



HAL
open science

Utilisation d'un dispositif d'imagerie en 3D pour modéliser la forme complète de bovins laitiers et mesurer de nouveaux phénotypes morphologiques

C. Allain, Anaïs Caillot, L. Depuille, Philippe Faverdin, J M Delouard, L. Delattre, T. Luginbuhl, Jacques Lassalas, Yannick Le Cozler

► To cite this version:

C. Allain, Anaïs Caillot, L. Depuille, Philippe Faverdin, J M Delouard, et al.. Utilisation d'un dispositif d'imagerie en 3D pour modéliser la forme complète de bovins laitiers et mesurer de nouveaux phénotypes morphologiques. 24. Rencontres autour des recherches sur les ruminants (3R), 2018, NA, France. hal-02077533

HAL Id: hal-02077533

<https://hal.science/hal-02077533v1>

Submitted on 22 Mar 2019

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

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

Utilisation d'un dispositif d'imagerie en 3D pour modéliser la forme complète de bovins laitiers et mesurer de nouveaux phénotypes morphologiques

ALLAIN C. (1), CAILLOT A. (2), DEPUILLE L. (1), FAVERDIN P. (2), DELOUARD J.M (3), DELATTRE L. (3), LUGINBUHL T. (3), LASSALAS J. (2), LE COZLER Y. (2).

- (1) Institut de l'Elevage, Monvoisin, 35652 Le Rheu, France
- (2) PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590 Saint-Gilles, France
- (3) 3DOUEST, 5 Rue de Broglie, 22 300 Lannion

RESUME. Les suivis de variation de poids, d'état d'engraissement et/ ou de morphologie permettent une gestion optimale de la santé, des performances de production et de la reproduction des animaux laitiers. Cependant, en raison des difficultés de mise en œuvre (manipulation des animaux, contrainte de temps, équipements nécessaires), ce type de suivi est peu fréquent en élevage. Le développement des technologies basées sur l'imagerie en trois dimensions peut être une solution intéressante pour y répondre. Le but de cette étude était de développer, tester et valider un dispositif (Morpho3D) offrant la possibilité d'enregistrer et d'analyser des formes 3D complètes de bovins laitiers. Pour évaluer les performances de cet outil, des mesures manuelles ont été réalisées sur 30 vaches laitières Holstein: hauteur au garrot (HG), tour de poitrine (TP), profondeur de poitrine (PP), largeur des hanches (LH), largeur des fesses (LF) et largeur des ischions (LI). Elles ont été comparées à celles mesurées à partir du dispositif Morpho3D. Les corrélations entre les mesures issues de Morpho3D et les mesures manuelles étaient de 0,89 pour PP, 0,80 pour LH, 0,78 pour TP, 0,76 pour LF, 0,63 pour LI et 0,62 pour HG. Pour le système Morpho3D, l'écart type de répétabilité σ_r allait de 0,34 à 1,89 (coefficient de variation (CV) de 0,26 à 9,81) et l'écart type de reproductibilité allait de 0,55 à 5,87 (CV de 0,94 à 7,34). Ces valeurs sont proches de celles obtenues avec des mesures manuelles. En outre, ce nouveau dispositif offre la possibilité de mesurer de nouveaux phénotypes tels que le volume total de l'animal ou la surface corporelle et offre ainsi de nouvelles opportunités de travaux et études.

Use of a 3D imaging device to model the complete shape of dairy cattle and measure new morphological phenotypes

ALLAIN C. (1), CAILLOT A. (2), DEPUILLE L. (1), FAVERDIN P. (2), DELOUARD J.M (3), DELATTRE L. (3), LUGINBUHL T. (3), LASSALAS J. (2), LE COZLER Y. (2).

- (1) Institut de l'Elevage, Monvoisin, 35652 Le Rheu, France
- (2) PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590 Saint-Gilles, France
- (3) 3DOUEST, 5 Rue de Broglie, 22 300 Lannion

SUMMARY. Monitoring of body weight variation, body condition and/or morphological changes allows optimal management of animal health, production and reproduction performance. However, due to implementation difficulties (handling, time consumption, investments), this type of monitoring is not very common within commercial farms. The development of three-dimensional imaging technologies is an interesting solution to meet these needs. The purpose of this study was to develop, test and validate a device (Morpho3D) offering the possibility of recording and analysing complete 3D forms of dairy cattle. To evaluate the performance of this tool, manual measurements were performed on 30 Holstein dairy cows: height at withers (HG), chest circumference (TP), chest depth (PP), hip width (LH), buttock width (LF) and ischium width (LI). They were compared to those measured from the Morpho3D device. Correlations between Morpho3D measurements and manual measurements were 0.89 for PP, 0.80 for LH, 0.78 for TP, 0.76 for LF, 0.63 for LI and 0.62 for HG. For the Morpho3D system, the repeatability standard deviation ranged from 0.34 to 1.89 (coefficient of variation (CV) from 0.26 to 9.81) and the reproducibility standard deviation ranged from 0.55 to 5.87 (CV from 0.94 to 7.34). These values are close to those obtained with manual measurements. This new device offers the possibility of measuring new phenotypes such as the total volume of the animal or the body surface and thus offers new opportunities for new researches and studies

INTRODUCTION

Le suivi de l'évolution de la morphologie des animaux laitiers, via la mesure de poids vif (PV), de changement morphologique (tour de poitrine, hauteur au garrot...) ou de note d'état corporel (NEC), permet d'adapter l'alimentation, la reproduction et la conduite générale pour un fonctionnement optimal de l'élevage. Actuellement, à l'exception du poids, la plupart des mesures sont effectuées manuellement (ruban, toise) ou visuellement (Heinrichs et Hardgrove, 1987). Ces mesures, chronophages, sont des sources de stress et d'accidents pour les éleveurs et les animaux. Par conséquence et malgré leur intérêt, ces informations sont

peu disponibles en ferme. Développer des outils précis, automatiques et simples d'utilisation pour surmonter ces problèmes est donc d'intérêt. Les techniques d'imagerie offrent des alternatives intéressantes aux mesures manuelles et/ou aux méthodes coûteuses (Pezzulo *et al*, 2018). Les approches d'imagerie 2D, utilisées chez le porc avec un certain succès (Marchant *et al*, 1993 ; Schofield *et al*, 1998), ne permettent pas d'approcher la troisième dimension. De plus, les problèmes de distorsion, la procédure d'étalonnage, le besoin de caméras multiples et enfin, les modèles de reconstruction 3D, ont réduit leur utilisation. Le développement et la commercialisation de caméras 3D à un

coût relativement faible a entraîné une diminution de l'intérêt pour cette technologie 2D au profit des caméras 3D. Ces nouvelles technologies d'imagerie ont ainsi été utilisées avec succès pour analyser la NEC des bovins laitiers (Fischer *et al*, 2015 ; Kuzuhara *et al*, 2015). Negretti *et al* (2008), Buranakarl *et al* (2012), Guo *et al* (2017) et Pezzuolo *et al* (2018) ont également développé des technologies d'images 3D avec comme objectifs d'obtenir une image 3D de l'animal en entier, mais de nombreux problèmes demeurent. Pezzuolo *et al* (2018), avec un équipement portable à faible coût basé sur le capteur Microsoft Kinect v1, concluent d'ailleurs que leur méthode nécessite encore beaucoup d'ingénierie pour permettre la collecte et l'extraction automatique des données de manière satisfaisante. Un nouveau dispositif (appelé "Morpho3D") a ainsi été développé pour capturer facilement la forme complète des vaches et mesurer leurs caractères morphologiques. Les mesures obtenues avec cet appareil ont été comparées aux valeurs recueillies directement sur les animaux vivants. Pour valider la méthode, répétabilité et reproductibilité ont aussi été analysées.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DISPOSITIF

Le dispositif testé est installé au sein de l'installation expérimentale de production de lait INRA-UMR PEGASE située à Le Rheu (35). Ce système comprend un total de 5 capteurs, chacun en combinaison avec un projecteur laser de 650 nm de longueur d'onde afin de limiter les risques pour l'homme et les animaux. Les couples « capteurs-projecteurs » sont installés sur un portail mobile (L : 5,00 m ; l = 2,58 m ; h = 3,00 m ; Fig. 1), fixés à 0,40 et 1,77 m au-dessus du sol des deux côtés du portail et un cinquième au milieu du haut du portique. Celui-ci se déplace à une vitesse moyenne de 0,5 m.s⁻¹ d'arrière en avant et retourne à sa position initiale à une vitesse moyenne de 0,3 m.s⁻¹. Les images sont enregistrées au cours de la phase 1 : 80 photos par seconde et par caméra. Pour sécuriser l'ensemble de l'appareil, quatre câbles en acier inoxydable délimitent le mouvement des vaches. Les animaux peuvent également être bloqués grâce à une porte de tête autobloquante si nécessaire.

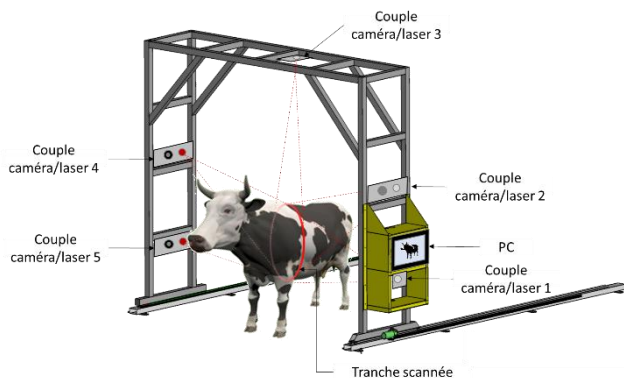


Fig. 1. Le design Morpho3D

Les images des bandes laser projetées sur l'animal sont capturées par leur caméra correspondante et envoyées à un ordinateur pour reconstruire l'information 3D. Les images de chaque caméra sont d'abord traitées pour construire des nuages de points et la reconstruction 3D complète de l'animal est réalisée en enregistrant et en fusionnant les multiples vues des données 3D des nuages de points des 5 couples caméra – laser (figure 2). Un seuil de distance est défini pour ignorer les points trop éloignés de la caméra et n'appartenant pas à l'animal. Un exemple du processus sur un animal vivant est disponible à l'adresse suivante :

<https://vimeo.com/219370900>.

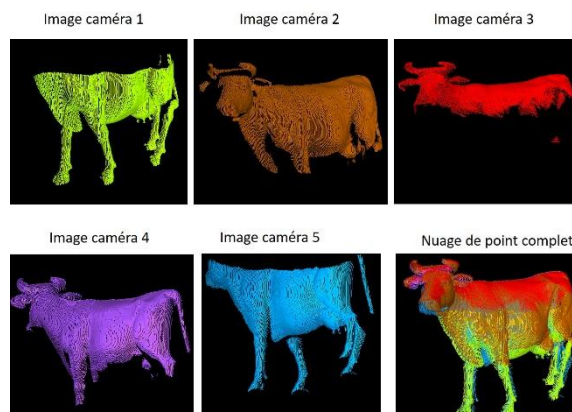


Fig. 2 : fusion des 5 nuages de points

Un logiciel libre pour le traitement et l'édition de maillages triangulaires 3D, a ensuite été utilisé pour nettoyer les données (Meshlab, Cignoni *et al*, 2008). Un algorithme de reconstruction de surface de Poisson a été appliqué pour construire un maillage triangulé et un lissage de la forme (Kazhdan et Hoppe, 2013). Les différentes étapes du traitement sont présentées sur la Fig. 3.

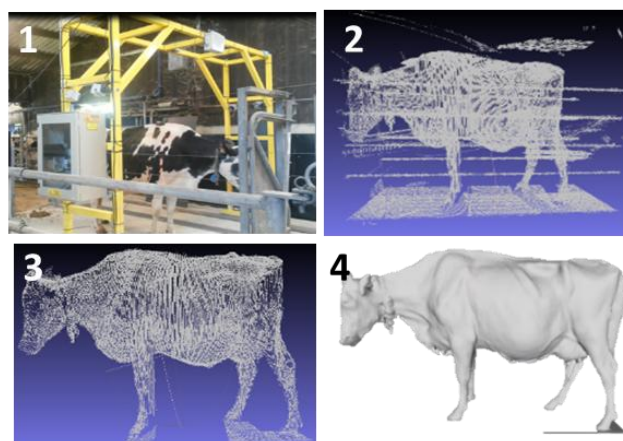


Fig. 3. De l'acquisition aux données finales : Image 1 : acquisition de données. Image 2 : Nuage brut. Photo 3 : nuage après le nettoyage. Image 4 : image finale après normalisation et reconstruction de Poisson.

1.2. LES ANIMAUX ET MESURES

Les données ont été recueillies entre mai et juin 2017, sur 30 vaches laitières de race Holstein, âgées de 3,0 (\pm 1,2) ans en moyenne et produisant 25,5 (\pm 3,6) kg de lait par jour. Ces 30 vaches ont été utilisées pour estimer la précision et les corrélations entre les mesures effectuées sur les images du nouvel appareil ("Morpho3D") et celles collectées directement sur les animaux ("Manuel"). Pour les deux méthodes ("Morpho3D" et "Manuel"), 6 de ces 30 vaches ont subi une série de mesures répétées des mêmes indicateurs (6 fois chacune), afin d'estimer la reproductibilité des méthodes. Pour l'estimation de la répétabilité, un modèle de vache en plastique a été utilisé. Les indicateurs mesurés sur animaux vivants et images concernaient le tour de poitrine (TP), la profondeur de poitrine (PP), la hauteur au garrot (HG), la largeur des hanches (LH), la largeur des hanches (LH), la largeur des fesses (LF) et la distance entre les ischions (LI). Pour les mesures manuelles, un mètre ruban et une toise ont été utilisés. Sur les images reconstituées, les mesures ont été réalisées grâce à un logiciel dédié (MetruX2α® ; Société 3D Ouest).

1.3. ANALYSES EFFECTUEES

Pour caractériser les propriétés du dispositif et le valider, les mesures recueillies sur l'appareil ont été comparées à celles effectuées manuellement. La répétabilité et la reproductibilité des méthodes ont été évaluées. La répétabilité permet d'évaluer l'erreur générée lors de l'estimation d'un indicateur plusieurs fois sur le même échantillon avec la même méthodologie, dans le même environnement, sur une courte période de temps. Elle a été estimée en réalisant les mesures 6 fois le même jour, à partir du même scan 3D du même animal (vache modèle en plastique). La reproductibilité évalue la même erreur mais dans des conditions environnementales variables. Elle a été estimée avec 6 vaches scannées 6 fois chacune le même jour, avec une seule mesure par image 3D. Les variations 3D ont été corrigées pour tenir compte de l'effet des animaux dans l'extraction des résidus du modèle d'ANOVA. Les coefficients de variation pour la répétabilité (CV_r) et la reproductibilité (CV_R) ont été évalués comme $CV_r = (\sigma_r / \mu_r) * 100$ et $CV_R = (\sigma_R / \mu_R) * 100$, où σ_r et σ_R sont respectivement les écarts types de la mesure 3D corrigée pour les ensembles de données de répétabilité et de reproductibilité et μ_r et μ_R sont respectivement la mesure 3D moyenne des données de

répétabilité et de reproductibilité. De même, la répétabilité et la reproductibilité des mesures manuelles ont été estimées en corrigeant la variabilité des mesures pour l'effet des vaches et des experts (2 notateurs ont réalisés les mêmes mesures). Le modèle Anova 1 incluait alors « l'identité de la vache » comme facteur en cas de répétabilité et le modèle Anova 2 inclut « l'identité de la vache » et « l'identité de l'expert » comme facteurs d'explication de la mesure pour la reproductibilité. L'analyse de corrélation entre les mesures des images 3D et les valeurs de référence a été réalisée à l'aide du logiciel statistique R, version 3.0.2 (2013) et les analyses concernant la répétabilité et la reproductibilité ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS (SAS institute, 2016).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La comparaison des mesures effectuées manuellement sur les 30 VL ou réalisées à partir d'images 3D montre que la plupart des mesures manuelles présentent des valeurs inférieures à celles obtenues à partir des images 3D (Tableau 1). La différence la plus élevée est observée pour la largeur entre les ischions (différence de 11,2 %), tandis que la plus faible a été notée pour la hauteur au garrot (1,3 %).

Tableau 1. Comparaison des mesures effectuées manuellement (manuelle) ou sur images 3D (Morpho3D) sur 30 vaches Holstein en lactation.

Mesure, cm	Manuelle	Morpho3D	P value
Tour de poitrine (TP)	207,5	221,5	< 0,0001
Profondeur de poitrine (PP)	79,4	83,8	< 0,0001
Hauteur au garrot (HG)	146,9	148,8	< 0,003
Largeur des hanches (LH)	55,5	54,4	< 0,02
Largeur aux fesses (LF)	51,9	54,4	< 0,008
Largeurs aux ischions (LI)	17,4	19,6	< 0,02

La corrélation entre les deux types de mesures effectuées est également très bonne (Tableau 2). Les valeurs les plus élevées sont observées pour la profondeur de la poitrine (0,89) et les plus faibles pour la largeur des ischions (0,63). Les os proéminents au niveau des hanches expliquent certainement les faibles différences observées entre les mesures manuelles et Morpho3D, comme noté par Pezzulo *et al* (2018). Au contraire, les os proéminents sont moins visibles pour la largeur des ischions, ce qui peut expliquer les maigres performances de chaque dispositif à ce niveau. Pour certaines mesures (tour de poitrine ou profondeur de

poitrine), une surestimation existe car dans certains cas, la position de la patte avant sur l'image ne permettait pas un accès satisfaisant. Les valeurs de corrélation entre les deux approches sont généralement inférieures à celles rapportées par Buranarkal *et al* (2012) et Pezzulo *et al* (2018). Buranarkal *et al* (2012) ont effectué leurs mesures dans des conditions de laboratoire et ont utilisé des marques visuelles collées sur les animaux, inutilisables dans des conditions commerciales. Pezzulo *et al* (2018) ont effectué leurs analyses sur les valeurs moyennes.

Tableau 2. Coefficient de corrélation et valeur de P, entre mesures manuelles et celles obtenues sur images 3D

Mesure, cm	Coefficient de corrélation	P value
Tour de poitrine (HG)	0,78	< 0,001
Profondeur de poitrine (PP)	0,89	< 0,001
Hauteur au garrot (HG)	0,62	< 0,001
Largeur des hanches (LH)	0,80	< 0,001
Largeur aux fesses (LF)	0,76	< 0,01
Largeurs aux ischions (LI)	0,63	< 0,01

Les valeurs de répétabilité et de reproductibilité sont assez similaires entre méthodes (Tableau 3). Pour les données issues des images 3D, le σ_r variait de 0,34 à 1,89 (CV de 0,26 à 9,81) et σ_R de 0,55 à 5,87 (CV de 0,94 à 7,34). En utilisant des mesures manuelles, le σ_r variait de 0,21 à 1,32 (CV de 0,11 à 10,30) et σ_R de 0,49 à 1,19 (CV de 0,42 à 4,46). Selon Fischer *et al* (2015), les méthodes de mesure dont la répétabilité et la reproductibilité sont inférieures à 4 % peuvent être considérées comme des méthodes intéressantes, ce qui est le cas dans la présente étude. De nombreux auteurs soulignent l'effet important de la position de l'animal sur les fluctuations des mesures effectuées et l'importance de sélectionner, souvent manuellement, les

meilleures images pour limiter les variations indésirables (Kmet *et al*, 2000 ; Stajanko *et al*, 2008). Fischer *et al* (2015) ont également montré que parmi les travaux réalisés sur l'estimation de la NEC par imagerie, seuls quelques auteurs sont allés jusqu'à une qualification (répétabilité, reproductibilité) de la méthode testée. Ces valeurs ne sont généralement pas disponibles dans la plupart des études publiées.

Un autre point important pouvant faire varier la qualité des images et donc au final, la répétabilité et la reproductibilité des mesures, est l'environnement (Tscharke et Banhazi, 2013). En effet, la plupart des technologies sont sensibles à

la lumière du jour et sont conduites dans des conditions de lumière contrôlée. De même, le contrôle des mouvements d'animaux pour obtenir des images exploitables est un point crucial. Des travaux sont encore nécessaires pour que les dispositifs mis au point dans des conditions contrôlées puissent être utilisés dans l'environnement "agressif" d'une ferme commerciale, ou du moins, d'une ferme expérimentale.

Une estimation du temps passé par méthode pour obtenir toutes les valeurs des indicateurs utilisés a été effectuée et correspondait à 2,5 et 15 minutes pour les systèmes manuels et automatiques. Dans ce dernier cas, l'acquisition est rapide (6 s en moyenne) mais le temps nécessaire pour analyser et obtenir les résultats finaux était d'environ 14 min. Il est clairement possible de réduire ce temps à l'avenir, via l'optimisation des modèles et des équations..

Tableau 3. Répétabilité et reproductibilité des mesures corporelles obtenues directement sur animaux (Manuelle) ou sur images 3D (Morpho3D). Un modèle de vache en plastique a été utilisé pour l'étude de répétabilité et 6 vaches ont servi aux études de reproductibilité.

Mesure		Répétabilité			Reproductibilité		
		μ_r (cm)	σ_r	CV _r (%)	μ_R (cm)	σ_R	CV _R (%)
Tour de poitrine (TP)	Manuelle	194,2	0,21	0,11	204,2	0,86	0,42
	Morpho3D	195,8	1,89	0,97	221,1	5,87	2,63
Profondeur de poitrine (PP)	Manuelle	75,1	0,42	0,56	79,1	0,49	0,62
	Morpho3D	76,5	0,44	0,58	84,4	0,92	1,09
Hauteur au Garrot (HG)	Manuelle	129,1	1,04	0,80	148,9	1,07	0,72
	Morpho3D	131,1	0,34	0,26	148,6	2,12	1,42
Largeur des hanches (LH)	Manuelle	39,8	0,35	0,88	55,5	1,01	1,82
	Morpho3D	39,9	0,67	1,68	58,6	0,55	0,94
Largeur des fesses (LF)	Manuelle	50,9	0,36	0,71	50,8	1,19	1,82
	Morpho3D	52,6	0,34	0,64	55,5	1,82	3,28
Largeur aux ischions (LI)	Manuelle	12,8	1,32	10,30	17,3	0,77	4,46
	Morpho3D	17,5	1,78	9,81	15,4	1,13	7,34

CV_r et (CV_R sont respectivement les coefficients de variation pour la répétabilité (CV_r) et la reproductibilité (CV_R), σ_r et σ_R les écarts types de la mesure 3D corrigée pour les ensembles de données de répétabilité et de reproductibilité et μ_r et μ_R la mesure 3D moyenne des données de répétabilité et de reproductibilité

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette nouvelle technologie est très prometteuse. Malgré un temps d'obtention du résultat final plus long, la partie « manipulation de l'animal », très courte, permet de limiter les risques d'accident pour l'homme et l'animal, ce qui est intéressant pour d'autres productions où la manipulation des animaux est plus délicate (bovins allaitants par exemple). L'automatisation des différentes phases du processus d'acquisition (nettoyage, reconstruction et mesure automatique) permettra d'envisager à terme une utilisation à plus grande échelle, ainsi que pour le développement d'une nouvelle technologie basée sur une prise unique (« one shot »), où le déplacement des animaux n'est plus un problème. La possibilité d'obtenir une image 3D de l'animal entier permet d'envisager de nombreuses valorisations : note d'état automatique, score morphologique automatisé pour la sélection, estimation du poids vif, de la surface et/ou du volume de l'animal.

Les auteurs remercient toutes les personnes impliquées dans le projet, en particulier les techniciens de la station expérimentale qui ont pris grand soin des animaux. Le projet Morpho3D est soutenu par le Fond National CASDAR, un crédit Incitatif du département Phase de l'INRA et le Programme ANR DEFFILAIT.

Buranakarl, C., Indramangala, J., Koobkaew, K., Sanghuayphrai, N., Sanpote, J., Tanprasert, C., Phatrapornnant, T., Sukhumavasi, W., Nampimoon, P., 2012. J. Buffalo Sci., 1, 13-20.
Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F. Ranzuglia, G., 2008. Sixth Eurographics Italian Chapter Conference, page 129-136.

Fischer, A., Luginbuhl, T., Delattre, L., Delouard, J. M., Faverdin, P., 2015. J. Dairy Sci., 98, 4465 - 4476.
Guo H., Ma, X., Ma, Q., Wang, K., Su, W., Zhu D., 2017. Comp. and Elect. in Agric., 138, 60-68.
Kmet, J., Sakowski, T., Huba, J., Peskovicova, D., Chrenek, J., Polak, P., 2000. Archiv Tierzucht Dummerstorf, 43, 411-416.
Kuzuhara, Y., Kawamura, K., Yoshitoshi, R., Tamaki, T., Sugai, S., Ikegami, M., Kurokawa, Y., Obitsu, T., Okita, M., Sugino, T., Yasuda, T., 2015. Comp. and Elect. in Agric., 111, 186-193.
Heinrichs, A.J., Hargrove, G.L., 1987. J Dairy Sci., 70, 653-660.
Marchant, J.A., Schofield, C.P., 1993. Comp. and Electr. in Agric., 8, 261-275.
Negretti, P., Bianconi, G., Bartocci, S., Terramoccia, S., Verna, M., 2008. Livest. Sci., 113, 1-7.
Pezzuolo, A., Guarino, M., Sartori, L., Marinello, F., 2018. Sensors, 18, 673.
R Core Team 2013. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
SAS institute, 2016.
Schofield, C.P., Marchant, J.A., White, R.P., Brandl, N., Wilson, M., 1999. J. of Agric. Eng. Res., 72, 3, 205-210.
Stajko, D., Brus, M., Hocevar, M., 2008. Comp. and Electr. in Agric., 61, 223-240.
Tscharke, M., Banhazi, T.M., 2013. Austr. J. of Multi-Disciplinary Eng., 10, 1-17.