations de pression sur le réseau d'eau potable de l'élevage.

Le niveau de la buvette est maintenu constant grâce à un détecteur de niveau associé à une électrovanne.

L'animal est détecté à son entrée dans le couloir d'isolement, ce qui enclenche l'enregistrement des données : la quantité bue est déterminée par le temps d'ouverture de l'électrovanne (précision de 20mL par buvée). Le DH2O a été couplé à un plateau de pesée animale qui enregistre le poids toutes les 500 millisecondes (précision de la pesée : 50g), ce qui permet d'obtenir un poids moyen pour chaque animal à chacune de ses visites à ce distributeur. Les DH2O utilisés dans ce projet sont issus d'une pré-série industrielle, après que des prototypes aient été modifiés puis validés.

1.1.5 Les données

Les trois distributeurs génèrent de grands jeux de données. Une fois l'animal identifié, les plateaux de pesées (du concentré, du fourrage, et du poids de l'animal) ont été paramétrés pour enregistrer deux poids par seconde. Ces données brutes sont enregistrées dans une base de données pour vérifications ou analyses *a posteriori*. Pour chaque visite de l'animal à un des trois distributeurs, des données synthétisées sont produites pour un suivi en temps réel dans l'élevage : les heures de début et fin de visite, la durée de la visite, la quantité ingérée, la vitesse d'ingestion et le poids moyen de l'animal. Ces données synthétiques sont consultables sur l'interface web et sur chaque distributeur. Les visites sans identification ou avec plusieurs identifications sont également enregistrées pour chacun des automates.

1.2 Les animaux

Les différents automates sont installés sur l'Unité Expérimentale INRAE de Bourges.

Deux séries de 36 et 33 agneaux mâles de race Romane ont été testés en 2019. Ces agneaux appartiennent à la troisième génération de sélection de lignées divergentes sur la consommation résiduelle (CR). Les agneaux sont nés en janvier 2019. La première série de 36 agneaux a été phénotypée du 04 juin au 07 août 2019, et la seconde série de 33 agneaux, du 23 août au 23 octobre 2019. Pour chacune des deux séries, les animaux ont été répartis en deux lots, selon leur poids vif. Chaque lot était équipé d'un DAC, de deux DAF et d'un DH2O équipé d'un plateau de pesée animale. Après deux semaines d'adaptation aux outils paramétrés en mode de dressage, les enregistrements des ingestions se sont poursuivis pendant 6 semaines.

Les animaux ont été pesés avec une bascule traditionnelle (avec une précision de 500g) à 3 reprises : au début des 6 semaines de contrôle, puis à 3 semaines de contrôle et enfin, à la fin des 6 semaines de contrôle. Durant ces phases de contrôle, le foin était distribué au DAF, et le concentré était distribué au DAC en mode rationné. Les animaux ne pouvaient pas consommer plus de 700g de concentré par jour.

1.3 Analyses statistiques

Les données générées par les distributeurs ont été analysées avec SAS après que les visites aberrantes aient été écartées (quantité ingérée négative ou vitesse d'ingestion supérieure au seuil défini pour chaque aliment) : les statistiques descriptives (moyenne et écart-type) ont été calculées sur une base journalière pour les quantités ingérées en chacun des trois aliments (Qte_c, Qte_f et Qte_e pour le concentré, le foin et l'eau, respectivement), pour les nombres de visites (NBvis_c, NBvis_f et NBvis_e pour le concentré, le foin et l'eau, respectivement) et pour les temps passés dans chacun des automates (Duree_c, Duree_f et Duree_e pour le concentré, le foin et l'eau, respectivement). Les corrélations ont également été calculées entre chacune de ces variables, avec la proc corr de SAS. Les corrélations ont également été calculées pour les données moyennées sur les périodes de contrôle.

Les pesées animales obtenues à chaque visite ont été prétraitées en excluant les poids qui s'écartaient de plus ou moins 8% du poids de la veille, puis moyennées pour obtenir un poids quotidien pour chaque animal.

2. RESULTATS

2.1 Temps d'occupation

Chaque jour de contrôle de la première série, les DAC, DAF et DH2O étaient occupés en moyenne pendant 8,9 heures, 20,8 heures et 6,4 heures respectivement. Pour la seconde série, les temps d'occupations moyens des automates étaient de 5,4 heures, 19 heures et 2,2 heures pour les DAC, DAF et DH2O respectivement. Les temps d'occupation moyens par jour et par animal ainsi que les nombres de visites par jour et par animal, pour chacun des 3 distributeurs, sont présentés dans le tableau 1.

2.2 Quantités ingérées

Pour chacune des séries, moins de 0.9% des visites aux DAC étaient aberrantes, et moins de 0.15% des visites aux DH2O étaient aberrantes. Pour les DAF, 3.9% (série 1) et 3.2% (série 2) des visites étaient aberrantes. Toutes les visites aberrantes ont été supprimées. Les quantités ingérées par animal et par jour sont présentées dans le tableau 1. Durant la première série, les animaux ont mangé moins de foin que les animaux de la seconde série (1,27 kg/j contre 1,35 kg/j respectivement) mais ont bu plus d'eau (7,45 L/j contre 6,34 L/j). Quelle que soit la série, les animaux ont mangé toute la quantité maximale de concentré qui leur était autorisée (700g).

Tableau 1 Quantités moyennes consommées et durées cumulées des visites par animal et par jour pour chacun des trois aliments

	Première série	Seconde série
N	36	33
Qté_c* (kg/j)	0,69 ± 0,05	0,69 ± 0,03
NBvis_c*	22,9 ± 12,7	18,4 ± 10,3
Durée_c* (min/j)	27,7 ± 25,3	18,9 ± 17,0
Qté_f (kg/j)	1,27 ± 0,39	1,35 ± 0,28
NBvis_f*	24,1 ± 18,9	18,6 ± 12,8
Durée_f* (min/j)	131,5 ± 44,8	130,6 ± 35,7
Qté_e* (L/j)	7,45 ± 1,93	6,34 ± 1,77
NBvis_e*	10,4 ± 4,2	9,0 ± 2,7
Durée_e* (min/j)	17,3 ± 32,0	7,7 ± 5,0

On observe des corrélations de l'ordre de 0,5 entre les consommations d'eau bues à la journée et les températures extérieures moyennes quotidiennes (communication personnelle).

De par leur conception, les DAC ne permettent aucune visite à identification multiple, ni aucune visite avec consommation non attribuée. La conception actuelle des DAF et DH2O, ne peut empêcher ce type de visite de survenir. Ainsi, pour la première série, 1% et 0.3% des consommations totales d'eau et de fourrage respectivement correspondent à des visites à identifications multiples. Pour la seconde série, 0.3% et 0.1% des consommations totales d'eau et de fourrage respectivement correspondent à des visites à identifications multiples. Pour les deux séries, moins de 0.5% des quantités ingérées de fourrage étaient attribuées à aucun animal. Pour l'eau, 1.6% (série 1) et 3% (série 2) de la consommation totale en eau n'était attribué à aucun animal.

2.3 Corrélations entre les caractères

Sur les deux séries, les corrélations entre les différentes variables analysées sont données dans le tableau 2. Seules les durées des visites au DAC et au DH2O sont significativement corrélées (+0,09 et +0.24 à l'échelle de la journée et de la période respectivement). Les nombres de visite aux différents automates sont peu à pas corrélés que ce soit à l'échelle de la journée ou de la période (maximum +0.28 entre nvis_f et nvis_e à l'échelle de la période). La quantité de foin ingérée est peu corrélée à la quantité d'eau

bue à l'échelle de la journée (+0.22), cette corrélation n'étant plus significativement différente de 0 à l'échelle de la période.

Tableau 2 Corrélations (à l'échelle de la journée au-dessus de la diagonale et à l'échelle de la période de contrôle au-dessous de la diagonale) entre les quantités, nombres de visites et durées des visites sur les DAC, DAF et DH2O.

	qte_c	nvis_c	duree_c	qte_f	nvis_f	duree_f	qte_e	nvis_e	duree_e
qte_c	1	0.05	NS	0.06	NS	NS	NS	NS	NS
nvis_c	NS	1	0.67	NS	0.06	-0.04	NS	0.12	0.06
duree_c	NS	0.78	1	-0.07	NS	NS	NS	0.06	0.09
qte_f	NS	NS	NS	1	0.35	0.59	0.22	0.16	NS
nvis_f	NS	NS	NS	0.42	1	-0.09	NS	0.20	0.09
duree_f	0.23	NS	NS	0.49	NS	1	0.16	0.09	NS
qte_e	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1	0.38	NS
nvis_e	0.32	0.24	NS	NS	0.28	NS	0.33	1	0.48
duree_e	NS	NS	0.24	NS	NS	NS	NS	0.49	1

p-value > 0.05 ; * Qte_c, Qte_f et Qte_e sont exprimées en kg/j/animal ; NBvis_c, NBvis_f et NBvis_e sont des nombres de visites par jour et par animal ; Durée_c, Durée_f et Durée_e sont exprimées en min/j/animal.

2.4 Les poids vifs

En moyenne, avec les pesées classiques, les animaux de la première série pesaient 59,8 ± 5,1 kg en début de contrôle et 67,2 ± 5,5 kg en fin de contrôle ; les animaux de la seconde série pesaient 61,4 ± 5,6 kg en début de contrôle et 65,6 ± 5,1 kg en fin de contrôle.

Les animaux ont eu chacun, en moyenne, 10 poids vifs enregistrés par jour, ce qui après correction, nous permet d'obtenir un poids quotidien fiable (figure 1).

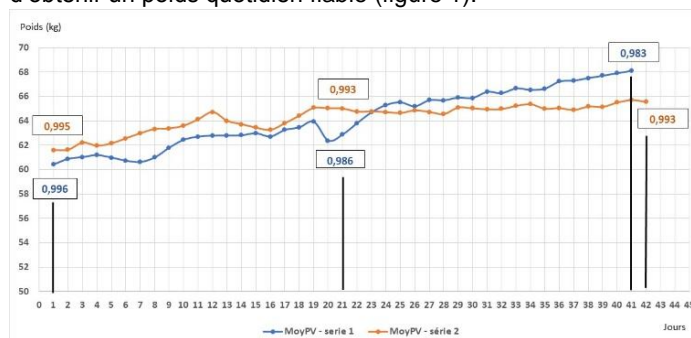


Figure 1 Evolution des poids moyens quotidiens obtenus avec la balance animale du DH2O et corrélations avec les pesées classiques (en bleu et orange, les poids vifs automatiquement enregistrés pour la première et la seconde série respectivement). Les corrélations entre pesées automatiques et traditionnelles sont encadrées.

Pour les 2 séries, les corrélations entre les poids obtenus avec le DH2O et les pesées classiques sont supérieures à 0,98 que l'on soit en début, milieu ou fin de contrôle.

3. DISCUSSION

3.1 – Capacités de phénotypes

Les trois automates ont été utilisés pour la première fois conjointement dans l'espèce ovine, avec l'étude de deux séries 36 et 33 mâles de race Romane âgés de 5 à 10 mois. Les DAF sont les automates les plus utilisés au cours d'une

journée avec un temps d'occupation moyen de 20h pour chaque appareil. Au contraire, avec cette catégorie d'animaux, le DH2O est l'automate le moins utilisé, en temps, au cours d'une journée. C'est une des raisons qui a conduit à lui associer le plateau de pesée animale. En effet, en considérant des mâles en croissance, il serait ainsi possible de contrôler une soixantaine d'individus pour leur poids vif quotidien grâce à un seul automate d'ingestion d'eau. Dans les essais présentés ici, le DAC était utilisé en version rationnée. Le mode *ad libitum* du DAC a été testé pour la première fois en 2020 sur de jeunes agneaux mâles de 3 à 5 mois (résultats non présentés ici) : le temps d'occupation moyen était de 19h par jour pour des lots de 19 animaux consommant chacun environ 2 kg de concentré par jour. Les automates sont destinés à être utilisés par les deux espèces de petits ruminants. Chez des chèvres de race Alpine, les premiers résultats (non présentés ici) montrent que le temps d'occupation du DAC en version rationnée est d'environ 10 heures par jour pour un lot de 30 chèvres ayant le droit de consommer jusqu'à 1 kg de concentré par jour.

3.2 – Phénotypage de l'ingestion

Avec un accès à l'auge qui se fait sur l'identification de l'animal et grâce à une antenne mobile permettant de suivre la tête de l'animal pendant son alimentation (et pas seulement sur la détection d'une présence), il n'y a pas de visites multiples ni de visites attribuables à aucun individu pour les DAC. Les DAF sont les automates qui génèrent le plus de données non exploitables (moins de 4% des visites sont aberrantes), mais ce chiffre devrait diminuer avec les améliorations proposées pour le passage en pré-série industrielle dont le même principe d'accès à l'auge (sur identification) que les DAC a été retenu.

Concernant les quantités ingérées, les mâles Romane en croissance ont consommé quasiment tout le concentré auquel ils avaient droit (700g/j). Les consommations de fourrage étaient supérieures lors de la seconde série car les agneaux de la seconde série avaient entre 7 et 8 mois d'âge en début de contrôle, contre 5 mois en début de contrôle pour les mâles de la première série. En revanche, les consommations d'eau étaient plus élevées pour la première série que pour la seconde, car elle se déroulait majoritairement durant l'été 2019 au cours duquel les températures étaient très élevées (22°C et 18°C en moyenne pour la première et la seconde série respectivement).

Les corrélations entre les quantités ingérées, durées des visites et nombres de visites sont différentes selon qu'elles soient estimées au niveau de la journée ou de la période de contrôle (tableau 2). Cela confirme la forte variabilité du comportement alimentaire des ovins (Marie-Etancelin et al., 2019).

3.3- Phénotypage du poids vif

Les pesées enregistrées de façon automatique par le plateau de pesée présent au DH2O sont très corrélées aux poids enregistrés lors des pesées traditionnelles. Peu de dispositifs permettent l'enregistrement plusieurs fois par jour du poids vifs d'animaux élevés en groupe, sans intervention humaine. Des systèmes d'enregistrement du poids lors du passage dynamique des animaux existent en ovins mais la qualité des données reste dépendante de nombreux facteurs (nombre de visites, vitesses de passage, etc.) (Brown et al., 2015). Le fait

de coupler le plateau de pesée animale au DH2O permet de garantir une certaine stabilité de l'animal qui bouge peu en s'abreuvant, ainsi qu'un nombre satisfaisant d'enregistrements par individu.

3.4 – Perspectives d'utilisation

Les données générées par les automates présentés dans cet article sont utilisées pour différentes études. Comme dans les travaux présentés ici, ils permettent de connaître les quantités ingérées quotidiennement par chaque individu d'un lot. Ces quantités ingérées, conjointement à des pesées et des mesures de composition corporelle (par échographie dorsale) permettent l'étude de l'efficacité alimentaire. La variabilité inter-journalière des quantités ingérées permet d'identifier des perturbations et d'étudier les réponses individuelles des animaux à ces perturbations (Poppe, 2020). La succession des animaux aux différents automates ainsi que le temps passé par chacun d'entre eux à s'alimenter sont autant de renseignements sur le comportement de l'animal et sur les interactions sociales entre congénères. L'enregistrement en continu des poids vifs des animaux et le suivi quotidien des consommations de chaque aliment peuvent enfin permettre d'identifier en temps réel des individus signalant un problème sanitaire.

CONCLUSION

Les premières séries d'utilisation des trois automates (DAC, DAF et DH2O) montrent qu'il est désormais possible d'enregistrer l'ingestion d'aliments et d'eau de petits ruminants élevés en groupe, ainsi que leurs poids vifs. Des données jusqu'alors peu voire pas accessibles sont ainsi générées et utilisées pour différentes études couvrant des sujets tels que l'efficacité alimentaire, les capacités d'adaptation et d'apprentissage, le comportement social, la résilience et le suivi sanitaire des individus.

Ces outils seront déployés à grande échelle dans la Halle de Phénotypage en cours de construction au domaine expérimental INRAE de Bourges

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel de l'Unité expérimentale de Bourges et de l'installation expérimentale de Langlade pour leur investissement dans ces travaux. Ils remercient également la société ARIAS qui industrialise ces outils sous contrat de licence avec INRAE transfert.

Brown D.J., Savage D.B. et al., 2015. Anim. Prod. Sci. 55, 427-436.

Heirman T., Weisbecker J.L., Cobo E., 2018. Le Cahier des Techniques de l'Inra. N° spécial phénotypage animal, 107-110.

Marie-Etancelin C., François D. et al., 2019. J. Anim. Breed. Genet. 136, 174-182.

Phocas F., Agabriel J, et al., 2014. INRA Prod. Anim. 27(3), 235-248.

Poppe M., 2020. J. Dairy Sci. 103, 1667-1684.

Weisbecker J.L., Lagüe M. et al., 2018. Le Cahier des Techniques de l'Inra. N° spécial phénotypage animal, 117-128.