



**HAL**  
open science

# Utilisation de l'imagerie 3D pour suivre la croissance des vaches laitières, prédire les quantités ingérées et approcher l'efficacité alimentaire

Caroline Xavier

## ► To cite this version:

Caroline Xavier. Utilisation de l'imagerie 3D pour suivre la croissance des vaches laitières, prédire les quantités ingérées et approcher l'efficacité alimentaire. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02372520

**HAL Id: dumas-02372520**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02372520>**

Submitted on 20 Nov 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.

Année universitaire : 2018-2019

Spécialité :

SAED (Sciences de l'animal pour l'élevage  
de demain)

Spécialisation (et option éventuelle) :

.....

### Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

# Utilisation de l'imagerie 3D pour suivre la croissance des vaches laitières, prédire les quantités ingérées et approcher l'efficacité alimentaire

Par : Caroline XAVIER

*Soutenu à Rennes le 24 juin 2019*

**Devant le jury composé de :**

Président : François FERRIERE

Maîtres de stage : Amélie FISCHER

Yannick LE COZLER

Philippe FAVERDIN

Enseignant référent : Anne-Lise JACQUOT

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

Charlotte GAILLARD, rapporteure

*Projet financé par le projet ANR et APIS-GENE Deffilait*

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation  
«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»  
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>





# Remerciements

Je remercie Amélie FISCHER pour sa grande disponibilité, sa patience, son soutien et ses précieux conseils pour le stage, pour le rapport et pour R ! Sans toi, je crois que j'y serai encore ☺

Je remercie Yannick LE COZLER pour son accompagnement, sa bonne humeur et pour les nombreux conseils diffusés tout au long du stage et de l'écriture du mémoire.

Je remercie Philippe FAVERDIN pour son aide, ses conseils tout au long du stage et de la rédaction du rapport et pour ces conversations éclairantes autour de l'élevage, de l'agriculture et au-delà.

Je remercie Amélie FISCHER, Yannick LE COZLER et Philippe FAVERDIN pour leur confiance, les nombreuses relectures toujours émaillées de propositions constructives et de leur disponibilité permanente.

Je remercie Jean-Michel DELOUARD, Laurent DELATTRE et Thibault LUGINBUHL pour leur réactivité et leur implication et merci encore pour toutes les évolutions du logiciel qui m'ont bien aidé à avancer.

Je tiens à remercier l'équipe Syslait dans son ensemble pour leur accueil chaleureux.

Je remercie Mathieu GUILLOUX qui avec beaucoup de gentillesse acceptait de patienter avec ses génisses dans le portique tant que je n'étais pas satisfaite des images ! Merci aussi de m'avoir fait sortir du bureau grâce aux scans mensuels des génisses et de m'avoir permis de me familiariser avec le portique.

Merci à Alexine avec qui, le jeu des 7 différences est devenu notre spécialité et à Camille pour tous les moments de bavardage constructif !



# Sommaire

Liste d'abréviations.....	
Liste des figures .....	
Liste des tableaux .....	
Introduction .....	1
Matériels et méthode.....	3
I) Le dispositif expérimental et la définition des sous-populations .....	3
I.1) La ferme expérimentale et les généralités.....	3
I.2) Le choix des sous-populations pour le suivi de la croissance et l'analyse du volume d'abdomen .....	4
II) Prélèvements et mesures .....	5
II.1) Obtention des données de production et d'émission de méthane .....	5
II.2) Obtention des images de morphologie des vaches.....	6
III) Analyses : modèles et traitements statistiques .....	8
III.1) Répétabilité et reproductibilité des indicateurs morphologiques déterminés par imagerie 3D.....	8
III.2) Traitement des données cinétiques de Poids, de NEC et des quantités ingérées	9
III.3) Estimation de l'efficacité alimentaire.....	9
IV) Suivre la croissance de vaches en lactation .....	10
V) Estimer les contenus ruminiaux .....	12
Résultats .....	12
I) Qualification des images et des mesures.....	12
II) Suivi de la croissance pendant la lactation.....	13
II.1) Suivi de la croissance .....	13
II.2) Le volume partiel comme indicateur du poids vif.....	14
II.3) La décomposition du poids vif en ses composantes .....	14
III) Estimation des contenus ruminiaux.....	15
Discussion.....	15



I) Qualification des images et des mesures .....	15
II) Suivi de la croissance pendant la lactation.....	16
II.1) La croissance continue, y compris après la 1 <sup>ère</sup> lactation .....	16
II.2) L'estimation du poids vif est possible à partir du volume partiel .....	17
III) Estimation des contenus ruminiaux.....	17
III.1) Le volume de l'abdomen est un prédicteur des quantités ingérées.....	17
III.2) Le volume de l'abdomen pour prédire des particularités digestives .....	18
Conclusion .....	19
Références bibliographiques .....	20
Annexes .....	25
I) Présentation du projet ANR et APIS-GENE DEFFILAIT.....	25
II) Présentation du système du Greenfeed.....	26
III) Notation des images 3D .....	27
IV) Répétabilité et Reproductibilité .....	28
V) Matrice de corrélation.....	29
VII) Cinétique de la longueur diagonale, du tour de poitrine et de la profondeur de poitrine	
30	
VIII) Décomposition du poids .....	31



## Liste d'abréviations

3D	Trois dimensions
ACP	Analyse en Composantes Principales
ANOVA	Analysis of variance (Analyse de variance)
ANR	Agence Nationale de la Recherche
CASDAR	Compte d'Affectation Spécial au Développement Agricole et Rural
CH <sub>4</sub>	Méthane
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
HG	Hauteur au Garrot (m)
LD	Longueur Diagonale (m)
LF	Largeur aux Fesses (m)
LH	Largeurs aux Hanches (m)
LOESS	Local Polynomial Regression Fitting
MS	Matière Sèche
MSI	Matière Sèche Ingérée (kg de matière sèche)
NEC	Note d'Etat Corporel
p	Probabilité critique
PP	Profondeur de Poitrine (m)
PV	Poids Vif (kg)
R <sup>2</sup>	Coefficient de détermination
RFI	Residual Feed Intake
SP	Surface Partielle (m <sup>2</sup> )
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
TP	Tour de Poitrine (m)
VP	Volume Partiel (L)



# Liste des figures

Figure 1 : Nuage de points 3D de notation 0 (Image A : les taches noires de la robe de la vache ne paraissent pas, Images B : vache avec déformation du corps (B1 : nuage de points, B2 : reconstruction de Poisson)).

Figure 2 : Exemples de 3 reconstructions de Poisson d'images 3D ayant 3 notes de qualité d'image différentes allant de 1 à 8.

Figure 3 : Illustrations des mesures morphologiques

Figure 4 : Poids vif (kg), surface partielle (dm<sup>2</sup>) et volume partiel (L) représentés par parité et présentés en continuité suivant l'âge moyen des vaches (8 primipares , 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

Figure 5 : Hauteur au garrot (m) et largeur aux hanches (m) représentées par parité et présentés en continuité suivant l'âge moyen des vaches (8 primipares , 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

Figure 6 : Tour de poitrine (m) et profondeur de poitrine (m) représentés par parité et présentés en fonction du mois d'étude (8 primipares , 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

Figure 7 : Cercle de corrélation des variables issu d'une ACP avec les indicateurs morphologiques (TP : tour de poitrine, PP : profondeur de poitrine, HG : hauteur au garrot, LH : largeur aux hanches, VP : volume partiel, SP : surface partielle et LD : longueur diagonale) en variables actives (flèche noire pleine) et des données de production (PV : poids vif et NEC : Note d'Etat Corporel) et les numéros de mois de l'étude (Mois) en variables supplémentaires (flèche bleue pointillée).

Figure 8 : Poids vif (en kg) en fonction du volume partiel (L) pour chaque vache (droites colorées et pointillées) et régression linéaire inter-vache du poids vif en fonction du volume partiel (droite noire).

Figure 9 : Pentas intra-vache (kg/L) de la relation du poids vif en fonction du volume partiel expliquées par la composante « croissance » du gain de poids vif (kg) en juin, dernier mois de l'étude.

Figure 10 : Exemple de 3 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part



inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

Figure 11 : Volume de l'abdomen gauche (L) en fonction des matières sèches ingérées (kg MS).

Figure 12 : Efficience alimentaire (calculé suivant la méthode du Residual Feed Intake (RFI)) en fonction du ratio (L/kg MS) entre le volume de l'abdomen entier et les matières sèches ingérées.

Figure 13 : Moyenne des émissions de méthane (g/j) en fonction du volume de l'abdomen entier (L).

## Liste des tableaux

Tableau 1: Composition des rations des deux périodes expérimentales (période 1 : octobre à mars ; période 2 : avril à juin).

Tableau 2 : Caractéristiques générales des vaches retenues pour les études « Suivi de la croissance » lors de la lactation 2017-2018 (16 vaches) et « Estimation des contenus ruminiaux » pour le mois de juin (58 vaches).

Tableau 3 : Erreurs de répétabilité et de reproductibilité et coefficients de variation de répétabilité et de reproductibilité pour les mesures morphologiques.

Tableau 4 : Moyenne et écart-type des mesures morphologiques pour les 16 vaches retenues dans l'étude « Suivi de la croissance » présentées par parité.

Tableau 5 : Moyennes ajustées des variations des indicateurs morphologiques entre octobre et juin des vaches laitières (16 vaches : 8 primipares, 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus) en fonction de l'âge au vêlage des primipares et de la parité des multipares.

Tableau 6 : : Moyennes ajustées du volume de l'abdomen entier (L) des vaches laitières (58 vaches) en fonction de l'âge au vêlage des primipares, du rang de lactation des multipares et de la parité.



# Introduction

Les nouvelles technologies sont aujourd'hui très présentes en agriculture. Selon une étude de Boiteau (2015), 195 000 exploitations agricoles françaises étaient connectées à Internet en 2014 et 81% des agriculteurs utilisaient cet outil au moins une fois par jour pour leur activité. L'élevage laitier n'a pas échappé à l'essor de la robotique et des nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (TIC). En 2014, sur un échantillon de 772 éleveurs du Grand Ouest, 67% disposaient d'au moins un outil connecté : robot de traite, distributeur automatique de concentrés, capteurs embarqués sur animaux ou fixes en bâtiment (Allain et al., 2015). L'utilisation de ces nouvelles technologies a donné naissance à un nouveau type d'élevage, « l'élevage de précision », qui peut se définir comme « l'utilisation coordonnée i) de paramètres comportementaux, physiologiques et/ou de production et ii), de TIC pour échanger, stocker, transformer et restituer ces informations à l'éleveur afin de l'aider dans sa prise de décision, en complément de ses observations » (Allain et al., 2014). Ces outils d'aide à la décision sont souvent mono-spécifiques d'où leur multiplication. Ils sont aussi accompagnés d'un nombre de données sans cesse croissant, ce qui ne facilite pas nécessairement une prise de décision multicritère par les éleveurs. L'enjeu de ces nouvelles technologies en élevage est donc de faire la preuve de leur utilité dans la conduite d'élevage.

Parmi les technologies émergentes, l'imagerie, avec l'utilisation de dispositifs permettant la captation et l'analyse de formes en trois dimensions (3D), permet d'accéder à de nouveaux phénotypes et indicateurs, tels que l'évolution morphologique des femelles laitières au cours de leur vie. L'accès à l'évolution morphologique permet par exemple de suivre les variations de l'état corporel au cours de la lactation, ce qui permet de mieux définir et anticiper les besoins des animaux (Negretti et al., 2008; Bewley et al., 2008; Fischer et al., 2015; Kuzuhara et al., 2015; Hansen et al., 2018). Deux entreprises (DeLaval ; Ingenera®) commercialisent aujourd'hui une application en ferme de notation automatisée de l'état corporel, grâce à cette technologie d'imagerie 3D. L'imagerie 3D présente également des intérêts pour la détection d'anomalies de posture (voussures du dos, équilibre, mouvement) ou de boiteries (Viazzi et al., 2014; Van Herthem et al., 2014, 2016; Abdul Jabbar et al., 2017; Hansen et al., 2018; Schlageter-Tello et al., 2018). Ce type d'outil pourrait ainsi permettre d'accéder à d'autres phénotypes.

L'imagerie 3D est aussi utilisée pour estimer le poids des animaux et optimiser par exemple, les départs en abattoir chez le porc (Marchant et Schofield, 1993). Chez les animaux de plus grande taille, faute de technologie disponible à ce jour, le suivi de la croissance est réalisé par des mesures de poids pour les exploitations équipées d'outils de pesée. Or, les vaches



continuent à croître pendant la 1<sup>ère</sup> voire la 2<sup>ème</sup> lactation en cas de vêlage précoce (Cutullic et Flury, 2011). L'utilisation du poids vif seul ne semble pas totalement adaptée au suivi de la croissance chez les vaches laitières. En effet, le poids vif reflète à court terme les variations de contenus digestifs (Faverdin et al., 2017) et à plus long terme, les variations de réserves corporelles liées à la mobilisation et à la reconstitution des réserves corporelles (Banos et al., 2005; Friggens et al., 2011; Thorup et al., 2012), ainsi que l'augmentation de la masse des tissus musculaires et osseux, liée à la croissance. A même poids vif et même stade physiologique, le gabarit, estimé par des mesures de barymétrie telles que le tour de poitrine ou la hauteur au garrot, peut être très différent entre animaux (Le Cozler, 2019 ; communication personnelle). Ces mesures baryométriques, quoique moins onéreuses que des mesures de poids en termes d'équipements, ne sont pour autant pas toujours aisées à réaliser en élevage et non sans risque pour les manipulateurs. Des premiers essais (Le Cozler et al., 2019) ont démontré que l'imagerie 3D permettrait d'accéder rapidement et facilement à la plupart de ces indicateurs baryométriques, sans contact direct avec l'animal, et donc, avec des risques limités.

L'imagerie 3D permet aussi de mesurer le volume et la surface des animaux de manière fiable (Depuille, 2018). Ces critères peuvent être intéressants pour l'étude de l'adaptation des animaux au stress thermique, avec la détermination précise du ratio entre surface et volume, critère habituellement utilisé pour estimer la dissipation de la chaleur. Le volume est aussi un indicateur en soi mais il permet également d'estimer le poids vif des vaches laitières (Depuille, 2018). Le cumul de plusieurs composantes (croissance, réserves corporelles et contenus digestifs) dans les variations de poids vif complique l'interprétation de ses variations. L'estimation du poids vif corrigé des contenus digestifs, appelé poids vif vide, est recommandée pour l'interprétation des variations de poids vif lors de la croissance ou celles des réserves corporelles. Cette estimation des contenus digestifs est difficile car elle nécessite soit de peser les contenus digestifs après abattage des animaux, soit d'avoir accès aux quantités ingérées d'aliments par vache pour une estimation indirecte (Chilliard et al., 1987). L'imagerie 3D offre la possibilité d'estimer le volume du rumen, et ainsi d'accéder indirectement aux quantités ingérées. L'estimation des quantités ingérées par le volume, même si elle est moins précise que les méthodes de mesures directes basées sur l'utilisation d'auges peseuses individuelles, présente un coût et des contraintes d'utilisation qui rendent envisageable l'accès aux quantités ingérées individuelles à haut débit en fermes commerciales. Le suivi de la modification de la morphologie des animaux par imagerie 3D pourrait aussi avoir une application dans le suivi de la gestation, en particulier en fin de gestation lorsque l'utérus gravide est fortement impliqué dans les changements de conformation des animaux. Enfin, pour pouvoir estimer pleinement les possibilités et l'intérêt



de cette technologie, l'imagerie 3D est actuellement comparée à d'autres méthodes d'analyses de composition corporelle (échographie, tomographie...) dans le cadre de projets de recherche (CompoRum en France ; RégioBeef en Suisse). L'accès au développement des tissus osseux, protéiques et/ou musculaires présente un réel intérêt, non seulement pour le suivi de la croissance des bovins laitiers, mais aussi pour l'élevage et la conduite d'autres animaux (bovins allaitants, ovins, porcins...).

Les résultats présentés dans ce rapport de stage se focalisent dans un premier temps sur l'analyse de la croissance des vaches en lactation, peu étudiée jusqu'ici. Cette première partie est basée sur la comparaison des dynamiques d'indicateurs morphologiques de vaches de différents âges, avec aussi différents âges au vêlage. Ces indicateurs morphologiques seront utilisés pour modéliser la partie des variations de poids vif associée à la croissance, et seront combinés à des données d'ingestion et de réserves corporelles pour décomposer le poids vif en ses différentes composantes. La seconde partie concerne l'estimation du volume abdominal pour approcher le volume du rumen et des contenus ruminiaux individuels. Les volumes abdominaux sont en effet impliqués dans des mécanismes, tels que la digestibilité individuelle. A ce titre, leur implication dans les différences d'efficacité alimentaire ou d'émissions de méthane entérique sera analysée. Pour répondre à ces questions, des données morphologiques issues du dispositif Morpo3D<sup>1</sup>(Le Cozler et al., 2019) ont été mobilisées et comparées à celles collectées lors d'un essai visant à étudier l'efficacité alimentaire des vaches laitières (projet ANR et APIS-GENE Deffilait ; voir Annexe 1 pour une description complète).

## Matériels et méthode

### I) Le dispositif expérimental et la définition des sous-populations

#### I.1) La ferme expérimentale et les généralités

Les données utilisées pour ces analyses sont issues d'études réalisées sur des vaches en lactation de race Holstein, du troupeau de l'Installation Expérimentale de Production Laitière de Méjusseaume (Le Rheu, 35). Le troupeau expérimental était composé de 58 vaches, dont 32 primipares, ayant vêlé entre le 27 août et le 14 octobre 2017.

---

<sup>1</sup> Le dispositif Morpho3D a été développé par l'entreprise 3DOuest, en collaboration avec l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), et l'Institut de l'élevage (IDELE). Il a été financé dans le cadre des projets CASDAR Morpho3D, ANR et APIS-GENE Deffilait, avec un soutien initial du département INRA physiologie des animaux et systèmes d'élevage

<b>Ingrédients (en % de MS totale du régime +/- E.T.)</b>	<b>Ration Période 1</b>	<b>Ration Période 2</b>
Ensilage de maïs	65 ±1,8	59 ± 1,0
Luzerne Déshydratée	8 ± 0,7	14 ± 0,3
Concentrée énergie + CMV	9 ± 1,0	2 ± 0,5
Tourteau de Soja 48	18 ± 1,0	13 ± 0,3
Paille	0 ± 0	12 ± 0,4

Tableau 1: Composition des rations des deux périodes expérimentales (période 1 : octobre à mars ; période 2 : avril à juin).

*MS : Matière Sèche, E.T. : Ecart-Type et CMV : Complément Minéral et Vitaminique*

Les données de production, de poids vif (PV) et de note d'état corporel (NEC) ont été collectées de fin août 2017 à juin 2018, dans le cadre des projets CASDAR Morpho3D, ANR et APIS-GENE Deffilait.

Les projets ANR et APIS-GENE Deffilait visent à mieux comprendre les différences interindividuelles de l'efficacité alimentaire des vaches laitières. L'efficacité alimentaire est définie comme la différence entre la consommation alimentaire observée et celle attendue, appelée consommation alimentaire résiduelle (RFI pour Residual Feed Intake en anglais exprimée en matière sèche (MS) ou en énergie ingérée). La consommation attendue est estimée à partir de dépenses énergétiques (production laitière, entretien, gain de réserves corporelles) ou apports énergétiques autre que l'alimentation (mobilisation des réserves corporelles). A même ration et au sein de la même race, une vache qui a une différence négative entre consommation observée et attendue est considérée comme plus efficace que la vache moyenne. Elle consomme en effet moins d'aliments que prévu pour des niveaux de production, d'entretien et de réserves corporelles semblables. A l'inverse une différence positive entre consommation observée et attendue signifie que la vache est moins efficace. En définissant l'efficacité comme un résidu de modèle, l'efficacité alimentaire est confondue avec les erreurs liées à l'ajustement du modèle ou aux erreurs de mesures des variables du modèle. Pour éviter cette confusion, l'efficacité peut être considérée comme la partie du RFI répétable au cours du temps et déterminée intra-vache, alors que l'erreur du modèle est aléatoire (Fischer et al., 2018).

La répétabilité de l'efficacité alimentaire a été testée au cours de la lactation entre août 2017 et juin 2018, en comparant le classement relatif de l'efficacité alimentaire des vaches avec deux régimes différents successifs, l'un riche en amidon et en énergie, et l'autre, pauvre en amidon, de plus faible teneur en énergie mais riche en fibre (Tableau 1). Le changement de ration a été réalisé le 21 mars 2018. Les vaches étaient traitées deux fois par jour, chaque traite étant suivie d'une distribution de ration. La distribution était réalisée grâce à un dispositif de distribution automatisée et individualisée de la ration alors que les refus étaient collectés et pesés à l'aide d'un aspirateur dédié (Calan data Ranger ; American Calan, Northmoor, Etats-Unis).

## 1.2) Le choix des sous-populations pour le suivi de la croissance et l'analyse du volume d'abdomen

Pour l'étude de la croissance pendant la lactation et compte tenu du temps nécessaire au traitement des images, une sous-population de 16 vaches (8 primipares et 8 multipares) avec des morphologies différentes a été constituée. Pour cela, nous avons sélectionné des vaches encore en croissance (primipares), en distinguant deux âges au vêlage (au maximum 22 mois ;

Tableau 2 : Caractéristiques générales des vaches retenues pour les études « Suivi de la croissance » lors de la lactation 2017-2018 (16 vaches)

	Suivi de la croissance		Estimation des contenus ruminiaux	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
<b>Rang de lactation</b>	1,99	1,4	2,05	1,5
<b>Note d'Etat corporel</b>	2,06	0,3	2,07	0,2
<b>Poids vif (kg)</b>	649	89,9	676	61,9
<b>Production laitière (kg brut)</b>	32,7	5,5	26,9	3,8
<b>Taux butyreux (g/kg)</b>	38,7	3,6	39,3	4,5
<b>Taux protéique (g/kg)</b>	30,9	2,4	31,7	2,6

et « Estimation des contenus ruminiaux » pour le mois de juin (58 vaches).

après 22 mois, avec un maximum de 25 mois). Afin de déterminer si la croissance se poursuit au-delà de 36 mois d'âge, des vaches en seconde lactation et des vaches qui ont théoriquement finies leur croissance (parité supérieure à 2) ont également été retenues. Dans chaque parité une population de vaches avec une large diversité de PV, de NEC et de leurs variations au cours de la lactation a été sélectionnée (Tableau 2). L'évolution des mensurations, des surfaces, des volumes et des PV a permis de suivre cette croissance tout au long d'une lactation.

Pour l'étude de la variation interindividuelle du volume de l'abdomen en lien avec les mesures d'ingestion et les contenus digestifs, toutes les vaches (58 vaches) disposant de données valides sur le mois de juin ont été utilisées. Ces données ont été confrontées aux mesures d'efficacité alimentaire et d'émission de méthane des vaches, pour étudier un lien potentiel entre les caractéristiques digestives et l'efficacité alimentaire et l'émission de méthane entérique.

## II) Prélèvements et mesures

### II.1) Obtention des données de production et d'émission de méthane

Les vaches étaient nourries en auge individuelle, deux fois par jour. Le suivi des quantités ingérées quotidiennes était réalisé par différence entre les quantités offertes et les quantités refusées sur 24 heures, avant la nouvelle distribution à J + 1. La quantité de ration était distribuée avec un objectif d'alimentation *ad libitum* défini par un pourcentage de refus minimal fixé à 10% des quantités ingérées à J-2.

La production laitière était mesurée et enregistrée à chaque traite. Les taux butyreux et protéiques étaient déterminés deux jours par semaine (mardi et jeudi). Pour chacun de ces jours, un échantillon moyen issu du lait de chaque traite était réalisé.

A l'issue de chaque traite, une pesée automatique de chaque animal était réalisée, mais pour les analyses, seul le PV du matin a été retenu.

Les NEC ont été déterminées 1 fois par mois par 3 notateurs, selon la grille allant de 0 pour une vache maigre à 5 pour une vache grasse, développée par Bazin et al. (1984).

Les émissions de Méthane (CH<sub>4</sub>) de 46 vaches ont été suivies grâce à un dispositif d'enregistrement dédié appelé GreenFeed (C-lock, Rapid City, Dakota du Sud, Etats-Unis ; voir Annexe 2 pour une description plus détaillée). Il permet de mesurer sur de courtes durées les gaz respiratoires émis par les ruminants. Il se compose d'un distributeur automatique d'aliments avec identification électronique de l'animal, dans lequel l'air (air respiratoire et air ambiant) est aspiré au niveau des naseaux et de la bouche de l'animal pendant que celui-ci

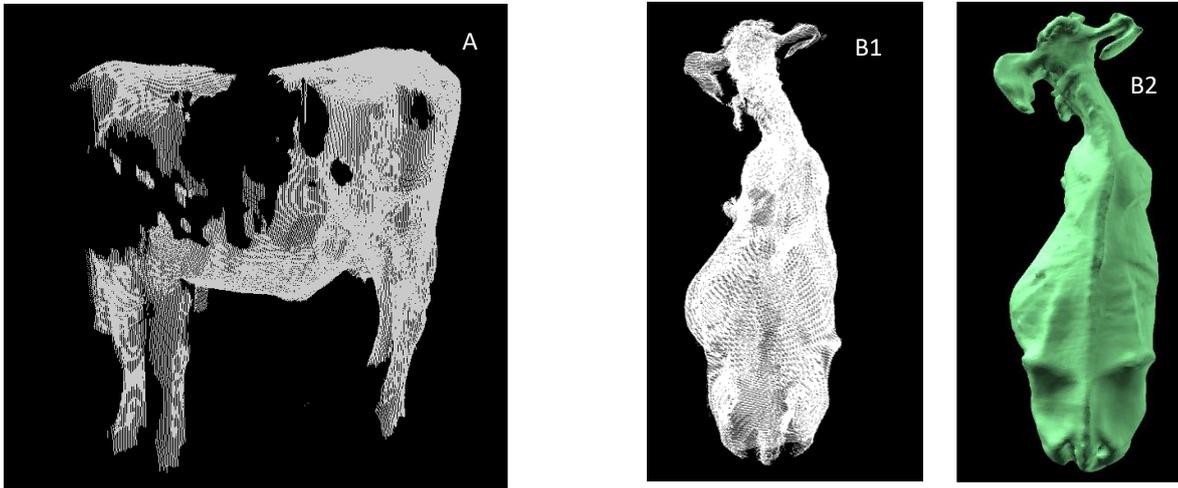


Figure 1 : Nuage de points 3D de notation 0 (Image A : les taches noires de la robe de la vache ne paraissent pas, Images B : vache avec déformation du corps (B1 : nuage de points, B2 : reconstruction de Poisson)).

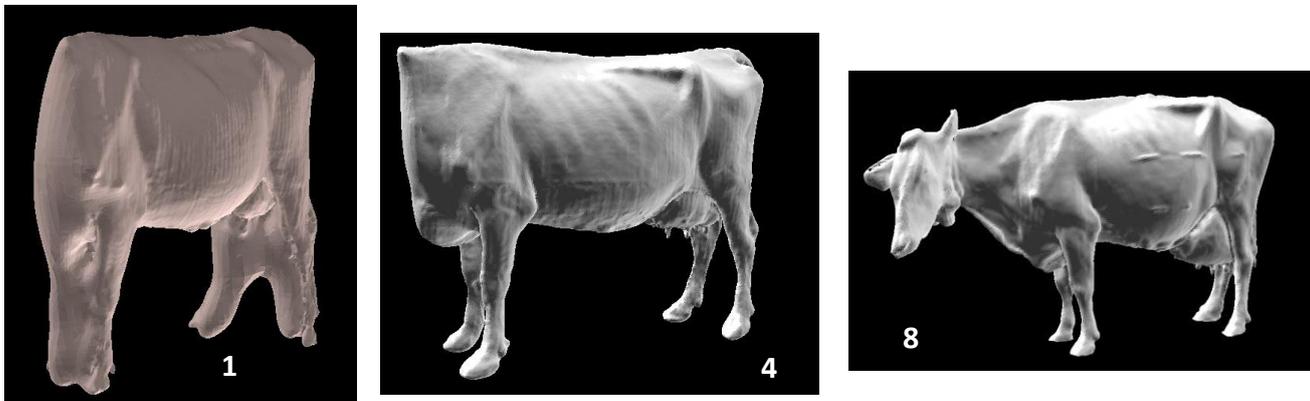


Figure 2 : Exemples de 3 reconstructions de Poisson d'images 3D ayant 3 notes de qualité d'image différentes allant de 1 à 8.

consomme sa portion de concentré. Le volume d'air aspiré est analysé et les teneurs en méthane sont déterminées en continu pendant la visite.

## II.2) Obtention des images de morphologie des vaches

La morphologie des vaches a été suivie une fois par mois par imagerie en 3 dimensions (3D) grâce à un portique 3D (Morpho3D) et au logiciel de traitement d'images Metruxa® (3DOuest, Lannion, France). Ces outils ont été développés dans le cadre des projets CASDAR Morpho 3D, du projet ANR-APIS GENE Deffilait et d'un crédit incitatif du département Phase de l'INRA. Ces projets font l'objet d'une collaboration tripartite entre la société 3DOuest, l'INRA et l'Institut de l'élevage.

Ces outils ont été validés pour des indicateurs morphologiques tels que les mensurations linéaires (hauteur au garrot, HG ; profondeur de poitrine, PP ; largeur des hanches, LH ; largeur aux fesses, LF ; longueur diagonale, LD.), des circonférences (tour de poitrine, TP), des surfaces ou des volumes (Caillot, 2017; Depuille, 2018; Le Cozler et al., 2019). Pour construire une image 3D complète d'une vache, 5 nuages de points acquis chacun par un couple caméra-laser sont assemblés. La durée d'acquisition des images permettant la reconstruction d'une image 3D de la vache est très court (moins de 6 secondes). Jusqu'au mois de février 2018 (5<sup>ème</sup> mois de mesure), les vaches étaient bloquées grâce à une porte autobloquante pendant la durée du scan. A partir de mars, les vaches étaient simplement maintenues dans la zone de scan grâce à des granulés posés dans un récipient ou à même le sol. Le traitement numérique de l'assemblage des images nécessite 1 à 2 minutes de calcul automatique, cette étape de traitement ne nécessite pas de maintenir l'animal immobile ou bloqué.

### II.2.a) Qualification des images

Les images acquises grâce au dispositif Morpho3D sont de qualités diverses. Cette qualité dépend de la position de la vache et des conditions d'acquisition des images telle que la luminosité.

Les images disponibles chaque mois ont toutes été visualisées. Tous les éléments associés à l'environnement (sol, câbles, cordes, lumière parasite) ont été supprimés manuellement avec le logiciel Metruxa® pour isoler l'image 3D de la vache. Chaque image 3D obtenue a ensuite été lissée par un algorithme de Poisson. La qualité de ces images reconstruites a été notée de 0 à 8, d'après la notation définie par Depuille (2018). La note 0 qualifie les nuages de points inexploitable créés par un grand mouvement de l'animal (déformation d'une partie du corps) ou de formation de « trous » dans l'animal (Figure 1). Les notes au-dessus de 0 qualifient les animaux qui n'ont pas de défaut de reconstruction de corps mais dont d'autres critères détériorent la qualité de l'image (tête coupée, reconstruction anormale des pattes). La note

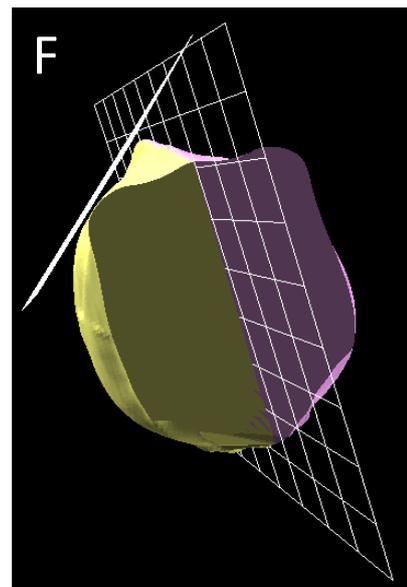
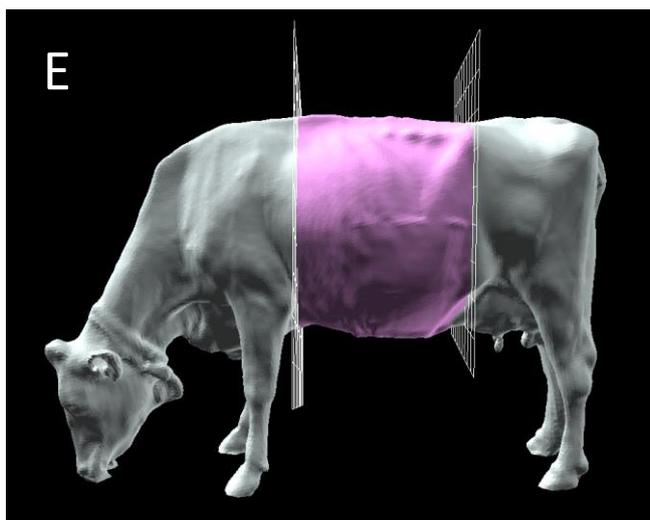
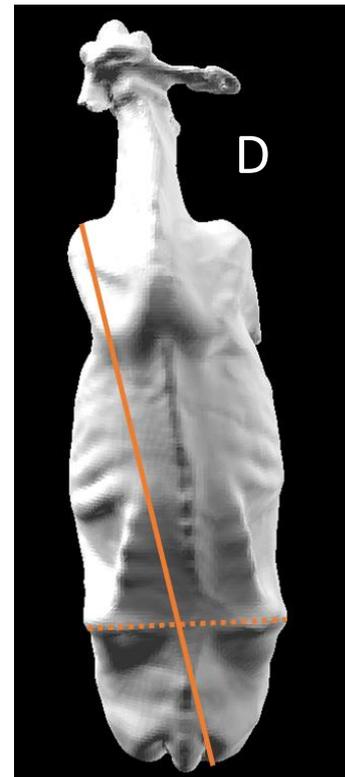
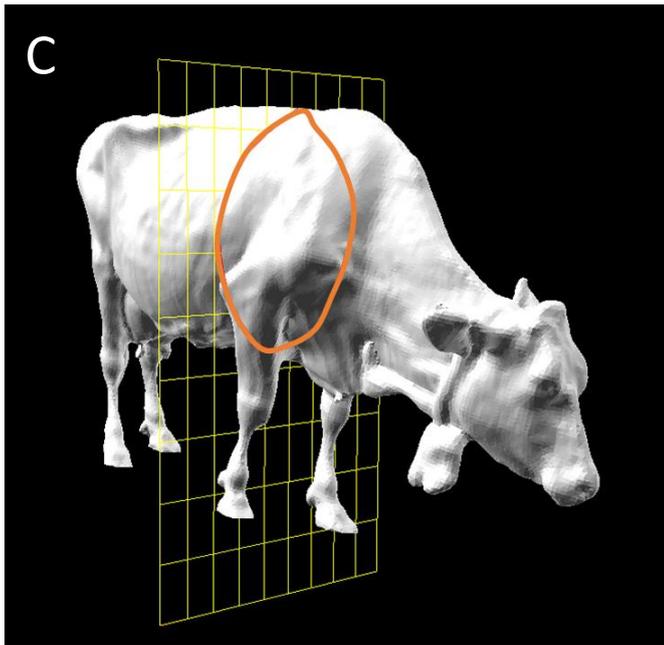
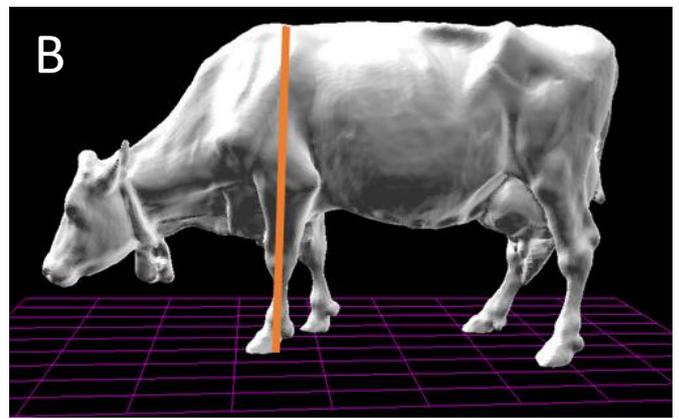
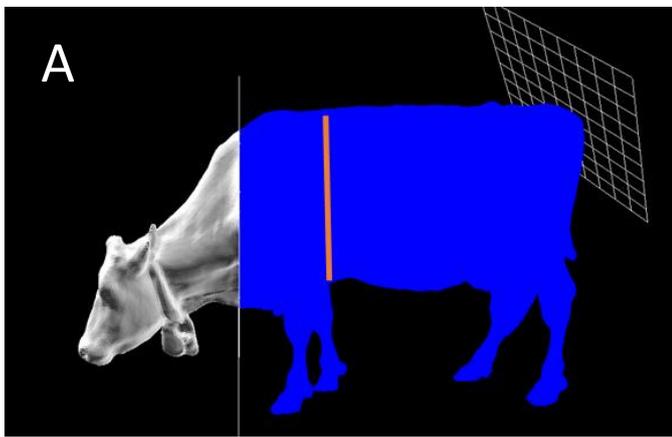


Figure 3 : Illustrations des mesures morphologiques

A : Volume partiel, surface partiel et profondeur de poitrine ; B : Hauteur au garrot ; C : Tour de poitrine ; D : Longueur diagonale et largeur aux hanches ; E : Volume de l'abdomen ; F : Volume du demi-abdomen gauche

maximale 8 qualifie des reconstructions de Poisson de vaches entières et de très bonne qualité (Figure 2 ; voir Annexe 3 pour une description de l'échelle de notation).

Seules les images dont les notes variaient de 1 à 8 ont été utilisées pour la suite de l'étude. Ces qualités différentes d'images ont influencé la possibilité ou non de réaliser les mesures de volume et de surface de la vache dans son entièreté, respectivement nommés volume total et surface totale par la suite, non réalisées pour les images notées de 1 à 4.

### II.2.b) Traitement des images 3D

Une fois les images nettoyées, reconstruites et notées, le logiciel libre MeshLab (Cignoni et al., 2008) a été utilisé pour « couper » les sabots des vaches en 3D au niveau du sol, pour éviter les problèmes de reconstruction de Poisson avec le logiciel Metruxa® qui génère des formes voutées des sabots en-dessous du niveau du sol. Cette méthode a été utilisée pour les mois d'octobre à février. Les images de mars à juin ont été traitées différemment au niveau des sabots, car issues d'un précédent stage où une autre méthode avait été utilisée. Ces images ont été coupées un peu au-dessus du niveau du sol au niveau des sabots. Néanmoins, les deux approches permettent d'obtenir un résultat identique.

A partir des images traitées, des mesures de longueur (LH, HG, PP, TP, LF, LD), de surfaces et de volumes (surface et volume totaux, surface et volume partiels, volume abdominal et volume du demi-abdomen gauche) ont été réalisées (Figure 3).

La longueur diagonale a été mesurée pour chaque vache entre la pointe de l'épaule gauche et la pointe de la fesse droite.

Le volume partiel (VP) est réalisé selon la méthode proposée par Depuille (2018) qui coupe la vache au niveau de la pointe des épaules de façon à conserver les membres avants et à ne couper que le cou et la tête des vaches. La réalisation de ce volume nécessite le placement d'un autre plan qui passe par les pointes des fesses et le point le plus haut de la queue. La surface partielle (SP) correspond à la surface de la partie conservée pour réaliser le volume partiel.

Le sol, scanné lors du passage du scanner, est pris en référence pour effectuer la mesure d'HG et pour définir des plans orthogonaux afin d'estimer le tour de poitrine, le volume abdominal et le volume de demi-abdomen :

- La détermination du volume abdominal a été réalisée grâce à deux plans orthogonaux. Ce volume est compris entre les pointes d'épaules et les pointes de hanches.
- Le volume du demi-abdomen gauche a été défini à partir de l'abdomen 3D comme le volume gauche compris entre le plan du sol et le plan orthogonal au sol qui passe par la colonne vertébrale. Dans de rares cas, la colonne vertébrale de la vache n'était pas



droite (en « S »). Un plan à trois points a alors été utilisé (2 points au niveau de la colonne vertébrale et 1 point au niveau du ventre).

### III) Analyses : modèles et traitements statistiques

#### III.1) Répétabilité et reproductibilité des indicateurs morphologiques déterminés par imagerie 3D

La répétabilité et la reproductibilité ont été estimées pour connaître l'erreur réalisée systématiquement sur chaque mesure manuelle des indicateurs morphologiques déterminées par imagerie 3D. Les analyses de répétabilité et de reproductibilité n'ont donc pas été réalisées pour les volumes et surfaces totaux car ces deux mesures sont déterminées automatiquement sous Metrux<sup>®</sup>. La répétabilité qualifie la précision inhérente à la personne qui mesure les indicateurs morphologiques. La reproductibilité comprend à la fois l'erreur engendrée par la personne qui prend les mesures, l'erreur inhérente aux outils utilisés (scanner, logiciel) et l'erreur due à la position de la vache qui peut être différente entre chaque image. L'erreur de répétabilité a été estimée sur une même image 3D à partir de 5 mesures répétées réalisées par une même personne. La reproductibilité a été réalisée une fois par image 3D mais en répétant 5 scans 3D par vache acquises toutes le même jour. Ces mesures ont été réalisées sur une population de 5 vaches choisies parmi les vaches ayant des images 3D de bonne à très bonne qualité et avec un spectre de PV et de NEC assez large pour tester la méthode sur des gabarits de vaches différents.

L'erreur de répétabilité ou de reproductibilité correspond à l'écart-type de l'indicateur morphologique mesuré dans des conditions de répétabilité ou de reproductibilité pour un individu donné. Pour une population de plusieurs individus testés pour la répétabilité ou la reproductibilité, l'indicateur morphologique doit préalablement être corrigé des différences entre individus en faisant une analyse de variance (ANOVA) incluant l'effet vache dans le modèle. L'erreur de répétabilité ou reproductibilité de la population correspond alors à l'écart-type des résidus de cette analyse de variance. Le coefficient de variation de répétabilité ou de reproductibilité a été estimé comme le rapport entre l'erreur de répétabilité ou de reproductibilité et la moyenne de l'indicateur, le tout multiplié par 100. Le seuil d'erreur acceptable pour les coefficients de variation a été fixé à 4%.

Tous les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2018), en utilisant l'application Rstudio version 3.5.2. Le package « car » a été utilisé pour réaliser les ANOVA (Fox et Weisberg, 2011).



### III.2) Traitement des données cinétiques de Poids, de NEC et des quantités ingérées

Les données d'ingestion ont été lissées par la méthode Local Polynomial Regression Fitting (LOESS) pour la lactation complète de chaque vache en utilisant les 40% plus proches voisins. Une donnée est considérée comme aberrante si elle est en dehors de la moyenne des 40 % voisins les plus proches  $\pm 3$  écart-types. Les données aberrantes ont été supprimées de la base. Un lissage par LOESS sur les 15% plus proche voisins a ensuite été réalisé sur les données non aberrantes.

La méthode LOESS a également été appliquée pour lisser les productions laitières intra-vache sur les lactations complètes. Les valeurs aberrantes sont celles qui étaient en dehors de l'intervalle formé par la moyenne des 7% plus proches voisins  $\pm 20$  kg/j. Les données aberrantes ont été supprimées de la base. Pour les taux, seul les taux butyreux et protéiques supérieurs à 80 g/kg après 14 j de lactation ou inférieur à 10 g/kg ont été définis comme aberrants.

Les données de PV ont été lissées intra-vache en utilisant les 20% voisins les plus proches. Les données aberrantes sont celles en dehors de la moyenne des 20% plus proches voisins  $\pm 2$  écart-types. Les données aberrantes ont été supprimées et remplacées par les données lissées du PV. Le lissage est un LOESS estimé en utilisant les 15% plus proches voisins. Les données de PV retenues sont les données lissées avec le LOESS.

A partir de la NEC mensuelle, une NEC a été interpolée pour chaque jour par une Spline utilisant chaque jour de notation comme nœud.

Un modèle de régression des moindres rectangles a été utilisé pour mettre en relation le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le CH<sub>4</sub>. Les valeurs aberrantes pour ces émissions ont été définies comme celles en dehors de l'intervalle défini par cette régression linéaire des moindres rectangles  $\pm 3$  écart-types des résidus du modèle.

### III.3) Estimation de l'efficacité alimentaire

L'efficacité alimentaire est issue d'un travail complémentaire et a été estimée intra-ration par une régression linéaire mixte avec la fonction « lme » du package « nlme » (Pinheiro et al., 2018) du logiciel R (R Core Team, 2018) avec un effet aléatoire de la vache (58 modalités) sur l'ordonnée à l'origine et sur l'effet régime, comme suit :

$$\begin{aligned} MSI = & (\mu + \mu_i) + (\text{régime} + \text{régime}_i) + a \times \text{EnLait} + b \times PV^{0.75} + c \times (PV^+ \times NEC) \\ & + d \times (PV^- \times NEC) + e \times \text{Gestation} + \text{Parité} + f \times ((PV^- \times NEC) \times \text{régime}) \\ & + \varepsilon \end{aligned}$$



avec MSI la matière sèche ingérée, EnLait l'énergie nette du lait donnée par l'équation où  $EnLait = PL \times (0,44 + 0,0055 \times (TB - 40) + 0,0033 \times (TP - 31))$  (Faverdin et al., 2010), PV<sup>+</sup> le gain de PV, PV<sup>-</sup> la perte de PV, Gestation le besoin de gestation donné par  $7,2 \times 10^{-4} \times 40 \times e^{0,116 \times \text{Semaine de gestation}}$  (Faverdin et al., 2010), régime le facteur à 2 modalités (ration riche en amidon vs riche en fibres) et parité une variable qualitative à 2 modalités (primipares vs multipares) ; les paramètres fixes du modèles sont  $\mu$  pour l'ordonnée à l'origine, et a, b, c, d, e, et f pour les pentes ; les paramètres aléatoires sont  $\mu_i$  pour l'ordonnée à l'origine aléatoire et régime<sub>i</sub> pour l'effet régime aléatoire ;  $\varepsilon$  est le résidu du modèle.

Toutes les variables du modèle ont été calculées intra-régime sur les 72 jours avant le changement de ration et les 72 jours de la période 2, excluant les 3 premières semaines après le changement de ration. Plus précisément, chaque variable a été moyennée par sous-période de 12 jours intra-période pour pouvoir inclure un effet répété de la douzaine intra-période. L'efficacité, notée RFI, est alors définie comme la somme de l'effet aléatoire de l'ordonnée à l'origine et de l'effet régime,  $\mu_i + \text{régime}_i$  dans le modèle ci-dessus.

#### IV) Suivre la croissance de vaches en lactation

Comme pour l'étude sur la répétabilité, les traitements statistiques ont été réalisés avec R (R Core Team, 2018) sous la plateforme Rstudio version 3.5.2. Les packages « car » et « FactoMineR » ont été utilisés pour réaliser respectivement les analyses de variance (ANOVA ; Fox et Weisberg, 2011) et les Analyses en Composantes Principales (ACP ; Lê et al., 2008).

Les mesures de mensurations, de volumes et de surfaces ont été réalisées sur chaque image obtenue mensuellement et pour chaque vache retenue. Les données manquantes, notamment pour le mois de mai, ont été estimées par extrapolation linéaire à partir des mesures issues du mois précédent et du mois suivant. Le passage à des scans sans porte autobloquante a créé des différences de postures, notamment au niveau de la hauteur au garrot, HG. L'effet de l'utilisation de la porte autobloquante a été corrigé par une ANOVA de type III. L'analyse de la variance corrigeait la valeur HG du mois de l'étude, de l'effet vache, de l'effet régime alimentaire et des interactions entre l'effet vache et le mois de l'étude comme suit :

$$HG = \mu + ID + a \times N\text{mois} \times ID + \text{Periode} \times ID + b \times (N\text{mois})^2 \times ID + \varepsilon$$

Avec ID : identifiant de la vache, Nmois : Numéro du mois en quantitatif, Periode : période 1 d'octobre à février et Période 2 de mars à juin ; a et b sont les pentes et  $\mu$  l'ordonnée à l'origine ;  $\varepsilon$  est le résidu du modèle. La hauteur au garrot de la période sans porte autobloquante a donc été corrigée des valeurs de l'interaction entre période et vache (Periode x ID) dans l'équation ci-dessus.



Les variations des mesures de chaque indicateur morphologique ont été calculées entre octobre et juin. Ces variations ont été expliquées par 3 facteurs indépendamment les uns des autres : la parité (primipares et multipares), le groupe de vêlage (âge au 1<sup>er</sup> vêlage ≤ 22 mois et âge au vêlage > 22 mois) et les rangs de lactation des multipares (vaches en 2<sup>ème</sup> lactation et vaches en 3<sup>ème</sup> lactation et plus). Ces ANOVA ont permis de connaître l'effet de ces différents facteurs sur le gain de chaque indicateur au cours de la lactation suivie.

Une analyse en composantes principales a ensuite été réalisée pour pouvoir comprendre les corrélations entre les différents indicateurs morphologiques mais aussi, construire des indicateurs morphologiques orthogonaux. Les variables actives incluaient les mesures corporelles obtenues (LH, HG, LD, PP, TP, volume partiel et surface partielle).

Une régression linéaire entre les PV et les volumes partiels a été établie inter-vache en prenant en compte toutes les données pour tous les individus sur la lactation complète suivant le modèle :

$$PV = \mu + a \times VP + \varepsilon$$

Avec : a est la pente,  $\mu$  l'ordonnée à l'origine et  $\varepsilon$  est le résidu du modèle ; VP est le volume partiel.

Une analyse de covariance entre les PV et les volumes partiels a été ensuite établie intra-vache sur la lactation complète suivant le modèle :

$$PV = \mu + a \times VP + ID + b \times VP \times ID + \varepsilon$$

Avec : a et b sont les pentes,  $\mu$  l'ordonnée à l'origine et  $\varepsilon$  est le résidu du modèle ; VP est le volume partiel et ID : identifiant de la vache.

Pour essayer de mieux comprendre la part des différentes composantes dans l'évolution du poids, le profil d'évolution du poids vif intra-lactation a été décomposé grâce à un modèle mixte en sa part « croissance », « réserves corporelles », « matières sèches ingérées » et « résidus du modèle ». Les différentes composantes ont été estimées pour les contenus digestifs à partir des matières sèches ingérées, pour les réserves corporelles à partir de la NEC et pour la croissance (squelette et muscle) grâce aux mesures LD, PP, HG et le produit (LH x HG x LD). Ces variables ont été calculées chaque mois de suivi comme différence par rapport à leur valeur au premier mois (octobre). La variation de PV par rapport au PV en octobre a été décomposée en ses différentes composantes par un modèle de régression linéaire à effet mixte avec le package « nlme » (Pinheiro et al., 2018) de R comme suit :

Tableau 3 : Erreurs de répétabilité et de reproductibilité et coefficients de variation de répétabilité et de reproductibilité pour les mesures morphologiques.

	Coefficient de variation (%)		Erreur	
	Répétabilité	Reproductibilité	Répétabilité	Reproductibilité
<b>Volume partiel (L)</b>	0,2	2,3	1,4	17,3
<b>Surface partielle(m<sup>2</sup>)</b>	0,4	3,8	0,024	0,220
<b>Largeur aux hanches (m)</b>	0,5	1,3	0,003	0,008
<b>Hauteur au garrot (m)</b>	0,1	0,8	0,001	0,012
<b>Profondeur de poitrine (m)</b>	0,3	0,8	0,003	0,007
<b>Tour de poitrine (m)</b>	0,3	2,2	0,008	0,050
<b>Largeur aux fesses (m)</b>	1,6	3,3	0,008	0,015
<b>Longueur diagonale (m)</b>	0,5	2,5	0,009	0,043
<b>Volume de l'abdomen entier (L)</b>	0,5	4,2	1,7	15,3
<b>Volume du demi-abdomen gauche (L)</b>	1,4	5,0	2,7	9,4

Tableau 4 : Moyenne et écart-type des mesures morphologiques pour les 16 vaches retenues dans l'étude « Suivi de la croissance » présentées par parité.

	Première lactation		Deuxième lactation		Troisième lactation et +	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
<b>Volume partiel (L)</b>	610	43,8	693	102,7	752	26,4
<b>Surface partielle (m<sup>2</sup>)</b>	5,2	0,18	5,5	0,42	5,9	0,2
<b>Largeur aux hanches (m)</b>	0,55	0,01	0,58	0,04	0,61	0,02
<b>Hauteur au garrot (m)</b>	1,47	0,03	1,5	0,05	1,54	0,05
<b>Profondeur de poitrine (m)</b>	0,81	0,02	0,85	0,04	0,87	0,04
<b>Tour de poitrine (m)</b>	2,14	0,07	2,22	0,07	2,27	0,1
<b>Longueur diagonale (m)</b>	1,63	0,04	1,71	0,08	1,75	0,02

Tableau 5 : Moyennes ajustées des variations des indicateurs morphologiques entre octobre et juin des vaches laitières (16 vaches : 8 primipares, 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus) en fonction de l'âge au vêlage des primipares et de la parité des multipares.

	Multipare (M)		Primipare (P)		Probabilité critique <sup>1</sup>		
	2 <sup>ème</sup> lactation	3 <sup>ème</sup> lactation et plus	A	B	P vs. M	A vs. B	2 vs. 3 et +
<b>Hauteur au garrot (m)</b>	0,017	0,031	0,021	0,047	0,52	0,25	0,53
<b>Largeur aux hanches (m)</b>	0,015	0,016	0,027	0,036	<b>0,01*</b>	0,27	0,9
<b>Longueur diagonale (m)</b>	0,064	0,032	-0,012	0,110	0,99	<b>0,03*</b>	0,53
<b>Profondeur de poitrine (m)</b>	0,037	0,035	0,060	0,056	<b>0,05*</b>	0,82	0,94
<b>Surface partielle (m<sup>2</sup>)</b>	0,162	0,442	0,225	0,594	0,55	0,16	0,28
<b>Tour de poitrine (m)</b>	0,149	0,102	0,253	0,174	<b>0,08.</b>	0,25	0,49
<b>Volume partiel (L)</b>	80,8	88,8	82,0	116,4	0,37	0,14	0,72
<b>Poids vif (kg)</b>	66,2	68,9	81,1	90,1	0,38	0,76	0,93

1 : probabilité critique associée aux effets principaux parité (primipare vs. multipare), âge au vêlage pour les primipares (A : Age au vêlage ≤ 22 mois ; B : Age au vêlage > 22 mois ) et rang de lactation des multipares ; \* : probabilité critique < 0,05 et . : probabilité critique < 0.10.

$$PV_t - PV_{oct} = \mu + a \times (MSI_t - MSI_{oct}) + b \times (NEC_t - NEC_{oct}) + c \times (LD_t - LD_{oct}) + d \times (PP_t - PP_{oct}) + e \times (HG_t - HG_{oct}) + f \times (LH \times HG \times LD_t - LH \times HG \times LD_{oct}) + \varepsilon$$

Avec  $PV_{oct}$  le PV du mois d'octobre,  $MSI$  la matière sèche ingérée,  $LD$  la longueur diagonale,  $PP$  la profondeur de poitrine,  $HG$  la hauteur au garrot et  $LH$  la largeur de hanche pris soit au mois  $t$  (allant d'octobre à juin) ou en octobre ( $oct$ ),  $\mu$  l'ordonnée à l'origine,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  et  $f$  les pentes associées aux variables et  $\varepsilon$  les résidus du modèle. Un effet aléatoire de la vache a été ajouté à la fois sur l'ordonnée à l'origine ( $\mu$ ) et sur chacune des pentes du modèle ci-dessus pour individualiser le modèle à chaque vache. La part de la variation de PV expliquée par chaque composante a été calculée pour chaque mois et chaque vache comme le produit entre la pente et la variable associée. Par exemple pour la croissance, cette part est la somme de  $c \times (LD_t - LD_{oct}) + d \times (PP_t - PP_{oct}) + e \times (HG_t - HG_{oct}) + f \times (LH \times HG \times LD_t - LH \times HG \times LD_{oct})$  dans le modèle ci-dessus. Les variables  $PV_t$ ,  $NEC_t$ ,  $MSI_t$  sont les données lissées du jour du scan.

## V) Estimer les contenus ruminiaux

Des régressions linéaires ont été effectuées pour expliquer les matières sèches ingérées, l'efficacité alimentaire et l'émission moyenne de  $CH_4$  sur la période en fonction des volumes de l'abdomen entier ou de l'abdomen gauche obtenus par imagerie 3D.

L'effet du rapport volume de l'abdomen entier (ou du volume de l'abdomen gauche) divisé par les matières sèches ingérées a été étudié par régression linéaire pour expliquer les différences d'efficacité alimentaire et d'émission de  $CH_4$  à même quantité ingérée.

Enfin, des ANOVA de type III ont été appliquées pour voir s'il y avait des différences de volume d'abdomen entre parités (primipare et multipare), entre catégories de rang de lactation (2<sup>ème</sup> rang et 3<sup>ème</sup> rang et plus) et entre groupes de vêlages (A : primipares âge au 1<sup>er</sup> vêlage  $\leq$  24 mois et B : âge au vêlage  $>$  24 mois).

Pour toutes ces relations, le seuil de probabilité critique a été fixé à 0,05.

# Résultats

## I) Qualification des images et des mesures

Les coefficients de variation de répétabilité liés au pointage sur les images des différentes mensurations sont faibles, inférieurs à 0,5% sauf pour les écartements des pointes de fesses (1,6%) et les mesures de volume du demi-abdomen gauche (1,4% ; Tableau 3). Les coefficients de variation des reproductibilités entre images sont plus importants car ils incluent

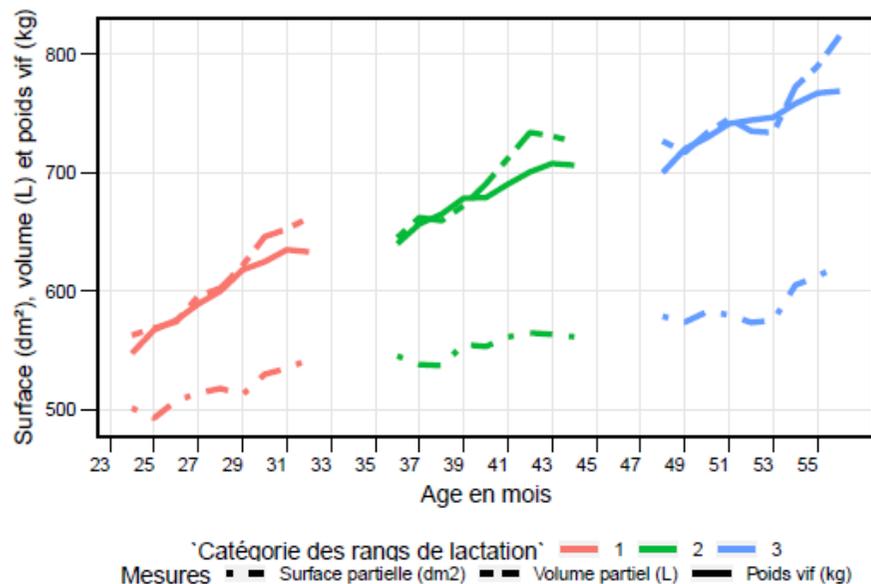


Figure 4 : Poids vif (kg), surface partielle (dm<sup>2</sup>) et volume partiel (L) représentés par parité et présentés en continuité suivant l'âge moyen des vaches (8 primipares, 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

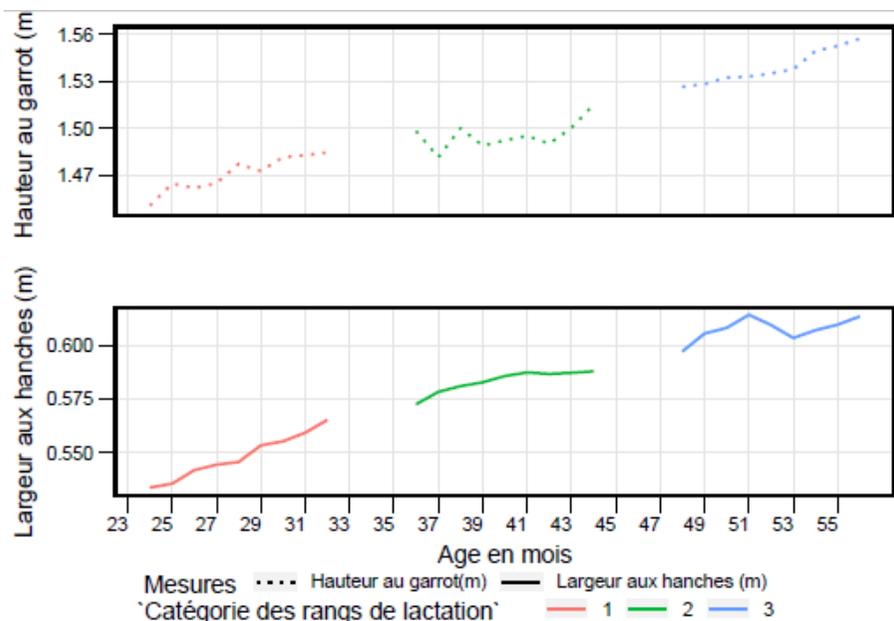


Figure 5 : Hauteur au garrot (m) et largeur aux hanches (m) représentées par parité et présentés en continuité suivant l'âge moyen des vaches (8 primipares, 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

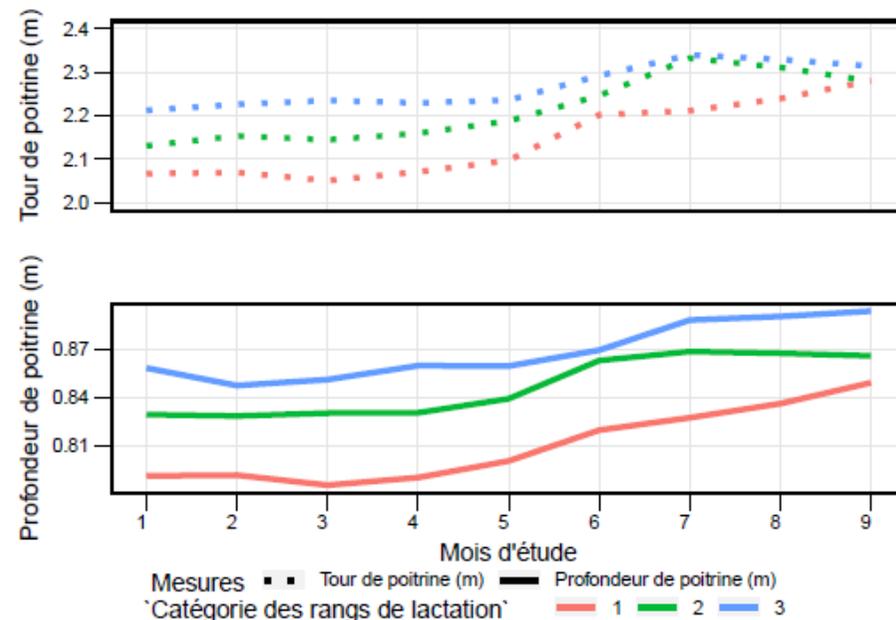


Figure 6 : Tour de poitrine (m) et profondeur de poitrine (m) représentés par parité et présentés en fonction du mois d'étude (8 primipares, 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

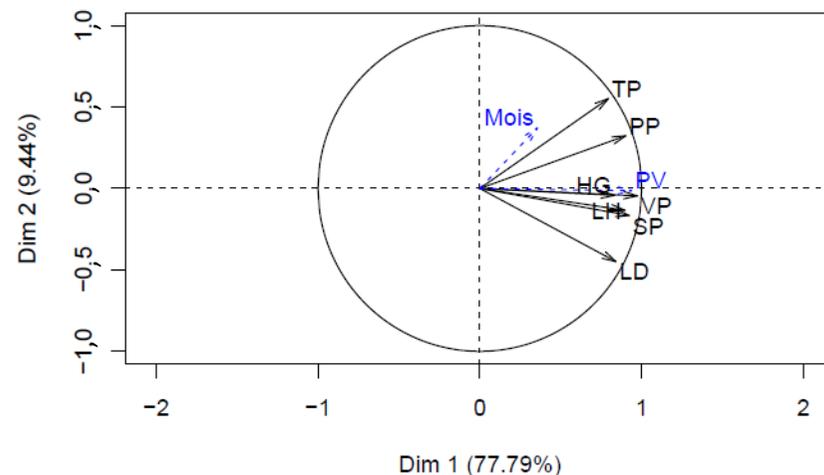


Figure 7 : Cercle de corrélation des variables issu d'une ACP avec les indicateurs morphologiques (TP : tour de poitrine, PP : profondeur de poitrine, HG : hauteur au garrot, LH : largeur aux hanches, VP : volume partiel, SP : surface partielle et LD : longueur diagonale) en variables actives (flèche noire pleine) et des données de production (PV : poids vif et NEC : Note d'Etat Corporel) et les numéros de mois de l'étude (Mois) en variables supplémentaires (flèche bleue pointillée).

aussi les erreurs de répétabilité liées au pointage. Les coefficients de variation de reproductibilité varient de 0,8 à 5,0 % pour les 5 vaches. Les indicateurs les moins reproductibles concernent les volumes d'abdomen, notamment à cause d'un positionnement difficile des plans de coupe.

Sur les 144 images attendues, seules 108 ont été exploitables, dont plus de la moitié composée d'images de vaches sans tête, de qualité faible à moyenne (notes de 1 à 3). Pour le mois de juin, 58 images ont été acquises et exploitées. Ce sont toutes des images de vaches entières et très largement classées de bonne à très bonne qualité (note de plus de 6).

## II) Suivi de la croissance pendant la lactation

### II.1) Suivi de la croissance

La croissance des vaches laitières se poursuit bien au-delà de leur 1<sup>er</sup> vêlage. Plus la parité des vaches est élevée, plus les mesures linéaires, de circonférences ou de volumes et de surface augmentent (Tableau 4). Entre lactation, le gain pour tous les indicateurs en première lactation est supérieur par rapport aux lactations suivantes. Les analyses de variance effectuées sur le gain pour chaque indicateur entre le 1<sup>er</sup> mois de mesure et le dernier montre un effet significatif de la parité avec des primipares qui gagnent plus de largeur aux hanches et de profondeur de poitrine que les multipares (respectivement 0,03 m et 0,02 m vs. 0,06 m et 0,04 m ; Tableau 5). Les primipares ont tendance à gagner plus de tour de poitrine que les multipares. Lorsque nous considérons les âges au 1<sup>er</sup> vêlage des primipares, les vaches qui vêlent après 23 mois gagnent plus de longueur diagonale que celles vêlant avant 23 mois. Aucune différence significative n'a été observée entre les vaches de 2<sup>ème</sup> rang de lactation et celles de 3<sup>ème</sup> rang ou plus pour le gain entre octobre et juin sur tous les indicateurs.

Cette évolution entre lactations s'opère de façon pratiquement continue en cours de lactation, indépendamment de la parité considérée et de l'âge au vêlage chez les primipares pour la LH, la HG, la LD, le VP, la SP et le VP (Figures 4 et 5). De plus, la valeur de la mesure en fin de lactation correspond à celle du début de la lactation suivante et ce, bien que les vaches soient différentes entre lactations. Aucune continuité entre lactation n'a été observée pour les mesures effectuées à la poitrine (PP, TP), avec des valeurs en fin de lactation supérieures aux valeurs du début de lactation des vaches à parité supérieure (Figure 6). Ces indicateurs mesurés au niveau de la poitrine n'augmentent pas de façon continue au cours de la lactation. En effet, sur les 5 premiers mois, les mesures semblent stables intra lactation et au 6<sup>ème</sup> mois de l'étude, au moment du changement de régime, ces mesures augmentent pour ensuite de nouveau se stabiliser sur les 4 derniers mois de l'étude.

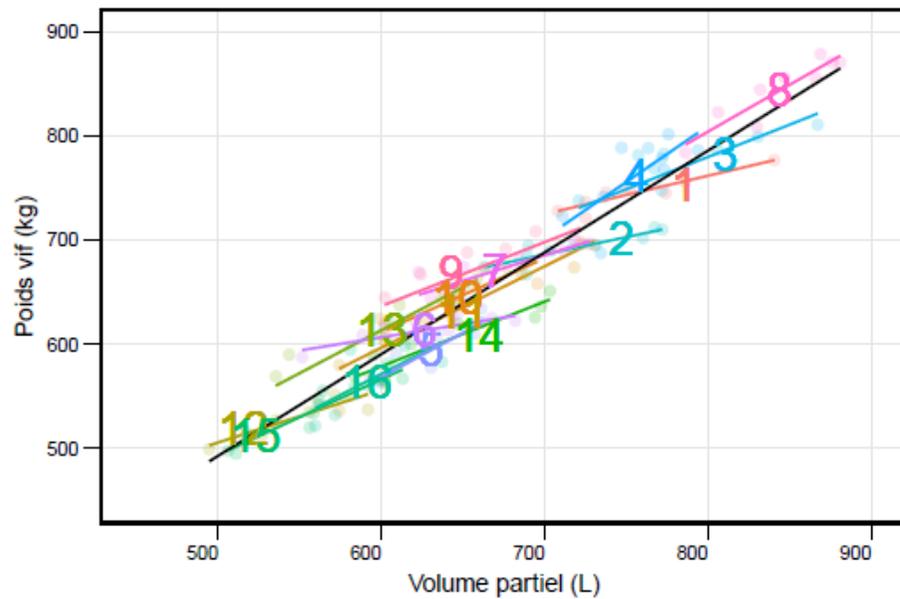


Figure 8 : Poids vif (en kg) en fonction du volume partiel (L) pour chaque vache (droites colorées et pointillées) et régression linéaire inter-vache du poids vif en fonction du volume partiel (droite noire).  
 Les vaches sont numérotées suivant leur âge (1 : vache la plus âgée à 16 : vache la plus jeune) et pour toutes les vaches (droite noire) :  $Poids\ vif = 0,98 \times Volume\ partiel + 5,12$  ;  $R^2 = 0,92$  ,  $p = < 2 \times 10^{-16}$  et  $\sigma_{Residus} = 25,8$

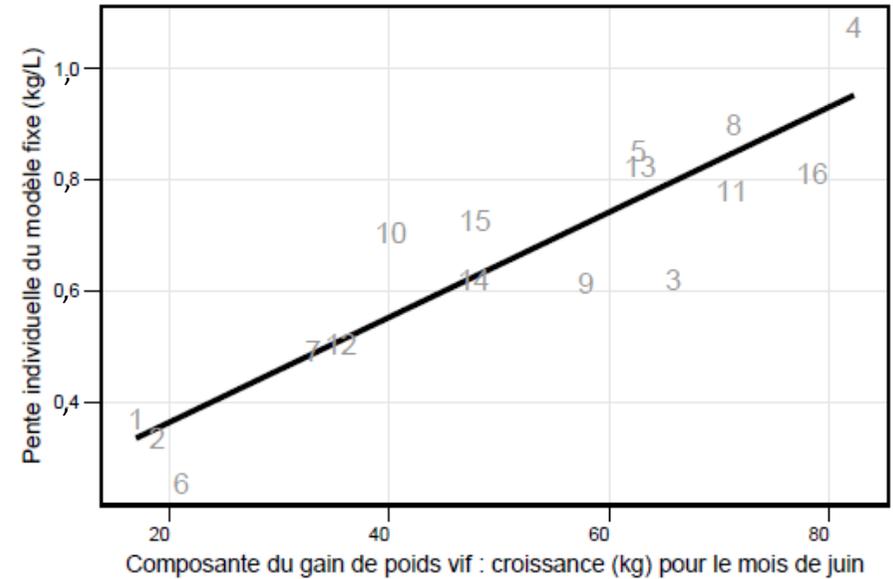


Figure 9 : Pentés intra-vache (kg/L) de la relation du poids vif en fonction du volume partiel expliquées par la composante « croissance » du gain de poids vif (kg) en juin, dernier mois de l'étude. Les vaches sont nommées suivant leur âge au cours de la lactation 2017-2018 (1 : vache la plus âgée à 16 : vache la plus jeune) et droite de régression (droite noire)  
 Composante croissance du gain de poids vif =  $9,46 \times 10^{-3} \times$   
 Pente individuelle du modèle fixe + 0,17 ;  $R^2 = 0,81$  ,  $p = 1,41 \times 10^{-16}$  et  $\sigma_{Residus} = 0,09$

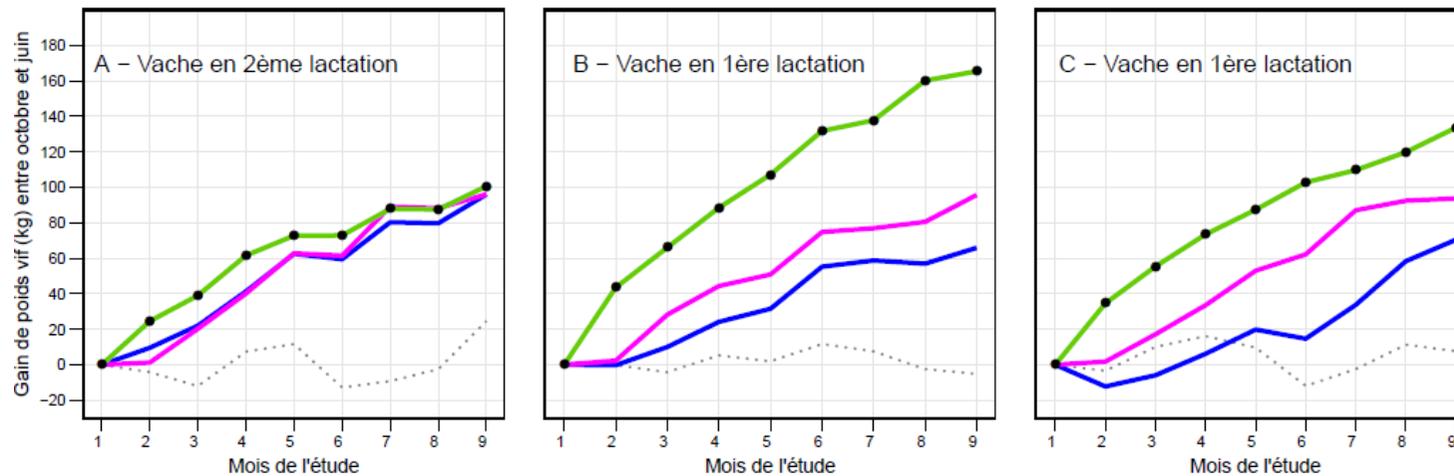


Figure 10 : Exemple de 3 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

Les indicateurs morphologiques mesurés sont très corrélés entre eux. En effet, les deux premières dimensions de l'ACP résument 87,2% de l'information avec une première dimension qui explique à elle seule 77,8% de la variation (Figure 7). Tous les indicateurs morphologiques contribuent à hauteur égale à la première dimension, avec des contributions qui varient de 12 à 17% alors que seuls le tour de poitrine, la longueur diagonale et la profondeur de poitrine contribuent fortement à la définition de la deuxième dimension. En plus de contribuer à hauteur égale à la première dimension de l'ACP, tous les indicateurs morphologiques sont très bien corrélés à la 1<sup>ère</sup> dimension avec des corrélations variant entre 0,79 et 0,97. Cette première dimension est aussi corrélée positivement avec le PV pour une corrélation de 0,92. La dimension 1 permet aussi de discriminer les groupes de parité et les groupes d'âge au vêlage des primipares, avec une augmentation de la parité ou de l'âge au vêlage avec la dimension 1 de l'ACP. La deuxième dimension de l'ACP est corrélée positivement au tour de poitrine et à la profondeur de poitrine avec des corrélations de 0,55 et 0,32 respectivement, et négativement avec la longueur diagonale avec une corrélation de -0,44. Le stade de lactation, ajoutée comme variable illustrative dans l'ACP, est corrélée de manière identique aux deux premières dimensions, avec une corrélation d'environ 0,35 pour chaque dimension.

## II.2) Le volume partiel comme indicateur du poids vif

Le volume, même partiel dans notre étude, semble un très bon prédicteur du poids vif. La régression du poids en fonction du volume partiel ajustée sur tous les points de tous les individus (droite noire sur la Figure 8) donne un modèle avec un écart type des résidus de 25,8 kg. Le modèle construit avec une donnée moyenne par vache présente un écart-type des résidus qui n'est plus que de 15,4 kg. La relation entre le poids vif et le volume ne semble pas tout à fait identique entre vaches et intra-vache. Pour chaque vache, un modèle linéaire a été construit. Ces modèles ont un écart-type des résidus moyens de 13,4 kg mais des pentes qui varient entre 0,25 kg/L et 1,07 kg/L (Figure 8) associées à des ordonnées à l'origine faibles (fortes) pour des pentes fortes (faibles).

## II.3) La décomposition du poids vif en ses composantes

Le poids vif évolue avec l'âge en fonction de la croissance, mais aussi des contenus digestifs et de l'état des réserves corporelles. Différents profils de décomposition du poids vif ont été observés parmi les 16 vaches utilisées, avec par exemple une composante croissante très importante par rapport aux autres composantes (vache A Figure 10), une composante réserves corporelles tout aussi importante que la croissance (vache C Figure 10) ou une forte composante des contenus digestifs et de la croissance par rapport aux réserves corporelles (vache B Figure 10). La composante « croissance » du poids vif le dernier mois de l'étude expliquait 81% ( $R^2=0,81$ ) des différences de pentes individuelles entre le PV et le volume

Tableau 6 : Moyennes ajustées du volume de l'abdomen entier (L) des vaches laitières (58 vaches) en fonction de l'âge au vêlage des primipares, du rang de lactation des multipares et de la parité.

Parité		Groupe de vêlage		Rang de lactation des multipares		Probabilité critique <sup>1</sup>		
P	M	A	B	2	3 et +	P vs. M	A vs. B	2 vs. 3 et +
298,4	367,7	293,3	304,3	349,8	375,7	<b>1,56 x 10<sup>-10</sup>*</b>	0,37	<b>0,06 .</b>

1 : probabilité critique associée aux effets principaux (parité (P : primipare vs. M : multipare), âge au vêlage pour les primipares (A : Age au vêlage ≤ 24 mois ; B : Age au vêlage > 24 mois) et rang de lactation des multipares) ; \* : probabilité critique < 0,05 et . : probabilité critique < 0.10

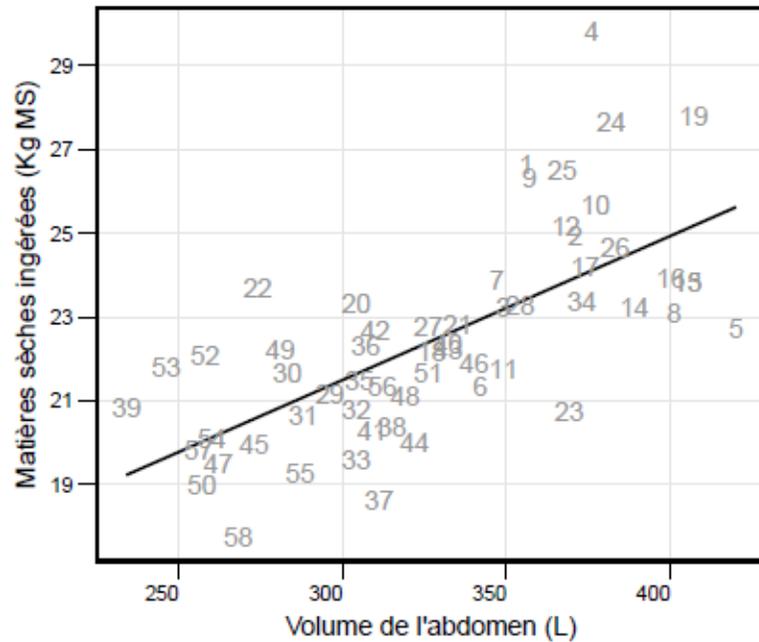


Figure 11 : Volume de l'abdomen gauche (L) en fonction des matières sèches ingérées (kg MS). Les vaches sont numérotées suivant leur âge au vêlage (de 1 : la plus vieille à 58 la plus jeune) et droite de régression (droite bleue) du volume de l'abdomen entier en fonction des matières sèches ingérées  $Matières\ sèches\ ingérées = 0,03 \times Volume\ de\ l'abdomen + 11,19$  ;  $R^2 = 0,44$  ,  $p = 7,51 \times 10^{-9}$  et  $\sigma_{Residus} = 1,79$

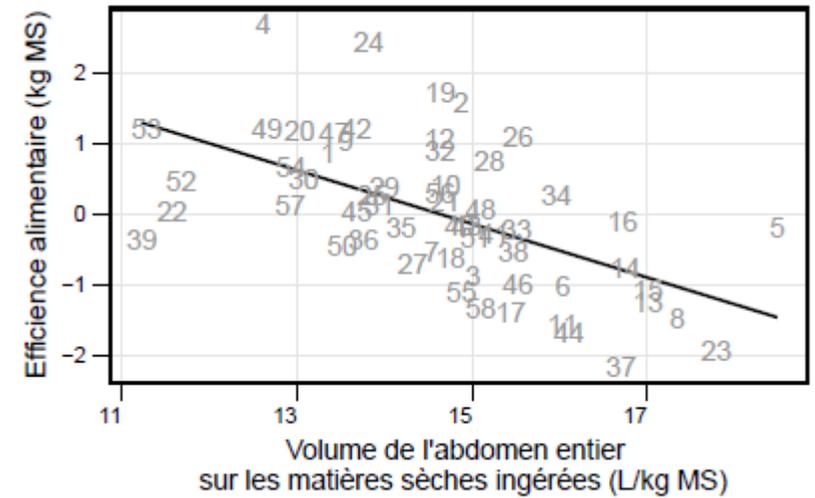


Figure 12 : Efficacité alimentaire (calculé suivant la méthode du Residual Feed Intake (RFI)) en fonction du ratio (L/kg MS) entre le volume de l'abdomen entier et les matières sèches ingérées. Les vaches sont numérotées suivant leur âge au vêlage (de 1 : la plus vieille à 58 la plus jeune) et droite de régression (droite noire) du ratio en fonction des matières sèches ingérées.

$$\frac{Volume\ de\ l'abdomen\ entier}{Matières\ sèches\ ingérées} = -0,38 \times Efficacité\ alimentaire + 5,56 ; R^2 = 0,31 ,$$

$$p = 2,80 \times 10^{-6} \text{ et } \sigma_{Residus} = 0,86$$

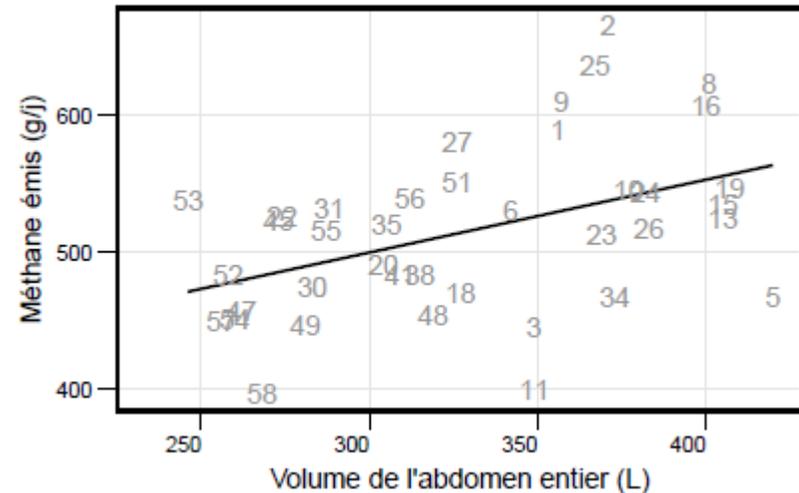


Figure 13 : Moyenne des émissions de méthane (g/j) en fonction du volume de l'abdomen entier (L). Les vaches sont numérotées suivant leur âge au vêlage (de 1 : la plus vieille à 58 la plus jeune) et droite de régression (droite noire) du méthane émis en fonction du volume de l'abdomen entier :  $Méthane\ émis = 0,53 \times Volume\ de\ l'abdomen\ entier + 340,88$  ;  $R^2 = 0,17$   $p = 5,37 \times 10^{-3}$  et  $\sigma_{Residus} = 55,92$

partiel. Les vaches avec une pente forte ont une composante « croissance » dans le gain de PV plus forte que pour les vaches avec une pente plus faible (Figure 9).

### III) Estimation des contenus ruminiaux

Mesuré sur 58 vaches, le volume de l'abdomen entier a un volume de  $329,0 \pm 47,4$  L. Le volume d'abdomen entier n'est pas significativement différent entre les rangs de lactation 2 et 3 ou plus, ou entre les groupes de vêlage des primipares (Tableau 6). Par contre, les primipares ont un volume d'abdomen entier significativement plus faible que les multipares : 298 L contre 367 L en moyenne (Tableau 6).

La régression linéaire entre le volume d'abdomen entier et les matières sèches ingérées est positive ( $p = 7,5 \times 10^{-9}$ ). Les vaches les plus âgées (numéros petits sur la Figure 11) se caractérisent plutôt par de fortes matières sèches ingérées et de forts volumes abdominaux et inversement pour les vaches jeunes. La dispersion autour de la droite de régression est importante : pour une même quantité ingérée, il y a une forte différence de volume d'abdomen entier. A même quantité ingérée, ces différences de volume d'abdomen expliquent 31% des différences d'efficacité alimentaire (Figure 12) : plus une vache est efficace (RFI plus négatif), plus le volume d'abdomen est grand à même quantité ingérée. Les différences de volume se traduisent aussi en différences de méthane émis, avec des émissions d'autant plus importantes que le volume d'abdomen est important (Figure 13). Contrairement à l'efficacité alimentaire, les différences de volume d'abdomen à même quantité ingérée ne sont pas expliquées par des différences d'émissions de méthane divisée par les quantités ingérées ( $R^2 = -0,02$  ;  $p = 0,76$ ).

## Discussion

### I) Qualification des images et des mesures

La mesure des données de morphologie par le scanner 3D s'avère très répétable et reproductible pour la plupart des indicateurs. Concernant les mesures linéaires, le volume partiel et la surface partielle, les coefficients de répétabilité restent dans le même ordre de grandeur que pour les deux précédents travaux de validation des mesures. Ils varient entre 0,1 et 1,6 dans cette étude et entre 0,2 et 1,7 pour les deux autres projets (Caillot, 2017; Depuille, 2018). La mesure de la largeur entre les pointes des fesses est la mesure linéaire la moins répétable et la moins reproductible. Outre le fait qu'elle ne semblait pas la plus en lien avec les enjeux de notre étude, cette moindre reproductibilité a conduit à ne pas la retenir dans l'étude de la croissance.



Les mesures de volume partiel ont une bonne reproductibilité mais les volumes d'abdomen ont des coefficients de reproductibilité supérieurs à 4%, correspondant à la limite souhaitée. Cette plus forte erreur pour les mesures de volumes d'abdomen est sans doute liée à la fois à la posture de la vache et au placement des plans de coupe, notamment au niveau de la colonne vertébrale pour le calcul du volume du demi-abdomen gauche. Une redéfinition de ce plan est à envisager, par exemple en définissant le plan avec 3 points et non avec un plan orthogonal au sol. Seul le volume d'abdomen entier a été retenu car sa mesure a une meilleure reproductibilité, sans pour autant influencer les résultats. En effet, les relations trouvées entre les différents caractères d'intérêt testés et le volume d'abdomen entier vont dans le même sens et sont proches des relations obtenues avec le volume du demi-abdomen gauche.

## II) Suivi de la croissance pendant la lactation

### II.1) La croissance continue, y compris après la 1<sup>ère</sup> lactation

Les vaches laitières grandissent au moins jusqu'à la 3<sup>ème</sup> lactation (soit l'âge de 5 ans environ). Les différentes mensurations attestent d'une augmentation de format et d'un agrandissement du squelette entre la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>ème</sup> lactation. La plus grande part de la croissance est cependant réalisée pendant la 1<sup>ère</sup> lactation. Chez les primipares, nous observons en effet un développement plus important des hanches, des profondeurs de poitrine et des volumes d'abdomen que les multipares. Ceci est également constaté par Cutullic et Flury (2011) chez des vaches Holstein, Swiss Fleckvieh et Simmental. Ceci indique qu'il pourrait donc exister une sous-estimation des besoins énergétiques et protéiques liée à la croissance durant la lactation dans les systèmes d'alimentation actuels. En effet, dans les systèmes généralement utilisés, les besoins de croissance sont considérés comme nuls au-delà du 40<sup>ème</sup> mois d'âge (Faverdin et al., 2010) Les effets de l'âge au 1<sup>er</sup> vêlage n'ont été observés que pour la longueur diagonale, avec un gain de longueur diagonale plus important pour les primipares les moins jeunes à vêler. L'hypothèse que les primipares les plus jeunes au vêlage rattrapent leur retard de croissance et donc grandissaient plus en cours de lactation que celles vêlant plus tardivement semble donc infirmée. La comparaison réalisée dans notre étude se base sur les différences de conformation en cours d'étude à date calendaire et est donc basée sur des comparaisons inter-vaches à âges différents. Il serait intéressant de regarder si les primipares précoces au vêlage rattrapent leur retard en comparant les mensurations à âge égal. En effet, malgré des mesures de conformation plus faibles au vêlage, Beillevet (2013) a observé qu'à âge égal, les primipares précoces au vêlage ont rattrapé leur déficit de croissance. Les conclusions présentées ici sont issues de 16 vaches non représentatives d'un troupeau, sélectionnées dans le but d'avoir des morphologies diverses et extrêmes. L'effectif réduit est lié au temps de traitement important de chaque image. Nous pouvons toutefois noter qu'aucun



profil de croissance sur la carrière n'a pu être étudié car les vaches n'ont été suivies que pendant une lactation. Le suivi des mêmes vaches pendant plusieurs lactations pourrait à l'avenir permettre de distinguer véritablement des profils de croissance.

## II.2) L'estimation du poids vif est possible à partir du volume partiel

Le poids vif peut être prédit grâce au volume partiel avec une erreur de prédiction de 25,8 kg, proche de la valeur de 30 kg obtenue par imagerie par Anglart (2010). Cette erreur est plus faible que les erreurs obtenues par imagerie 3D par Kuzuhara et al. (2015) et Song et al. (2018), respectivement égales à 42,6 et 41,2 kg. Hansen et al. (2018) ont obtenu une erreur plus faible en valeur absolue (18 kg), mais équivalente à celle obtenue dans notre étude en prenant en compte l'effet individuel sur les pentes de la relation entre le poids vif et le volume partiel (13,7 kg). Ce constat met en exergue l'importance de la variabilité interindividuelle. En effet, le gain d'1 L de volume corporel est associé à un gain de poids vif de 0,97 kg inter-vaches mais il est associé à des gains de poids vif qui diffèrent quand la relation est ajustée intra-vache, avec des gains de poids vif allant de 0,25 à 1,07 kg/L. Ces différences de pentes d'une vache à l'autre pourraient provenir d'une différence de densité corporelle dans le gain de poids vif. La proportion des tissus (lipidiques et musculaires) varie avec l'âge et pourrait de fait être un facteur influençant les différences de pentes. Selon cette hypothèse, les animaux les plus jeunes auraient une pente plus forte car déposant plus de tissus maigre. Cette hypothèse est soutenue par l'existence d'une relation positive entre les pentes individuelles et la part de croissance dans la décomposition du gain de poids vif à la fin de notre étude. Ainsi il n'y aurait pas un seul profil mais plusieurs profils de développement pour les vaches. Une meilleure compréhension de cette évolution de la relation entre volume et poids vif permettrait d'utiliser l'imagerie pour des estimations précises de poids vif sans contention des animaux, ce qui en fait une méthode particulièrement intéressante pour des bovins à l'engrais. Les résultats de cette étude ainsi que les travaux d'Anglart (2010) à partir du dos ou de Kuzuhara et al. (2015) et Song et al. (2018) à partir de l'arrière de la vache, présagent à terme l'obtention d'autres caractères d'intérêt, directement ou indirectement liés à la morphologie de l'animal, à partir d'une image partielle.

## III) Estimation des contenus ruminiaux

### III.1) Le volume de l'abdomen est un prédicteur des quantités ingérées

Le volume d'abdomen est un bon estimateur de la quantité des matières sèches ingérées. A terme, il pourrait donc permettre d'accéder à une information peu accessible en élevages et à faible coût. La relation entre le volume de l'abdomen et les quantités ingérées est globalement satisfaisante, avec une erreur de prédiction de l'ordre de 1,79 kg de MS. Cependant, le modèle développé est dépendant du régime alimentaire offert aux vaches et ne peut pas être extrapolé



à tous les régimes. Cette relation confirme que l'augmentation des contenus digestifs associée à l'augmentation d'ingestion (Rémond, 1988) peut se traduire par une augmentation mesurable du volume de l'abdomen. Pour les vaches laitières, il est possible de prédire cette variabilité de l'ingestion entre individus avec simplement le lait et le poids vif avec la même précision, ce qui limite sans doute l'intérêt de ce type d'équation. Par contre, pour des animaux en croissance, cette utilisation des volumes d'abdomen pourrait être beaucoup plus intéressante notamment pour prédire les différences d'ingestion entre animaux intra-régime car il y a peu de variables disponibles pour prédire ces différences d'ingestion entre animaux, même s'il sera difficile d'aller jusqu'à la prédiction des quantités ingérées.

### III.2) Le volume de l'abdomen pour prédire des particularités digestives

La relation entre le volume d'abdomen et l'ingestion présente une variabilité qui peut être associée à des caractéristiques digestives des animaux. A même quantité ingérée, une vache qui a un volume de rumen plus important, donc un volume d'abdomen possiblement plus grand, devrait avoir un temps de séjour des aliments dans le rumen plus long, sans doute lié à une vitesse de sortie des aliments plus faible. Dans ce cas, il est probable que les vaches qui présentent un temps de séjour plus long des aliments dans le rumen aient une digestibilité supérieure, en raison d'une fermentation et une digestion plus importantes. Or les vaches les plus efficaces sur le plan alimentaire sont aussi des vaches qui ont des volumes d'abdomen, et donc probablement de rumen, plus grands à même quantité ingérée. Le temps de séjour serait donc supérieur pour ces vaches dont la meilleure efficacité pourrait s'expliquer par une meilleure digestibilité de la ration. Cette relation positive entre efficacité alimentaire et digestibilité accrue a été observée dans divers travaux conduits chez la vache laitière (Rius et al., 2012; Potts et al., 2017; Fischer et al., 2018). Une digestibilité plus forte au niveau ruminal pourrait également améliorer le rendement global de digestion de la vache et la valorisation de la ration.

Cependant, cette digestibilité plus importante pourrait avoir un effet sur les émissions de méthane ( $\text{CH}_4$ ), bon indicateur du degré de fermentation, car ce gaz est un produit de la dégradation microbienne ruminale. Si une vache digère plus (Løvendahl et al., 2018) ou a un temps de séjour plus long dans le rumen, elle devrait émettre plus de  $\text{CH}_4$  par kg d'aliment ingéré. Le lien entre  $\text{CH}_4$  émis par quantité ingérée et temps de séjour n'a pas été observé dans notre étude. L'émission de  $\text{CH}_4$  a une relation faible avec le volume du rumen ( $R^2 = 0,17$ ). Cette relation serait d'ailleurs plus un indicateur indirect des quantités ingérées que de la digestion qui a lieu dans le rumen. Ces relations entre paramètres digestifs et volume de l'abdomen constituent une piste originale qu'il serait intéressant de préciser pour pouvoir mieux comprendre les informations à valoriser à partir des quantités ingérées et du volume abdominal.



## Conclusion

L'utilisation de l'imagerie 3D a montré que la croissance et le développement des vaches laitières se poursuivent durant au moins 3 lactations, indépendamment de l'âge au 1<sup>er</sup> vêlage. La plus forte évolution est observée au cours de la 1<sup>ère</sup> lactation, mais l'âge au 1<sup>er</sup> vêlage n'a pas d'effet sur les indicateurs de croissance suivis. Le volume permet d'estimer le poids vif et la relation obtenue est améliorée lorsque l'effet individuel de chaque vache est pris en compte. Pour cela, il faut comprendre ces différences individuelles, qui pourraient s'expliquer par des différences de composition et de densité des tissus. Outre le suivi de la croissance, l'imagerie 3D permet aussi un suivi du volume du rumen, qui est indicateur utilisable pour l'estimation des quantités ingérées, par l'estimation du volume abdominal. Mesuré en fin de lactation, le volume abdominal a permis d'estimer les quantités ingérées. Les analyses ont démontré que les vaches les plus efficaces ont un volume abdominal plus grand, et donc, un temps de séjour des contenus dans le rumen plus long. Le temps de séjour, plus long pour les volumes abdominaux les plus grands à même quantité ingérée, n'indique a priori pas une hausse des fermentations ruminales, vu qu'à même quantité ingérée aucun lien entre volume abdominal et émissions de méthane n'a été observé.

Il ressort de cette étude que l'automatisation des différentes étapes et une identification efficace des vaches sont essentielles pour réduire les erreurs d'identification des vaches et le temps nécessaire pour mesurer l'ensemble des indicateurs. Cette automatisation permettra un plus grand nombre de vaches suivies, sur plusieurs lactations consécutives.

D'autres caractères tels que la capacité d'adaptation à des fortes chaleurs via le rapport surface sur volume seraient aussi intéressants à mesurer par imagerie 3D. Cette méthode, économe en temps et nécessitant peu d'investissements, permet d'accéder à plusieurs caractères d'intérêt en élevage sans avoir à multiplier les équipements. Par ailleurs, l'imagerie 3D ouvre de nouvelles perspectives d'étude dans un contexte de recherche d'efficacité croissante des élevages.



## Références bibliographiques

- Abdul Jabbar K, Hansen MF, Smith ML et Smith LN 2017. Early and non-intrusive lameness detection in dairy cows using 3-dimensional video. *Biosystems Engineering* 153, 63–69.
- Allain C, Chanvallon A, Clement P, Guatteo R et Bareille N 2014. Elevage de précision : périmètre, applications et perspectives en élevage bovin. *Renc. Rech. Ruminants*, 3–10.
- Allain C, Philibert A, Frappat B, Poitevin P, Quinton P, Lafont N, Larssonneur S, Cimino M, Herman M et Cros P 2015. ETUDE CONNECTIVITE -2015 Quels sont les attentes et besoins en connectivité des élevages bovins laitiers ? Institut de l'élevage, Evolution, Orange.
- Anglart D 2010. Automatic estimation of body weight and body condition score in dairy cows using 3D imaging technique. Swedish University of Agricultural Sciences Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Suède, 30 + annexes.
- Banos G, Coffey MP et Brotherstone S 2005. Modeling Daily Energy Balance of Dairy Cows in the First Three Lactations. *Journal of Dairy Science* 88, 2226–2237.
- Bazin S, Augéard P, Carteau M, Chilliard Y, Cuyille G, Disenhaus C, Durand G, Espinasse R, Gascoin A, Godineau M, Jouanne D, Ollivier O et Rémond B 1984. Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches Pie Noires. Institut technique de l'élevage bovin, Paris, France, p. 31.
- Beillevert M 2013. Analyse de l'effet de l'âge au 1er vêlage sur les performances de la génisse et de la vache laitière de races Holstein et Normande. *ESA d'Angers* (49), 50 + annexes.
- Bewley JM, Peacock AM, Lewis O, Boyce RE, Roberts DJ, Coffey MP, Kenyon SJ et Schutz MM 2008. Potential for Estimation of Body Condition Scores in Dairy Cattle from Digital Images. *Journal of Dairy Science* 91, 3439–3453.



- Boiteau P 2015. Les agriculteurs de plus en plus « agri-mobiles ». Terre-net Média. Consulté le 4 avril 2019, sur <https://www.terre-net.fr/actualite-agricole/economie-social/article/les-agriculteurs-de-plus-en-plus-agri-mobiles-202-113726.html>.
- Caillot A 2017. L'imagerie 3D, un outil pour estimer les caractéristiques corporelles des animaux. UniLasalle, Beauvais, 60 + annexes.
- Chilliard Y, Rémond B, Agabriel J, Robelin J et Verite R 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bulletin Technique Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix, 117–131.
- Cignoni P, Callieri M, Corsini M, Dellepiane M, Ganovelli F et Ranzuglia G 2008. MeshLab : an Open-Source Mesh Processing Tool. 8.
- Cutullic E et Flury C 2011. Efficacité laitière : prise en compte du poids vif estimé par description linéaire dans les valeurs d'élevage de 3 races laitières suisses. Agroscope, 76.
- Depuille L 2018. L'imagerie 3D, un nouvel outil de phénotypage pour de nouveaux indicateurs morphologiques : surface et volume. Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques de Bordeaux Aquitaine, Gradignan, 55 + annexes.
- Faverdin P, Charrier A et Fischer A 2017. Prediction of dry matter intake of lactating dairy cows with daily live weight and milk production measurements. A 8. European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF), pp. 35–44. Nantes, France, 12-14 Sep 2017.
- Faverdin P, Delagarde R, Delaby L et Meschy F 2010. Alimentation des vaches laitières. Dans Alimentation des bovins, ovins et caprins - Tables Inra 2007 Mise à jour 2010, p. 311. éditions Quae, Versailles, France.
- Fischer A, Friggens NC, Berry DP et Faverdin P 2018. Isolating the cow-specific part of residual energy intake in lactating dairy cows using random regressions. *Animal* 12, 1396–1404.
- Fischer A, Luginbühl T, Delattre L, Delouard JM et Faverdin P 2015. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98, 4465–4476.



- Fox J et Weisberg S 2011. An {R} Companion to Applied Regression. Sage.
- Friggens NC, Thorup VM et Edwards D 2011. Estimation à la ferme du bilan énergétique des vaches laitières à l'aide des mesures fréquentes de poids vif et de note d'état corporel. Renc. Rech. Ruminants 18, 39–42.
- Hansen MF, Smith ML, Smith LN, Abdul Jabbar K et Forbes D 2018. Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. Computers in Industry 98, 14–22.
- Kuzuhara Y, Kawamura K, Yoshitoshi R, Tamaki T, Sugai S, Ikegami M, Kurokawa Y, Obitsu T, Okita M, Sugino T et Yasuda T 2015. A preliminary study for predicting body weight and milk properties in lactating Holstein cows using a three-dimensional camera system. Computers and Electronics in Agriculture 111, 186–193.
- Le Cozler Y, Allain C, Caillot A, Delouard JM, Delattre L, Luginbuhl T et Faverdin P 2019. High-precision scanning system for complete 3D cow body shape imaging and analysis of morphological traits. Computers and Electronics in Agriculture 157, 447–453.
- Lê S, Josse J et Husson F 2008. FactoMineR : An R Package for Multivariate Analysis. Journal of Statistical Software 25, 1–18.
- Løvendahl P, Difford GF, Li B, Chagunda MGG, Huhtanen P, Lidauer MH, Lassen J et Lund P 2018. Review: Selecting for improved feed efficiency and reduced methane emissions in dairy cattle. animal 12, s336–s349.
- Marchant JA et Schofield CP 1993. Extending the snake image processing algorithm for outlining pigs in scenes. Computers and Electronics in Agriculture 8, 261–275.
- Negretti P, Bianconi G, Bartocci S, Terramoccia S et Verna M 2008. Determination of live weight and body condition score in lactating Mediterranean buffalo by Visual Image Analysis. Livestock Science 113, 1–7.
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D et R Core Team 2018. {nlme}: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models - R package version 3.1-137.



- Potts SB, Boerman JP, Lock AL, Allen MS et VandeHaar MJ 2017. Relationship between residual feed intake and digestibility for lactating Holstein cows fed high and low starch diets. *Journal of Dairy Science* 100, 265–278.
- R Core Team 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Rémond B 1988. Evolution du poids du contenu du réticulo-rumen chez les vaches laitières au cours des deux premiers mois de la lactation. *Reproduction Nutrition Développement* 28, 109–110.
- Rius AG, Kittelmann S, Macdonald KA, Waghorn GC, Janssen PH et Sikkema E 2012. Nitrogen metabolism and rumen microbial enumeration in lactating cows with divergent residual feed intake fed high-digestibility pasture. *Journal of Dairy Science* 95, 5024–5034.
- Schlageter-Tello A, Van Hertem T, Bokkers EAM, Viazzi S, Bahr C et Lokhorst K 2018. Performance of human observers and an automatic 3-dimensional computer-vision-based locomotion scoring method to detect lameness and hoof lesions in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101, 6322–6335.
- Song X, Bokkers EAM, van der Tol PPJ, Groot Koerkamp PWG et van Mourik S 2018. Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. *Journal of Dairy Science* 101, 4448–4459.
- Thorup VM, Edwards D et Friggens NC 2012. On-farm estimation of energy balance in dairy cows using only frequent body weight measurements and body condition score. *Journal of Dairy Science* 95, 1784–1793.
- Van Hertem T, Bahr C, Schlageter Tello A, Viazzi S, Steensels M, Romanini CEB, Lokhorst C, Maltz E, Halachmi I et Berckmans D 2016. Lameness detection in dairy cattle : single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behaviour and performance sensing. *Animal* 10, 1525–1532.
- Van Hertem T, Viazzi S, Steensels M, Maltz E, Antler A, Alchanatis V, Schlageter-Tello AA, Lokhorst K, Romanini ECB, Bahr C, Berckmans D et Halachmi I 2014. Automatic



lameness detection based on consecutive 3D-video recordings. *Biosystems Engineering* 119, 108–116.

Viazzi S, Bahr C, Van Hertem T, Schlageter-Tello A, Romanini CEB, Halachmi I, Lokhorst C et Berckmans D 2014. Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 100, 139–147.



# Annexes

## 1) Présentation du projet ANR et APIS-GENE DEFFILAIT

L'objectif principal du projet Deffilait est de fournir les éléments essentiels et nécessaires à l'amélioration de l'efficacité alimentaire des vaches laitières grâce à de nouveaux outils de phénotypage.

L'objectif principal du projet Deffilait est de fournir les éléments essentiels et nécessaires à l'amélioration de l'efficacité alimentaire des vaches laitières grâce à de nouveaux outils de phénotypage. Deffilait vise à élucider des moyens par lesquels améliorer l'efficacité alimentaire des vaches laitières sans diminuer leur robustesse, à partir de nouvelles stratégies et de modèles prédisant les seuils atteignables d'efficacité alimentaire via des programmes de sélection et directement à la ferme. Dans un premier temps, le projet consistera au développement de nouveaux outils de phénotypage à large échelle des principales caractéristiques biologiques directement impliquées dans l'efficacité alimentaire.

Afin d'étudier les déterminants majeurs de l'efficacité alimentaire, le projet construira ensuite une base de données originale sur des lactations des vaches laitières incluant un large panel de phénotypes pour décrire les principales sources de transformation de l'énergie, expliquant ainsi la variabilité de l'efficacité alimentaire entre animaux. Cette base de données sera utilisée pour quantifier la contribution des différents mécanismes à la variabilité de l'efficacité alimentaire, et pour tester différents indicateurs et stratégies pour l'améliorer. Un accent particulier sera mis sur la mobilisation des réserves corporelles en début de lactation pour évaluer ses composants génétiques et les corrélés avec d'autres traits issus de données plus vaste impliquant des fermes commerciales.

Le projet développera ensuite des outils de simulation pour prédire les conséquences à court et long terme des différentes stratégies de sélection dans des environnements variés. Les résultats attendus contribueront à la définition de stratégies de sélection qui combineront efficacité et robustesse. Le projet fournira ainsi un cadre cohérent pour procéder à une sélection génétique équilibrée sur ces traits, et ainsi contribuer de manière significative et durable à l'amélioration de l'efficacité alimentaire.

Le projet a été retenu par l'ANR pour un montant d'aide totale demandée de 703 429 € et une durée de 4 ans (2016-2019). Le projet est financé à hauteur de 448 000 € par ApisGene.

Plus d'information sur le site internet dédié : <https://www6.inra.fr/deffilait/Presentation>

## II) Présentation du système du Greenfeed

La mesure quantitative des émissions gazeuses des animaux est complexe et nécessite des dispositifs de collecte importants (chambres de respiration), qui supposent une isolation complète de l'animal et qui ne peuvent donc être utilisés que pour des mesures de quelques jours. Ces dispositifs empêchent également de relever les données dans un environnement naturel (pâturage). Le système GreenFeed est un système mobile permettant de mesurer sur de courtes durées les gaz respiratoires émis par les ruminants. Il ne représente aucune limite, ni gêne pour l'animal. Il se compose d'un distributeur automatique d'aliments avec identification électronique de l'animal, dans lequel l'air (air respiratoire et air ambiant) est aspiré au niveau des naseaux et de la bouche de l'animal pendant que celui-ci consomme sa portion de fourrage. Le volume d'air aspiré est mesuré et les teneurs en méthane (et en dioxyde de carbone) sont déterminées en continu. Cette méthode permet de relever la quantité de méthane et de dioxyde de carbone émises pendant les visites au distributeur. C'est pourquoi les aliments chargés d'attirer les animaux sont distribués en plusieurs petites portions à intervalles d'environ 30 secondes, pour inciter l'animal à rester dans le distributeur. La répartition des visites tout au long de la journée peut être influencée en subdivisant cette dernière en périodes, pendant lesquelles l'animal peut se rendre une seule fois au distributeur et obtenir un nombre maximal de portions d'aliments. Le résultat d'une journée est par conséquent un nombre de mesures de courte durée de la production de méthane (et de dioxyde de carbone), qui peuvent être extrapolées à une valeur quotidienne lorsque les mesures sont répétées pendant plusieurs jours.

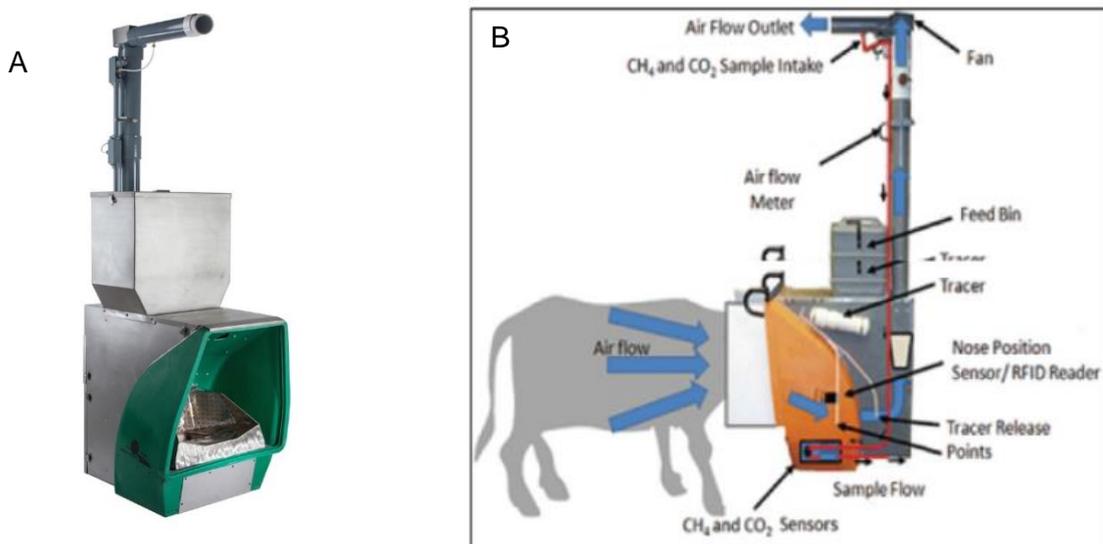


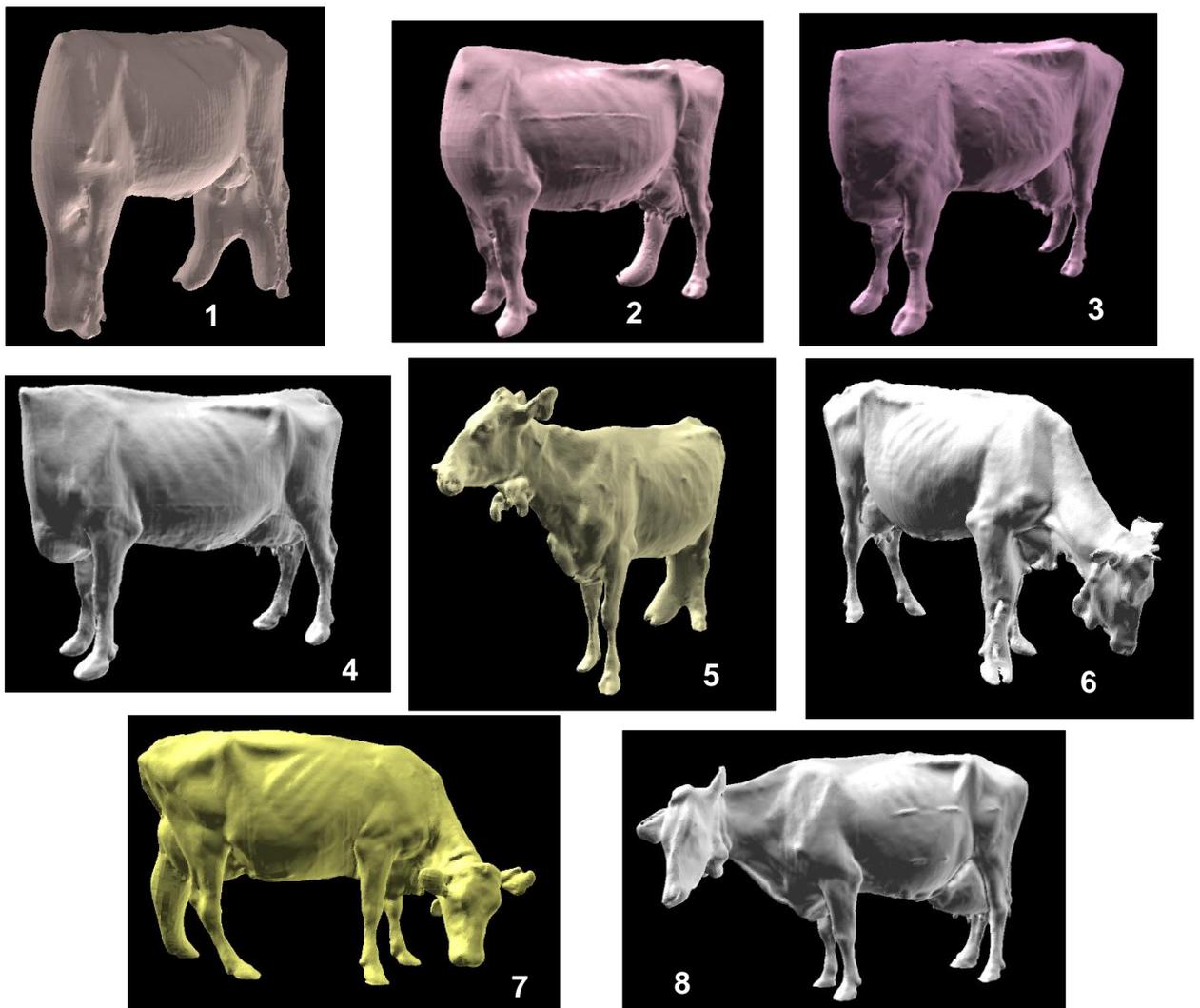
Figure 1 : Greenfeed A : photo d'un GreenFeed (C-lock); B: illustration du fonctionnement du Greenfeed (Agroscope)

D'après Agroscope (<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/animaux-rente/ruminants/greenfeed.html>) et C-lock (<https://www.c-lockinc.com/shop/automated-emissions-measurement/greenfeed-large-animals/>)

### III) Notation des images 3D

Echelle	Critères
0	Nuage inexploitable : grand mouvement de l'animal ou « trou »
1	Vache sans tête, image de mauvaise qualité : pas de défaut de corps, fusion de pattes, pattes coupées ou reconstruction très problématique d'au moins 2 pattes
2	Vache sans tête, image de qualité moyenne : défauts aux pattes (au moins 3 pattes si léger)
3	Vache sans tête, image de bonne qualité : défauts légers d'au maximum 2 pattes
4	Vache sans tête, image de très bonne qualité
5	Vache entière, image de mauvaise qualité : pas de défaut du corps mais tête bougée
6	Vache entière, image de qualité moyenne
7	Vache entière, image de bonne qualité
8	Vache entière, image de très bonne qualité

Figure 2 : Illustration l'échelle de notation allant de 1 à 8



#### IV) Répétabilité et Reproductibilité

	VP (L)	SP(m <sup>2</sup> )	LH (m)	HG (m)	PP (m)	TP (m)	LF (m)	LD (m)	VA (L)	VAG (L)
<b>erreur</b>	1,45	0,02	0,0027	0,0013	0,0026	0,0075	0,0075	0,0086	1,75	2,66
<b>Rap. Var. (%)</b>	0,05	0,22	0,64	0,14	0,89	1,03	11,86	0,85	0,20	1,74
<b>Rap. Var. (pop générale, %)</b>	0,03	0,28	0,62	0,07	0,36	0,38	NA	1,08	0,14	0,91
<b>CV (%)</b>	0,19	0,40	0,45	0,09	0,30	0,34	1,61	0,49	0,47	1,40
<b>CV vache 1 (%)</b>	0,00	0,14	0,42	0,07	0,20	0,52	2,28	0,71	0,50	1,09
<b>CV vache 2 (%)</b>	0,18	0,34	0,57	0,08	0,26	0,11	0,51	0,36	0,64	1,65
<b>CV vache 3 (%)</b>	0,13	0,31	0,35	0,12	0,34	0,16	0,80	0,23	0,32	1,00
<b>CV vache 4 (%)</b>	0,38	0,82	0,39	0,08	0,38	0,44	2,27	0,29	0,51	0,98
<b>CV vache 5 (%)</b>	0,07	0,18	0,46	0,08	0,28	0,25	1,25	0,63	0,28	1,75

Tableau 1 : Répétabilité

Rap. Var : Rapport de variance ; VP : volume partiel, SP : surface partiel ; LH : largeur aux hanches ;HG : hauteur au garrot ; PP : profondeur de poitrine ; TP : Tour de poitrine ; LF : largeur aux fesses ; LD : longueur diagonale ; VA : volume d'abdomen ; VAG : volume de demi abdomen gauche

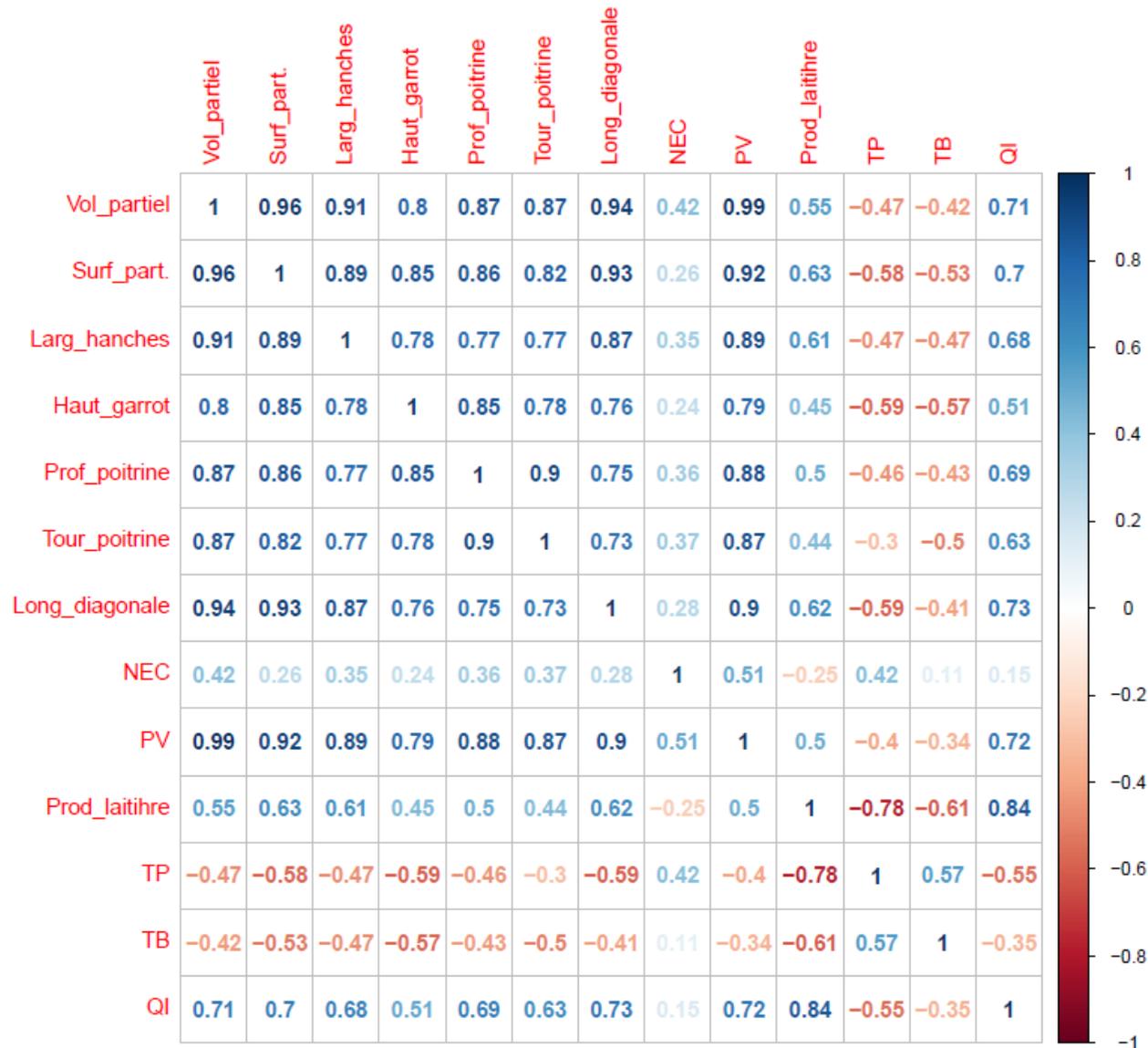
	VP (L)	SP(m <sup>2</sup> )	LH (m)	HG (m)	PP (m)	TP (m)	LF (m)	LD (m)	VA (L)	VAG (L)
<b>erreur</b>	17.33	0.22	0.0077	0.0124	0.0072	0.0502	0.0151	0.0429	15.26	9.41
<b>Rap. Var. (%)</b>	10.85	47.30	4.44	11.63	5.77	41.62	23.22	32.34	20.79	20.90
<b>Rap. Var. (pop générale, %)</b>	3.73	24.63	4.98	6.21	2.77	16.86	NA	27.11	10.45	11.46
<b>CV de reproductibilité (%)</b>	2.32	3.75	1.29	0.84	0.83	2.20	3.26	2.47	4.19	5.01
<b>CV vache 1 (%)</b>	1.87	2.14	0.26	0.74	0.90	2.13	3.32	1.27	3.98	6.46
<b>CV vache 2 (%)</b>	2.05	4.28	0.84	0.86	0.86	2.01	2.17	2.99	4.54	6.79
<b>CV vache 3 (%)</b>	2.66	2.55	0.94	0.82	0.77	1.60	4.43	1.95	3.81	1.81
<b>CV vache 4 (%)</b>	1.42	2.88	2.69	0.94	0.74	2.95	3.76	1.73	3.94	2.96
<b>CV vache 5 (%)</b>	2.98	5.89	0.52	0.80	0.88	2.15	2.22	3.80	4.63	4.83

Tableau 2 : Reproductibilité

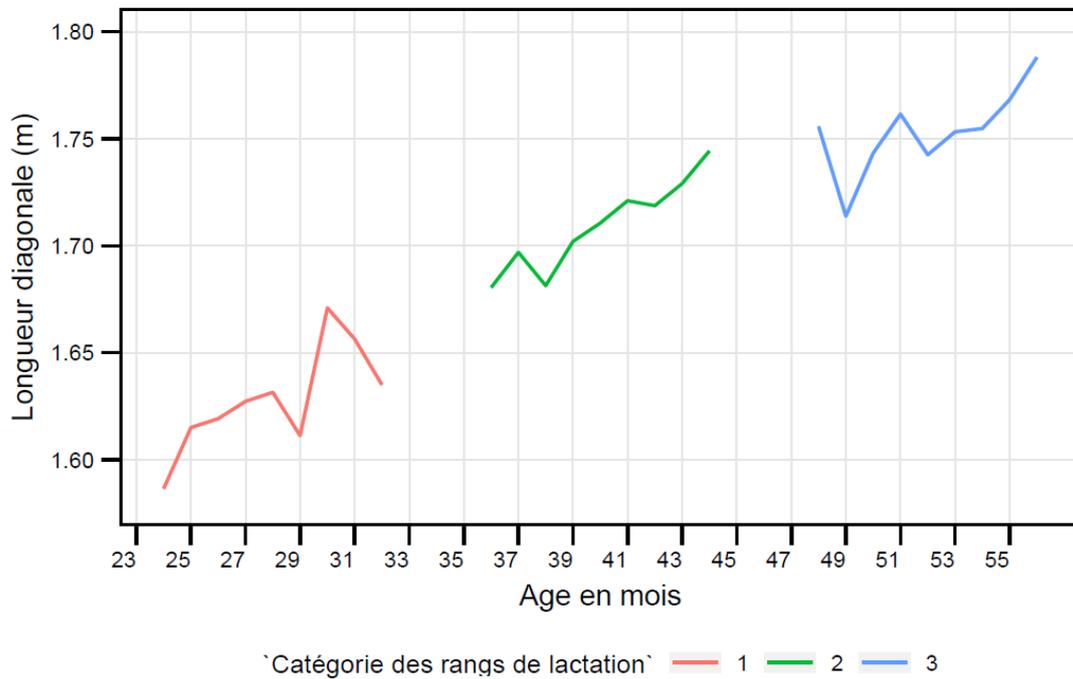
Rap. Var : Rapport de variance ; VP : volume partiel, SP : surface partiel ; LH : largeur aux hanches ;HG : hauteur au garrot ; PP : profondeur de poitrine ; TP : Tour de poitrine ; LF : largeur aux fesses ; LD : longueur diagonale ; VA : volume d'abdomen ; VAG : volume de demi abdomen gauche

## V) Matrice de corrélation

Figure 3 : Matrice de corrélation inter-vache



## VII) Cinétique de la longueur diagonale, du tour de poitrine et de



### la profondeur de poitrine

Figure 4 : Longueur diagonale (m) représentées par parité et présentés en continuité suivant l'âge moyen des vaches (8 primipares , 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

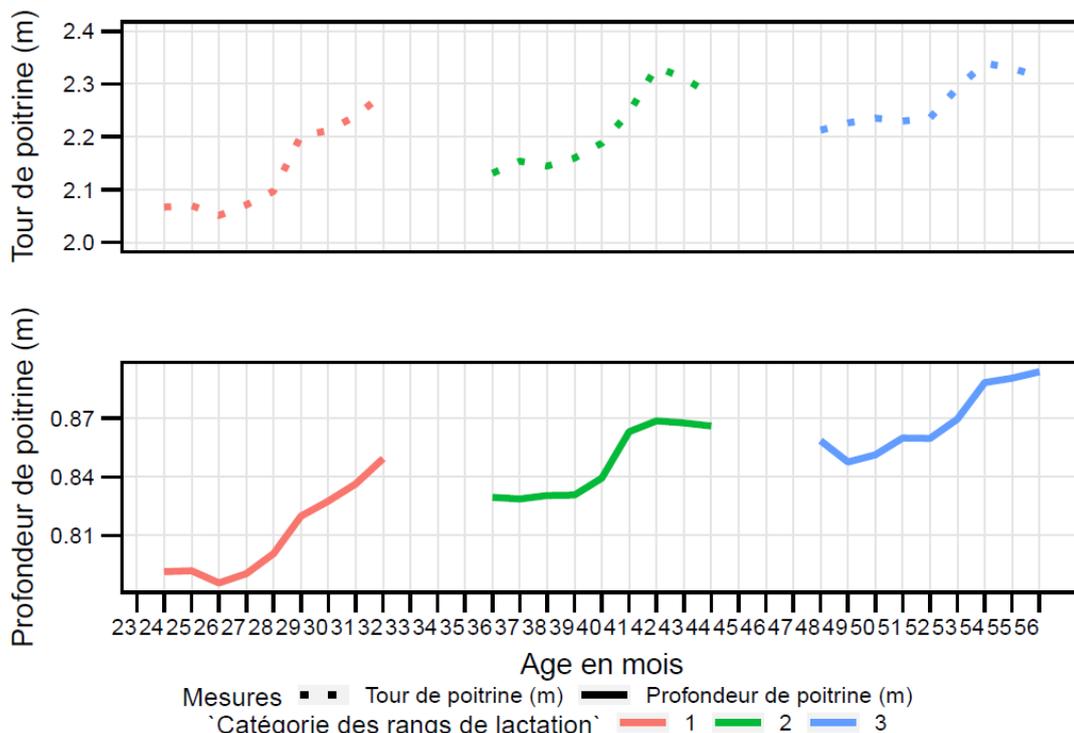


Figure 5 : Profondeur de poitrine (m) et tour de poitrine (m) représentées par parité et présentés en continuité suivant l'âge moyen des vaches (8 primipares , 4 vaches de rang de lactation 2 et 4 vaches de rang de lactation 3 ou plus).

## VIII) Décomposition du poids

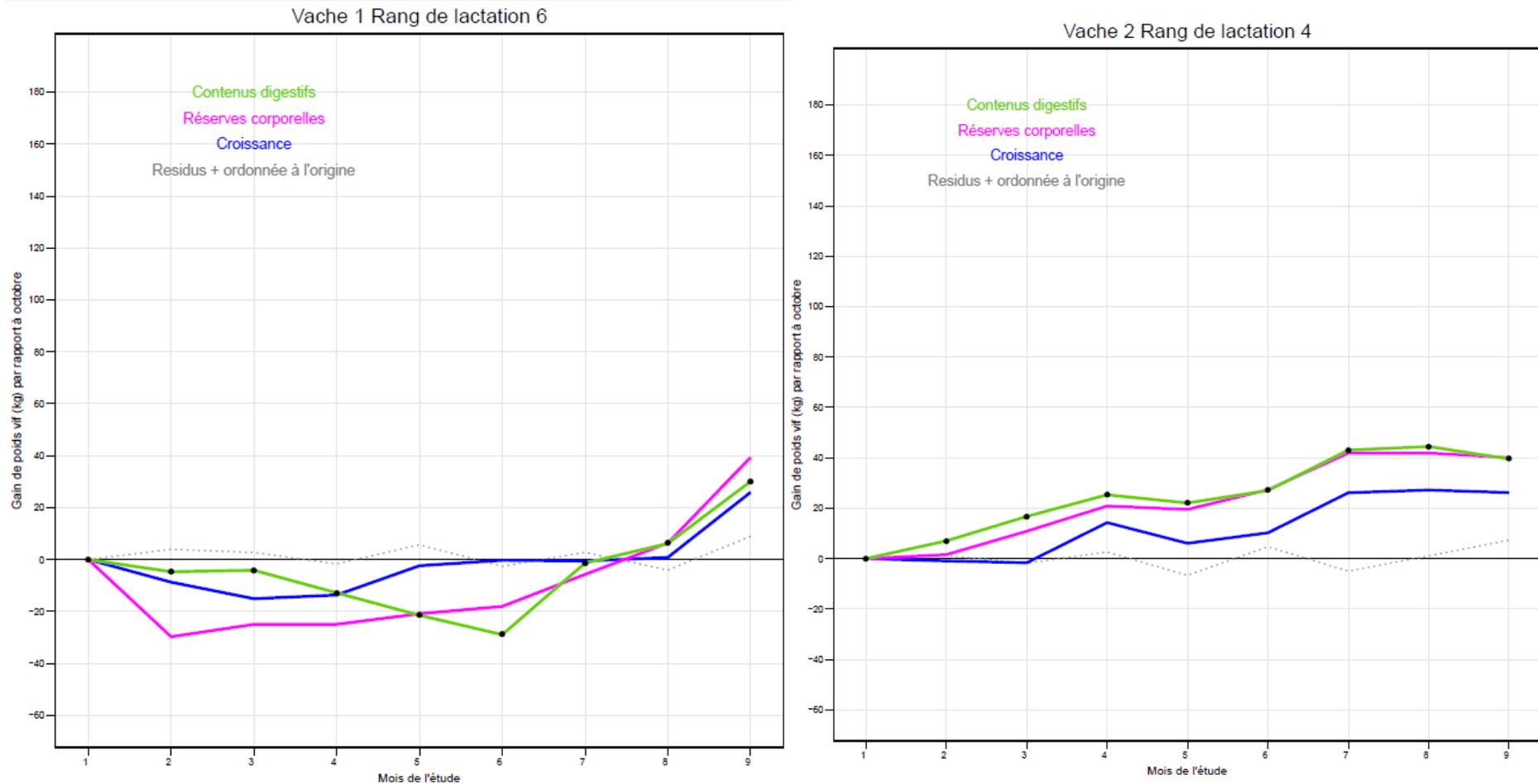


Figure 6 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

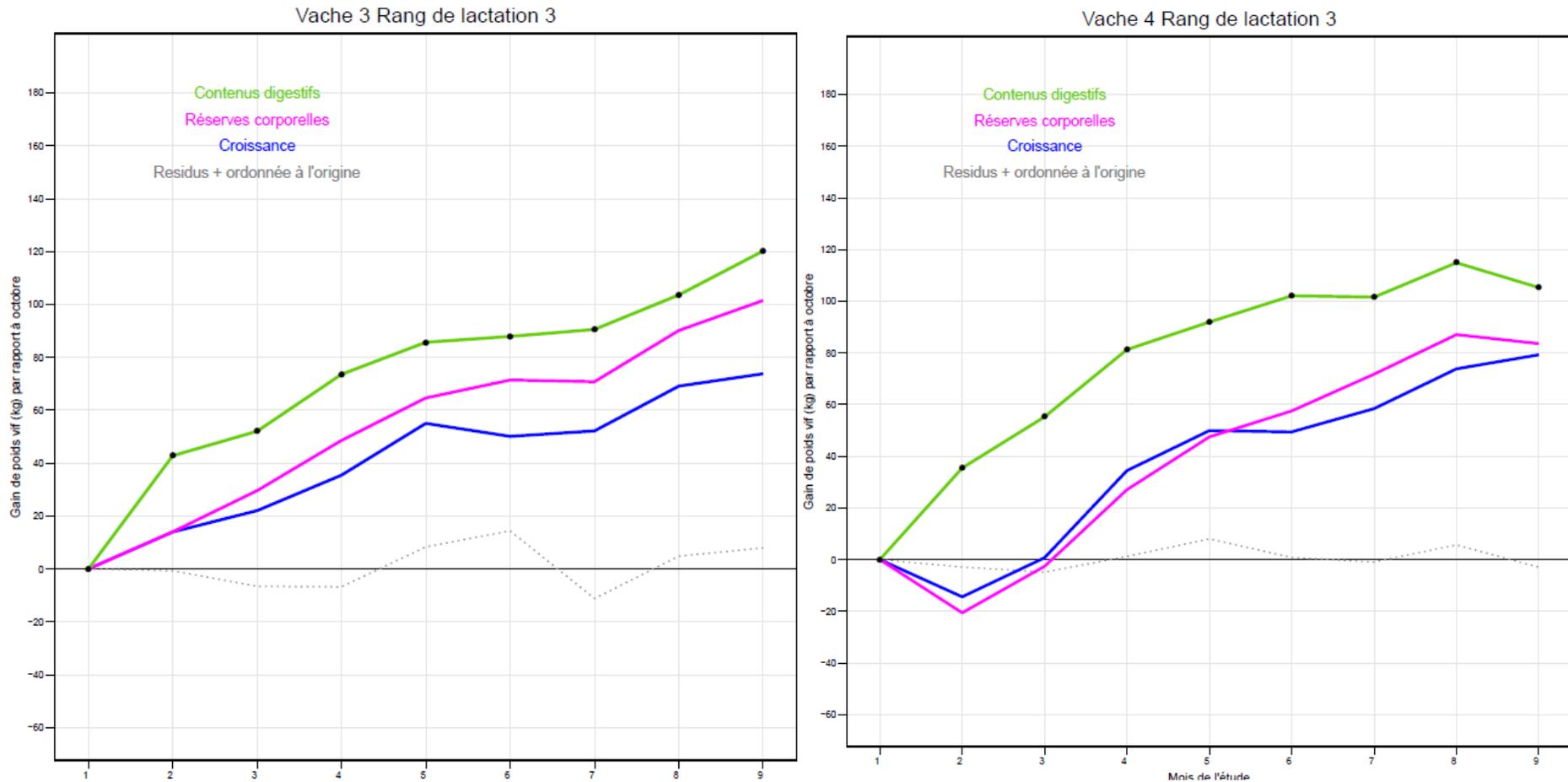


Figure 7 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

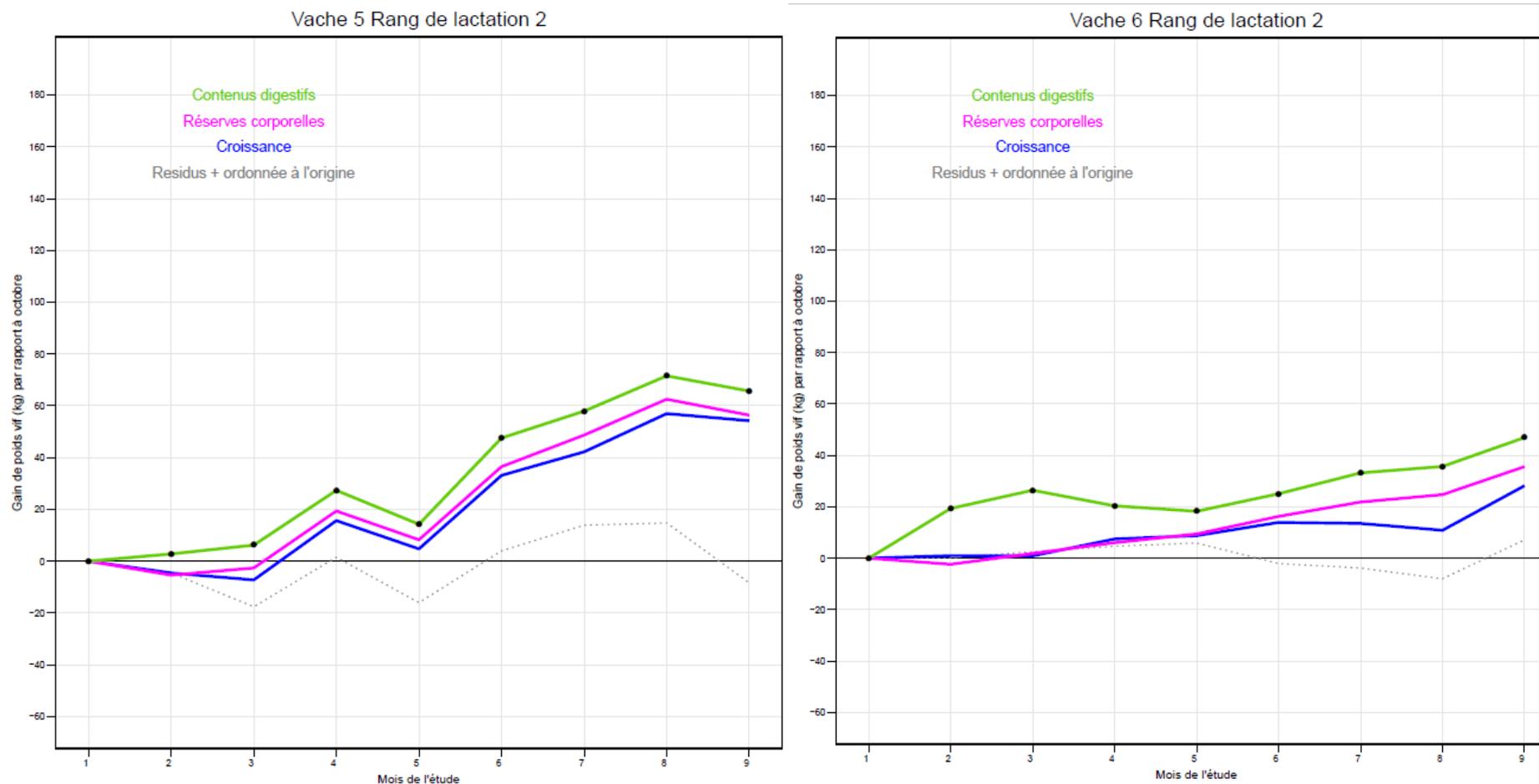


Figure 8 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

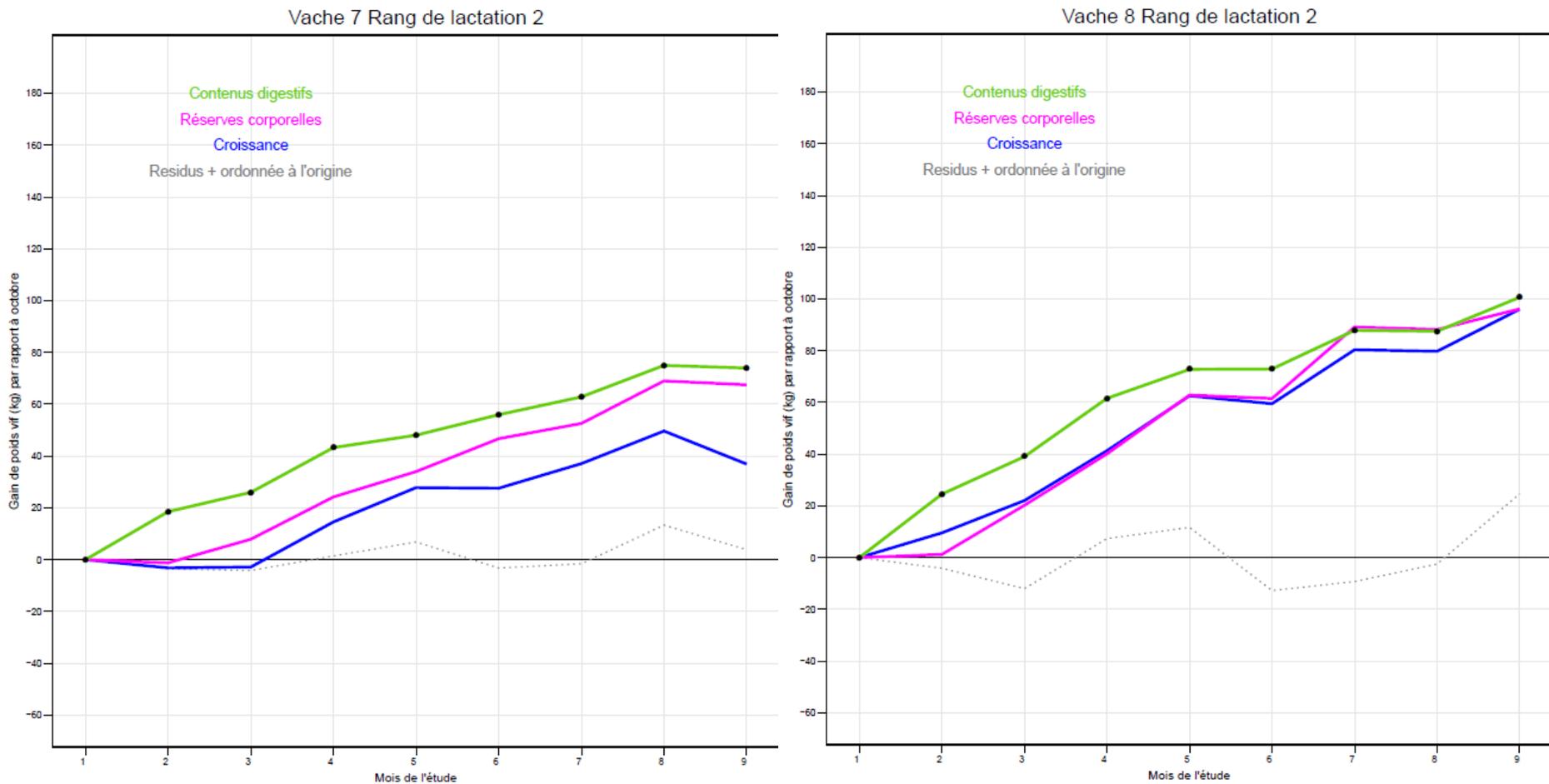


Figure 9 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

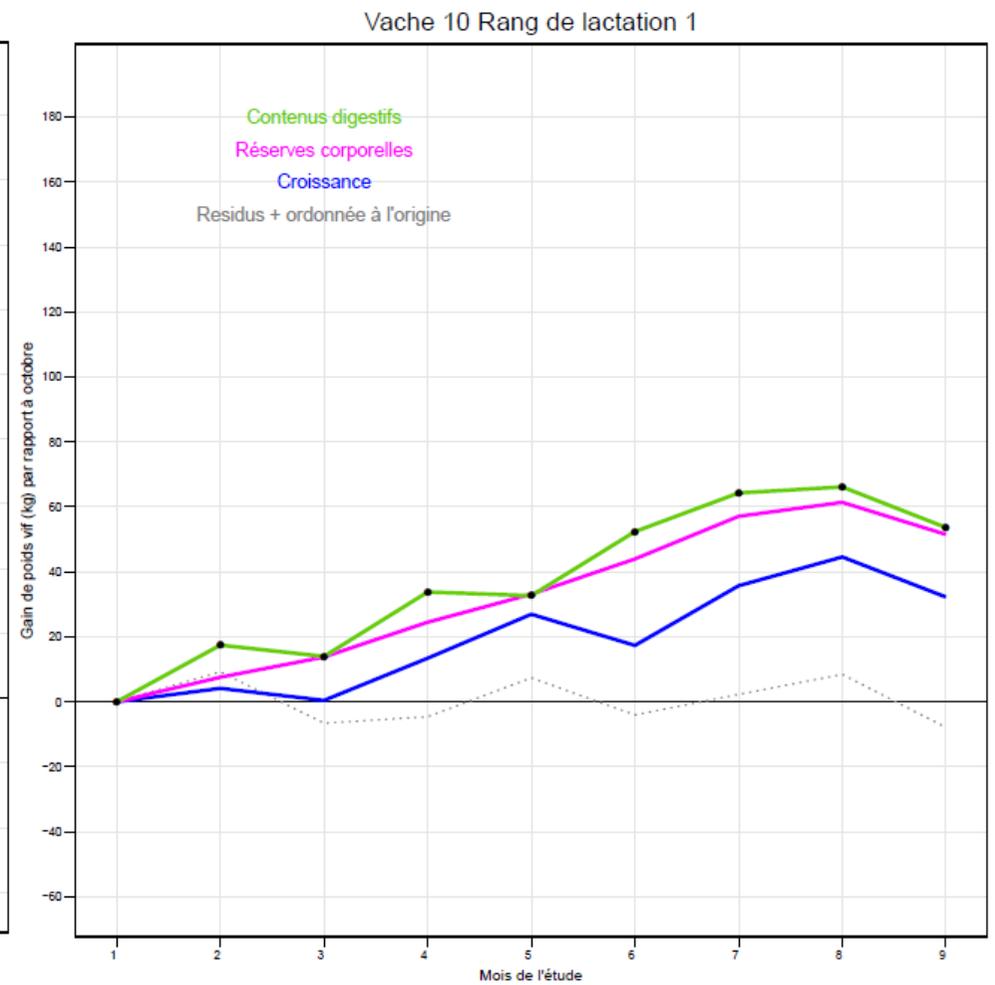
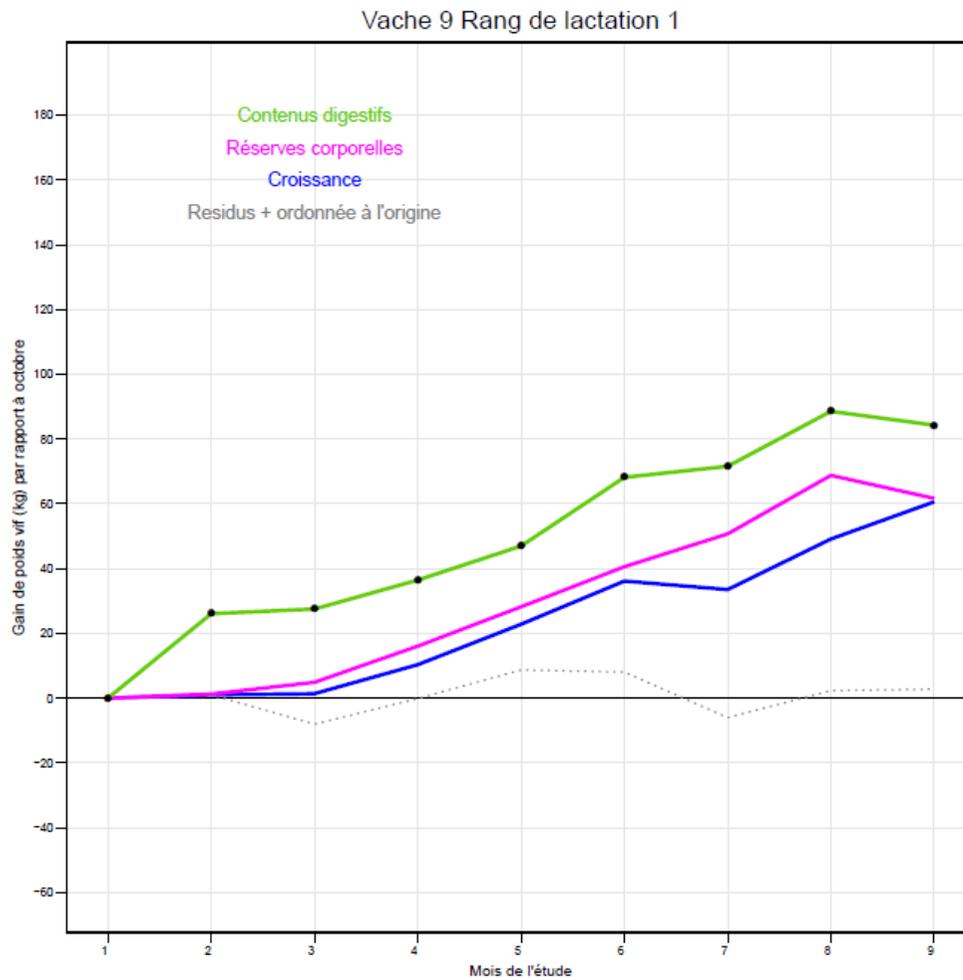


Figure 10 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

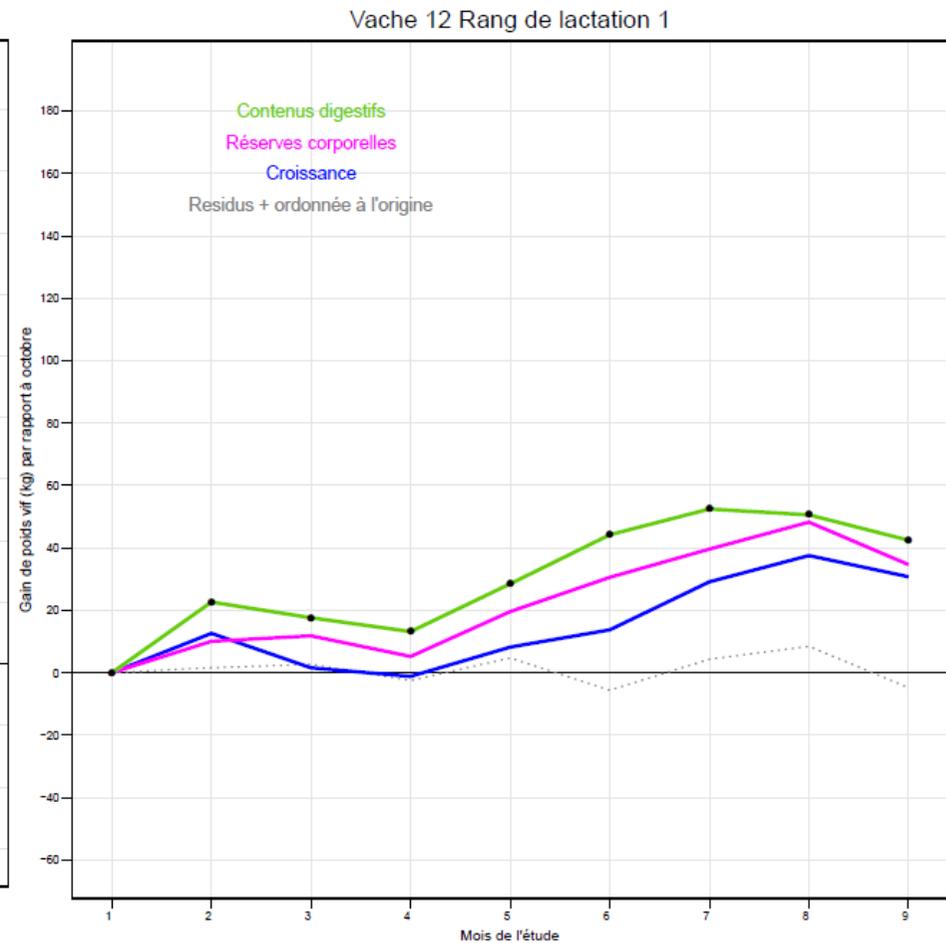
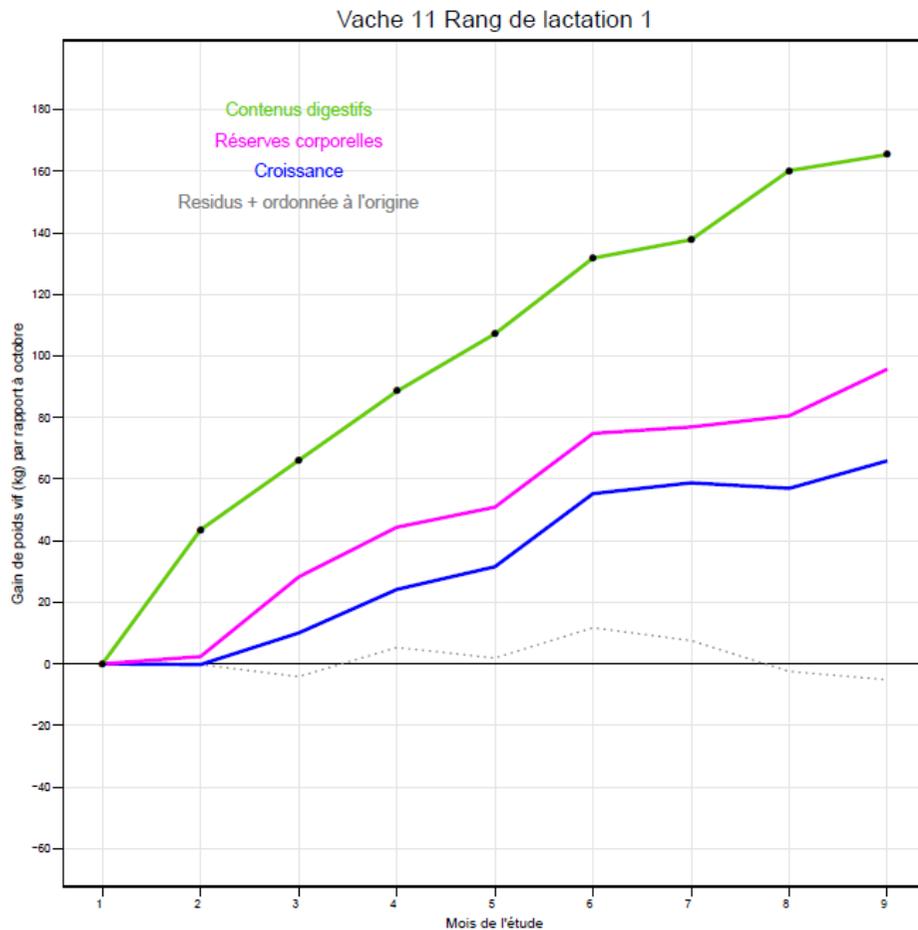


Figure 11 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

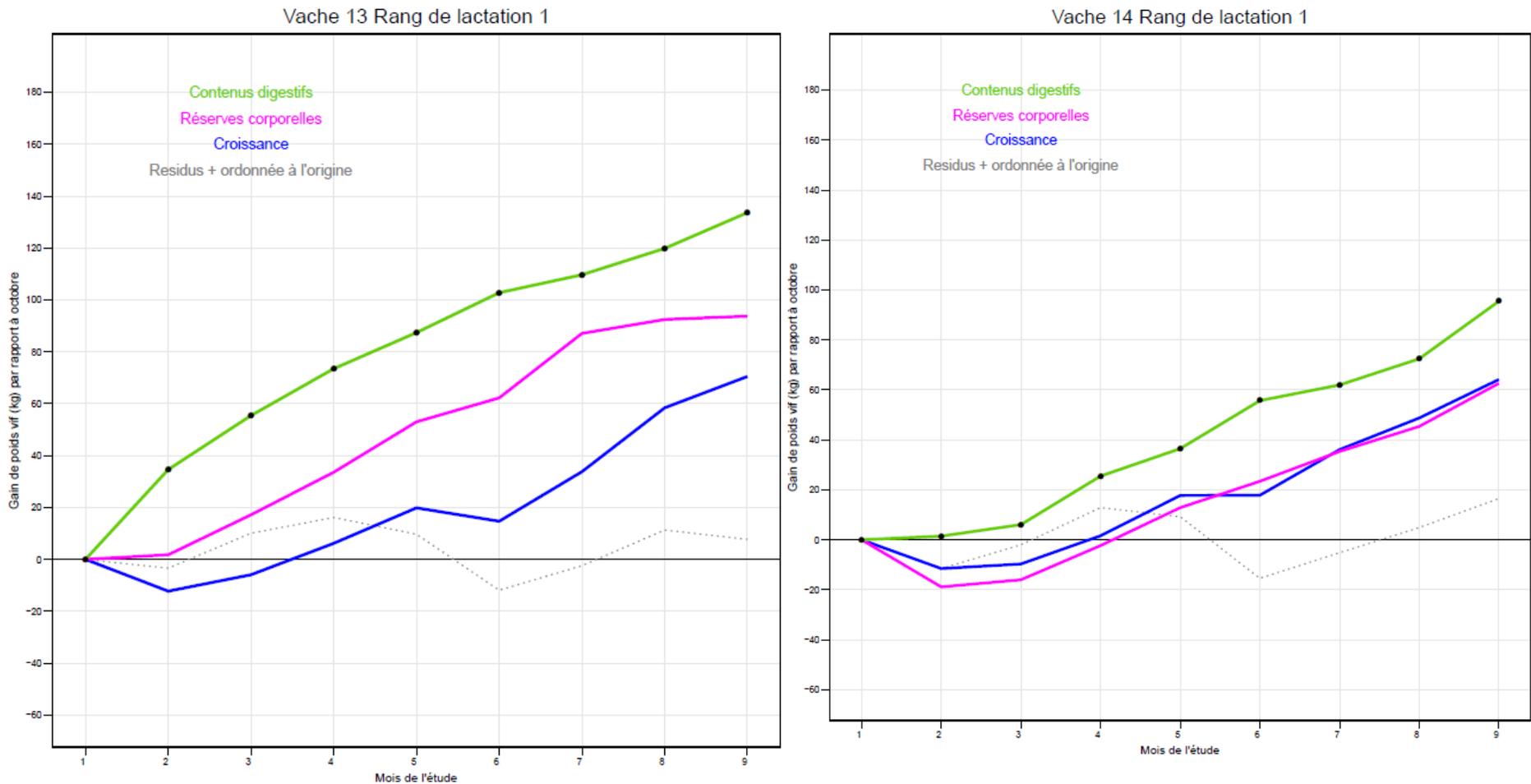


Figure 12 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).

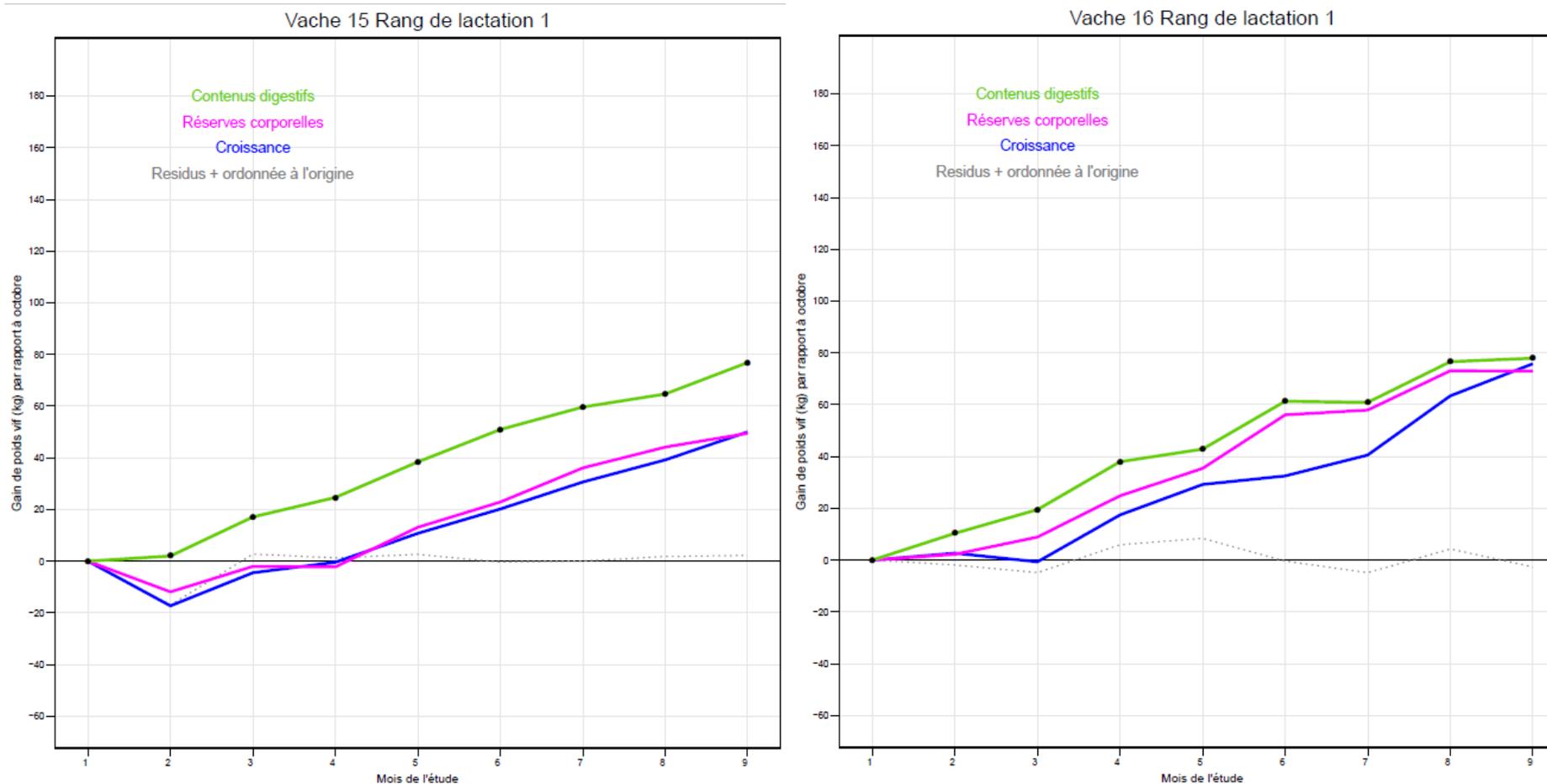


Figure 13 : Exemple de 2 profils de décomposition du gain du poids vif en fonction du mois de l'étude par rapport au premier mois de l'étude en ses composantes cumulées : part inexpliquée de la décomposition (courbe grise), part inexpliquée + croissance (courbe bleue), part inexpliquée + croissance + réserves corporelles (courbe rose) et part inexpliquée + croissance + réserves corporelles + contenus digestifs (courbe verte).





Diplôme : Master Biologie, Agrosociétés  
Spécialité : Sciences de l'Animal pour l'Élevage de Demain  
Spécialisation / option :  
Enseignant référent : Anne-Lise JACQUOT

Auteur(s) : Caroline XAVIER  
Date de naissance\* : 01/10/1995

Organisme d'accueil : INRA-UMR PEGASE  
Adresse : 16, le clos  
35590 Saint-Gilles, France

Nb pages : 24 p.      Annexe(s) : 8 (38 p.)

Maîtres de stage : Amélie FISCHER, Yannick LE COZLER, Philippe FAVERDIN

Année de soutenance : 2019

Titre français : Utilisation de l'imagerie 3D pour suivre la croissance des vaches laitières, prédire les quantités ingérées et approcher l'efficacité alimentaire

Titre anglais : Using three-dimensional imaging to monitor the growth of dairy cows, to predict feed intake and to approach feed efficiency

Résumé (1600 caractères maximum) :

L'imagerie tridimensionnelle (3D) est une technologie qui permet d'accéder à de nouveaux phénotypes d'intérêt. Ce travail a consisté à analyser la croissance de 16 vaches dont 8 primipares au cours d'une lactation par le suivi du poids vif quotidien et des mesures corporelles mensuelles par imagerie 3D. Un second objectif a été d'estimer le contenu ruminal de 58 vaches en lactation, à partir de données de quantités ingérées quotidiennes et des volumes d'abdomen obtenus une seule fois le même jour. L'évolution de l'ensemble des indicateurs morphologiques reflète une croissance continue sur au moins 3 lactations avec une croissance plus importante pour les primipares. Le volume partiel est un bon prédicteur du poids vif ( $R^2 = 0,92$ ), avec une erreur de prédiction de 25,8 kg, réduite à 13,7 kg si la prédiction est faite intra-vache. Les quantités ingérées sont estimées par le volume d'abdomen avec une erreur très faible de 1,79 kg de matière sèche. A même quantité ingérée, les vaches sont d'autant plus efficaces qu'elles ont un volume abdominal important, et donc, un temps de séjour (défini par le rapport volume d'abdomen sur quantités ingérées) des aliments plus long dans le rumen. L'hypothèse d'une meilleure digestion n'est pas vérifiée pour les émissions de méthane car à même quantité ingérée, ce gaz émis n'est que peu corrélé au volume d'abdomen ( $r = 0,41$ ). L'imagerie 3D, économe en temps et nécessitant peu d'investissements, permet au final d'accéder à plusieurs caractères d'intérêt en élevage sans avoir à multiplier les équipements.

Abstract (1600 caractères maximum) :

Three-dimensional imaging (3D) is a technology that allows access to new interesting phenotypes. The objective of this work was to analyze the growth of 16 lactating cows, including 8 primiparous cows, by monitoring daily live weight and monthly body measurements using 3D imaging. A second objective was to estimate the ruminal content of 58 lactating cows, based on daily feed intake data and on the measurement of the volume of the abdomen taken once and the same day for all cows. All morphological indicators had a continuous growth during at least the first 3 lactations, with a greater growth for primiparous cows. The partial volume is a good predictor of live weight ( $R^2 = 0.92$ ), with a prediction error of 25.8 kg, which is reduced to 13.7 kg when the prediction is made within cow. Volume of the abdomen estimates feed intake with a low error of 1.79 kg dry matter. For a similar feed intake, the more feed efficient the cows are, the larger their abdominal volume is, and therefore, the longer the residence time of feed (defined by the ratio volume of abdomen on feed intake) is in the rumen. The hypothesis of better digestion is not verified with methane emissions because for a given feed intake, emitted methane is moderately correlated with the volume of the abdomen ( $r = 0.41$ ). 3D imaging, as a timesaving and low cost method, finally allows access to multiple traits, which are of high interest for dairy livestock farming, with no need to purchase several sensors.

Mots-clés : Imagerie tridimensionnelle, bovin en lactation, croissance, volume du rumen, efficacité alimentaire

Key Words: Three-dimensional imaging, lactating cattle, growth, rumen volume, feed efficiency

\* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires