

Améliorer l'efficacité alimentaire des vaches laitières

Philippe Faverdin, Amélie Fischer

▶ **To cite this version:**

Philippe Faverdin, Amélie Fischer. Améliorer l'efficacité alimentaire des vaches laitières. Master. Rennes, France. 2019. hal-03191537

HAL Id: hal-03191537
https://hal.inrae.fr/hal-03191537

Submitted on 7 Apr 2021

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.

DEFFILAIT 2016-2020

Améliorer l'efficacité alimentaire des vaches laitières :

comprendre les déterminants grâce à de nouveau outils de phénotypage pour mieux l'évaluer et élaborer des stratégies de sélection génétique en fonction des conditions d'élevage.

P. FAVERDIN (avec A. FISCHER)

Enjeux stratégiques

- Nécessité d'utiliser moins et mieux les ressources pour la production du lait
- Réduire les rejets associés vers l'environnement par une meilleure valorisation de la ration
- Eviter d'utiliser trop de ressources qui rentrent en compétition avec l'alimentation humaine
- Le faire sans altérer la santé ou le bien-être des animaux, en évitant que l'efficience ne se fasse en puisant trop sur les réserves de l'animal.

Les performances du système alimentaire, comment optimiser ?

1/ Fixer des objectifs permettant de Satisfaire au mieux les besoins en valorisant au mieux l'ensemble des ressources

→ Pertinence

→ Niveau d'organisation élevé vers des niveaux inférieurs

2/ Compte tenu de cette pertinence qui aura alloué des ressources, comment les valoriser au mieux dans chaque système

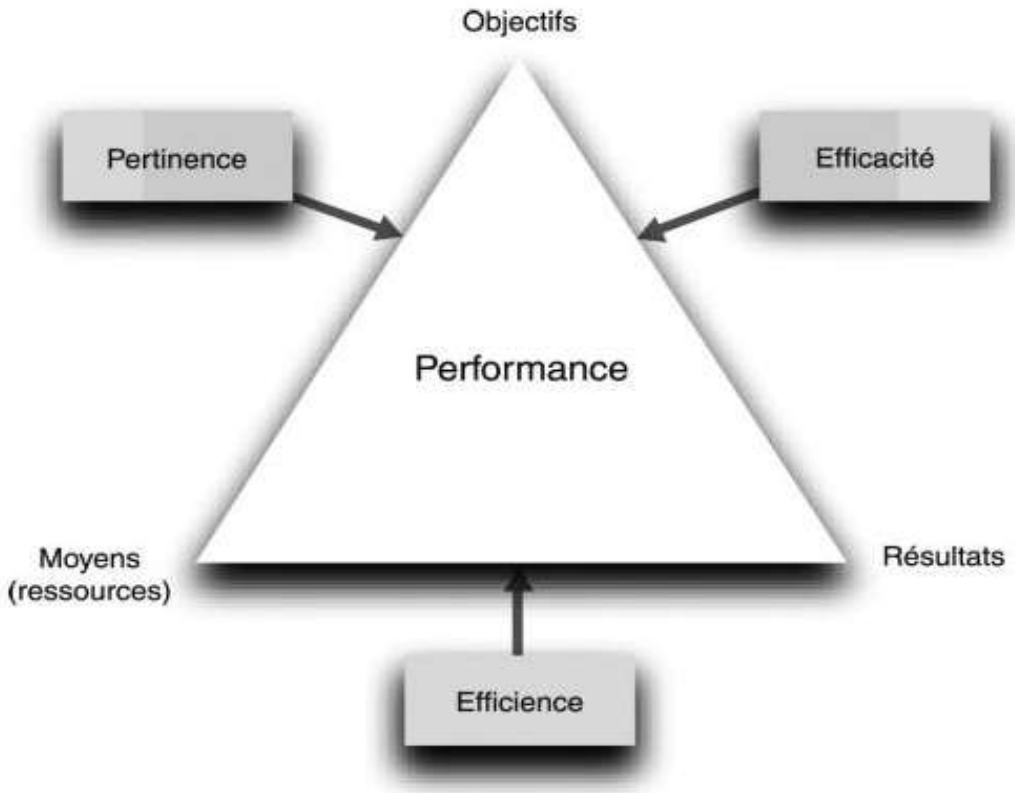
→ Efficience

→ Niveau d'organisation bas

3/ Vérifier que les résultats ainsi obtenus sont cohérents avec les objectifs. Indicateurs pertinents

→ Efficacité

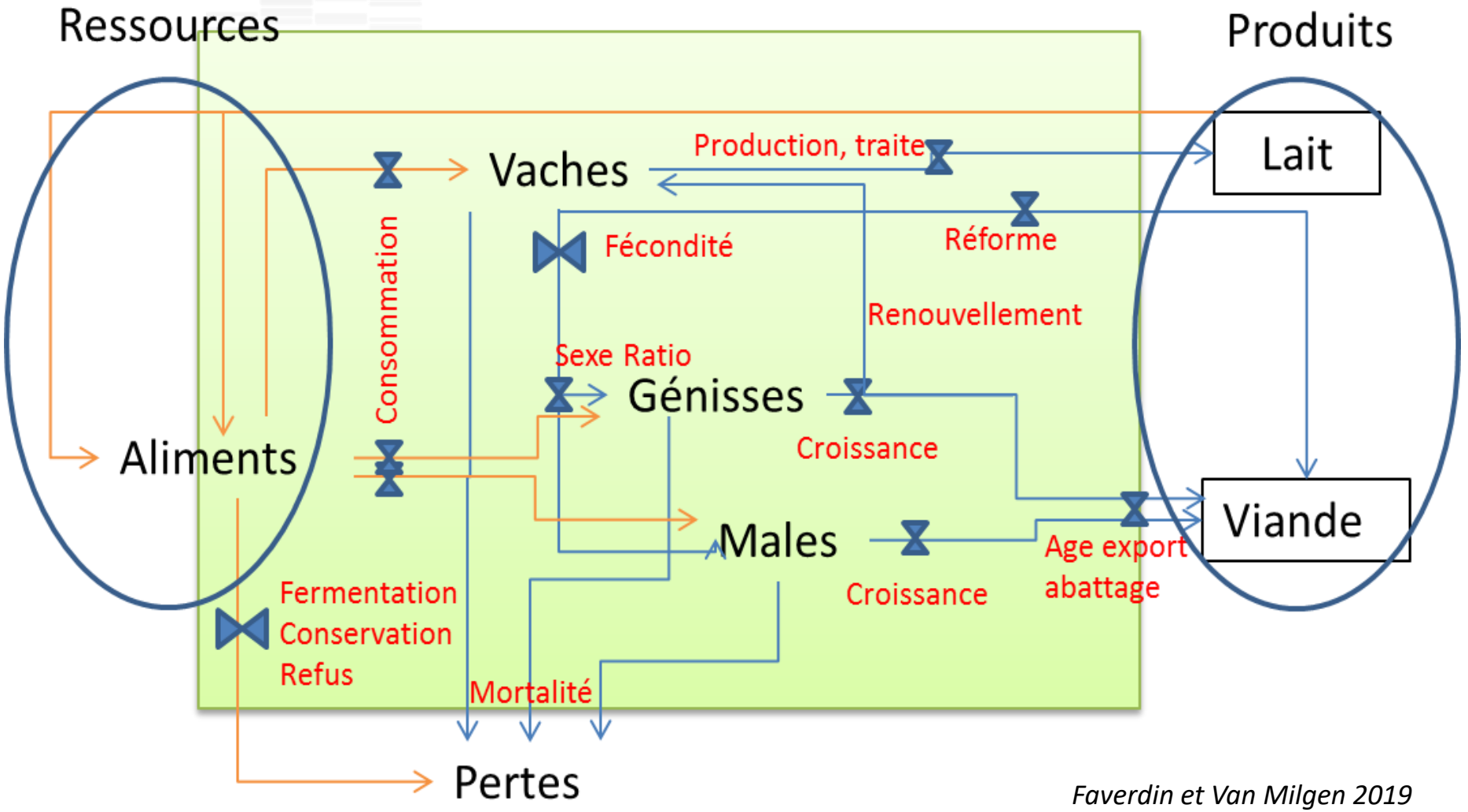
→ Niveaux d'organisation bas vers des niveaux supérieurs



Le système alimentaire mondial

(Jean-Louis Rastoin, Gérard Ghers, 2010, QUAE Ed.)

Améliorer l'efficience alimentaire



Faverdin et Van Milgen 2019

Etat de l’art

- La sélection génétique des ruminants requiert plus de temps que pour les monogastriques et est potentiellement plus complexe à cause de la diversité des environnements pour les systèmes ruminants.

- Il y a un besoin particulier à maintenir la robustesse des vaches laitières face aux fluctuations de la qualité de l’environnement.

- Ainsi, le choix d’indicateurs utilisés pour la sélection est d’une grande importance, et il est essentiel de vérifier et de valider les bénéfices anticipés de telles stratégies sur le long terme.

- Les nouvelles possibilités de phénotypage peuvent permettre de cibler les caractères spécifiques qui contribuent en partie à l’efficacité et qui ont rarement été étudiés jusqu’à maintenant car ils ont été très difficiles à évaluer.

- Un exemple clé est la possibilité de quantifier, dans les populations commerciales, la mobilisation des réserves corporelles des vaches laitières. Cette caractéristique est fortement corrélée à la robustesse et à l’efficacité.

Objet du projet et résultats attendus

- Améliorer l'efficacité alimentaire (EA) des vaches laitières sans affecter leur robustesse
  - → en étudiant les déterminants de l'EA des vaches laitières et
  - → en définissant des stratégies pour la sélection génétique adaptées.

- Mise au point de méthodes de phénotypage nouvelles adaptées à la compréhension des déterminants de l'EA
  - → applications demain pour le suivi en élevage de l'état des animaux (Bien-être) et pour l'élevage de précision

- Etude des déterminants de l'EA des VL
  - → sur quels critères pourra-t-on sélectionner sur l'efficience sans perdre en santé, bien-être et reproduction des animaux

- Etude plus particulière du caractère de mobilisation des réserves lipidiques et de ses déterminants génétiques
  - →équations de sélection génomique pour éviter que les vaches laitières perdent trop d'état en début de lactation.

- Approche modélisatrice de cette efficacité et des conséquences possibles de sélection sur ce caractère
  - →une stratégie pour améliorer génétiquement ce caractère

Originalité du projet

- Fournir les éléments essentiels demandés pour les **stratégies de sélection** génétique pour améliorer l'Efficacité Alimentaire (EA) des vaches laitières.

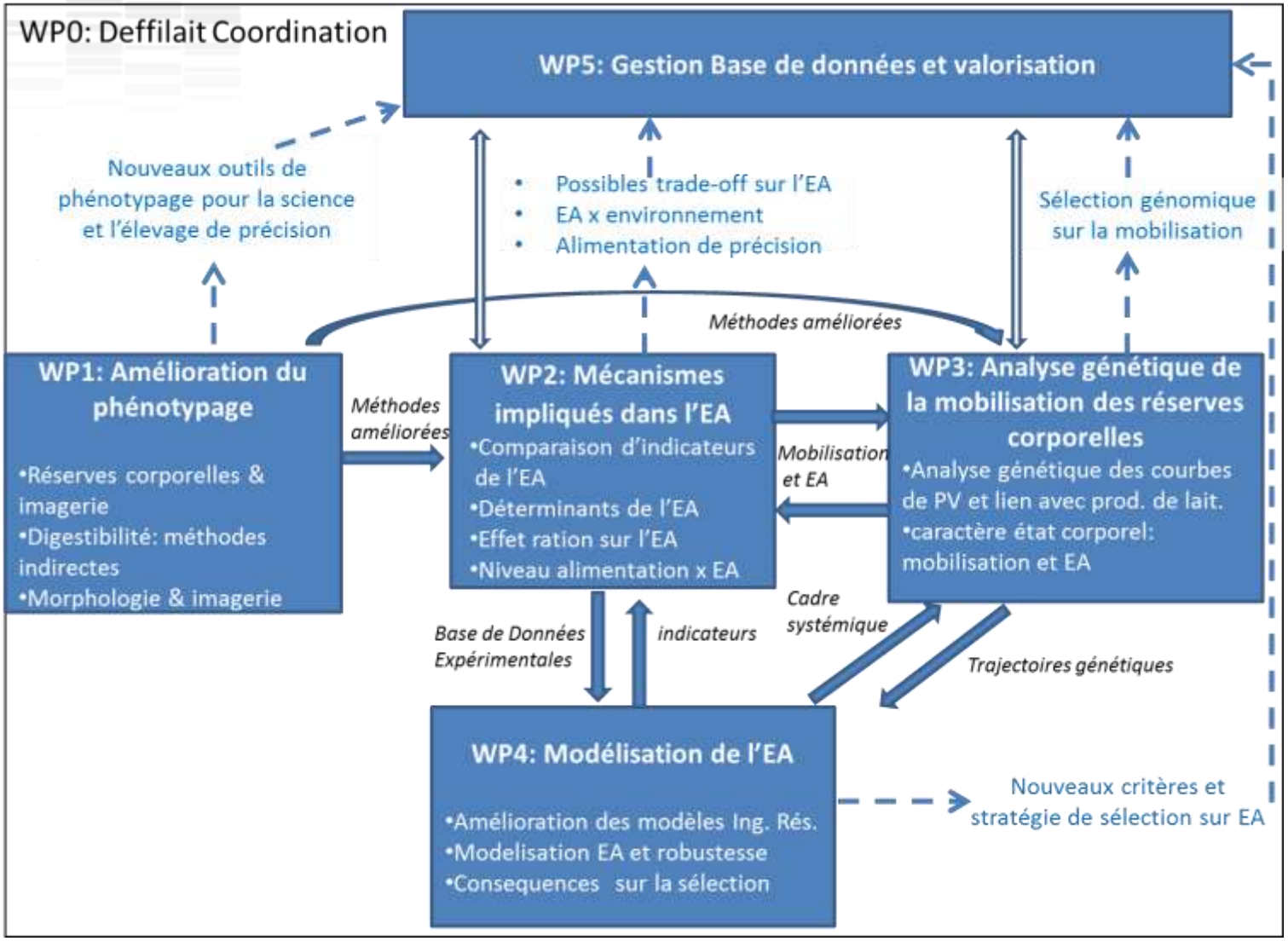
- Mieux **quantifier les possibilités de progrès sur l'efficacité alimentaire** et les impacts associés en production laitière.

- **Développement de mesures phénotypiques** qui impacteront également les capacités de conseil dans les fermes, et de contrôle de l'élevage, qui sont aussi des leviers d'action sur l'efficacité à l'échelle de la ferme.

- **Outils de simulation** pour prédire les conséquences des différentes stratégies de sélection dans différents environnements. Les résultats attendus contribueront à la définition de stratégies de sélection pour combiner l'efficacité et la robustesse.

- **Cadre cohérent pour entreprendre une sélection génétique** équilibrée de ces traits, et par là même apporter une contribution significative et durable.

Organisation générale du projet

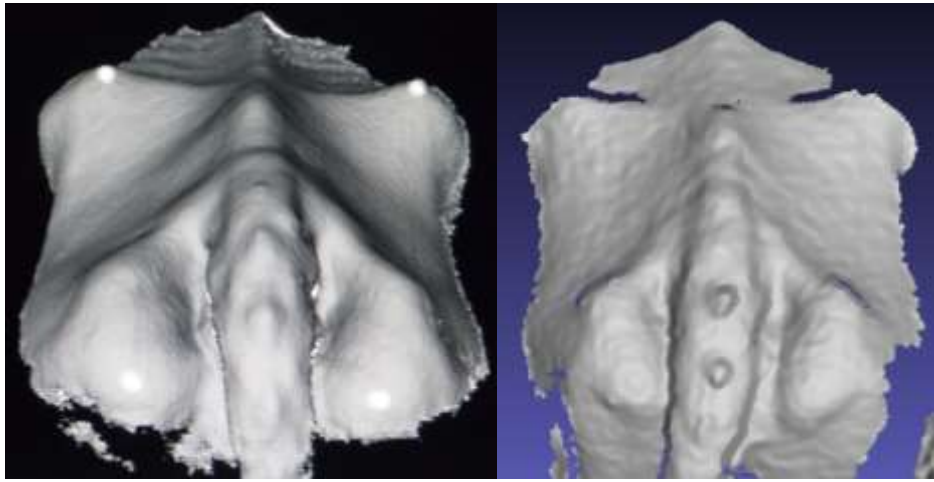


Phénotypage à haut-débit des vaches laitières

- Utilisation des capteurs comportements et température







- Des dispositifs innovants de phénotypage à haut-débit par imagerie 3D (3D ouest)
  - Notation automatique de l'état corporel
  - Scanner de morphologie de l'animal entier



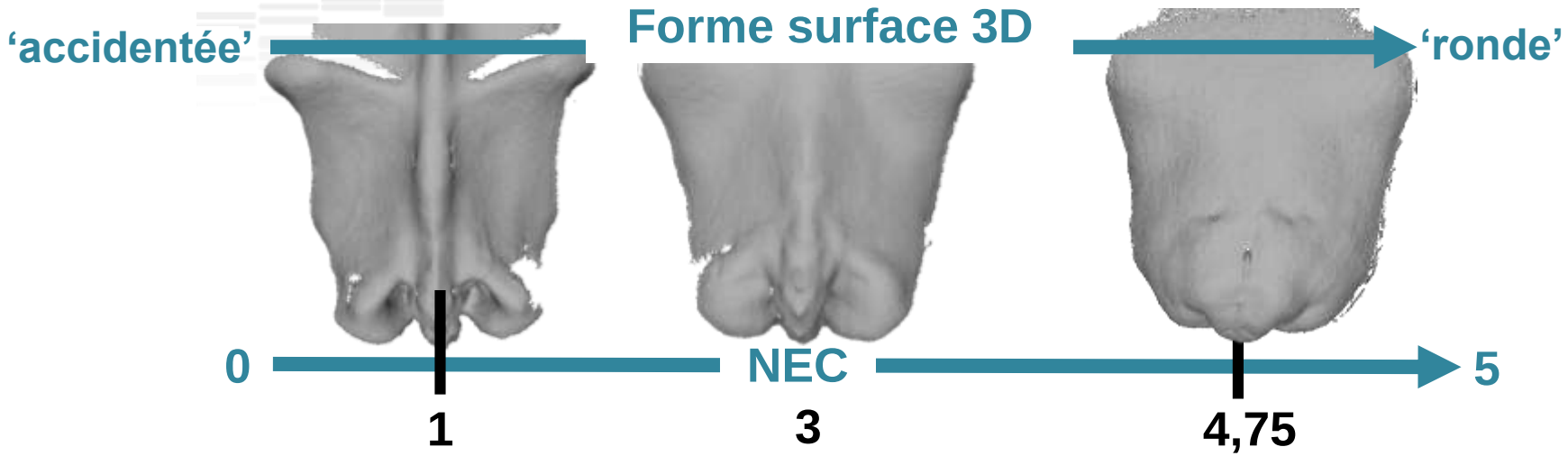
Evaluer précisément l'état corporel

- Les variations des réserves sont un enjeu fort dans la recherche d'animaux plus efficients
  - Ne pas confondre l'utilisation des réserves comme une meilleure efficience
  - Risque d'une mobilisation accrue sur la santé et la reproduction
  - Enjeu de bien-être

- Evaluer les variations d'état corporel reste difficile pour des grands ruminants
  - Notation d'expert = peu sensible, effet notateur important
  - Echographie = moins de gras sous-cutané chez les ruminants, méthode longue et nécessite une bonne expertise
  - Scanner = impossible pour grands ruminants
  - Indicateurs biologiques = pas assez précis

- Besoin de méthode sensible, rapide, répétable pour évaluer l'état corporel
  - L'imagerie 3D offre des perspectives intéressantes.

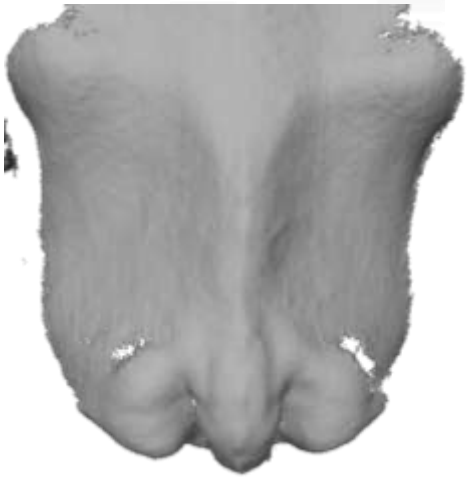
Notation automatique de l'état corporel



- *Estimer la NEC par imagerie 3D:*
  Développer et valider **une méthode** *automatique* **qui estime la** *NEC* **à partir de la forme en** *3D* **du** *bassin* **de vaches Prim'Holstein**
- **Tester l'utilisation en routine**

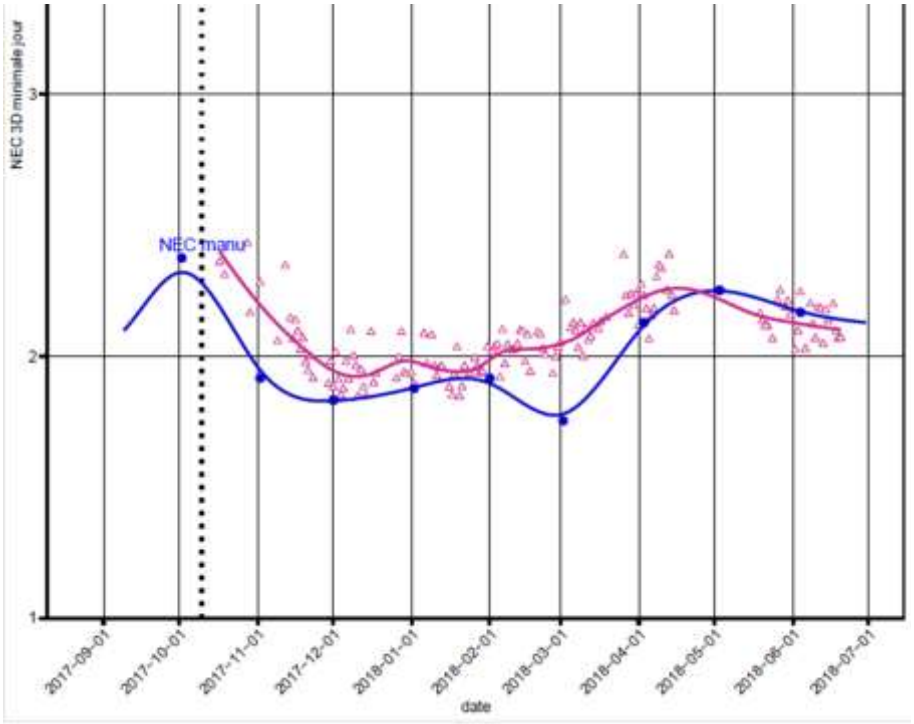
Fischer et al 2015

Estimation fine de l'état corporel



NEC-3D

NEC



Estimation automatisée de la NEC par imagerie 3D **précise et répétable**

- **Détecte plus finement les variations** de réserves corporelles que la NEC classique

Outils d'étude de la morphologie

- Dans les caractères liés à l'efficience, la morphologie peut être une source de variation
  - Muscularité ou adiposité plus ou moins grande
  - Développement des pre-estomacs plus ou mois grand
  - Possibilité de dissiper les calories plus ou moins facilement (rapport volume/surface)

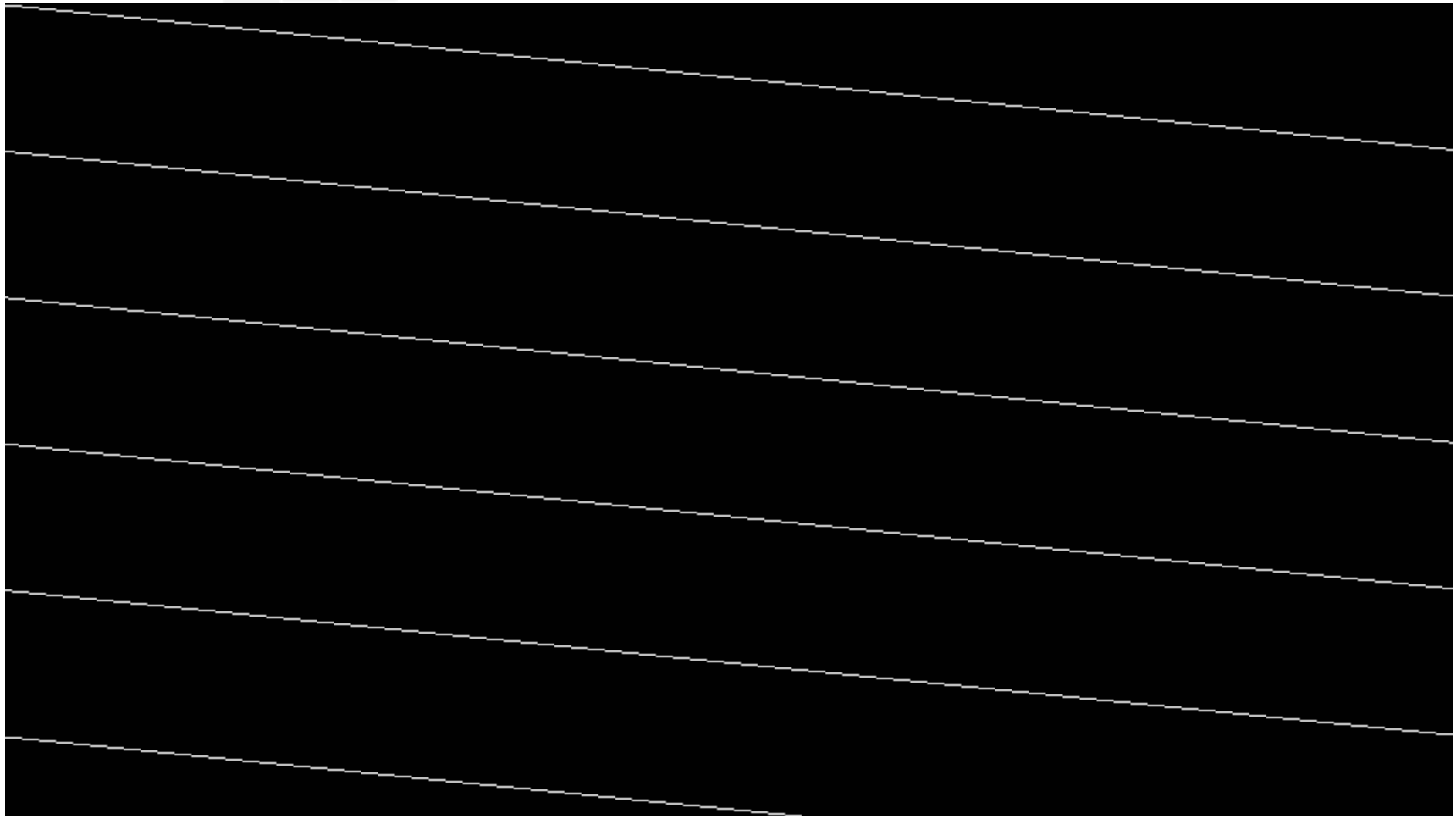
- Mesures de morphologies longues et délicates, limitées à des longueurs actuellement

- DEFFILAIT + MORPHO 3D

→ Développement d'un dispositif de phénotypage permettant l'acquisition et le traitement d'images 3D complètes de bovins adultes ou en croissance

→ De nouveaux critères de surfaces – volumes (globaux/partiels) disponibles

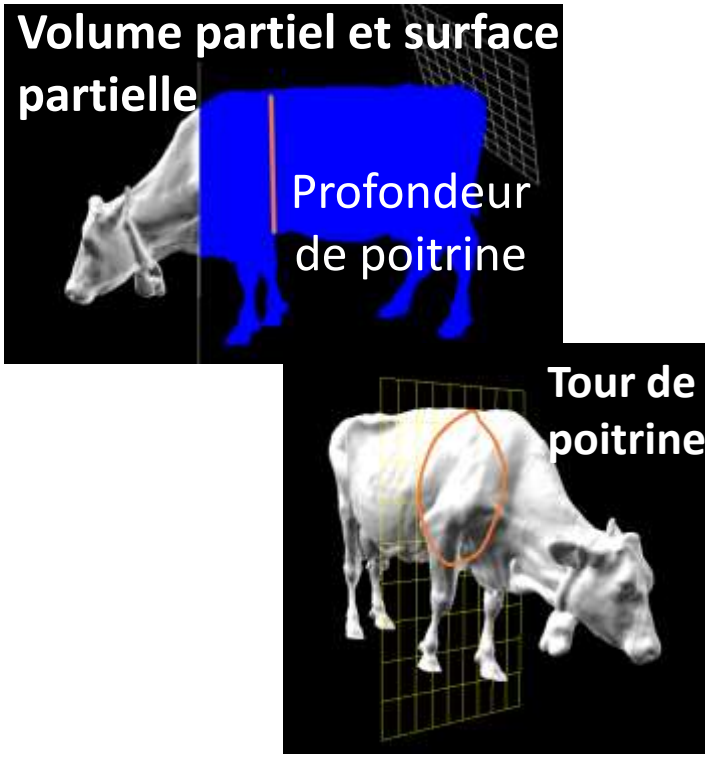
Un scanner 3D pour étudier la morphologie : Un prototype unique au monde actuellement



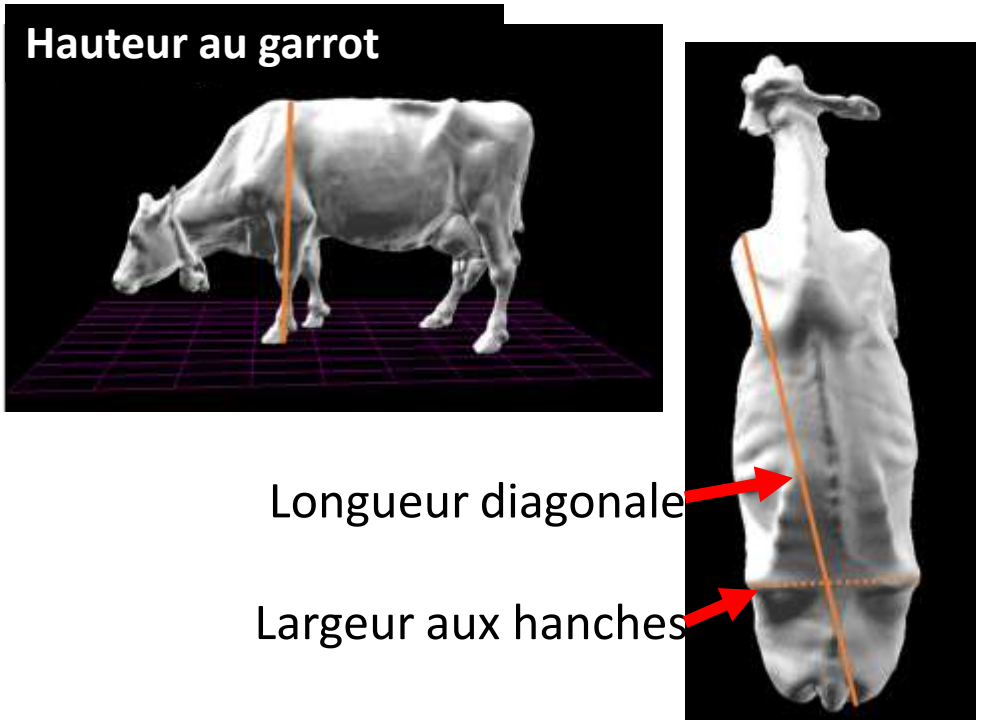
Le Cozler et al 2019

Les indicateurs de croissance

Indicateurs de développement

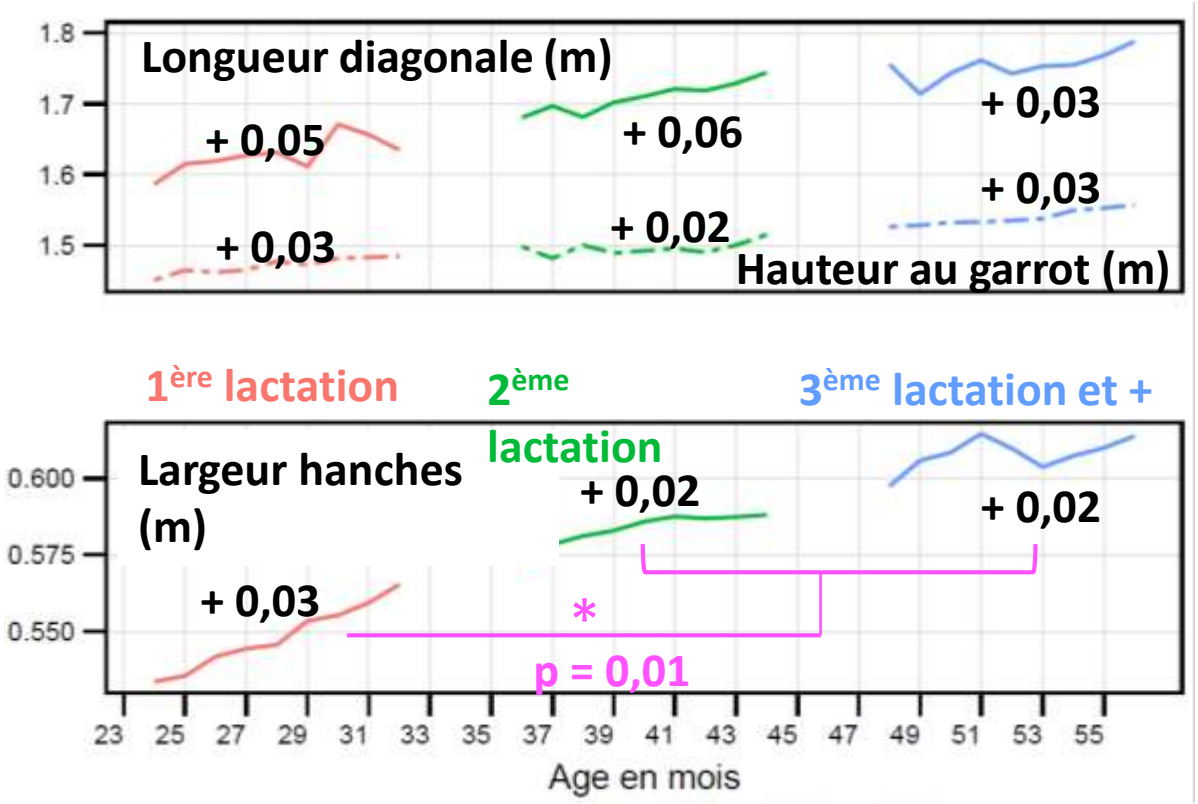


Indicateurs de développement squelettique



Le Cozler et al 2019

Croissance des vaches de différentes parités : les indicateurs de développement squelettique

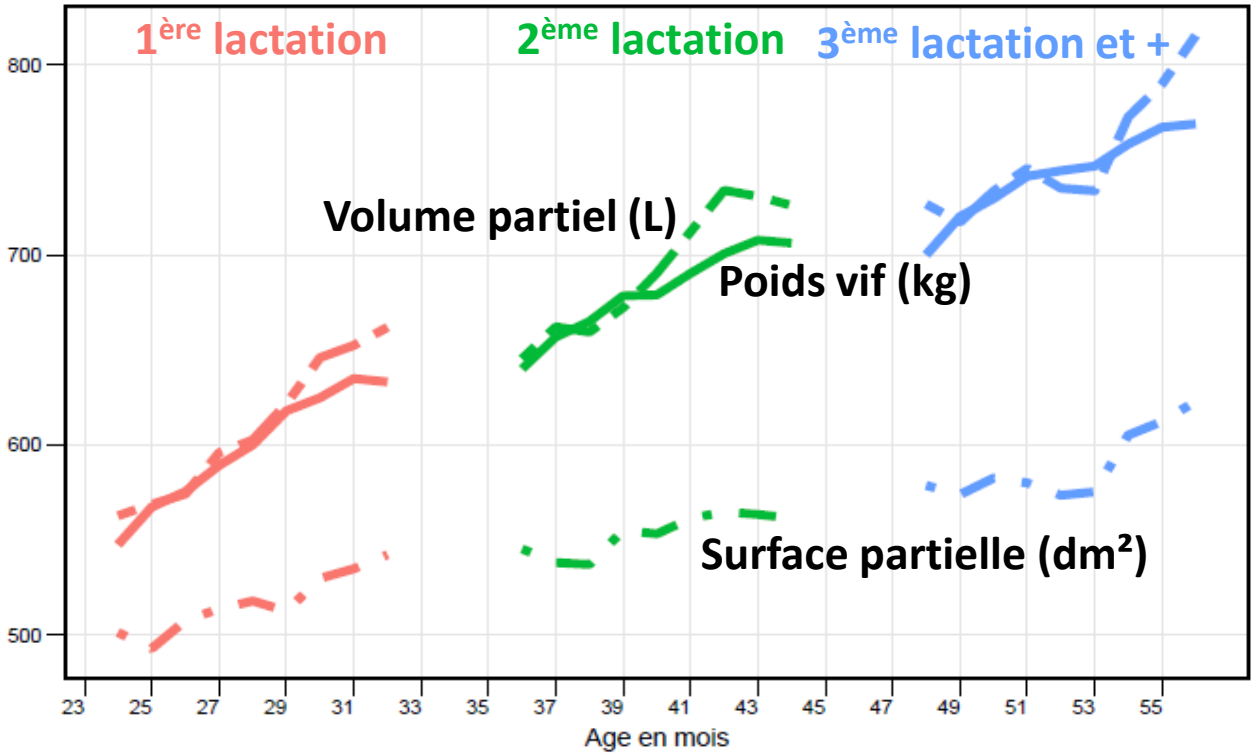


Plus forte croissance pour les **primipares**

Croissance au moins jusqu'à la 3ème lactation (environ 55 mois)

Xavier et al 2019

Croissance des vaches de différentes parités : les indicateurs de développement



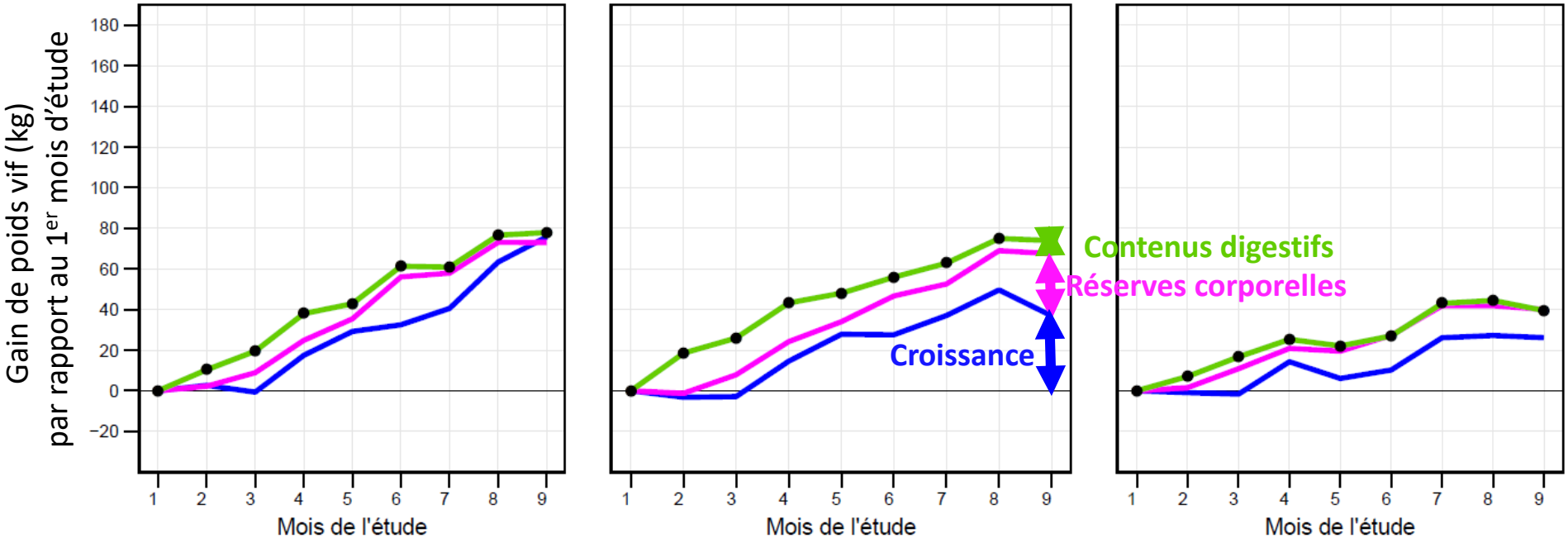
Même tendance que pour les indicateurs de développement squelettique

Le poids vif et le volume partiel suivent la même tendance

Xavier et al 2019

Décomposition du gain de poids

En combinant les quantités ingérées, la NEC et les indicateurs de croissance



➔ Profil de décomposition du gain de poids vif différent entre les vaches

Xavier et al 2019

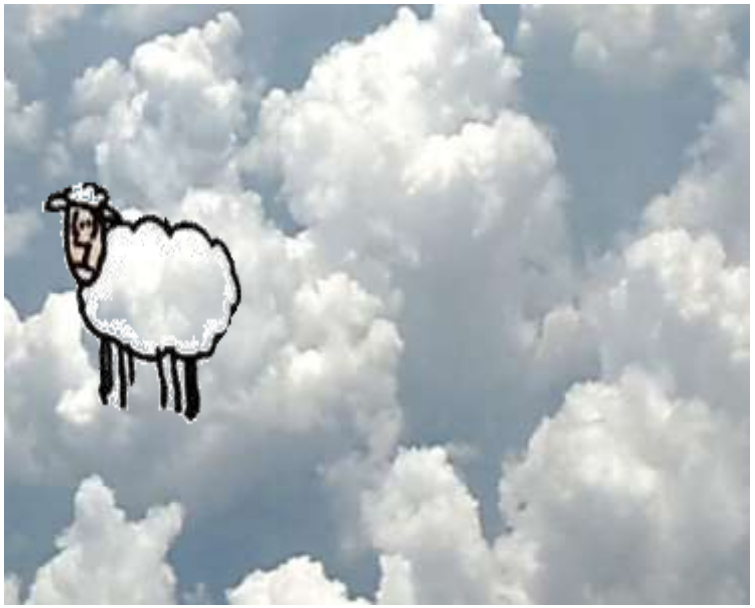
Mécanismes impliqués dans l'EA
(Méjusseaume et Trinottières)

- L'EA est un critère très global dont la variabilité pour s'expliquer par différents mécanismes physiologiques.

- RFI semble une approche largement utilisée pour évaluer l'efficience aujourd'hui, mais différents modèles existent :
  - Quel modèle pour évaluer l'efficience des VL ?
  - Comment varient les indicateurs d'EA au cours de lactation?
  - Quel est l'importance de la mobilisation des réserves dans les calculs de l'EA?
  - Comment étudier les déterminants de l'EA au travers du modèle RFI?
  - Le classement des animaux est-il sensible au régime utilisé pour évaluer les VL?

→ **Comparaison des indicateurs de EA au cours de la lactation** impliqués dans l'EA pour l'améliorer
→ **Etude des mécanismes impliqués dans les variations individuelles d'EA au cours de la lactation.**
→ **L'efficience alimentaire est-elle modifiée par les situations alimentaires?**

Estimer la variabilité interindividuelle de l'EA



https://nospensees.fr/le-mouton-noir-nest-pas-mechant-il-est-simplement-differen

L'estimation du REI
Résultats & Limites

- Une faible variabilité du REI: E.T. = 0,8 UFL/j R^2 = 0,92
  ➔ EA ne représente **que 8% de la variabilité des UFL ingérées**

	10% efficientes		10% inefficientes
QI (UFL/j)	20,0	≠	23,3
ENlait (UFL/j)	14,5	=	14,6
PV (kg)	645	=	660
Perte NEC	1,5	=	1,6
Gain NEC	1,5	=	1,7
Perte PVV (kg)	105	=	85
Gain PVV (kg)	94	=	97

Fischer et al 2017

L'estimation du REI
Premiers résultats

Une faible variabilité du REI: $R^2 = 0,92$

➔ EA ne représente que 8% de la variabilité des UFL ingérées

➔ parmi les plus faibles de la bibliographie

➔ mesure fréquente + ration constante = faible variabilité du REI

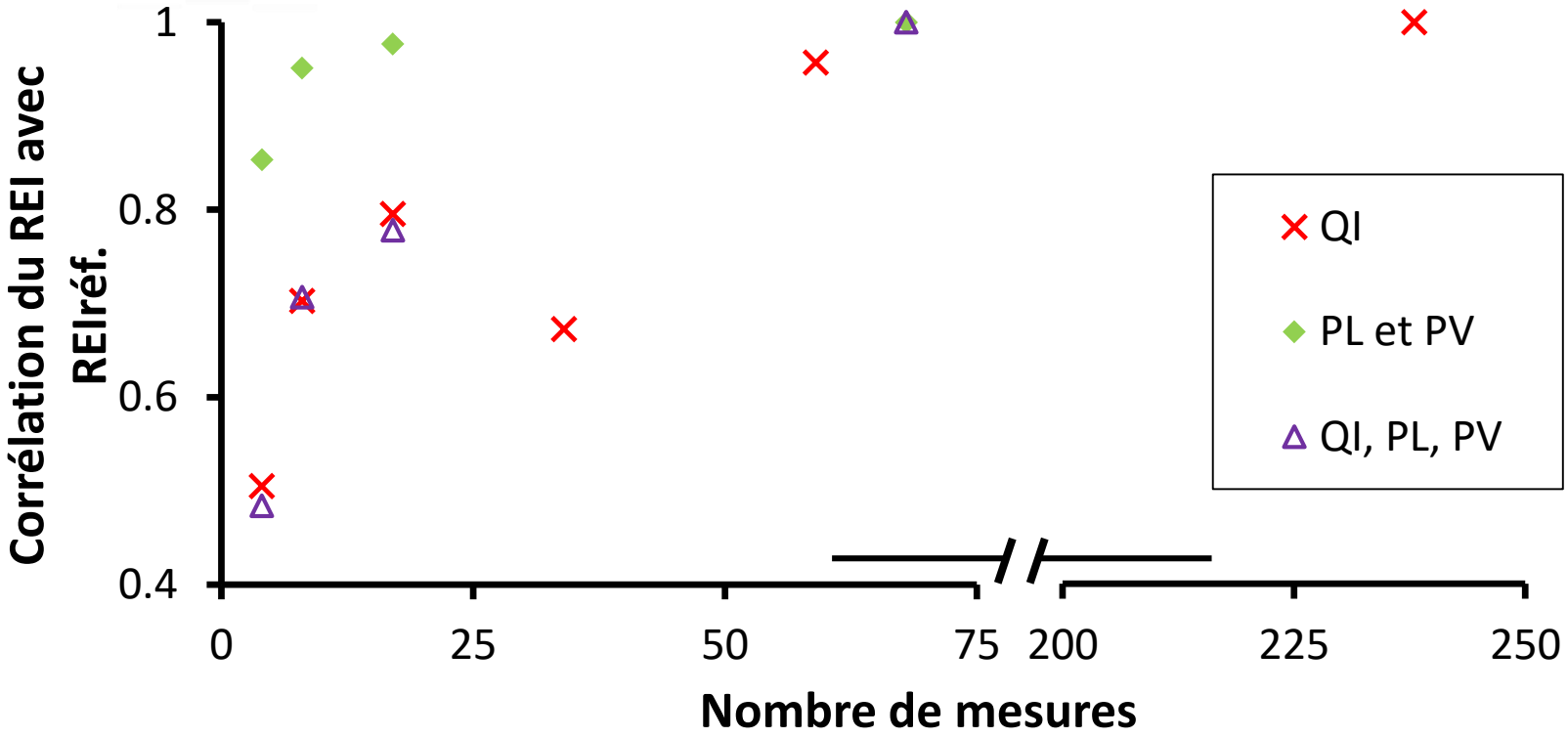
Références	Mesure ingestion		Mesure variables	Var. REI
	Freq.	type		
Fischer *et al.* (2017)	**1/j**	**Direct**	**2/sem.**	**0,08**
Xi *et al.* (2016)	1/j	Direct	Sem.	0,15
Connor *et al.* (2013)	1/j	Direct	Quinz.	0,28
Manafiazar *et al.* (2013)	1/j	Direct	Mois	0,32
Hurley *et al.* (2016)	1/2mois	Indirect	Sem.	0,41

Variabilité du REI la plus forte & seule étude à utiliser des mesures indirectes de QI

Importance de la fréquence et qualité de la méthode de mesure des QI?

Fischer et al 2017

L'estimation du REI
Premiers résultats

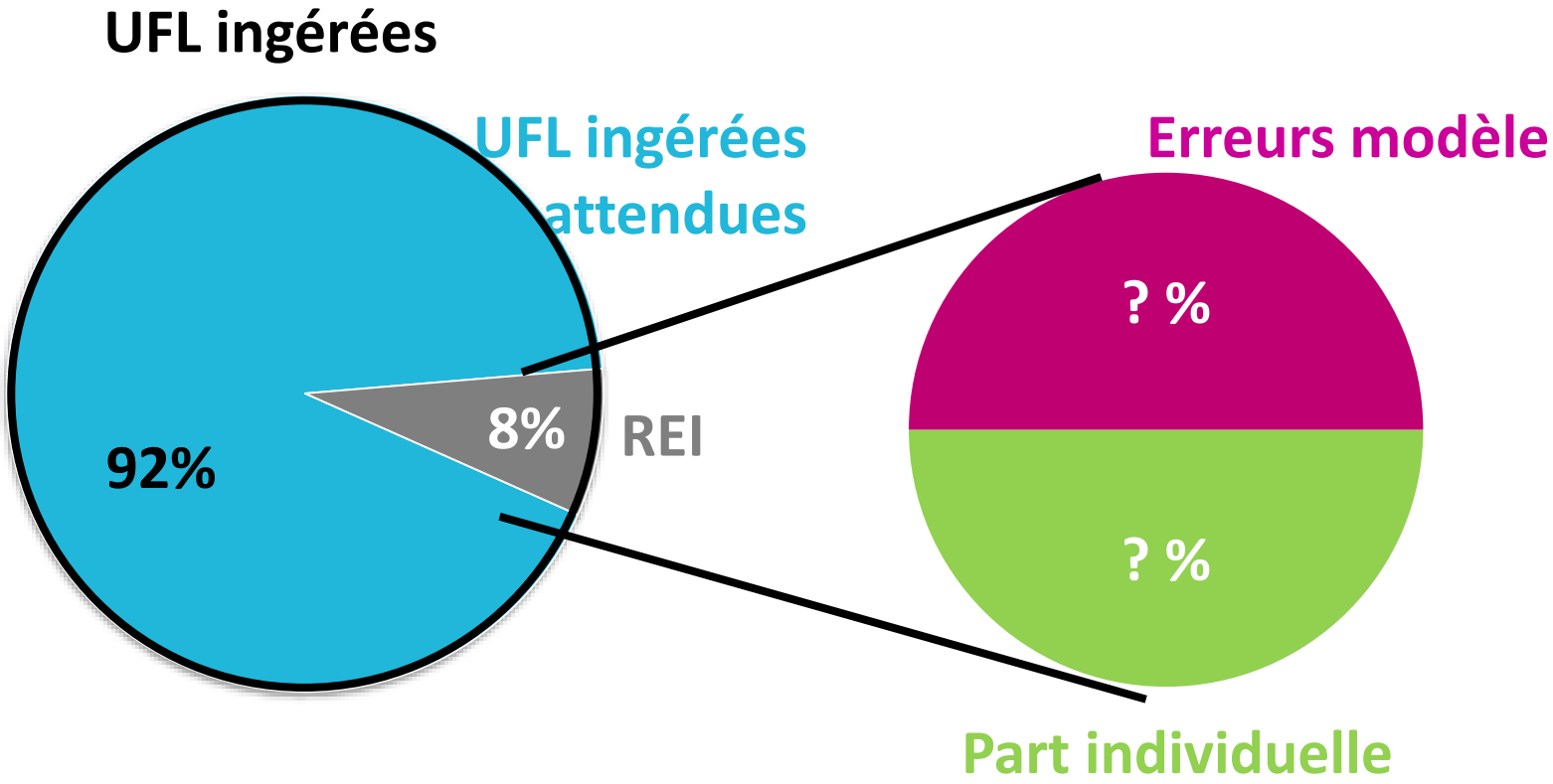


Mesures doivent être **fréquentes et directes** pour pouvoir interpréter les différences de REI comme des différences d'EA!

Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

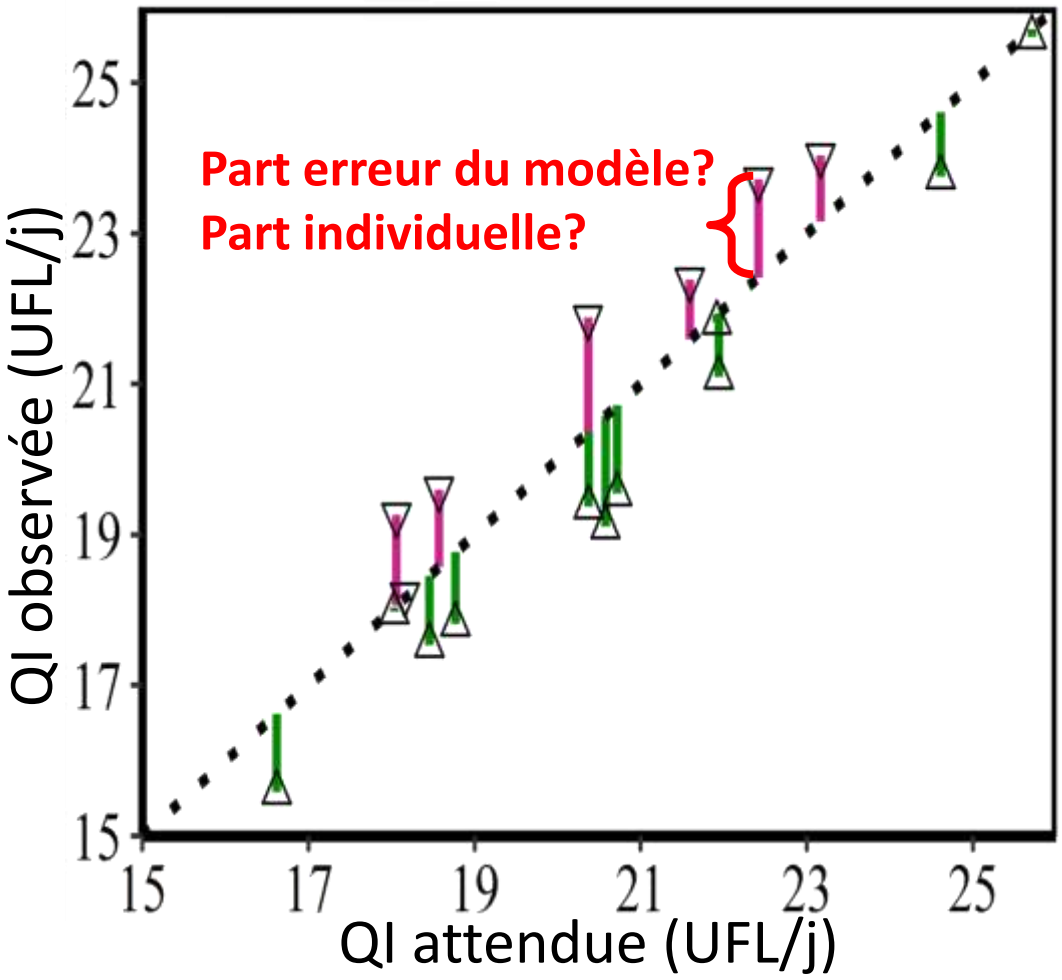
Méthode



Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



Définitions

Effet individu: **répétable**
au cours du temps

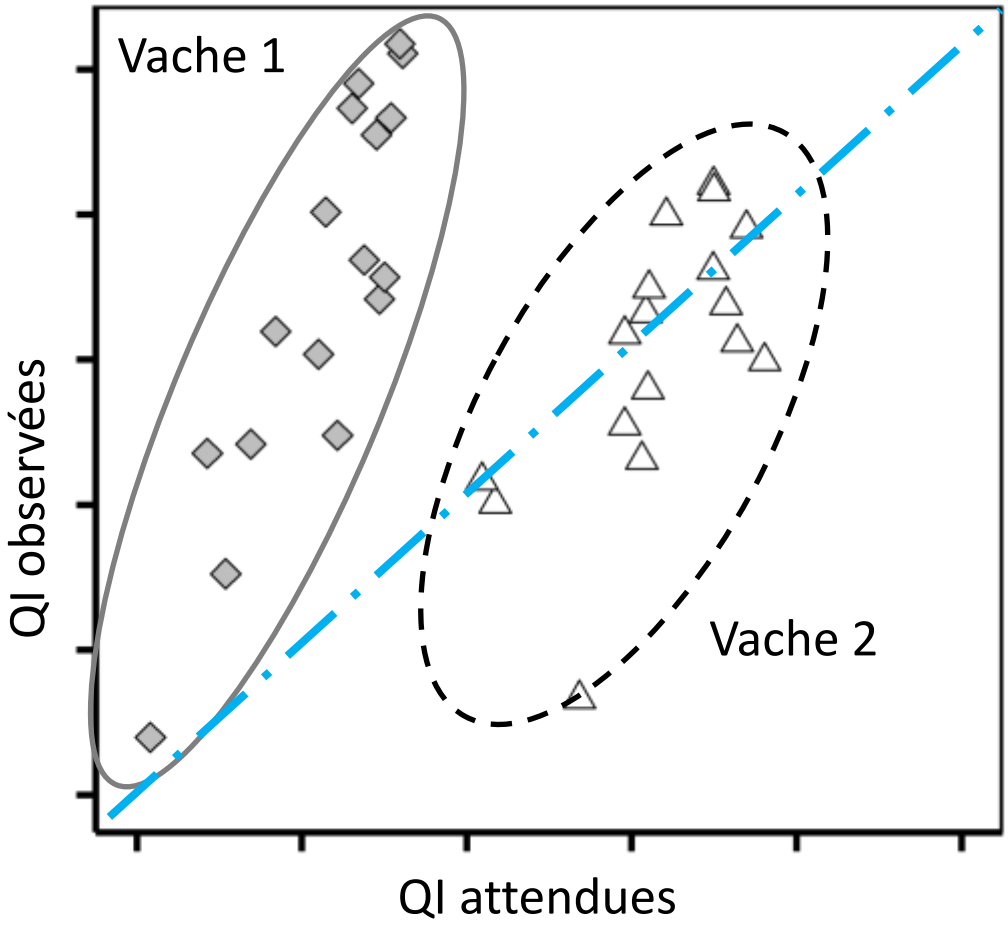
Erreur du modèle: **aléatoire**
au cours du temps

Utiliser des mesures répétées pour pouvoir caractériser l'effet individu

Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



Comment?

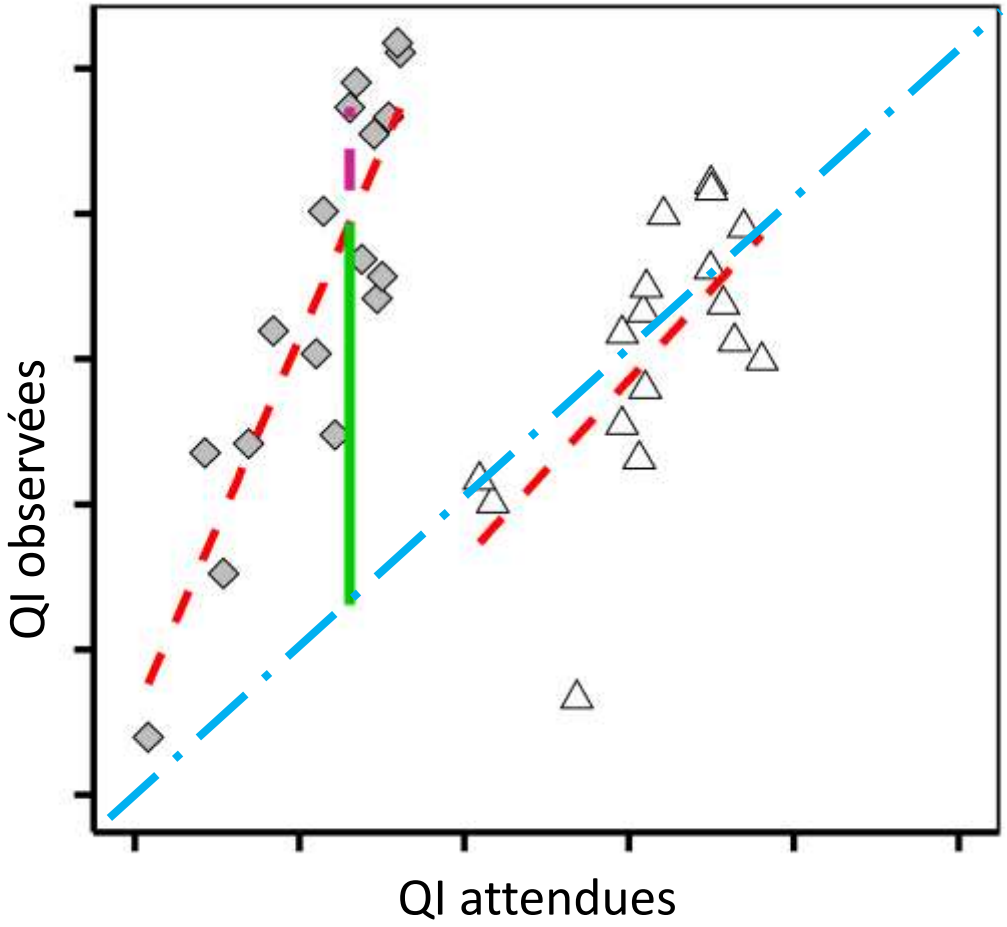
Utiliser des données répétées pour chaque vache:

17 quinzaines

Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



Effet individu?

➔Part individuelle

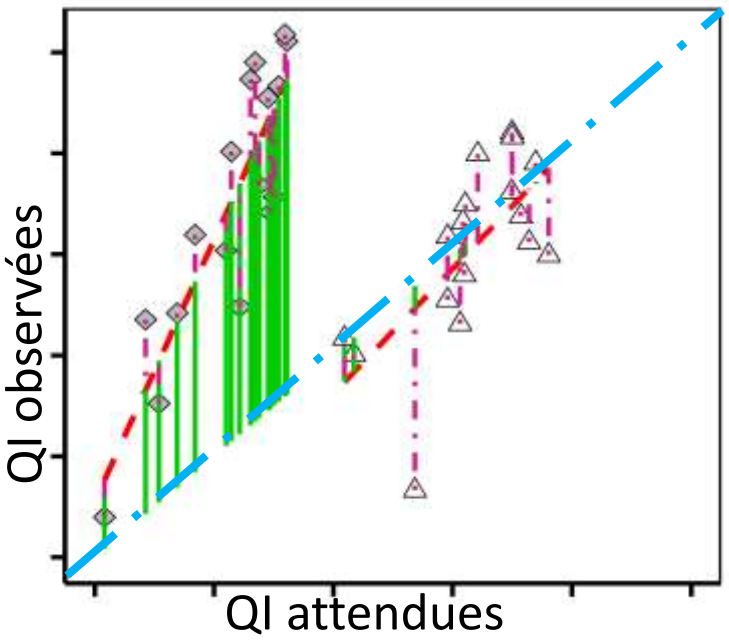
Erreur du modèle

Statistiquement
= modèle à effets aléatoires

Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



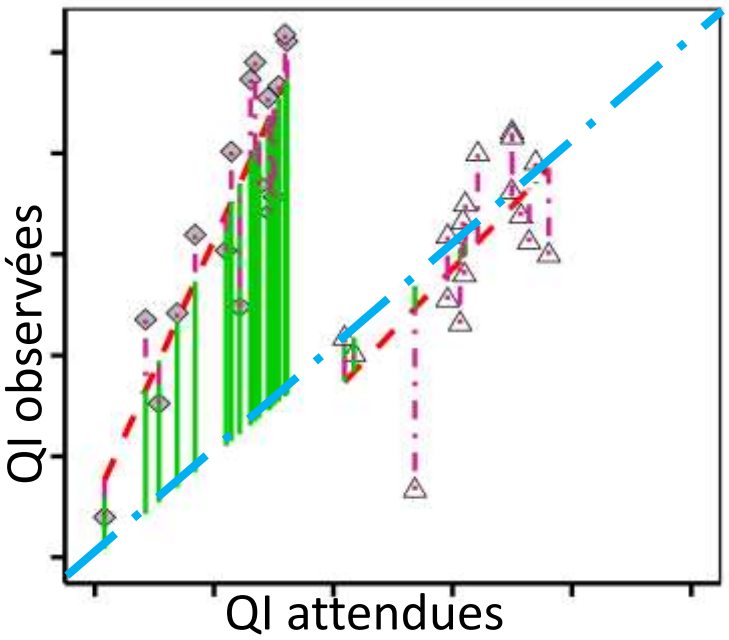
Statistiquement
= modèle à effet aléatoire

$$UFL_{ingérées} = (\mu_{moy} + \mathbf{\mu_{VL1}}) + (a_{moy} + \mathbf{a_{VL1}}) \times UFL_{lait} + (b_{moy} + \mathbf{b_{VL1}}) \times PV^{0,75} + (c_{moy} + \mathbf{c_{VL1}}) \times (\Delta NEC \times PV) + \varepsilon$$

Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



Statistiquement
= modèle à effet aléatoire

$$UFL_{ingérées} = (\mu_{moy} + \mathbf{\mu_{VL1}}) + (a_{moy} + \mathbf{a_{VL1}}) \times UFL_{lait} + (b_{moy} + \mathbf{b_{VL1}}) \times PV^{0,75} + (c_{moy} + \mathbf{c_{VL1}}) \times (\Delta NEC \times PV) + \varepsilon$$

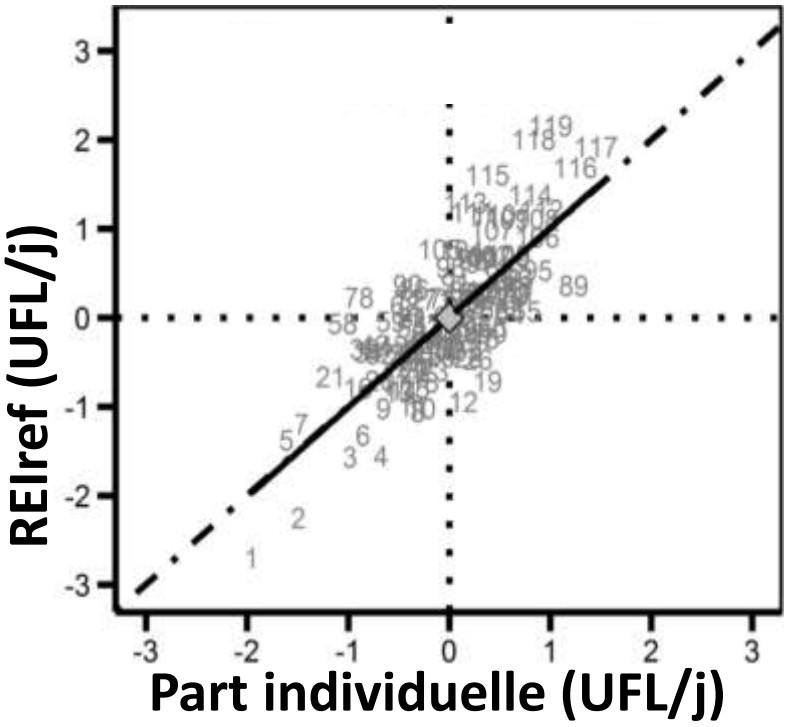
$$UFL_{ingérées} = \mu_{moy} + a_{moy} \times UFL_{lait} + b_{moy} \times PV^{0,75} + c_{moy} \times (\Delta NEC \times PV) + \mathbf{\mu_{VL1}} + \mathbf{a_{VL1}} \times UFL_{lait} + \mathbf{b_{VL1}} \times PV^{0,75} + \mathbf{c_{VL1}} \times (\Delta NEC \times PV) + \varepsilon$$

Part individuelle

Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



Variabilité interindividuelle ne représente que 59% de REIref, les 41% complémentaires sont de l'erreur du modèle

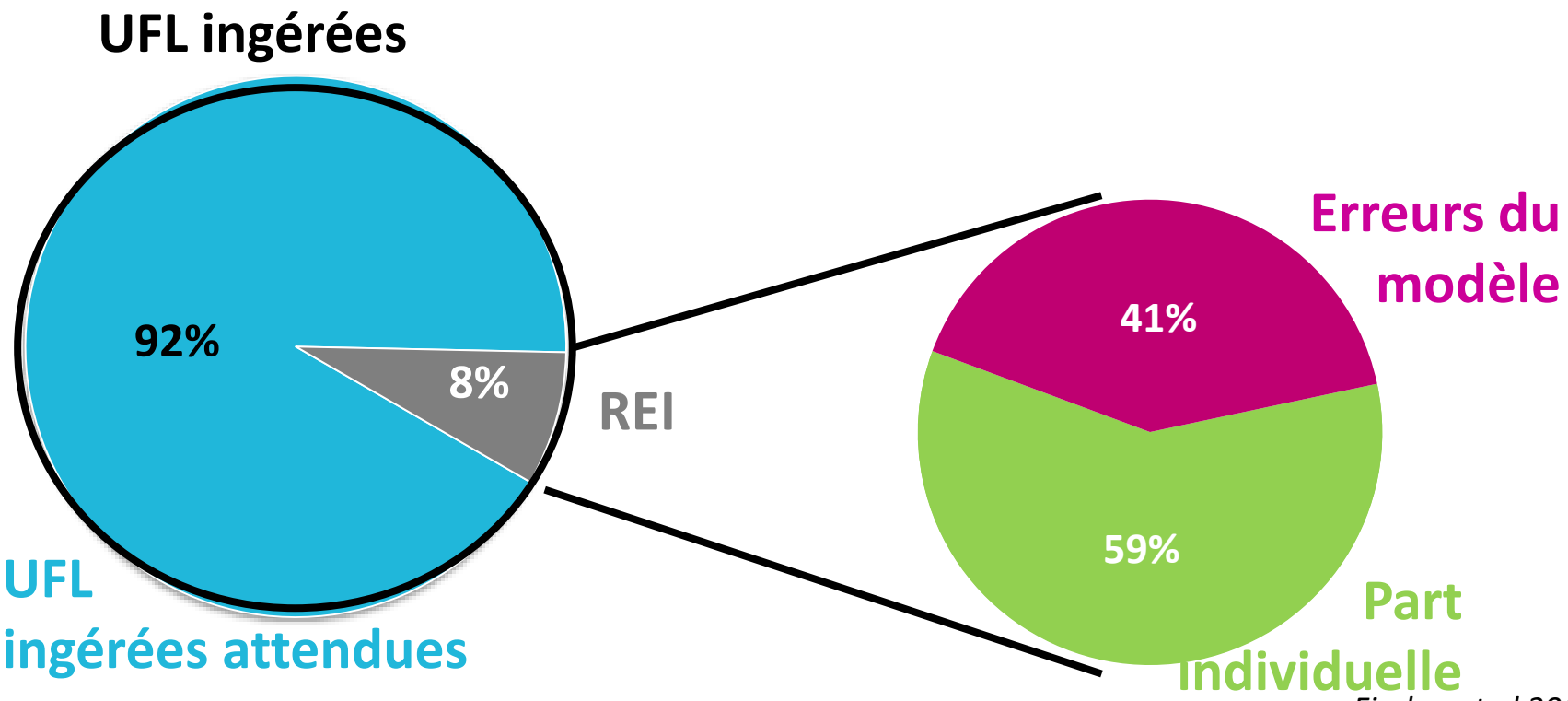
$R^2 = 0,59$

Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Conclusion

MODÈLE LINÉAIRE DE RÉFÉRENCE **MODÈLE À EFFET ALÉATOIRE**

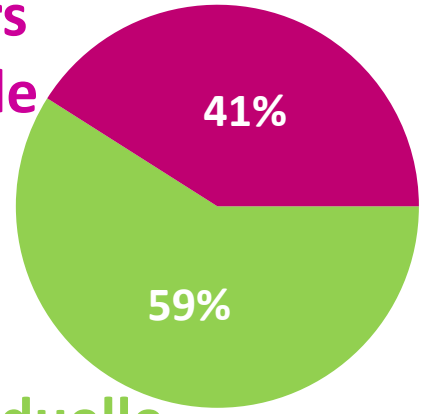


Fischer et al 2017

Isoler la variabilité individuelle du REI

Conclusion

Interprétation de la part « individuelle » du modèle:



Déterminants dont la variabilité individuelle n'est pas systématique sur chaque quinzaine

Ex: troubles de santé (mammites avec récidives)

Erreurs systématiques liées à l'individu

Ex: individu qui trie sa ration

➔ des données répétées

➔ variabilité intra-vache aussi forte qu'inter-vaches

Fischer et al 2017

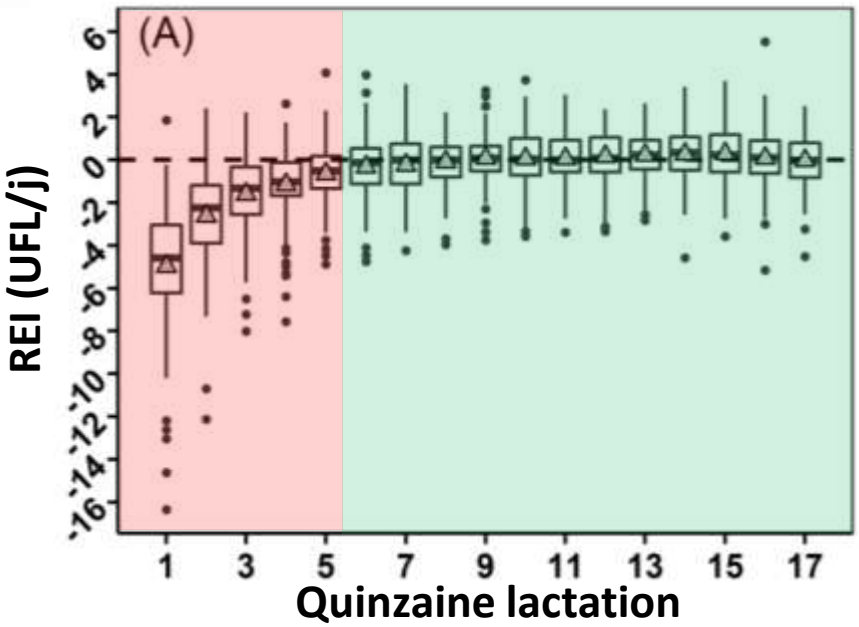
Estimer la variabilité interindividuelle de l'EA

Quelle période de mesure au cours de la lactation?



Le REI est-il répétable au cours de la lactation?

Résultats



Période instable	Période stable
REI très variable	**REI à variabilité faible et constante**
REI négatif en moyenne	**REI moyenne à 0**

Idem à Hurley *et al.* (2016), Mantysaari *et al.* (2012)

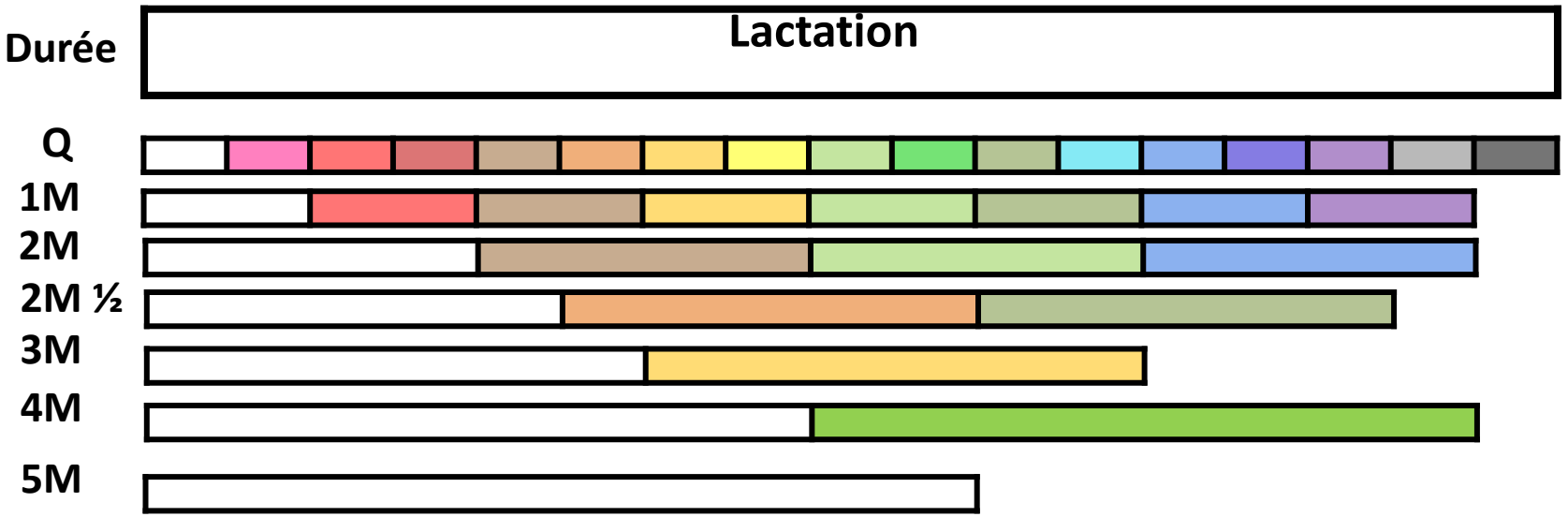
Fischer et al 2017

Identifier une période de mesure restreinte

Méthode

Comment?

- Scinder la lactation en sous-périodes de **différentes durées**

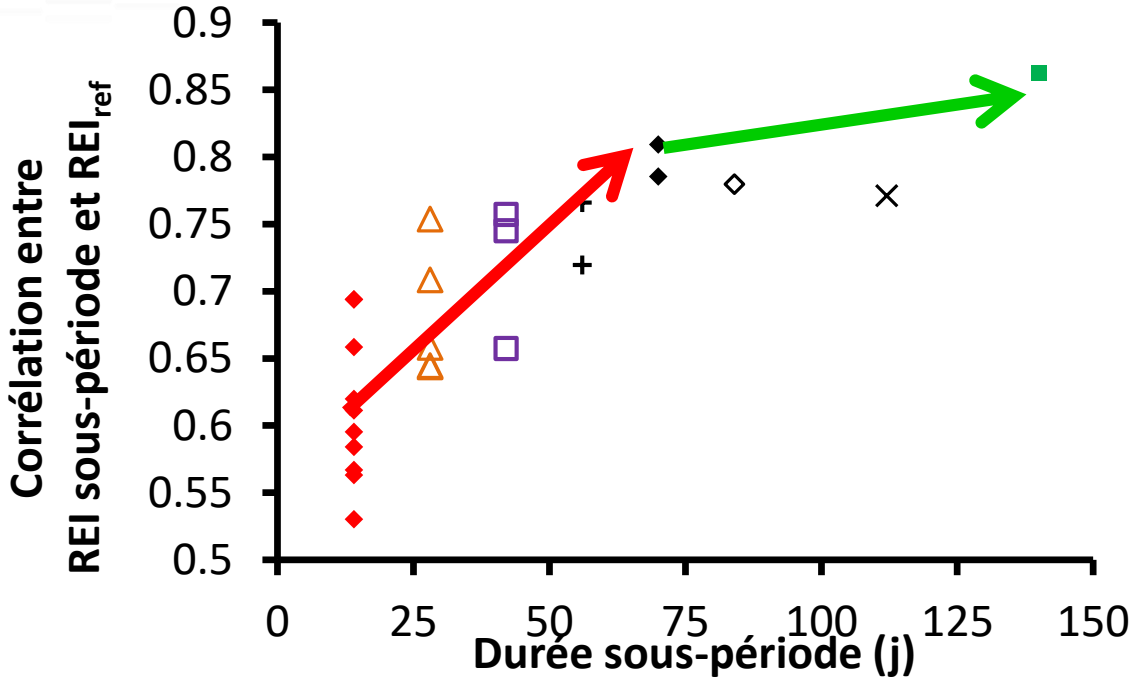


- Comparer les REI par sous-périodes avec REI_{ref}:
  corrélation et E.T.

Fischer et al 2017

Identifier une période de mesure restreinte

Résultats



- Plus la durée de la sous-période est grande, plus la corrélation est forte
- 2 phases:
  - Durée ≤ 2 mois: **forte augmentation corrélation**
  - Durée > 2 mois: **stabilisation corrélation**

Fischer et al 2017

Identifier une période de mesure restreinte

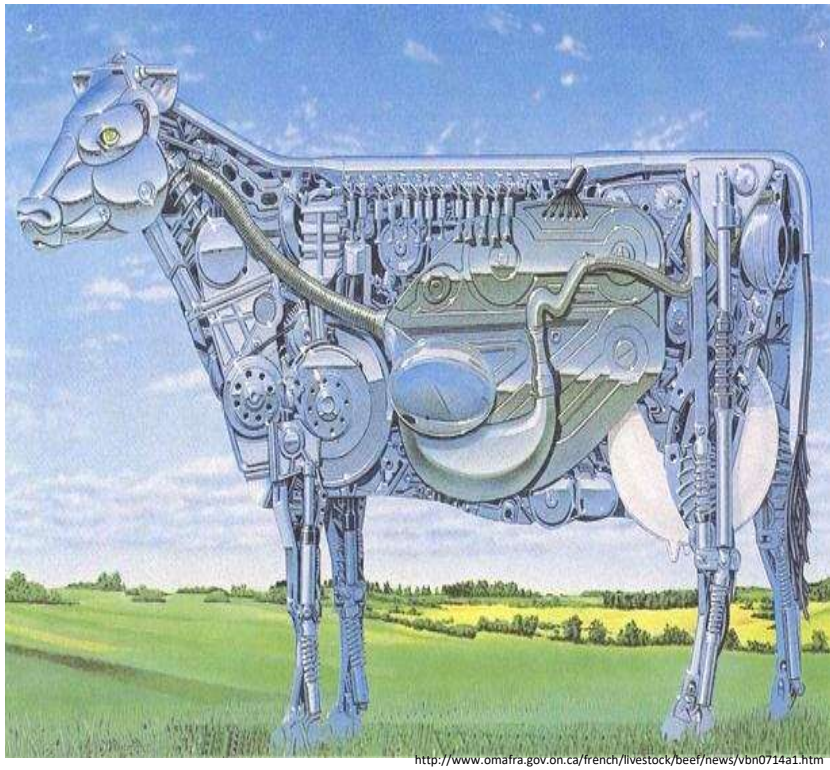
Conclusion

- REI: **faiblement répétable** au cours de la lactation
- REI **instable et biaisé sur les 70 1ers jours** de lactation
- Une période de **2,5 mois consécutifs** semble suffisante pour estimer un REI reflétant REI_{ref}

Difficile d'interpréter
la variabilité du REI
d'études basées en début de lactation
ou sur des périodes trop courtes

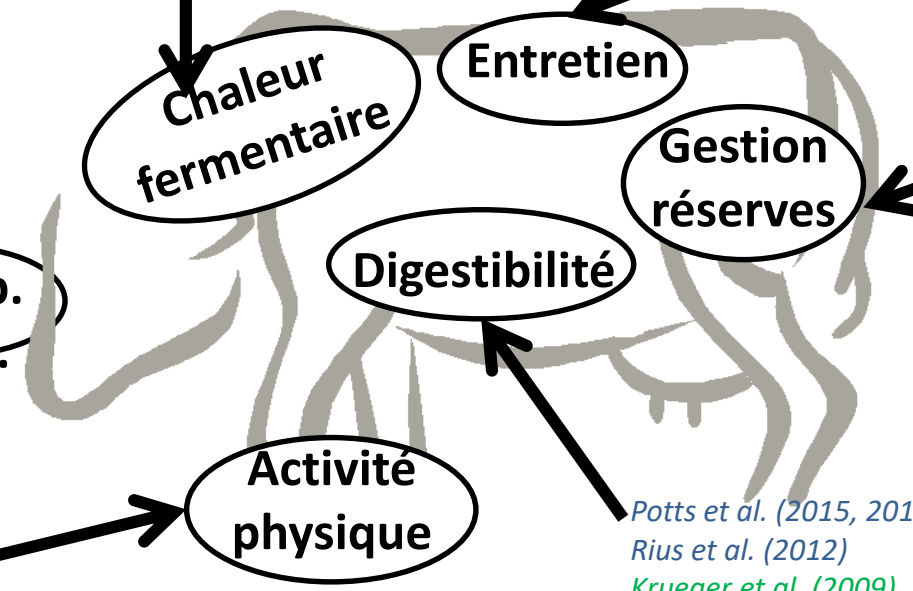
Fischer et al 2017

Identifier les mécanismes impliqués dans les variations d'EA



http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/beef/news/vbn0714a1.htm

Identification des mécanismes impliqués dans les différences d'EA



Xi et al. (2016)
Connor et al. (2013)
Pereira et al. (2016)
Fitzsimons et al. (2014)
Richardson and Herd (2004)
Meunier-Salaün et al. (2014)
Gilbert et al. (2017)
Tixier-Boichard et al. (2002)
Xu et al. (2016)

Digiacomo et al. (2014)
Martello et al. (2016)
Lam et al. (2016)
Richardson and Herd (2004)
Gilbert et al. (2017)
Tixier-Boichard et al. (2002)

Manafiazar et al. (2013)
Richardson and Herd (2004)
Dekkers et Gilbert (2010)
Gilbert et al. (2017)
Tixier-Boichard et al. (2002)

Xi et al. (2016)
Young et al. (2016)
Bergsma et al. (2009)
Gilbert et al. (2017)
Tixier-Boichard et al. (2002)

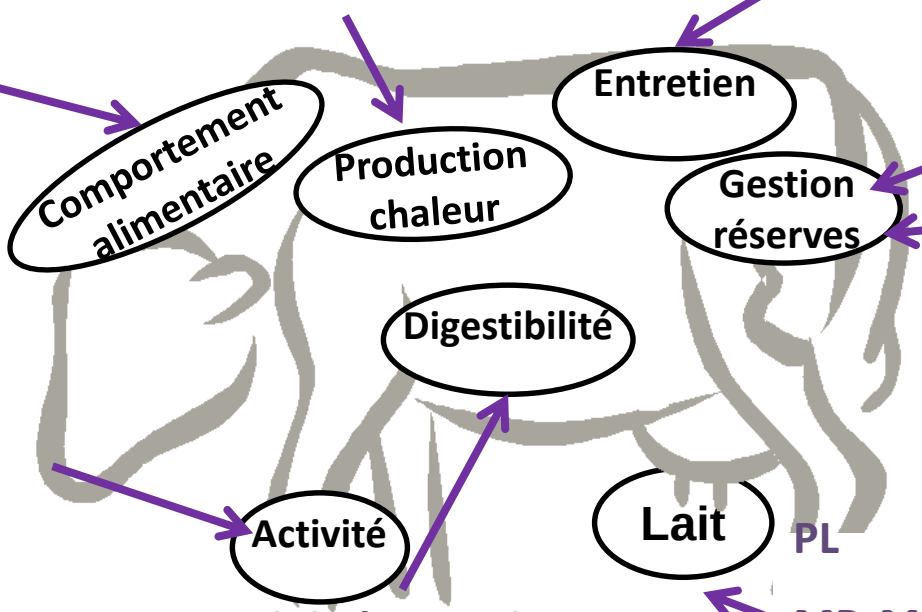
Connor et al. (2013)
Lawrence et al. (2012)
Richardson et al. (1999)
Richardson and Herd (2004)
Meunier-Salaün et al. (2014)
Gilbert et al. (2017)
Tixier-Boichard et al. (2002)

Potts et al. (2015, 2017)
Rius et al. (2012)
Krueger et al. (2009)
Richardson and Herd (2004)
Mauch et al. (2014)
Gilbert et al. (2017)

Fischer et al 2017

Identifier les mécanismes

Dispositif expérimental



Medria

1/5 minutes

Température rumen

PV ***1/jour; matin***

Durée Ingestion
Durée rumination

1/5 minutes

Medria

NEC ***1/mois***

AGNE, glucose

1/mois physiologique

Durée suractivité, repos, autre, debout

1/5 minutes

Medria

PL ***2 traites/jour***

MP, MG ***4 traites/semaine***

Lactose ***2 traites/semaine***

Digestibilité MS indirecte

2 points après 150j lactation

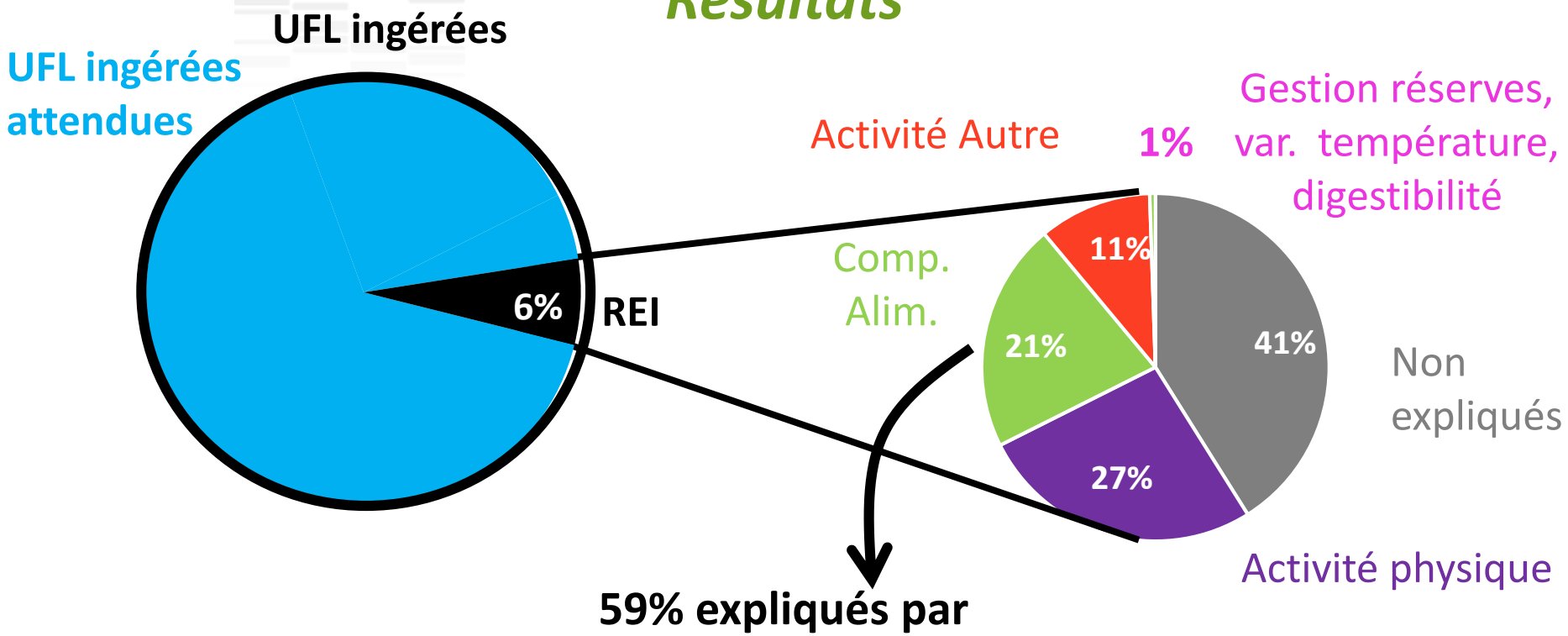
Mesure des émissions CH4

Uniquement les 60 vaches de Méjusseaume

Fischer et al 2017

Identifier les mécanismes

Résultats



59% expliqués par
le comportement alimentaire, l'activité physique et l'activité autre

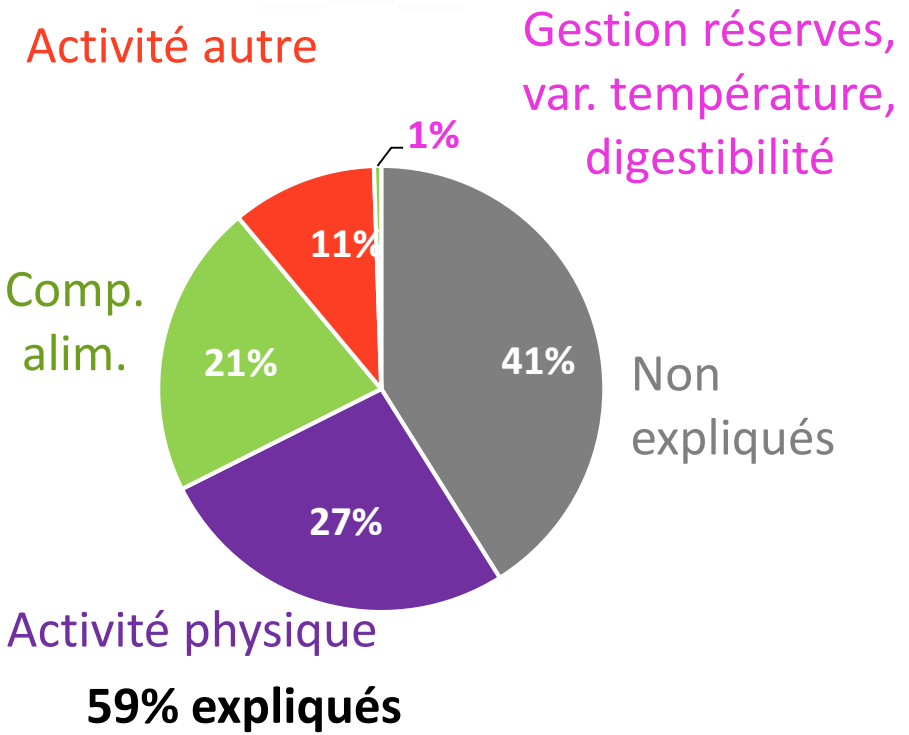
Digestibilité et la gestion de température explique peu de REI:

➔ Covariance avec variables comportement et activité?

Fischer et al 2017

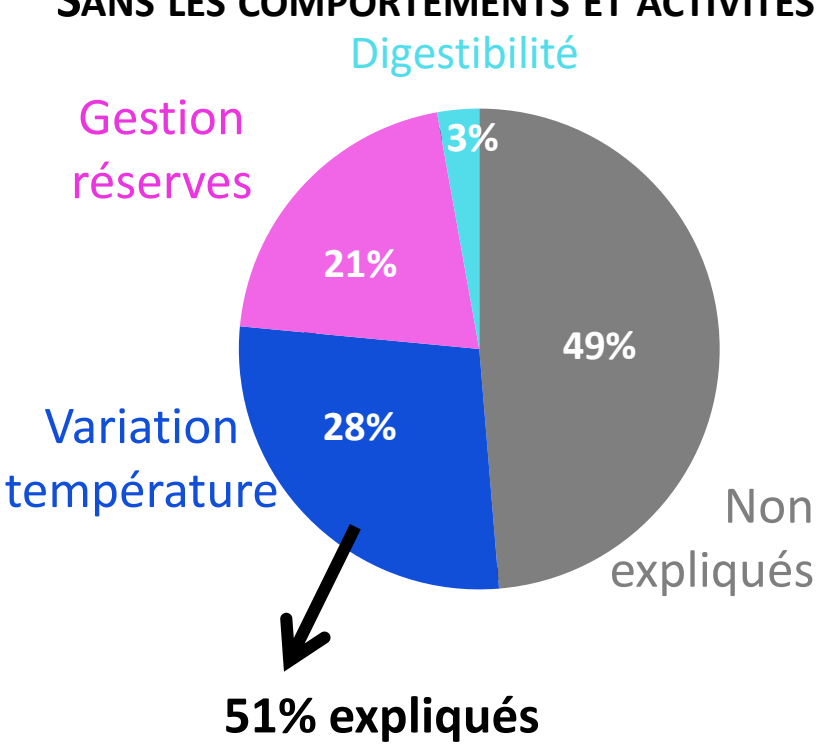
Identifier les mécanismes

Résultats



59% expliqués

SANS LES COMPORTEMENTS ET ACTIVITÉS

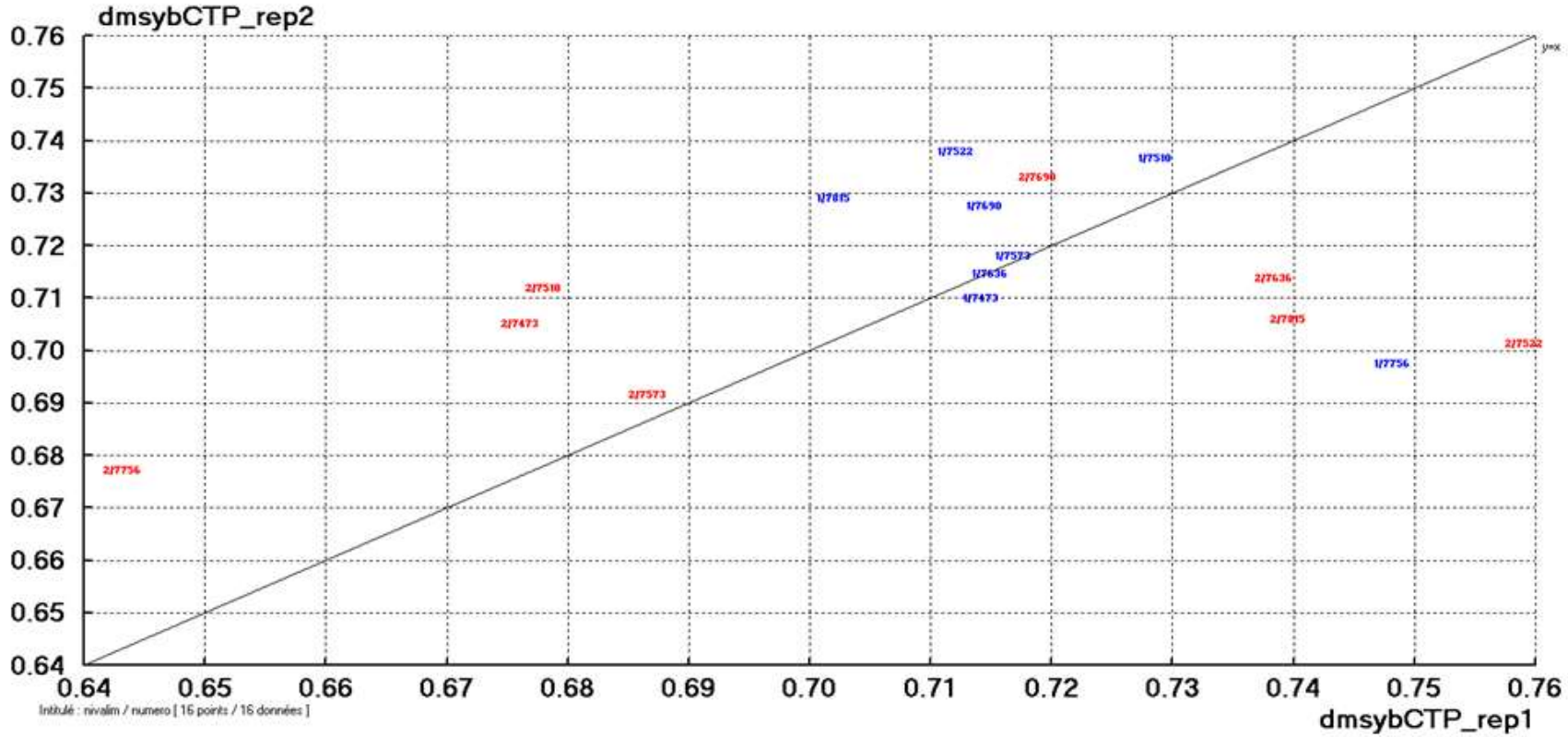


51% expliqués

➔ Il y a **redondance** entre les variables comportement/activité et digestibilité, température et gestion des réserves

Fischer et al 2017

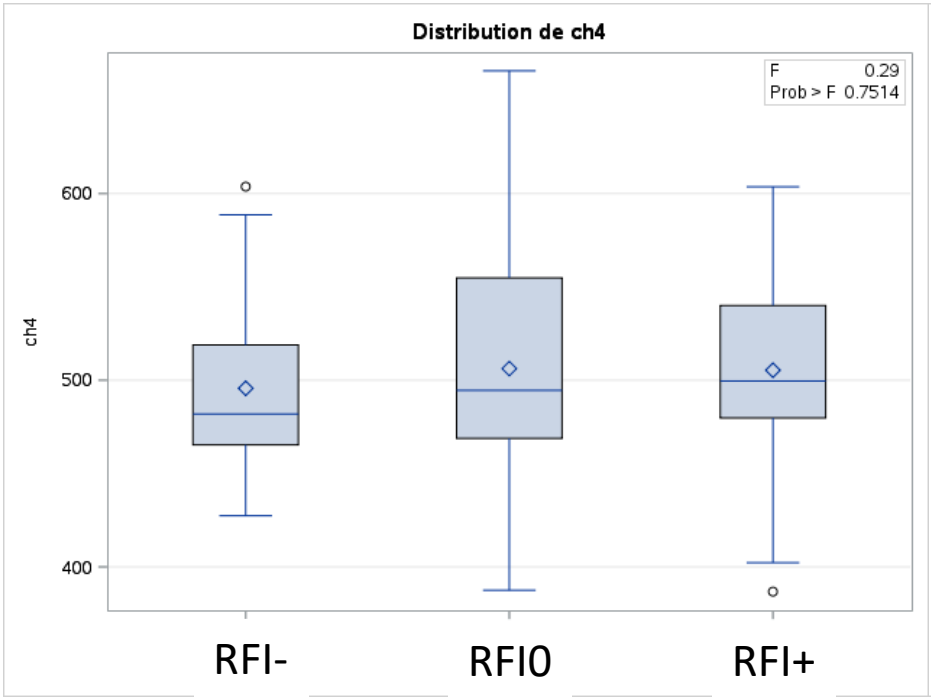
Une mesure de la digestibilité par marqueur moins répétable que les différences interindividuelles



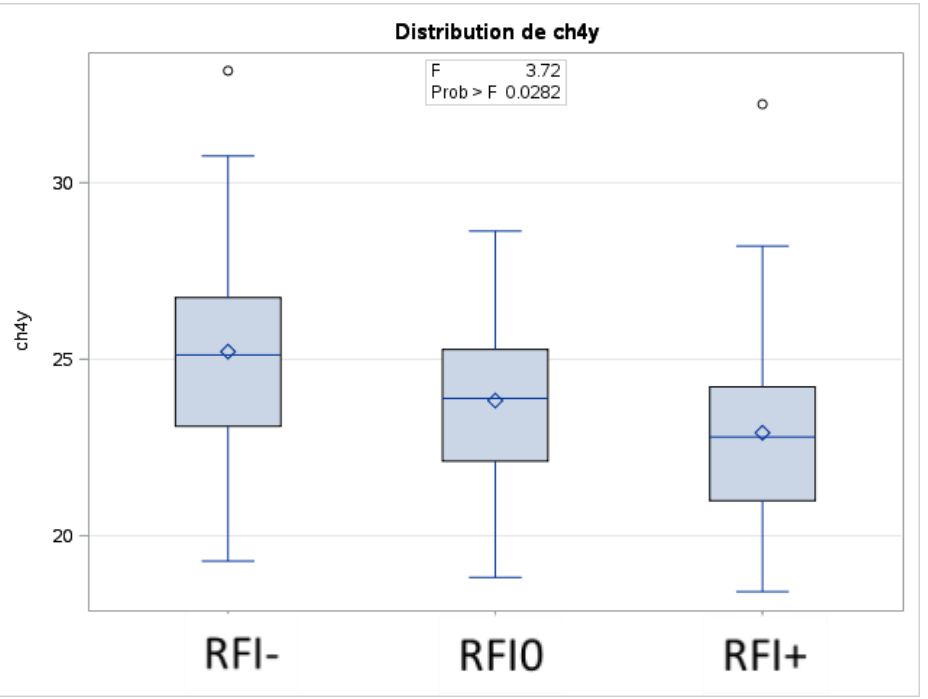
Delagarde et al np

Les vaches les plus efficientes n'émettent pas moins de CH4

Emissions totales par jour



Emissions par kg d'aliment



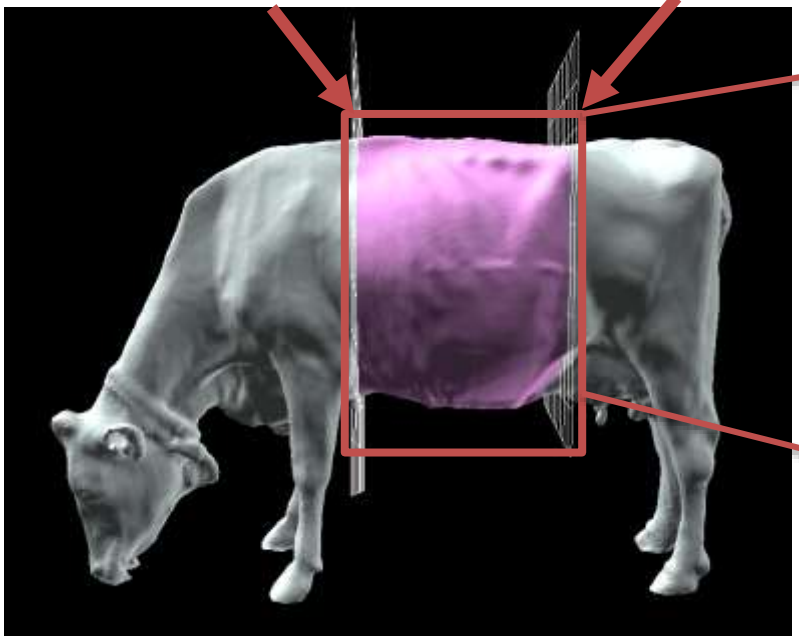
Les vaches les plus efficiences semblent mieux digérer la ration *Fischer et al 2019*

Volume de l'abdomen

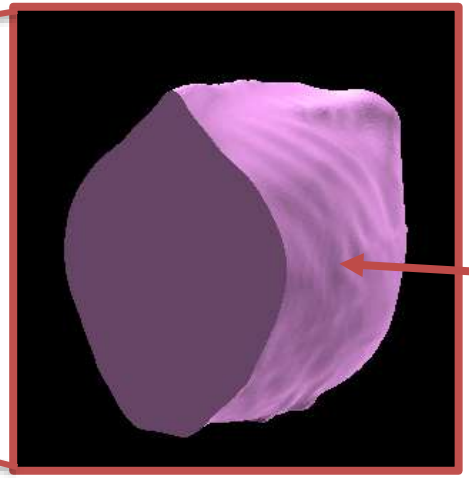
Plans orthogonaux au sol

Arrière des pattes avants

Pointes des hanches



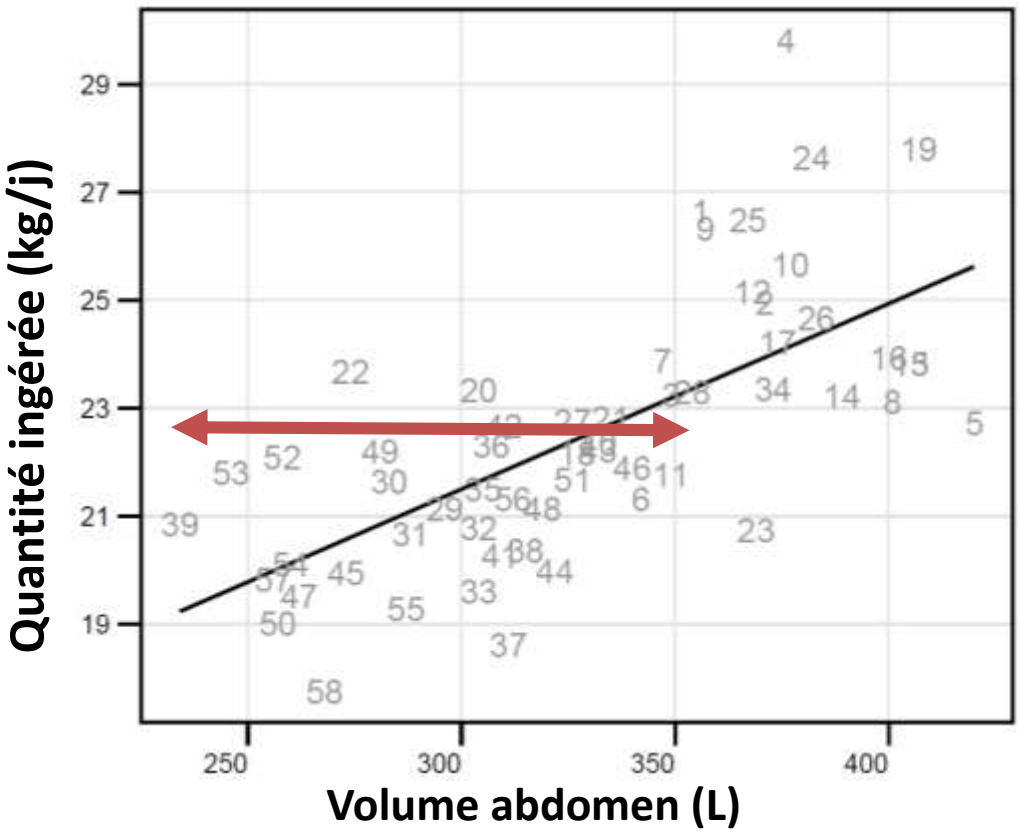
Entier



Le rumen se situe dans la partie gauche de l'abdomen

Xavier et al 2019

Les quantités ingérées sont liées au volume de l'abdomen, mais avec une variabilité importante



$R^2 = 0,44$

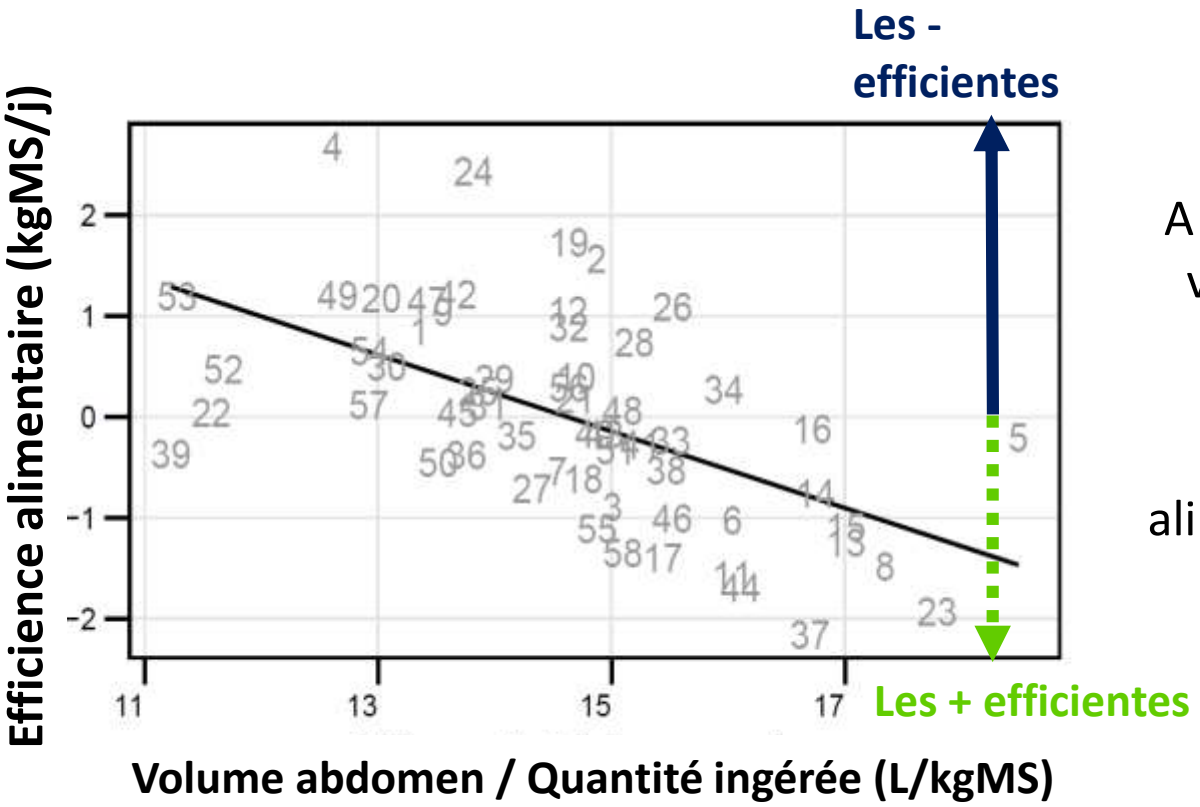
Erreur résiduelle = 1,79 kg de MS

Faible erreur de prédiction

A même quantité ingérée : grandes différences de volume d'abdomen

Xavier et al 2019

Un temps de séjour plus important pour des vaches plus efficientes



$R^2 = 0,31$

A **même quantité ingérée**, vaches qui ont les **+ gros volumes** sont les **+ efficientes**

➔ Temps de séjour des aliments dans le rumen + long ?

⇩

Digestibilité + importante ?

⇩

Meilleur efficience ?

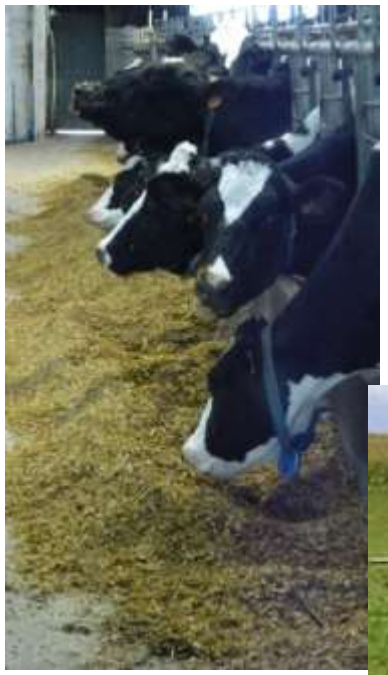
Xavier et al 2019

Identifier les mécanismes

Conclusion

59% des différences d' **Efficience alimentaire** expliqués par:

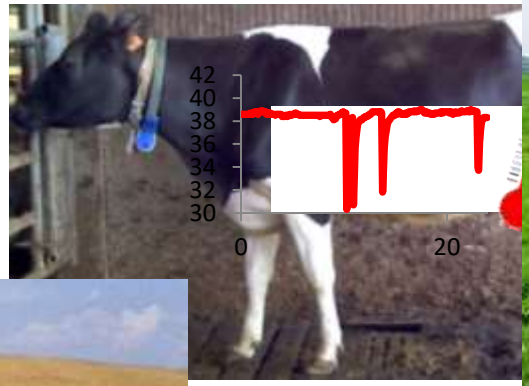
Comportement alimentaire



Activité physique



Variation temp. rumen



Digestibilité



Fischer et al 2019

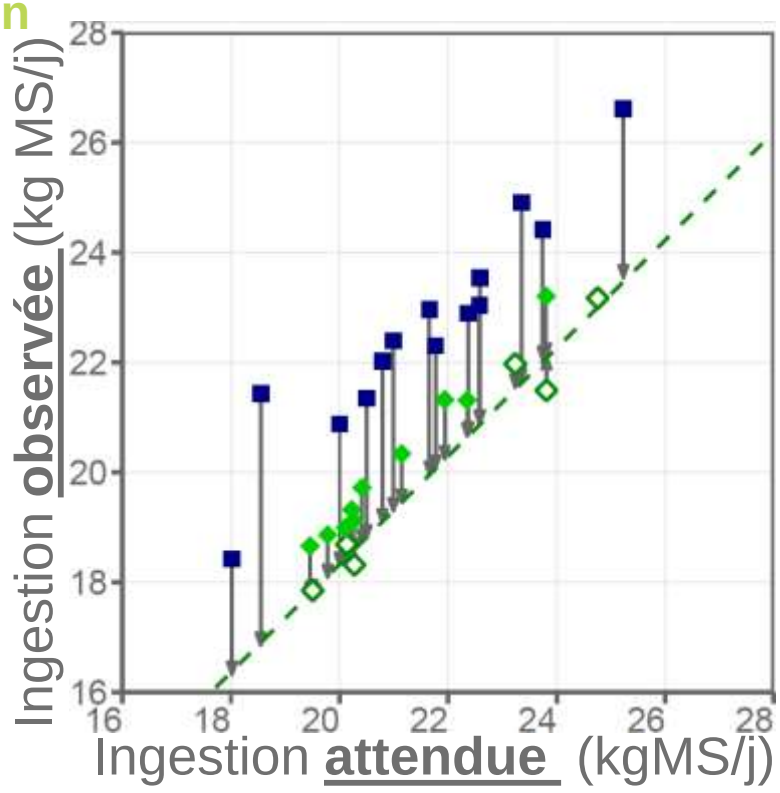
La surconsommation peut-elle être une cause d'inefficience?

Méthodes

Restriction alimentaire de précision

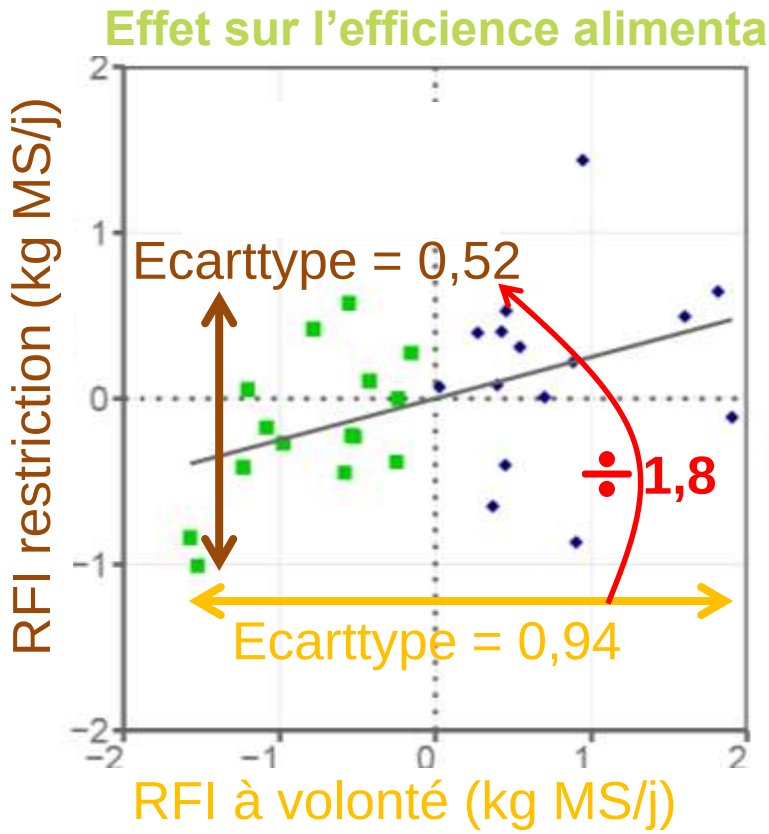
1. Estimer l'efficience en alimentation A volonté
2. Identifier les vaches les **15 plus** et les **15 moins** efficientes
3. Estimer l'ingestion attendue des **6 vaches les plus efficientes**
4. Estimer la restriction: ramener toutes les vaches au **niveau d'ingestion des 6 plus efficientes**

Restriction plus forte pour les moins efficientes



Fischer et al 2019

La restriction alimentaire des vaches inefficientes réduit beaucoup les écarts d'efficience



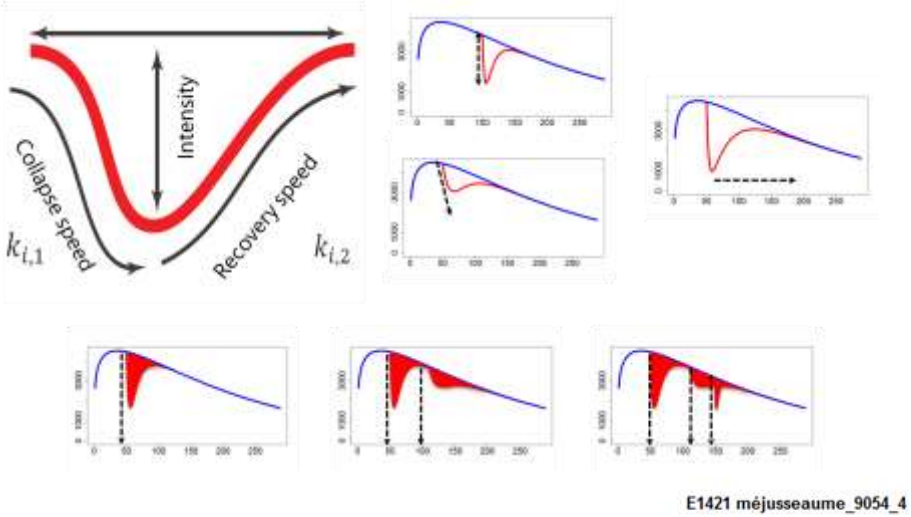
- **Le classement d'efficience tend à être maintenu**
- **Restriction de précision a réduit la variabilité par 1.8**
- **Très faible variabilité durant restriction**

Peut-on encore considérer que les vaches sont différentes en efficience alimentaire ?

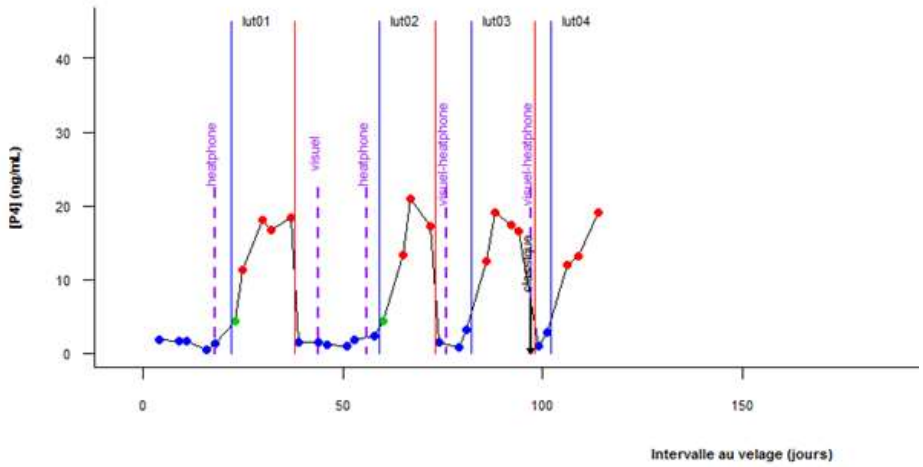
Fischer et al 2019

Impacts sur les autres fonctions : à suivre

- **Suivi de la santé**
  - **Analyse des perturbations des courbes de poids, de lait et de température**
  - **Fréquences des pathologies cliniques**



- **Suivi de la reproduction**
  - **Analyse de la réussite à la reproduction**
  - **Analyse de la cyclicité (P4)**
  - **Analyse de l'expression des chaleurs (ovulation non détectée)**



En conclusion provisoire sur l'efficience des vaches laitières

- Une évaluation de l'efficience compliquée par la dynamique de lactation :
  - le milieu de lactation semble la période la plus favorable
  - Une durée minimale de 2 mois de mesure est nécessaire
  - Les modèles mixtes permettent de mieux préciser la composante individuelle
- Une variabilité moins importante que pour d'autres animaux d'élevage
  - La croissance permet-elle plus de degré de liberté que la production de lait?
- Comme dans d'autres espèces, les causes sont multiples et peuvent être corrélées (digestion et comportement alimentaire par exemple)
- Le phénotypage à haut débit permet de mieux étudier la diversité des mécanismes impliqués
- La digestion et la gestion des réserves sont 2 mécanismes clés pouvant expliquer les différences d'efficience mais ce sont aussi les plus difficiles à étudier
  - Le phénotypage morphologique semble apporter des pistes originales
- La restriction alimentaire des vaches inefficientes réduit beaucoup les écarts d'efficience : → l'alimentation de précision pourrait améliorer l'efficience

En conclusion du projet

- Un projet partenarial riche et original dans son approche, fruit des UMT RIEL et 3G (PEGASE, GABI, MOSAR, PRC, UE Le Pin, 3D Ouest, Idele + CA49, FCEL + BCLouest, Apis-Gène, InVivoNSA)

- Une forte mobilisation des outils expérimentaux INRA (Méjusseaume 5 essais, Le Pin essai pluriannuel) et Trinottières (CA 49, Essai 2 ans)

- Une question de recherche aux retombées potentiellement importante sur de nombreux domaines : économie, environnement, alimentation.

- Une approche très pluridisciplinaire combinant expérimentation et modélisation

- Production d'une base de données très riche sur le phénotypage et génotypage des vaches laitières utile pour de futurs projets

- Une étape importante vers l'élevage de précision
  - → Possibilité de sélection génomique
  - → Interprétation du monitoring en continu de nouveaux phénotypes