



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'efficacité 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

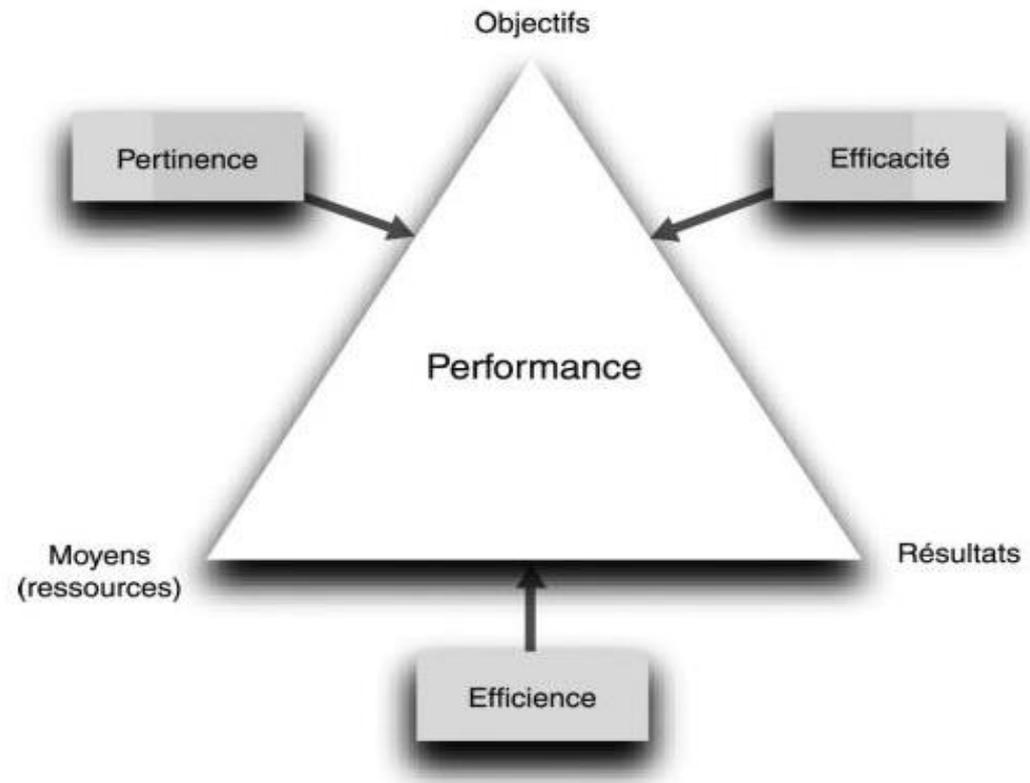
- Pertinence
- Niveau d'organisation élevé vers des niveaux inférieurs

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

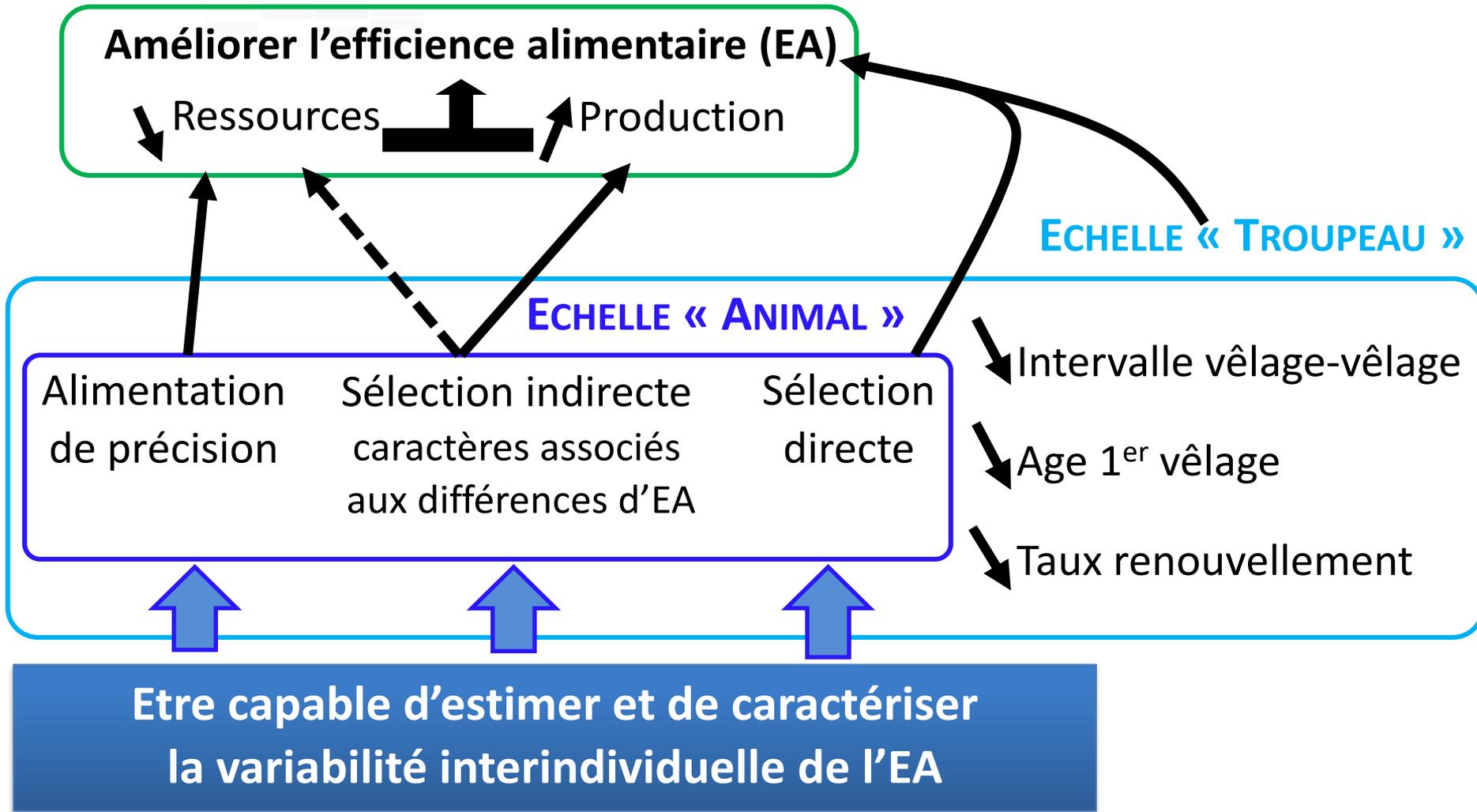
- Efficacité
- Niveaux d'organisation bas vers des niveaux supérieurs



Le système alimentaire mondial

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

Améliorer l'efficacité alimentaire



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'efficacité sans perdre en santé, bien-être et reproduction des animaux

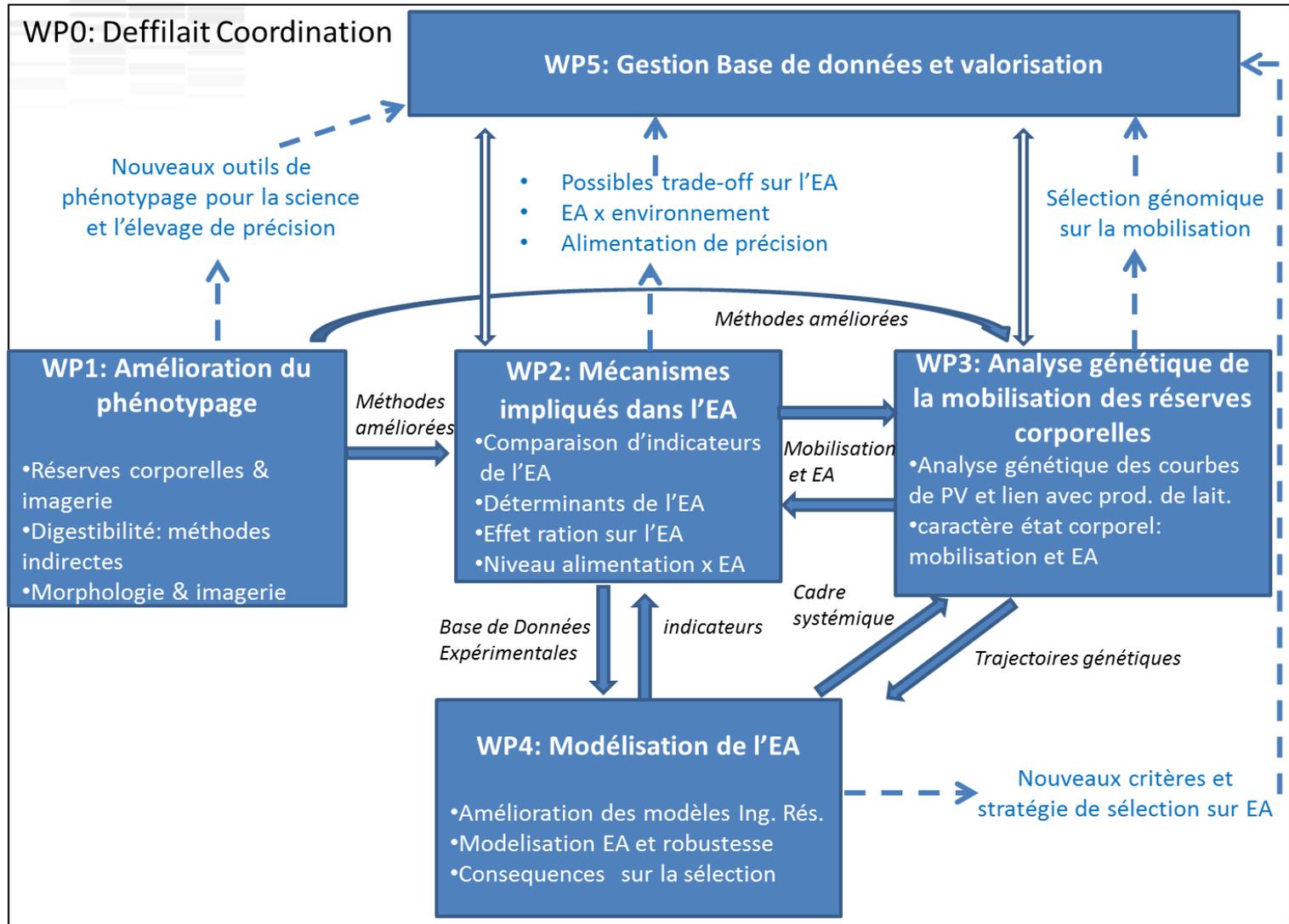
- ❖ Etude plus particulière du caractère de mobilisation des réserves lipidiques et de ses déterminants génétiques
 - équations de sélection génomique pour éviter que les vaches laitières perdent trop d'état en début de lactation.

- ❖ 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

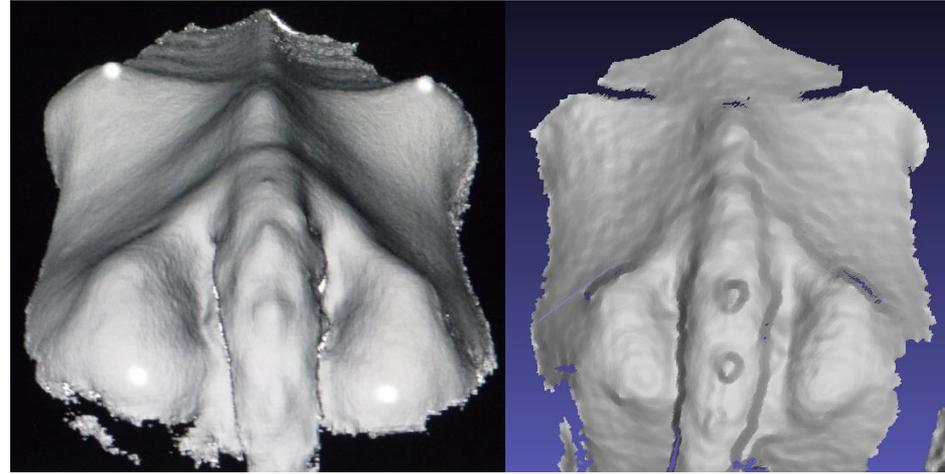


Phénotypage à haut-débit des vaches laitières

- 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

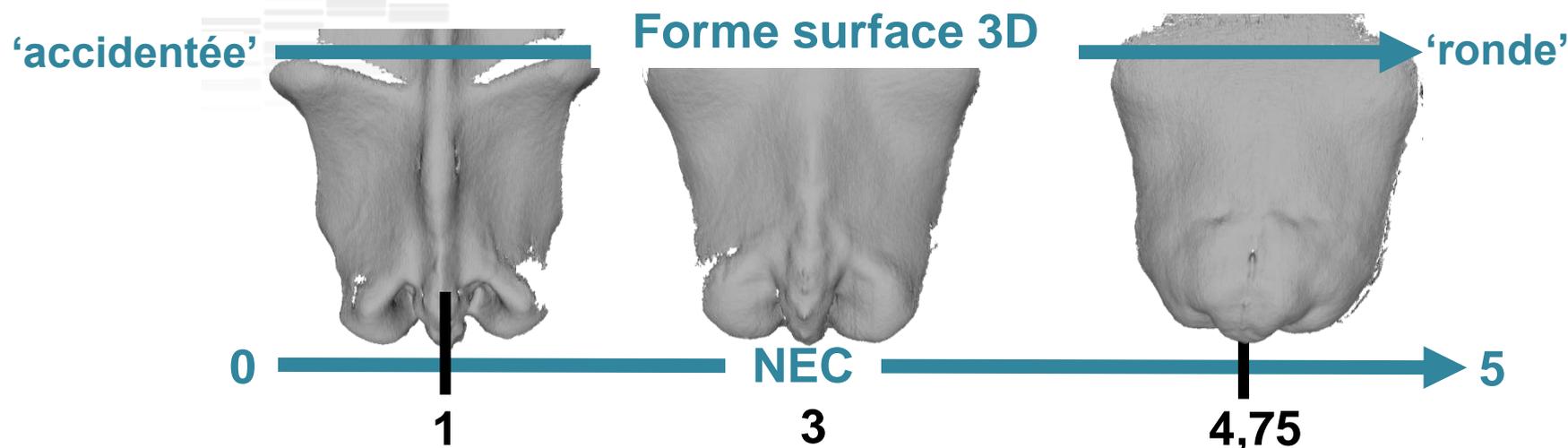


- ❖ Les variations des réserves sont un enjeu fort dans la recherche d'animaux plus efficaces
 - ❖ Ne pas confondre l'utilisation des réserves comme une meilleure efficacité
 - ❖ Risque d'une mobilisation accrue sur la santé et la reproduction
 - ❖ Enjeu de bien-être

- ❖ 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

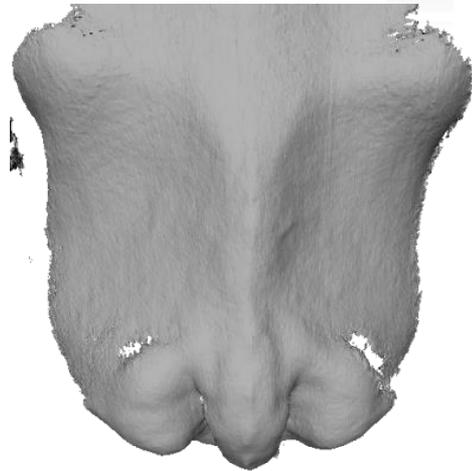
- ❖ Besoin de méthode sensible, rapide, répétable pour évaluer l'état corporel
 - ❖ L'imagerie 3D offre des perspectives intéressantes.

Notation automatique de l'état corporel

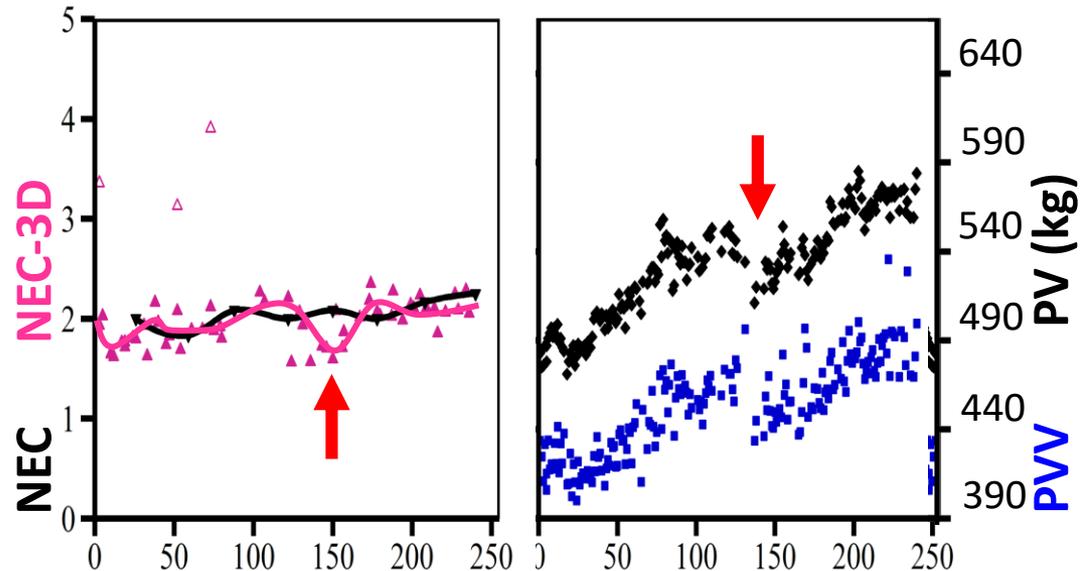


- *Estimer la NEC par imagerie 3D:*
Développer et valider une méthode automatique
qui estime la NEC à partir de la forme en 3D du bassin
de vaches Prim'Holstein
- **Tester l'utilisation en routine**

Estimation fine de l'état corporel



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



- **Détecte plus finement les variations** de réserves corporelles que la NEC classique
- Mais qui **nécessite des améliorations technologiques mineures** pour l'utilisation à haut débit

Outils d'étude de la morphologie



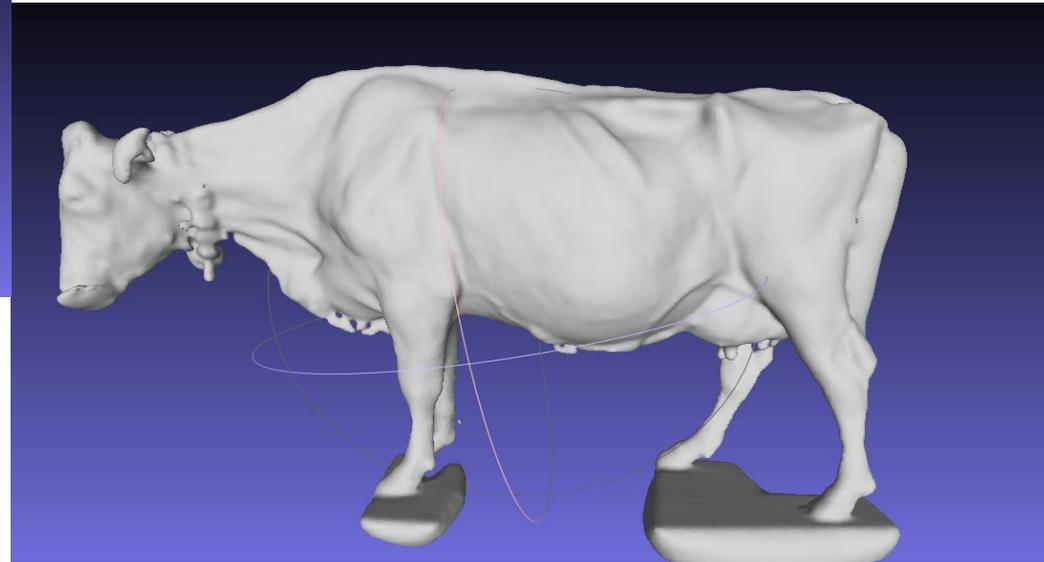
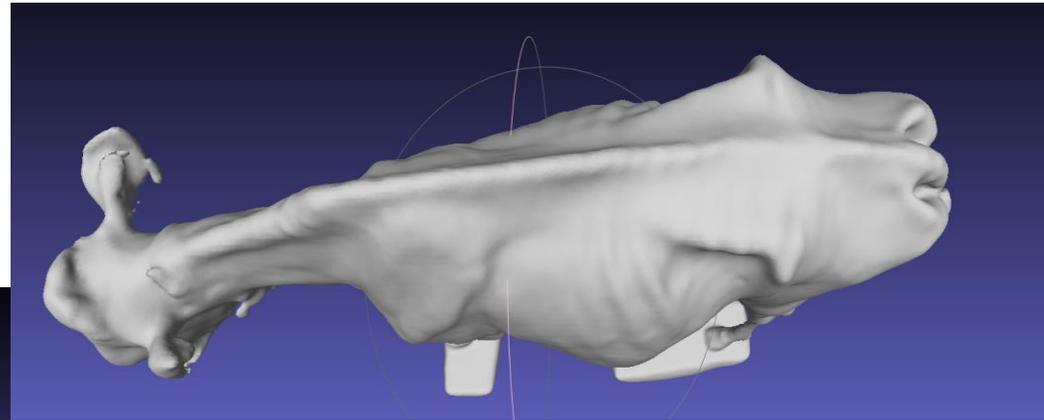
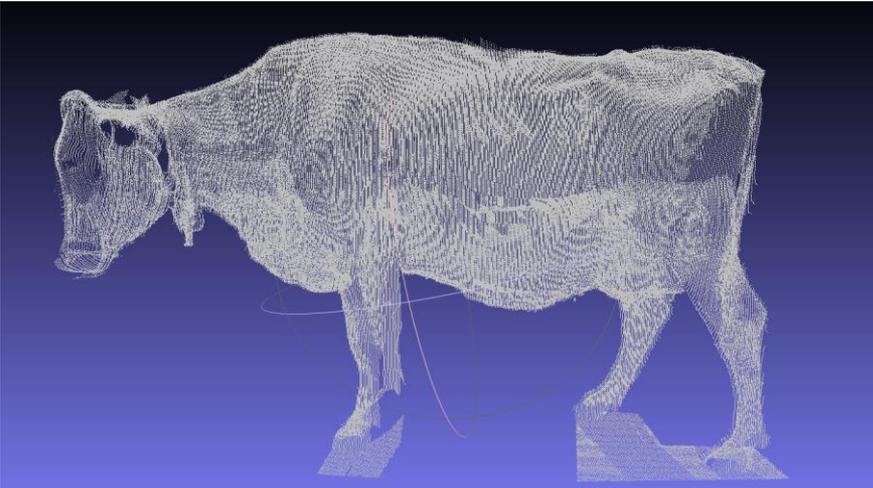
- ❖ Dans les caractères liés à l'efficacité, la morphologie peut être une source de variation
 - ❖ Muscularité ou adiposité plus ou moins grande
 - ❖ Développement des pre-estomacs plus ou moins grand
 - ❖ Possibilité de dissiper les calories plus ou moins facilement (rapport volume/surface)

 - ❖ 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
- Comparaison des mesures sur images 3D avec des mesures manuelles



Images 3D du portique



Validation des distances sur la formes 3D

- Correlations élevées entre mesures **Manuelles et Morpho3D**
- CVr & CVR < 3 : bonnes répétabilité et reproductibilité
- Techniques non invasives , sans risque pour l'homme et l'animal, utilisables à haut débit
- Possibilité de conserver les images pour des traitements ultérieurs

		Répétabilité			Reproductibilité	
		μ_r (cm)	σ_r	CV _r (%)	σ_R	CV _R (%)
Hauteur Garrot	Manuel	129.1	1.04	0.80	1.07	0.72
	Morpho3D	131.1	0.34	0.26	2.12	1.42
Largeur hanches	Manuel	39.8	0.35	0.88	1.01	1.82
	Morpho3D	39.9	0.67	1.68	0.55	0.94
Tour de poitrine	Manuel	194.2	0.21	0.11	0.49	0.62
	Morpho3D	195.8	1.89	0.97	0.92	1.09

Mécanismes impliqués dans l'EA

(Méjusseume et Trinottières)

- ❖ L'EA est un critère très global dont la variabilité peut s'expliquer par différents mécanismes physiologiques.
 - ❖ RFI semble une approche largement utilisée pour évaluer l'efficacité aujourd'hui, mais différents modèles existent :
 - ❖ Quel modèle pour évaluer l'efficacité 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'efficacité alimentaire est-elle modifiée par les situations alimentaires ?

L'estimation du REI

Premiers résultats

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

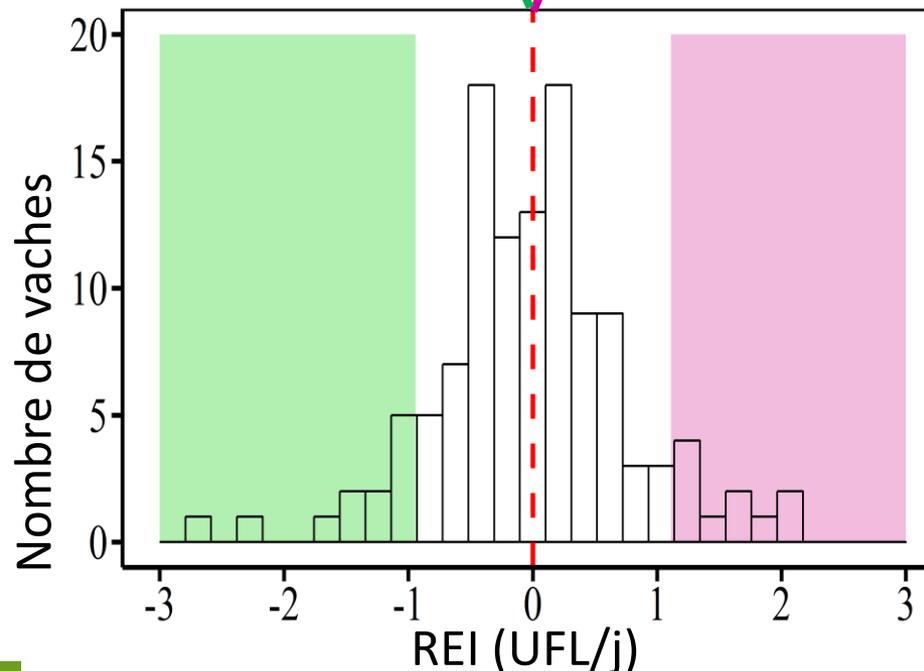
→ EA ne représente que 8% de la variabilité des UFL ingérées

À même besoin, mangent
1,4 UFL /j en moins

À même besoin, mangent
1,5 UFL/j en plus

10% plus efficaces

10% moins efficaces



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

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

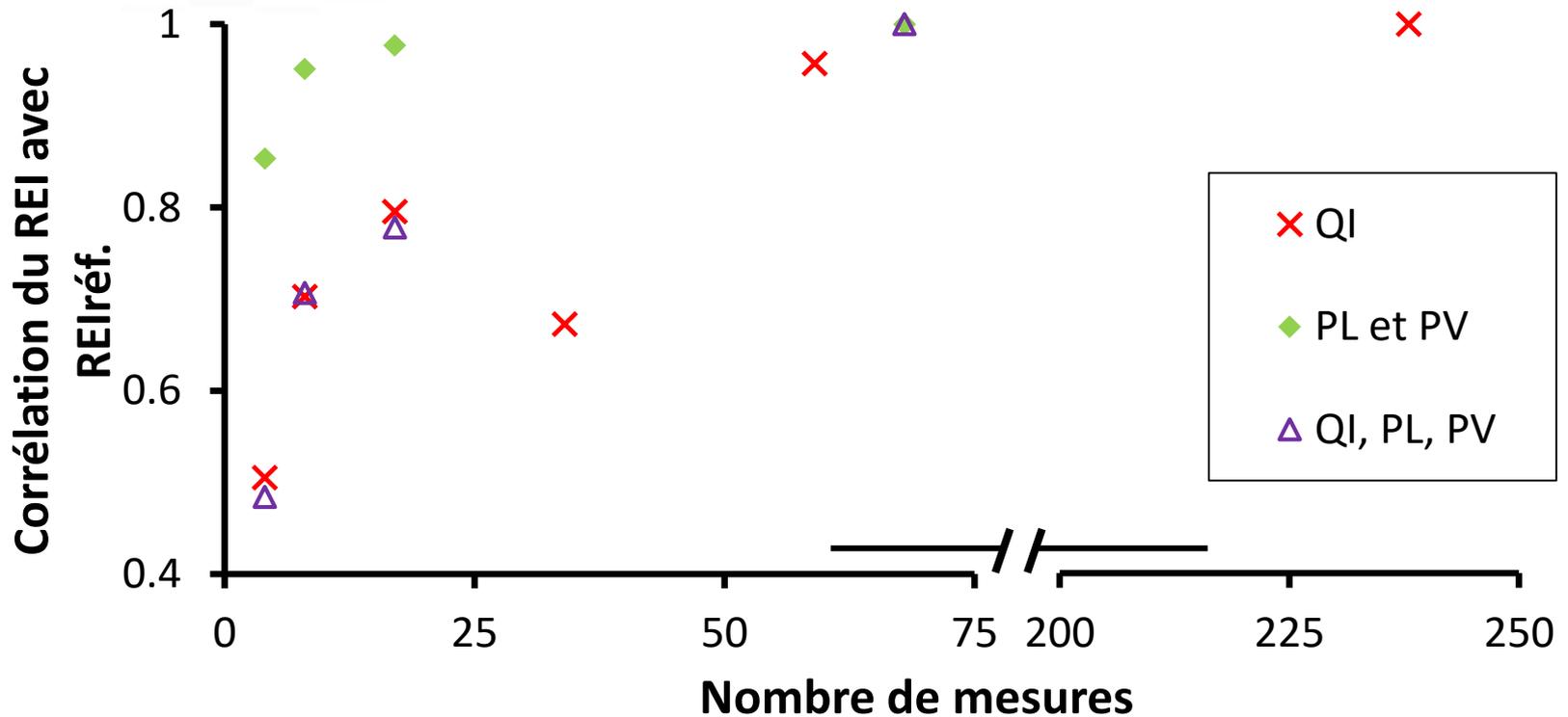
Références	Mesure ingestion		Mesure variables	Var. REI
	Freq.	type		
Fischer <i>et al.</i> (2017)	1/j	Direct	2/sem.	0,08
Xi <i>et al.</i> (2016)	1/j	Direct	Sem.	0,15
Connor <i>et al.</i> (2013)	1/j	Direct	Quinz.	0,28
Manafiazar <i>et al.</i> (2013)	1/j	Direct	Mois	0,32
Hurley <i>et al.</i> (2016)	1/2mois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

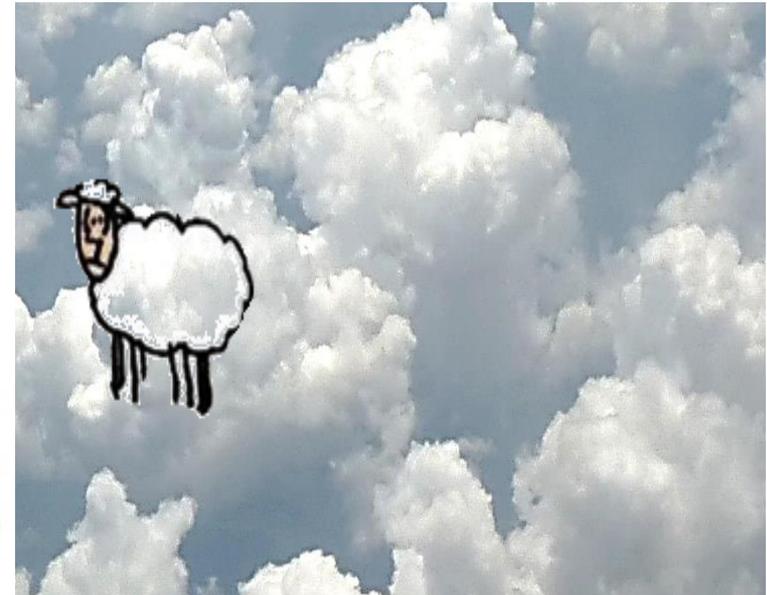
L'estimation du REI

Premiers résultats



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

Estimer la variabilité interindividuelle de l'EA



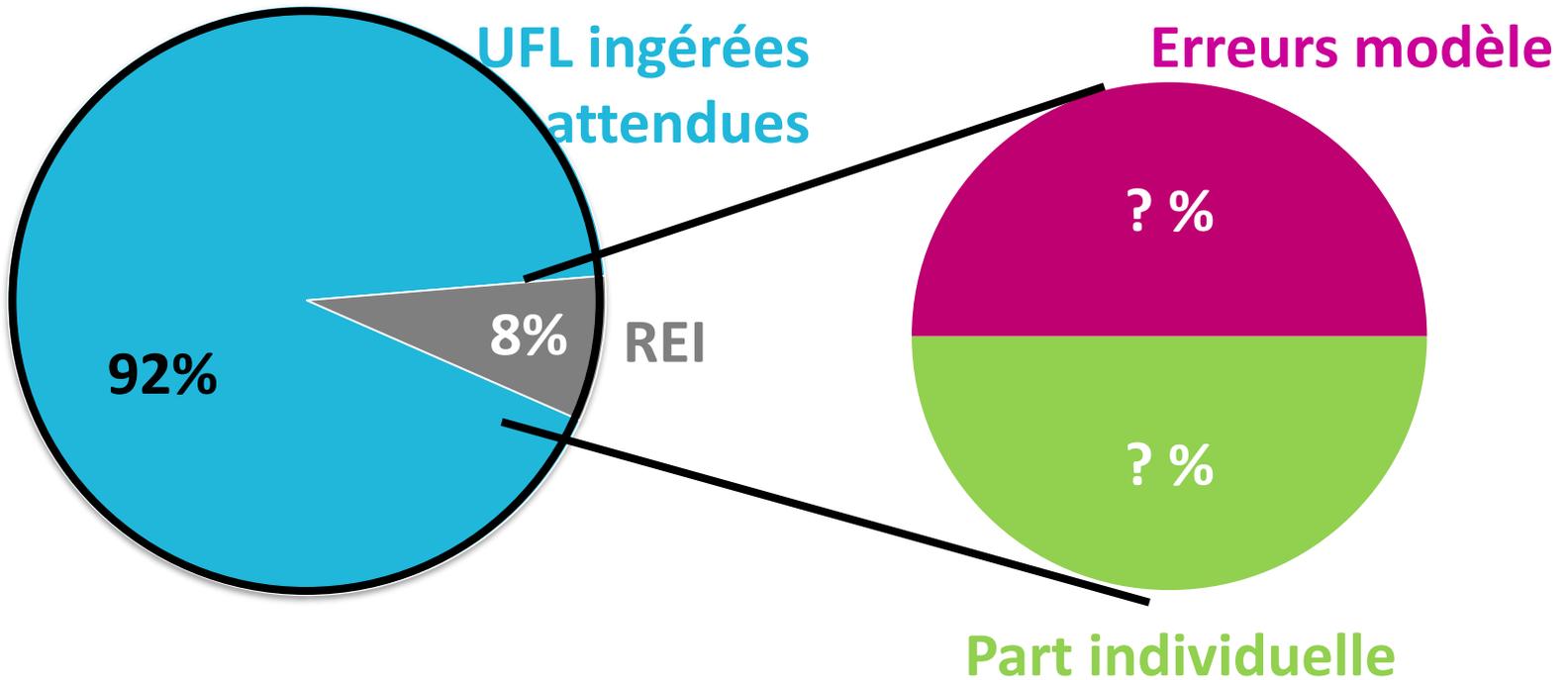
<https://nospensees.fr/e-mouton-noir-nest-pas-mechant-il-est-simplement-differen>



Isoler la variabilité individuelle du REI

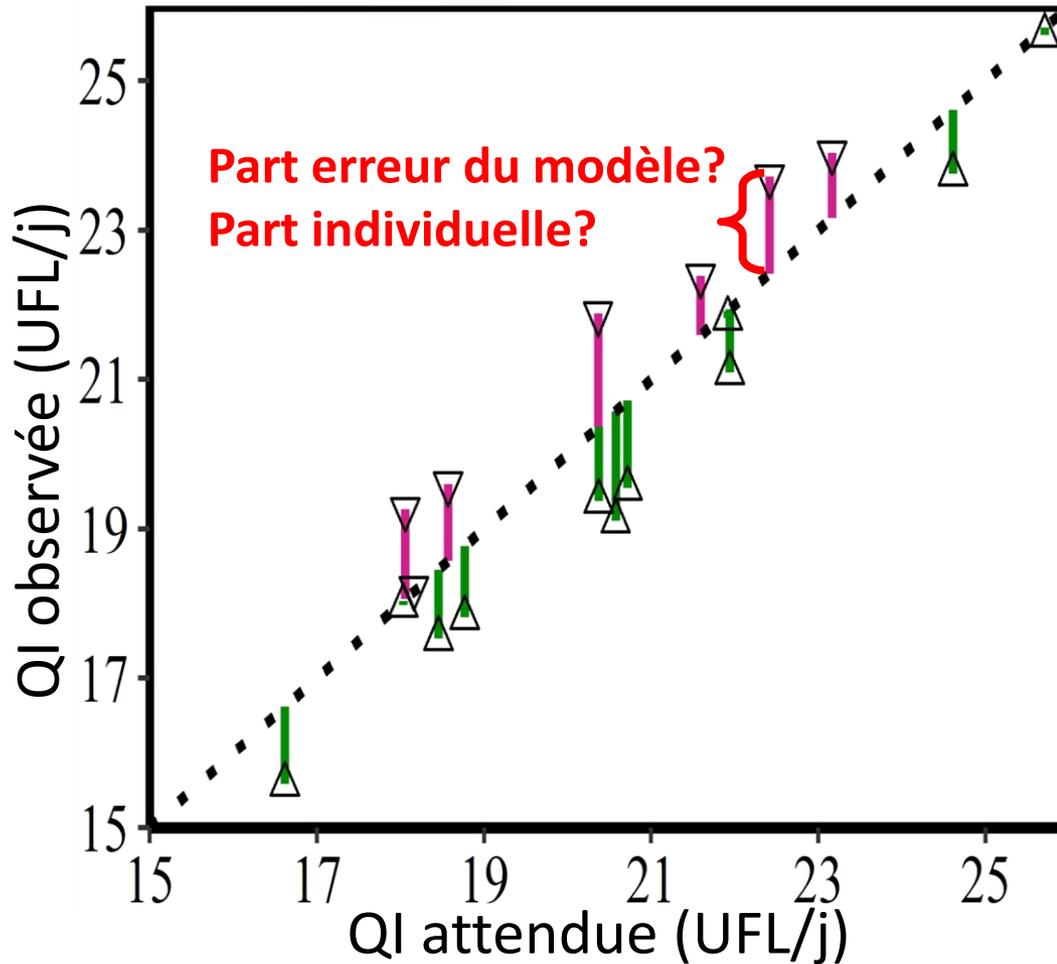
Méthode

UFL ingérées



Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



Définitions

Effet individu: répétable
au cours du temps

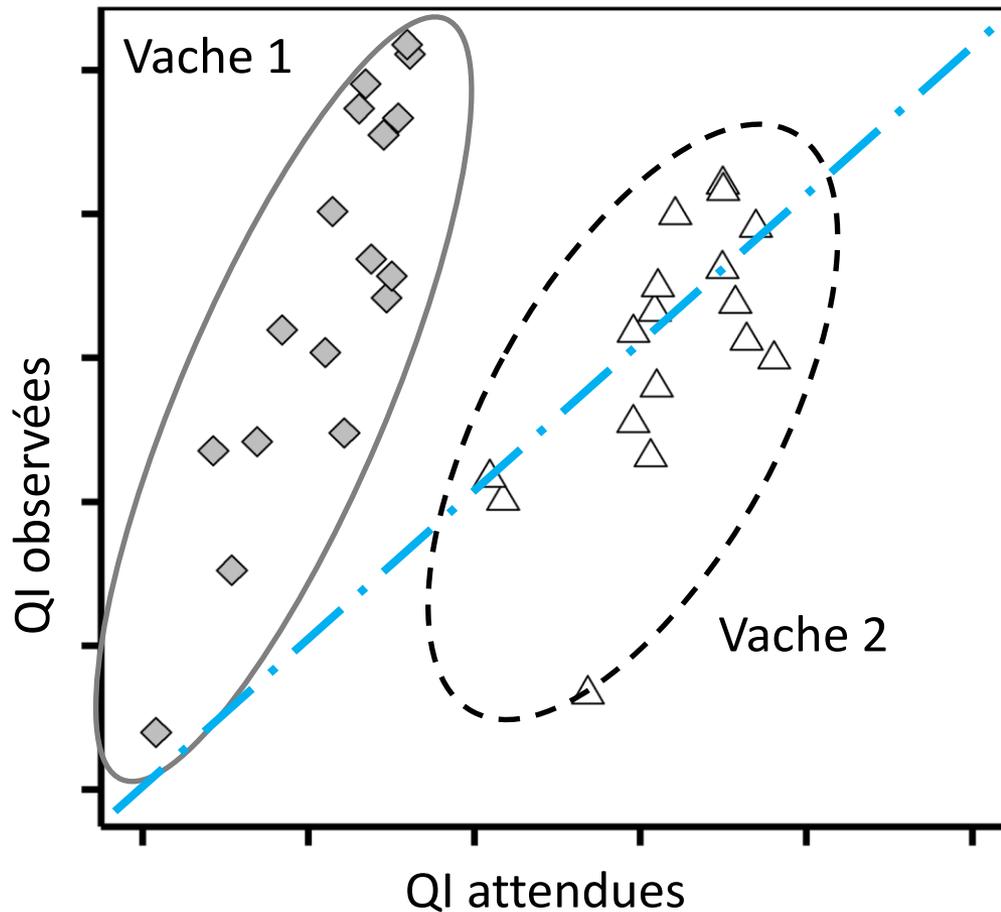
Erreur du modèle: aléatoire
au cours du temps



Utiliser des mesures répétées pour pouvoir caractériser l'effet individu

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode

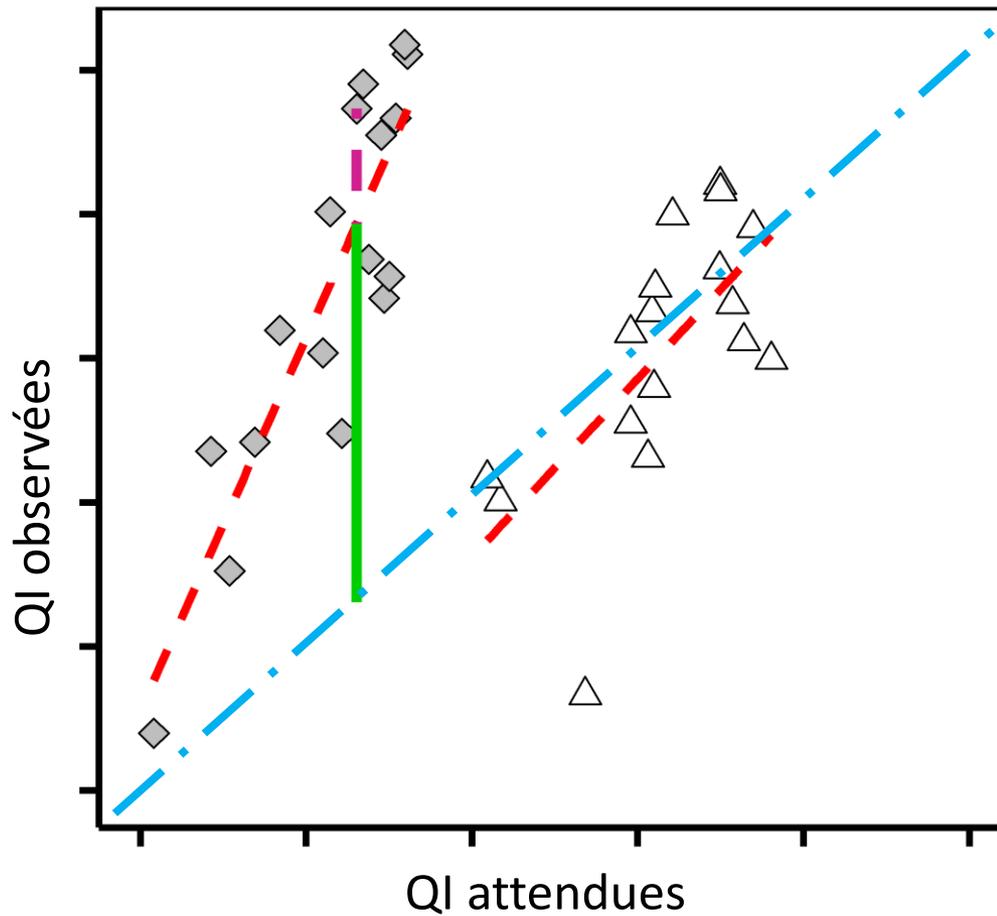


Comment?

Utiliser des données répétées
pour chaque vache:
17 quinzaines

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode

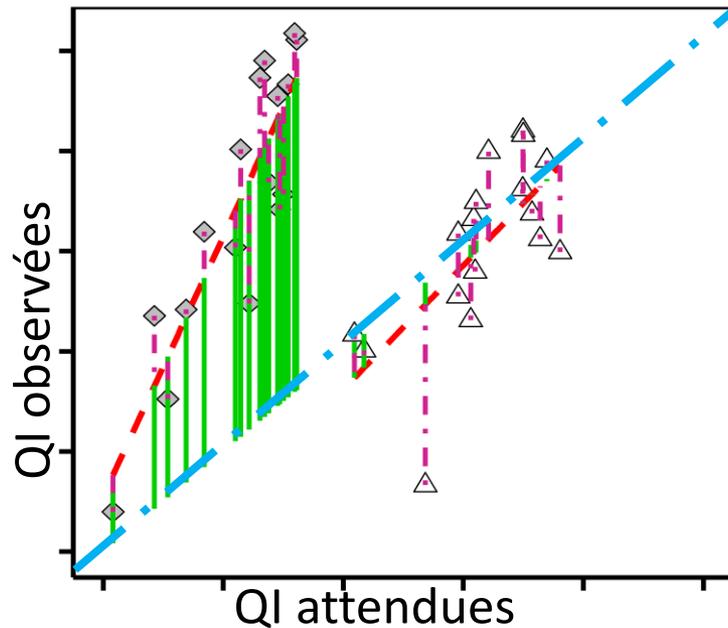


Effet individu?
→ **Part individuelle**
Erreur du modèle

Statistiquement
= modèle à effets aléatoires

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode

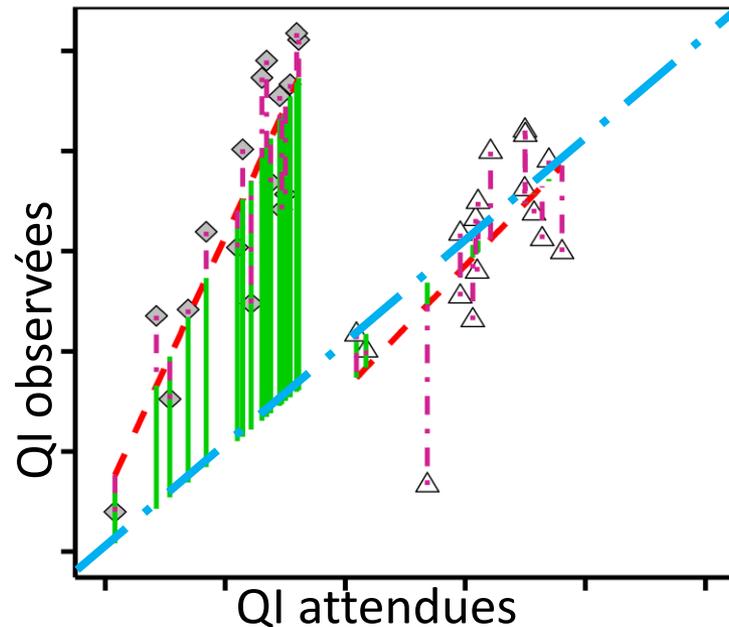


Statistiquement
= modèle à effet aléatoire

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

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



Statistiquement
= modèle à effet aléatoire

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

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

Part individuelle

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode

$$UFL_{\text{ingérées}} = \mu + a \times UFL_{\text{lait}} + b \times PV^{0,75} + c \times (\Delta NEC^+ \times PV) + d \times (\Delta NEC^- \times PV) + REI_{\text{ref}}$$

Corrélation entre REI_{ref} et part individuelle?

Statistiquement = modèle à effet aléatoire:

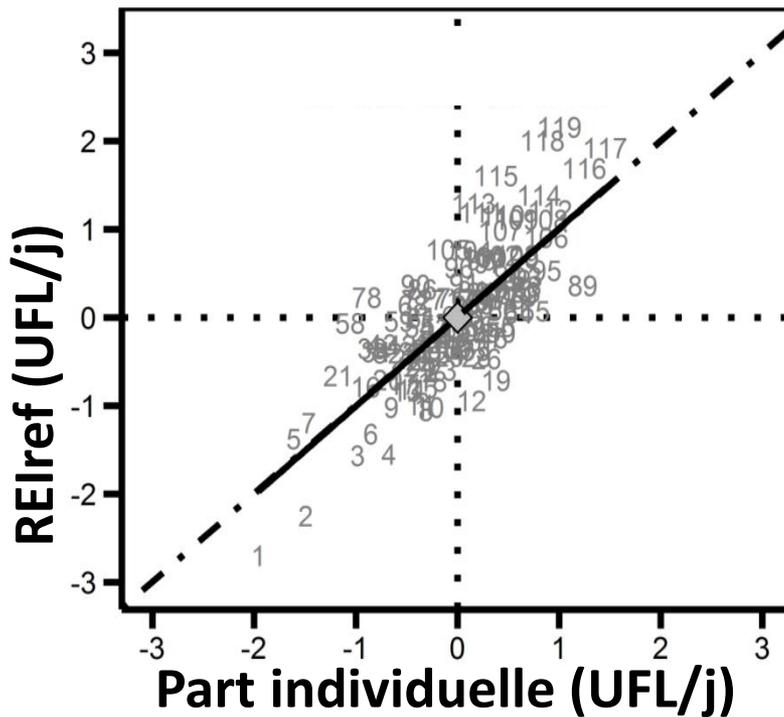
$$UFL_{\text{ingérées}} = (\mu_{\text{moy}} + \mu_{\text{VL1}}) + (a_{\text{moy}} + a_{\text{VL1}}) \times UFL_{\text{lait}} + (b_{\text{moy}} + b_{\text{VL1}}) \times PV^{0,75} + (c_{\text{moy}} + c_{\text{VL1}}) \times (\Delta NEC \times PV) + \epsilon$$

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

Part individuelle

Isoler la variabilité individuelle du REI

Méthode



$R^2 = 0,59$

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

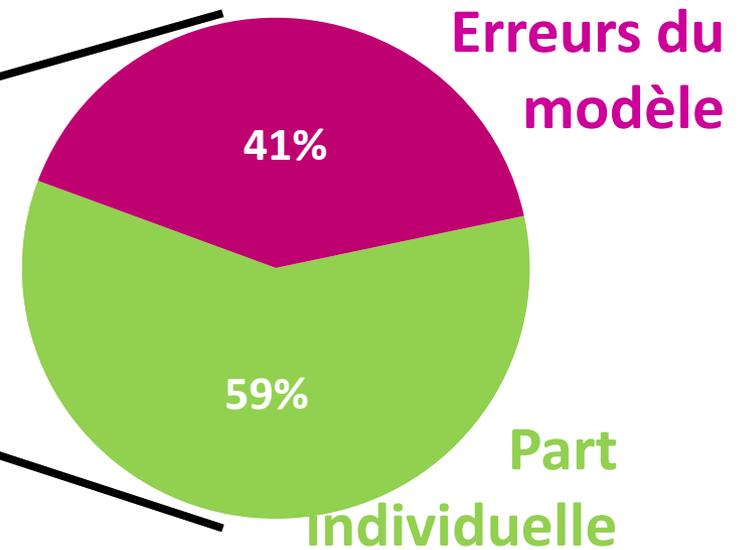
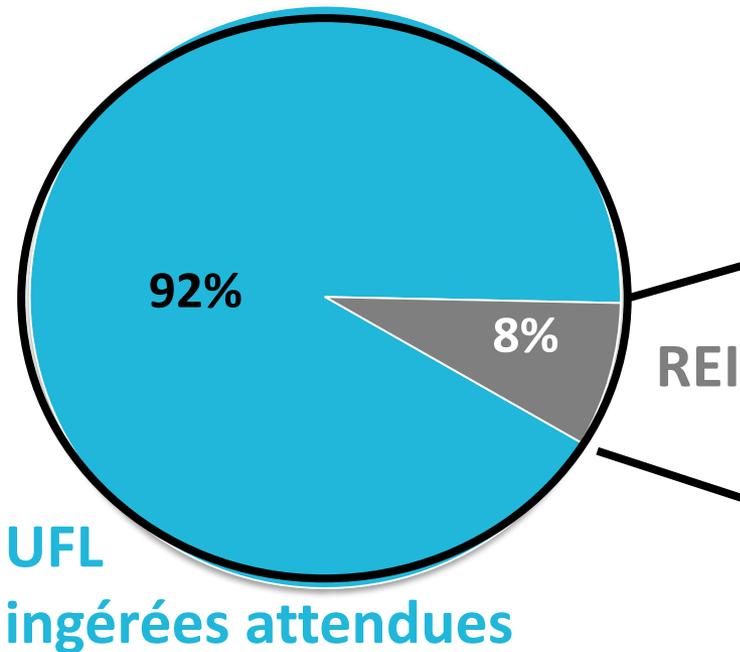
Isoler la variabilité individuelle du REI

Conclusion

MODÈLE LINÉAIRE DE RÉFÉRENCE

MODÈLE À EFFET ALÉATOIRE

UFL ingérées

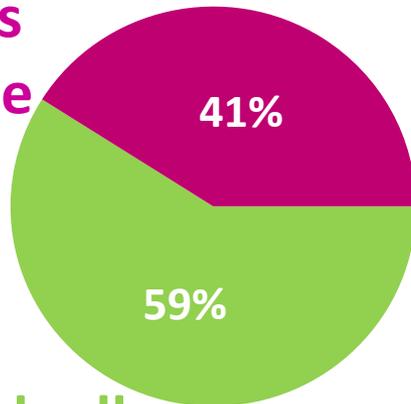


Isoler la variabilité individuelle du REI

Conclusion

Interprétation de la part « individuelle » du modèle:

Erreurs
modèle



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

Ex: troubles de santé (mammites avec récurrences)

Part
individuelle

Erreurs systématiques liées à l'individu

Ex: individu qui trie sa ration

➔ des données répétées

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



Estimer la variabilité interindividuelle de l'EA

Quelle période de mesure au cours de la lactation?



Quelle période de mesure?

Objectifs

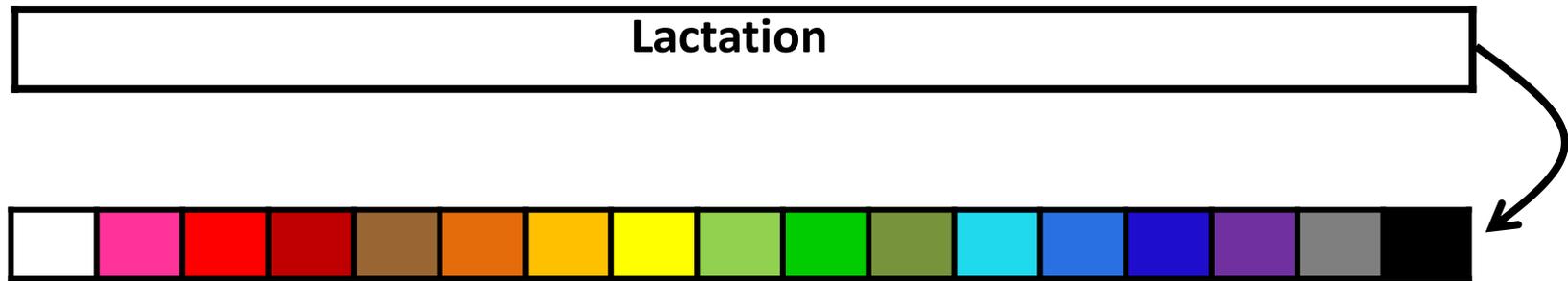
- 1. Le REI est-il répétable au cours de la lactation?**
- 2. Sur quelle période minimale de la lactation le REI peut-il être mesuré pour refléter le REI_{ref} ?**

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

Comment?

Méthode

- Scinder la lactation en sous-périodes: 17 quinzaines
- Estimer le REI par quinzaine

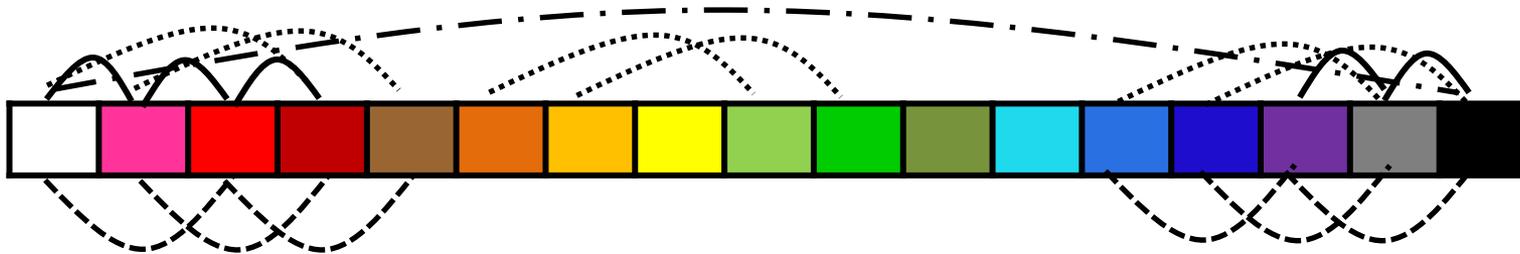


Le REI est-il répétable au cours de la lactation?

Méthode

Comment?

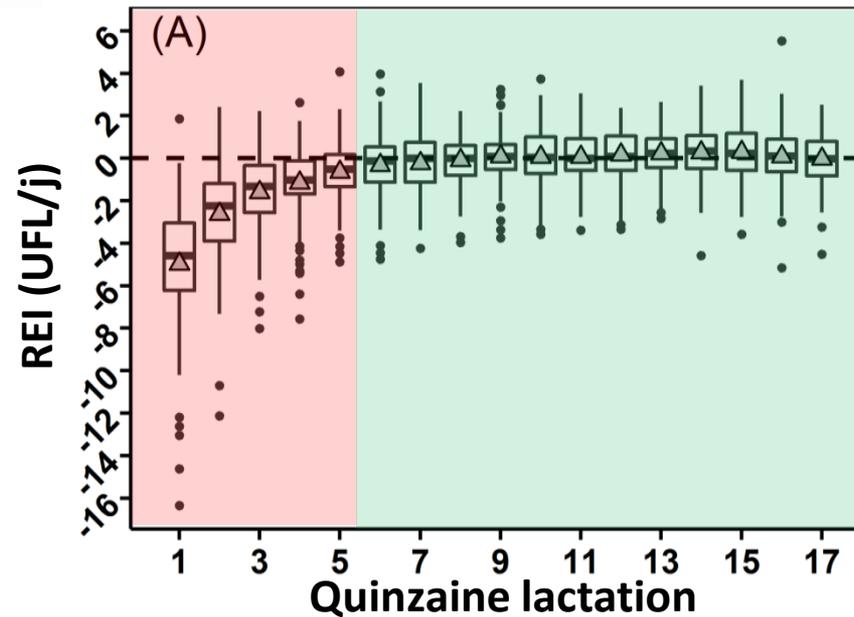
- Scinder la lactation en sous-périodes: 17 quinzaines
- Estimer le REI par quinzaine
- Analyser la stabilité du REI au cours de la lactation:
 - Comparer les REI « quinzaine » entre eux



- Analyser la stabilité des paramètres du modèle au cours de la lactation:
 - **Coefficients du modèle**
 - **E.T. et moyenne du REI intra-quinzaine**
 - **Corrélation du REI intra-quinzaine avec REIref**

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

Résultats



Période instable

REI très variable

REI négatif en moyenne

Période stable

REI à variabilité faible et constante

REI moyenne à 0



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

Quelle période de mesure?

Objectifs

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

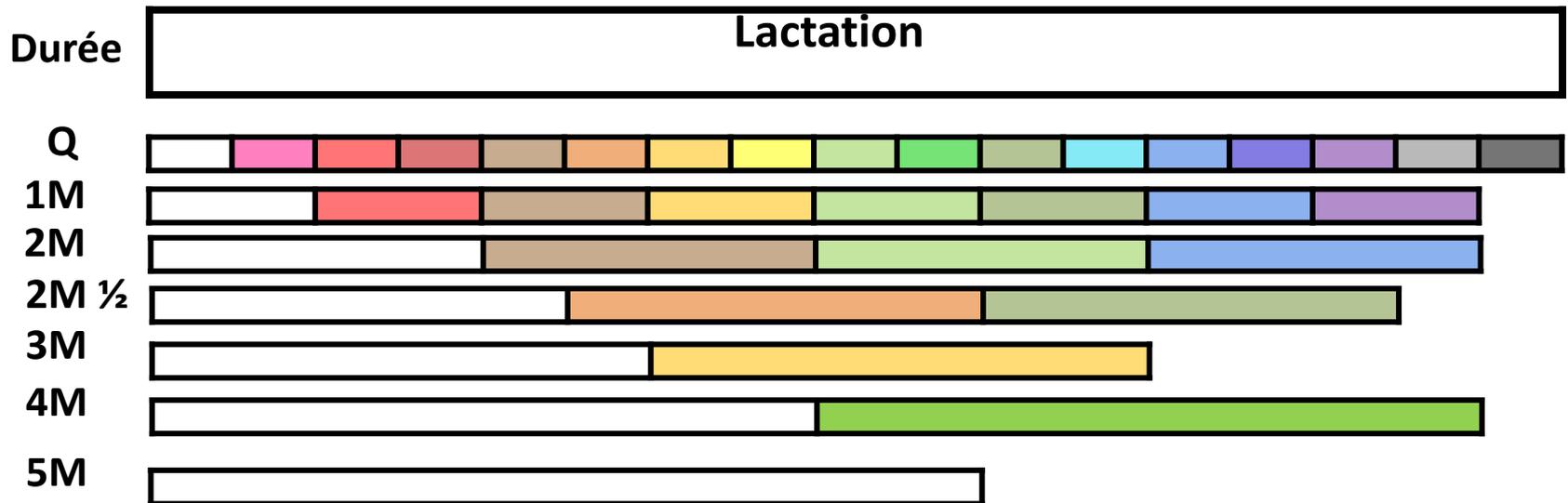
2. Sur quelle période minimale de la lactation le REI peut-il être mesuré pour refléter le REI_{ref} ?

Identifier une période de mesure restreinte

Méthode

Comment?

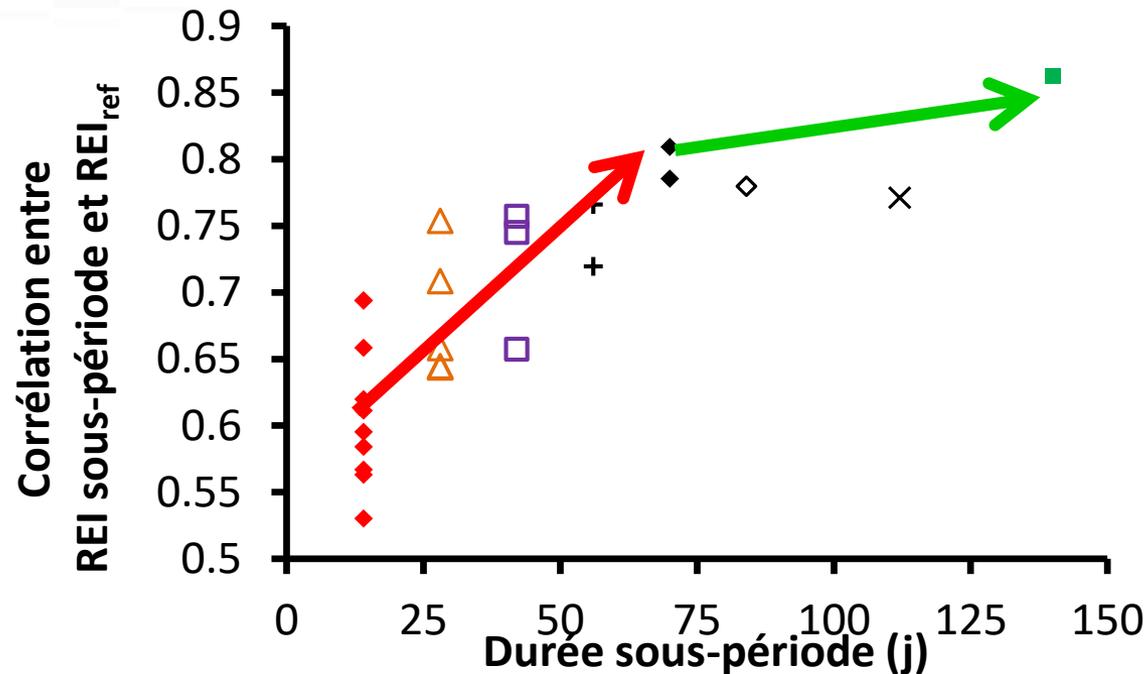
- Scinder la lactation en sous-périodes de **différentes durées**



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

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**

Identifier une période de mesure restreinte

Conclusion

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

Réf.	Début période (durée)	Interprétation REI
Vallimont et al. (2011)	Deb. (305 j)	Ok
Mantysaari et al. (2012)	Deb. (210 j)	Ok
Connor et al. (2013)	Deb. (90 j)	Trop tôt
MacDonald et al. (2014)	Mi-Fin (35 j)	Trop court
Hurley et al. (2016)	Deb. (305 j)	Ok



Identifier une période de mesure restreinte

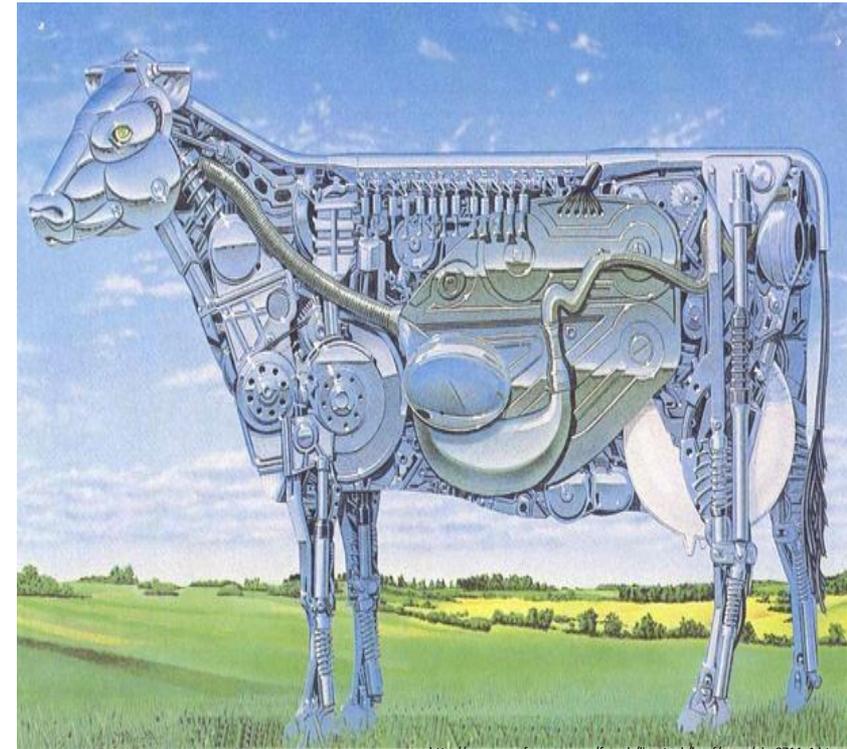
Conclusion

- REI: **faiblement répétable** au cours de la lactation
- REI **instable et biaisé sur les 70 1^{ers} 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**



Identifier les mécanismes impliqués dans les variations d'EA

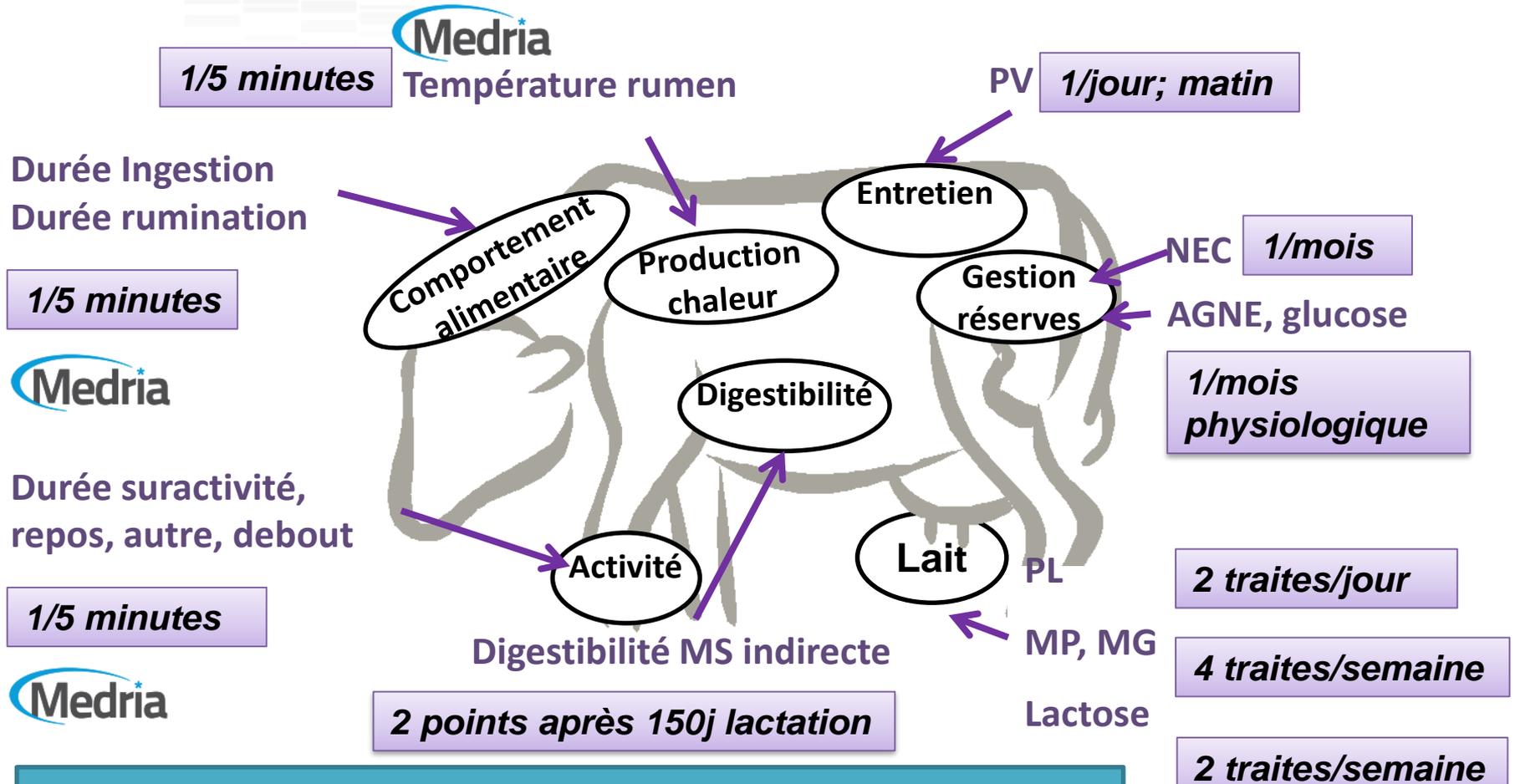


<http://www.omafr.gov.on.ca/french/livestock/beef/news/Vbn0714a1.htm>



Identifier les mécanismes

Dispositif expérimental



Uniquement les 60 vaches de Méjusseaume

Identifier les mécanismes

Dispositif expérimental

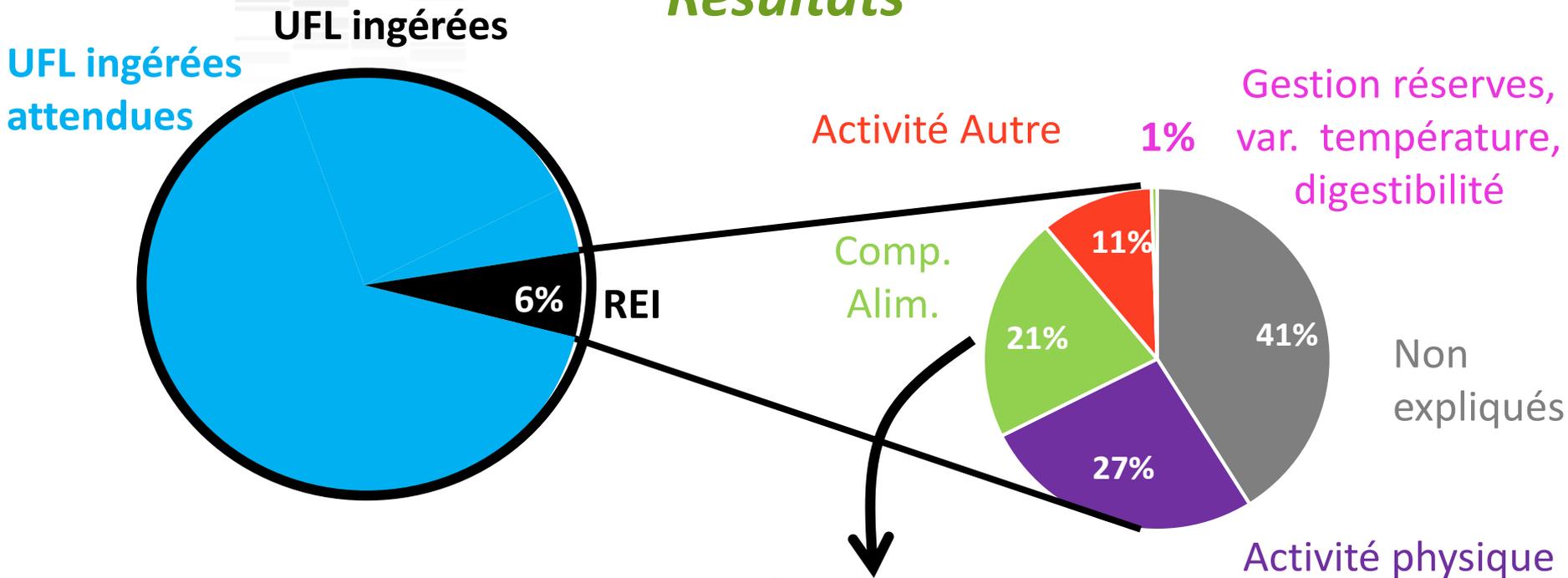
Expliquer la variabilité du REIref par l'ensemble des variables mesurées

- Pris individuellement
- Simultanément: **164 variables** indépendantes pour 60 vaches et 1 donnée / vache
 - **régression linéaire classique non adaptée**
 - **régression linéaire des moindres carrés partiels (PLSr)**



Identifier les mécanismes

Résultats



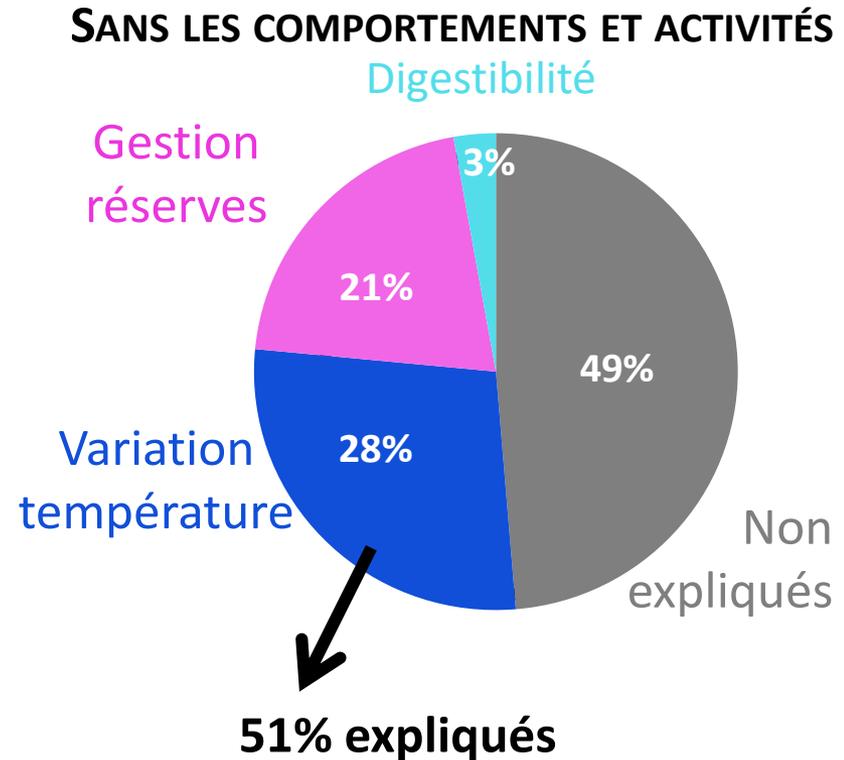
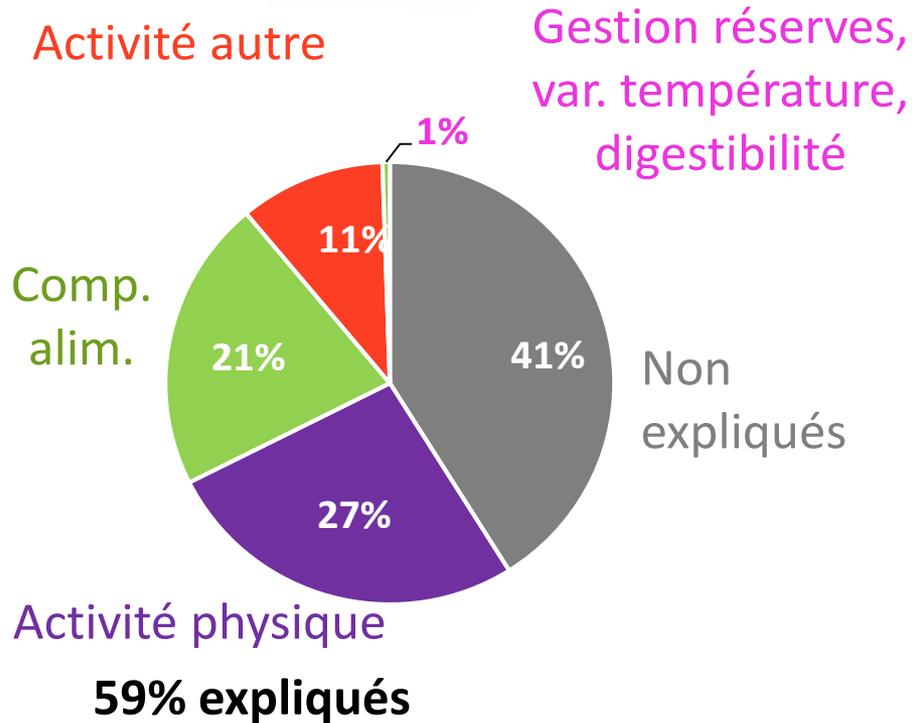
59% expliqués par le comportement alimentaire, l'activité physique et l'activité autre

Digestibilité et la gestion de température explique peu de REI:

➔ Covariance avec variables comportement et activité?

Identifier les mécanismes

Résultats



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

Identifier les mécanismes

Conclusion

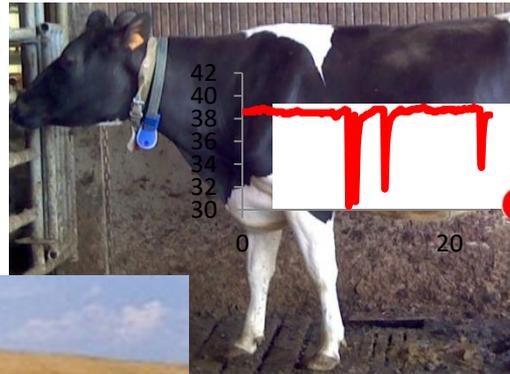
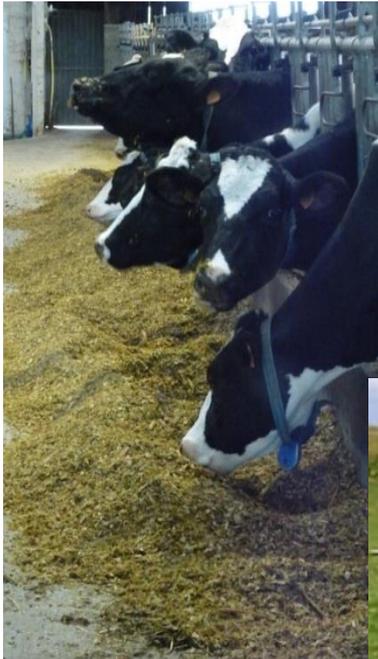
59% des différences d' **Efficiace alimentaire** expliqués par:

Comportement alimentaire

Digestibilité

Variation temp. rumen

Activité physique

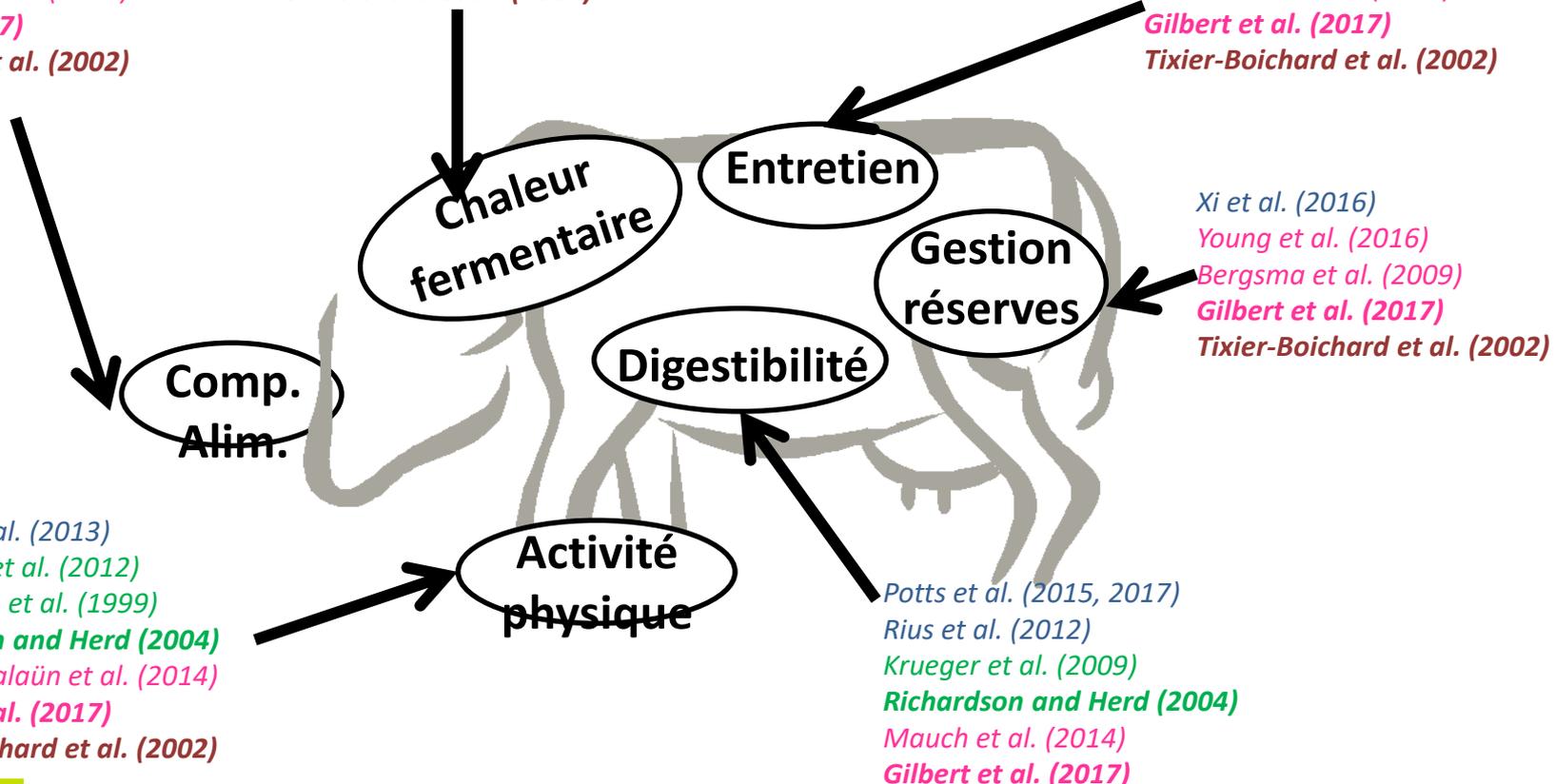


Identification des mécanismes impliqués dans les différences d'EA

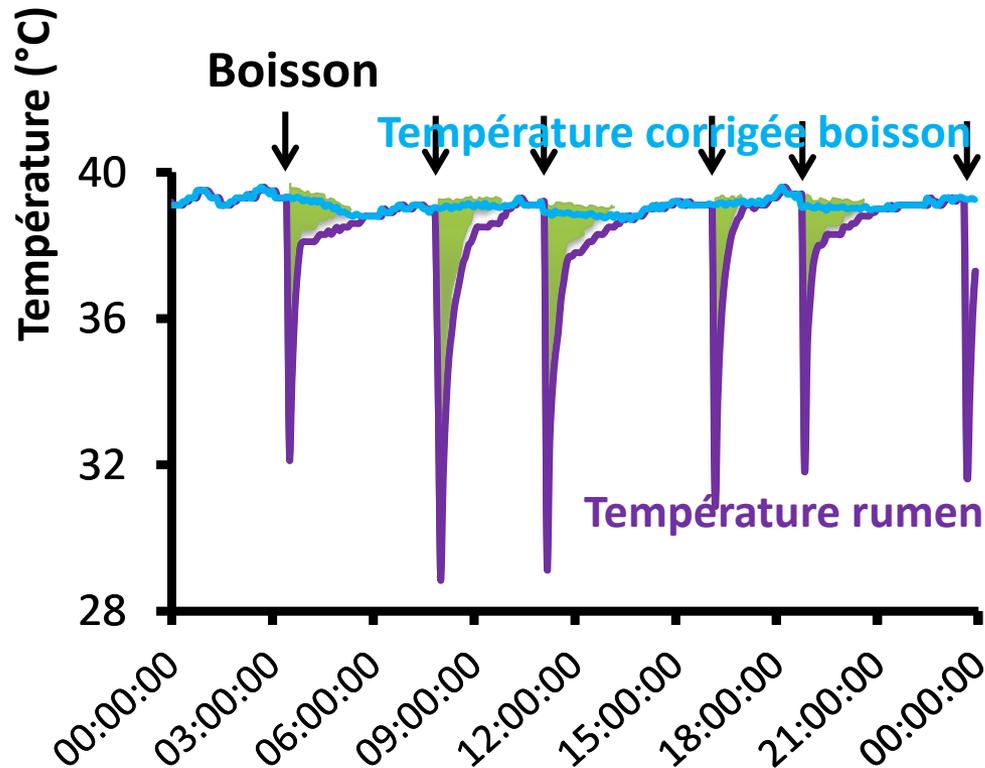
Xi et al. (2016)
Connor et al. (2013)
Pereira et al. (2016)
Fitzsimons et al. (2014)
Richardson and Herd (2004)
Meunier-Salaün et al. (2014)
Gilbert et al. (2017)
Tixier-Boichard et al. (2002)
Xu et al. (2016)

Digiacommo 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)



Estimer EA sans les quantités ingérées



Approximation de l'eau bue



Efficiencie eau bue = EBR

Eau bue --- Eau bue attendue

Régression linéaire



PL + PV

Estimer le REI sans les quantités ingérées

Méthodologie

Estimation efficacité alimentaire:

$$\text{UFL ingérée} - \text{UFL ingérée attendue} = \text{REI}$$

Régression linéaire

$$PV^{0,75} + EN \text{ lactation} + PV \times \Delta NEC^- + PV \times \Delta NEC^+$$

Estimation efficacité eau bue:

$$\text{Eau bue} - \text{Eau bue attendue} = \text{EBR}$$

Régression linéaire

$$PL + PV$$



Khelil-Arfa *et al.* (2012)

Thermobolus ruminal



Eau bue

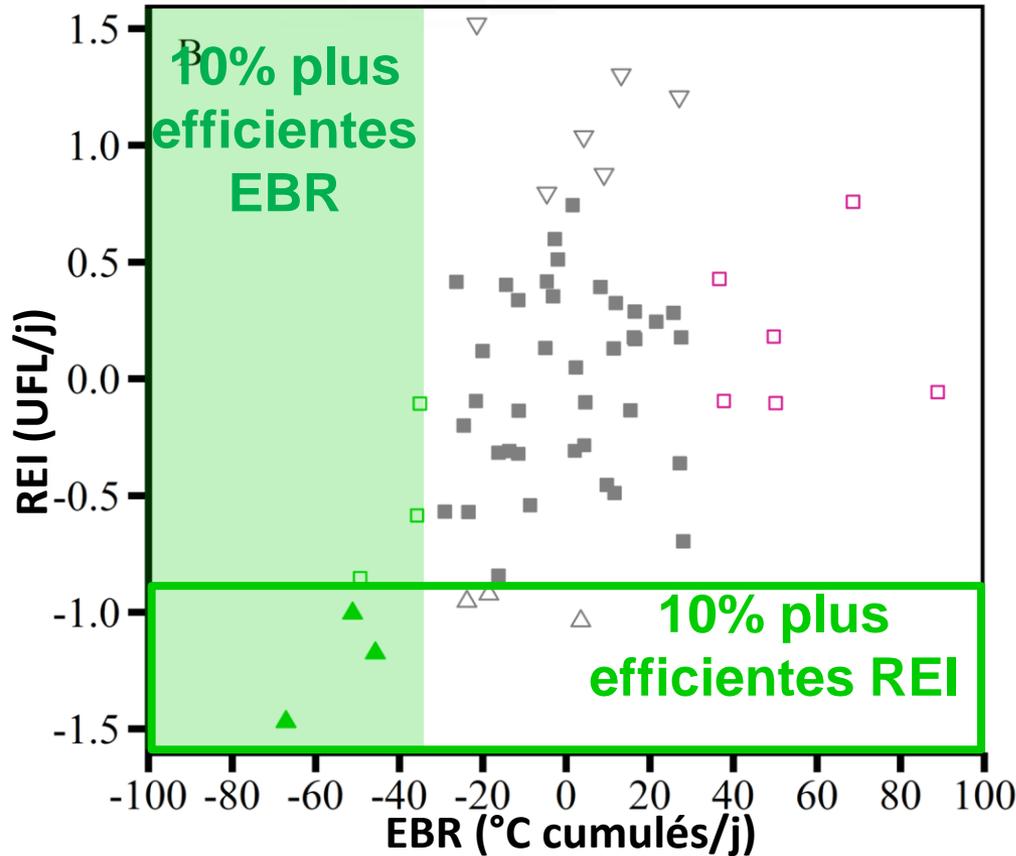
Eau bue attendue

EBR



Estimer le REI sans les quantités ingérées

Résultats préliminaires



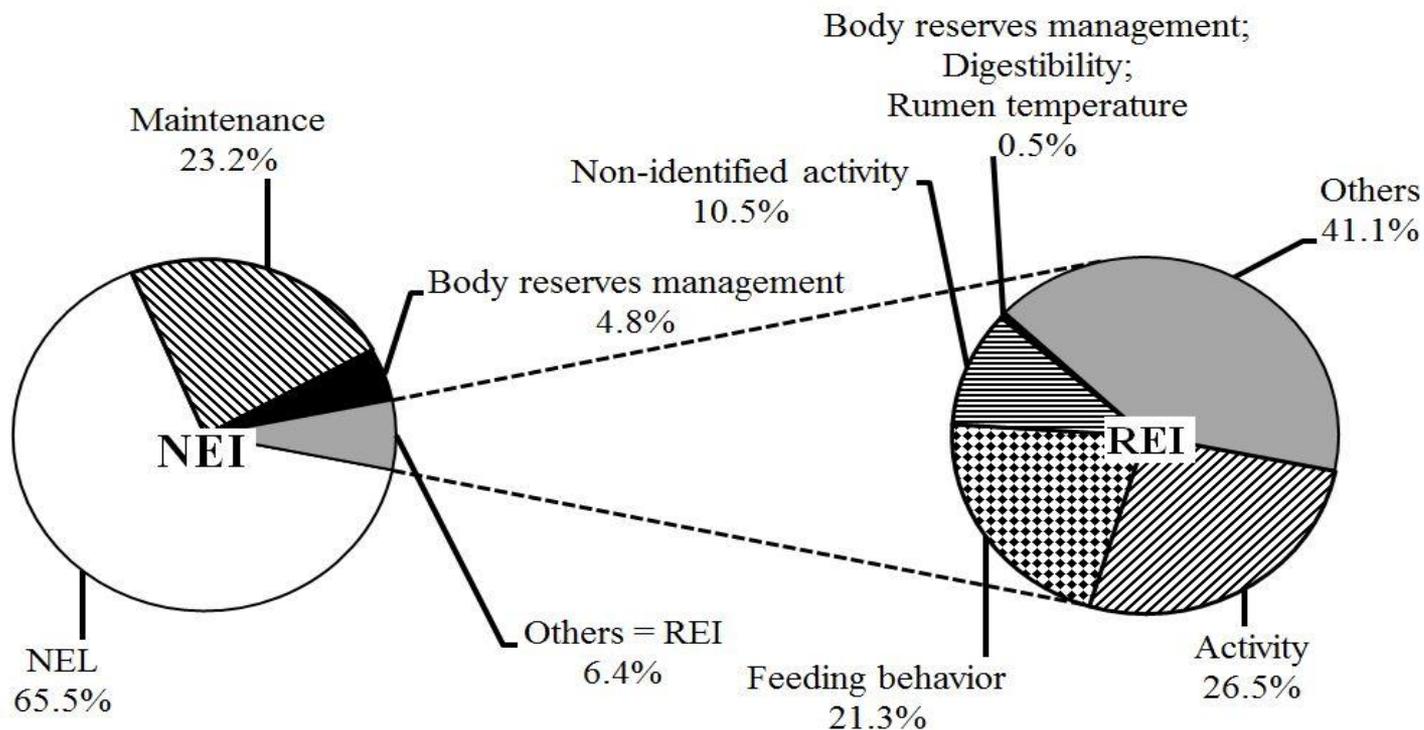
Relation positive entre REI et EBR

Groupe	REI (UFL/j)
10% + eff. EBR	-0,9
10% + eff. REI	-1,1



EBR semble identifier les vaches les plus efficaces

Déterminants de l'EA : premiers résultats



Thèse Amélie Fischer 2017

- Une variabilité résiduelle assez faible → peu de variabilité sur la synthèse du lait?
- Des différences de comportements liées à des différences de digestibilité, de dépenses d'activités ou de gestion des réserves expliquent les différences d'EA
- Le début de lactation n'est pas approprié pour mesurer l'EA

En conclusion

- ❖ 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 (Méjusseume 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