

L'EFFICIENCE ALIMENTAIRE (BOVIN ALLAITANT)

Gonzalo CANTALAPIEDRA



Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores



BORDEAUX SCIENCE AGRO. FILIERES ANIMALES DURABLES 10.11.2020



L'EFFICIENCE ALIMENTAIRE:

CONTEXTE GENERAL

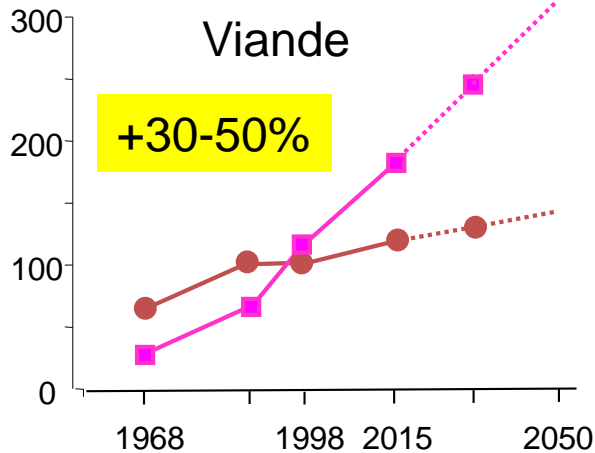
La population mondiale s'accroît

7 milliards actuellement,
10 milliards attendus en 2050
Les besoins alimentaires aussi :



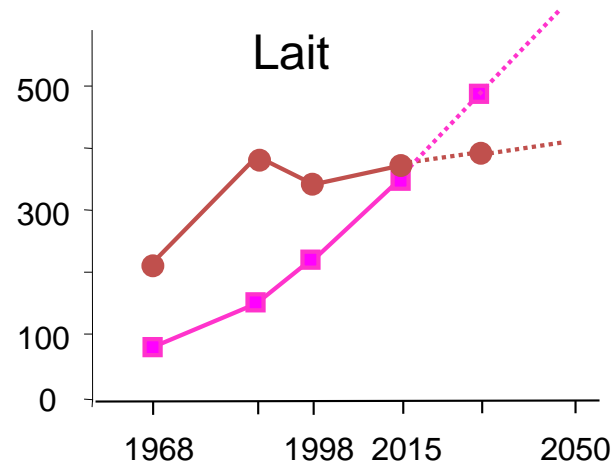
Millions T

Viande



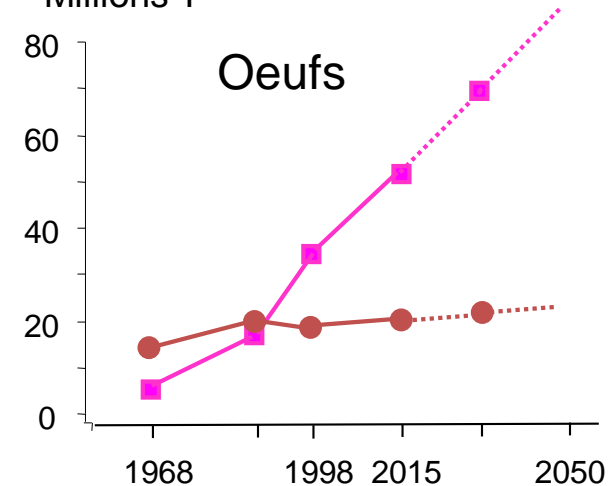
Millions T

Lait



Millions T

Oeufs

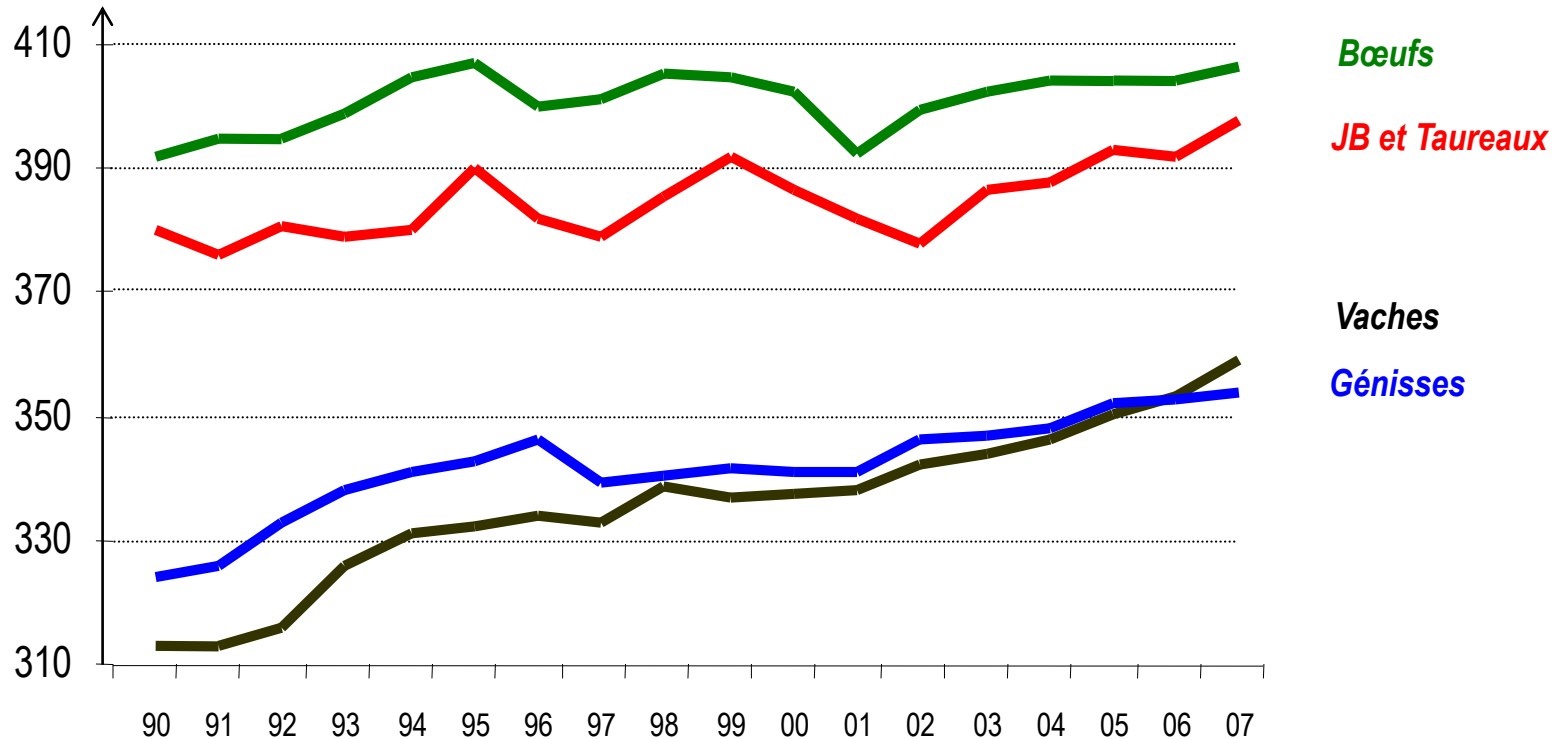


● Pays industrialisés et en transition

■ Pays émergents et en développement

AUGMENTATION DE LA PRODUCTIVITE DANS LES DERNIERES ANNEES

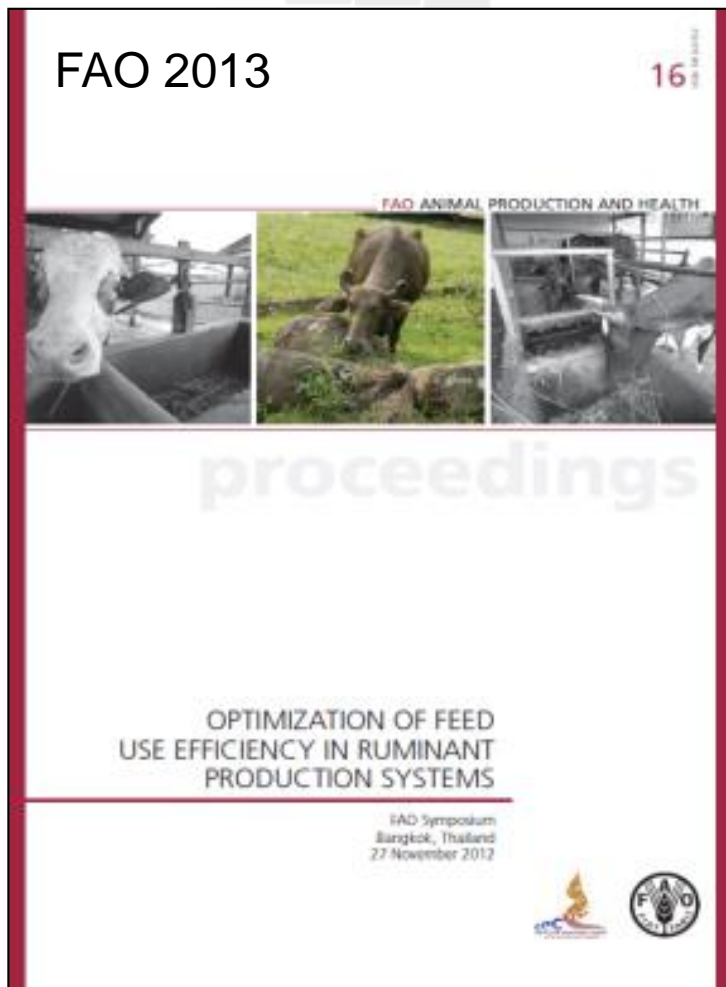
kg carcasse



Source : SCEES

JB : Durée d'engraissement jusqu'à 420 kg carcasse a diminué de 64 jours en 20 ans!

ENJEU MONDIAL



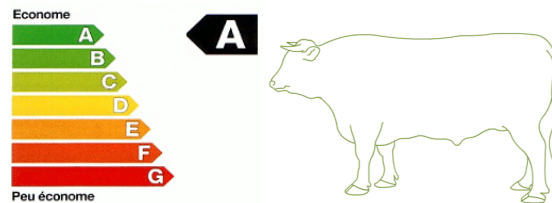
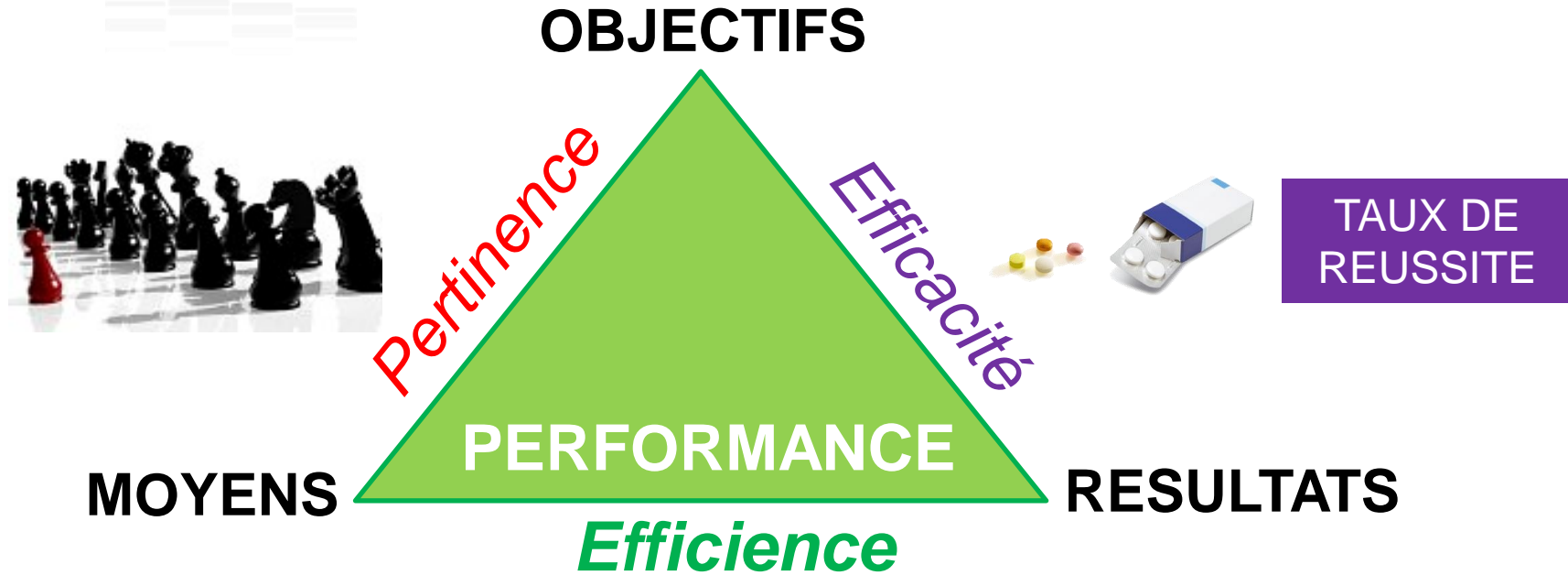
*Pour s'adapter au changement du contexte socio-économique (Makkar and Beever, 2013) il s'avère essentiel l'amélioration de l'**efficacité alimentaire** des ruminants et l'augmentation de la part de **fourrages dans la ration** (avec une **diminution des apports de céréales**)*

*Optimiser le potentiel des ruminants à valoriser les ressources fourragères :
EFFICACITÉ ALIMENTAIRE!*

Stratégies nutritionnelles

Sélection génétique

DEFINITIONS



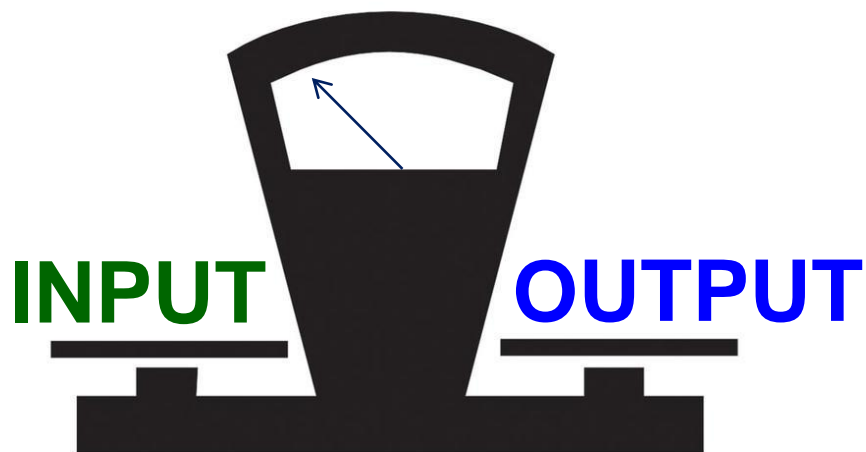
RENDEMENT

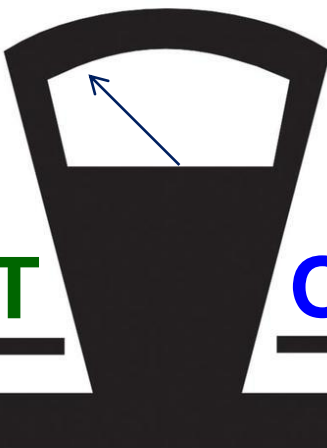
L'EFFICIENCE EST UN TERME RELATIF

Réussir un **PRODUIT** (output) avec la moindre quantité de **SUBSTRAT** (input)
Réussir un **PRODUIT** (output) avec le moindre **GASPILLAGE** possible



Quel type de produit on souhaite réussir?
Quel type d'input on privilégie?
Quel type de gaspillage on tient en compte?





€

INPUT

OUTPUT

€

MS Ingéré

Energie Ingéré

N Ingéré

Ressources cellulosiques

EB

ED, EM

UF?

MAT

PDI

Poids vif

Poids carcasse

N retenu

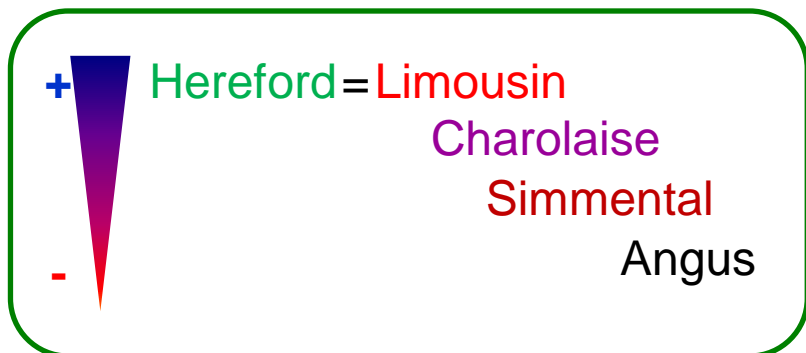
Poids viande

Kg vif veau sevré/an

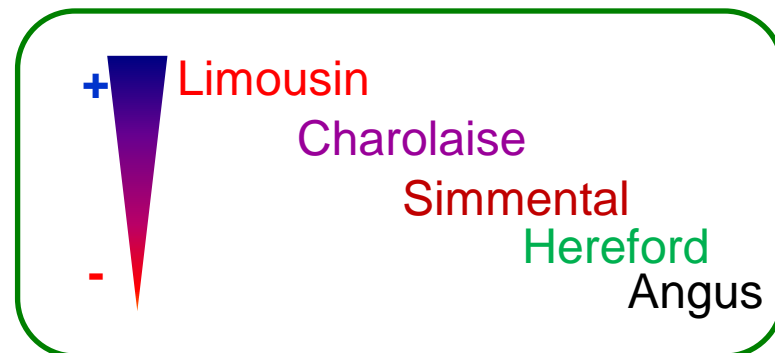
EFFICIENCE EST UN TERME RELATIF

Gain poids/EM ingéré (Gregory et al., 1994)

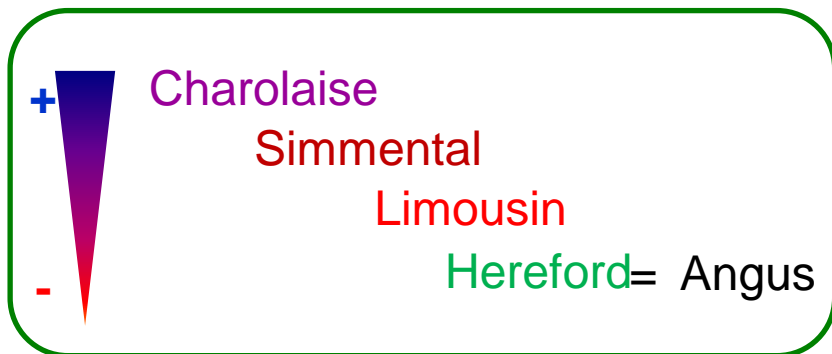
DUREE (jour 0 → 207 j)



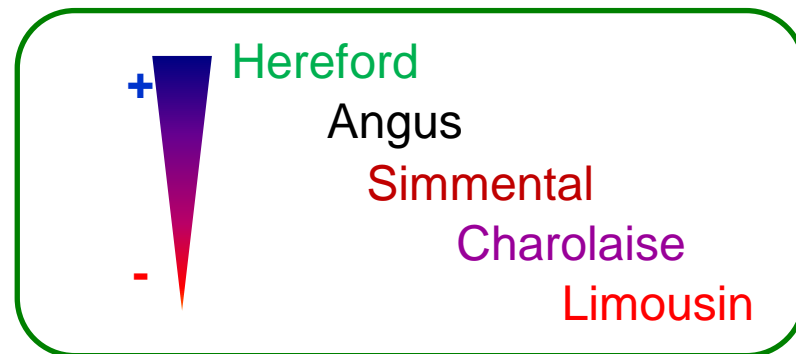
POIDS CARCASSE (333 kg)



GAIN (310 → 540 kg)



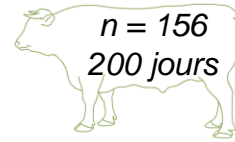
DEGRE DE PERSILLAGE (Score 4,5)



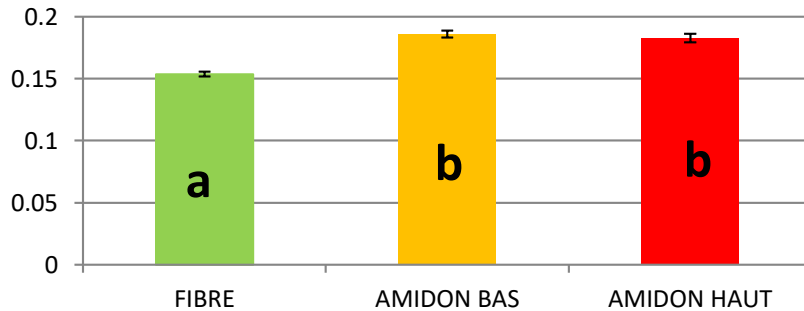
UNE EFFICIENCE POUR CHAQUE CONTEXTE DE PRODUCTION!!

EFFICIENCE EST UN TERME RELATIF

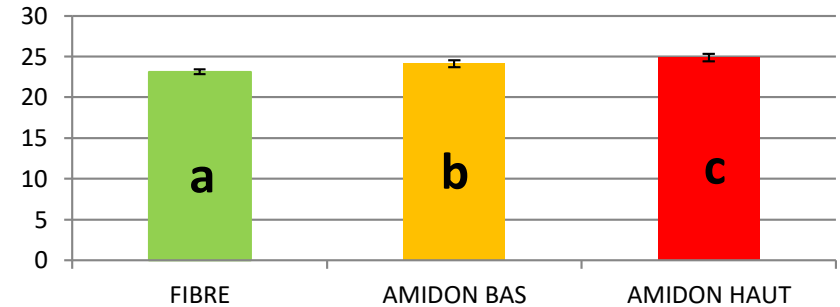
Mialon et al. (2014)



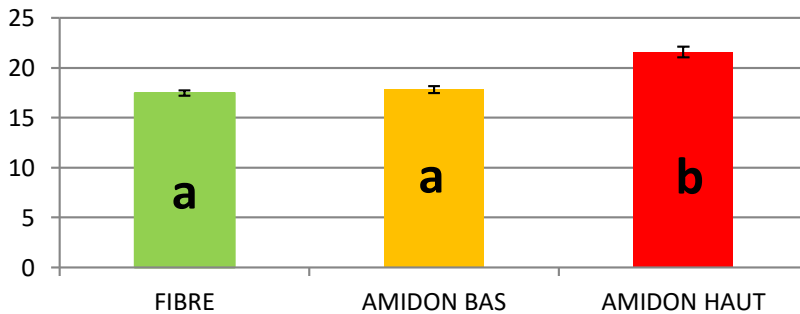
Gain poids vif/MS ingérée, g/g



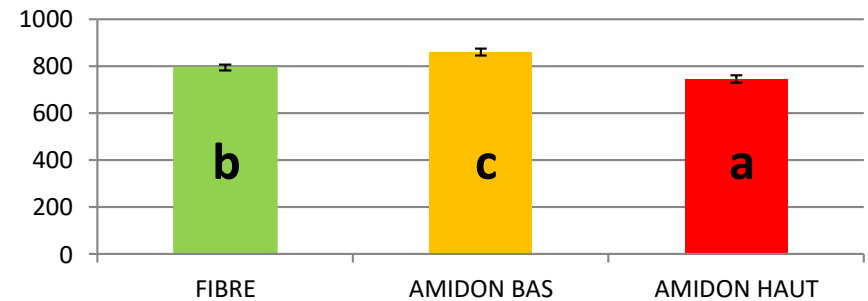
Gain poids vif/UFV ingérée, g/MJ



Muscle/UFV ingérée, g/MJ



Muscle/Protéine ingérées, g/kg



EFFICIENCE ALIMENTAIRE A L'ECHELLE ANIMAL : UN COMPOSANT DE L'EFFICIENCE GLOBALE

Doreau et al., 2014



3 régimes d'engraissement :

EM : 65% Ensilage M + 35%Conc

F : 50% Foin + 50% Conc

C : 85% Conc + 15% Paille

Effizienz technique

	EM	F	C
Effizienz alimentaire (g gain de poids / UFV ingérée)	208	195	201

Marge économique

	EM	F	C
€ / taurillon	305	231	261

Valeur santé pour l'Homme

	EM	F	C
Acides gras saturés (%)	44,1	40,1	39,1
n-6/n-3	8,3	7,3	13,9

Impacts environnementaux / kg de gain de poids

	EM	F	C
Gaz à effet de serre (kg éq-CO ₂)	4,74	4,56	3,65
Eutrophisation potentielle (g éq-PO ₄)	19,0	16,5	21,5
Consommation d'énergie (MJ)	13,0	18,7	19,7

FAIBLE EFFICIENCE ALIMENTAIRE CHEZ LE RUMINANT

Tolkamp et al., 2010

Feed conversion efficiency (**FCE**), gain poids/MSI

> 1/2



1/3



1/10 ± Δ



Energie de l'aliment retenue dans le gain, %

≈ 28%

(+250% depuis 1957)

≈ 21%

≈ 6% ± Δ

FAIBLE EFFICIENCE ALIMENTAIRE CHEZ LE RUMINANT???

**VOUS ETES PAS
RENTABLES !!**

Je préfère aller
vendre vos
céréales
directement au
resto du coin!!



FAIBLE EFFICIENCE ALIMENTAIRE CHEZ LE RUMINANT???

Wilkinson et al., 2011 : *Re-defining efficiency of feed use by livestock*

Edible protein input/edible protein in animal product (kg/kg)

0,71



0,92



2,2



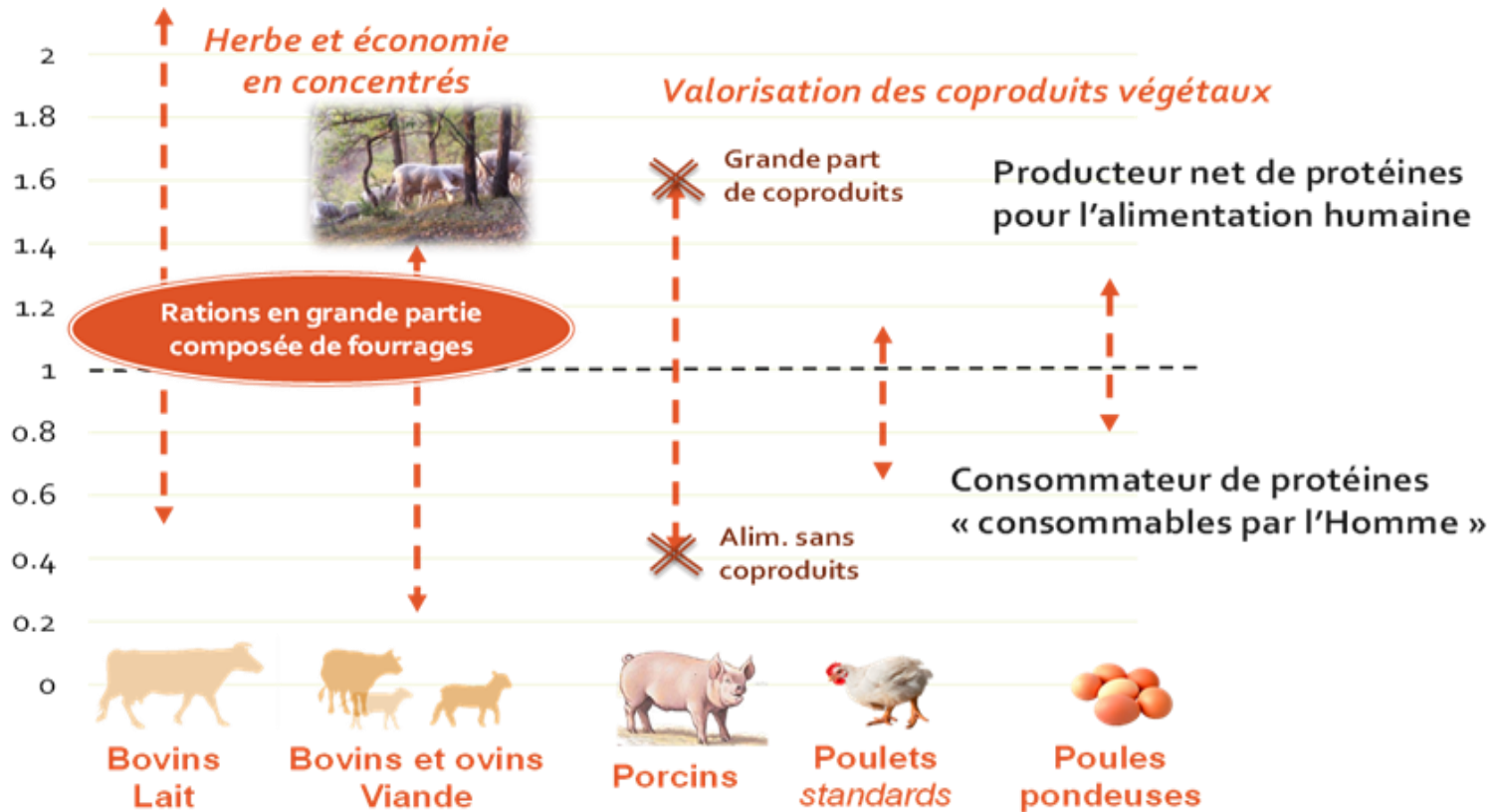
2,6



FAIBLE EFFICIENCE ALIMENTAIRE CHEZ LE RUMINANT???

Efficiéce nette = produits de l'élevage consommable par l'home/consommation par l'élevage de végétaux consommables par l'homme

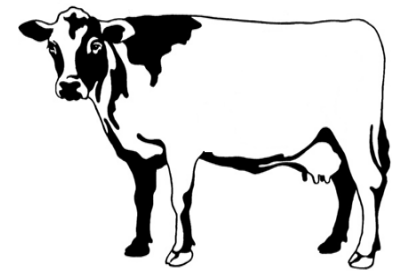
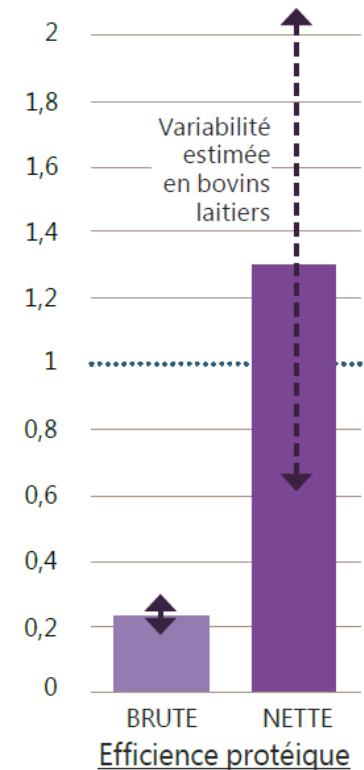
Efficiéce nette des élevages en France (protéines consommables)



Laisse S., Baumont R., Turini T., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Rosner P-M., Peyraud J-L., 2017. Efficiéce alimentaire des élevages : un nouveau regard sur la compétition entre alimentation animale et humaine. Colloque du GIS Elevages Demain, 17/10/2017, Paris

FAIBLE EFFICIENCE ALIMENTAIRE CHEZ LE RUMINANT???

- Bien que souvent critiqué pour sa faible efficacité de conversion des ressources végétales, l'élevage témoigne de sa capacité à valoriser de nombreux produits non consommables par l'Homme. **Le rôle effectif de l'élevage dans la production de protéines pour l'alimentation humaine doit donc être évalué à partir de la quantité d'aliments (énergie et protéines) consommables par l'homme qui est effectivement consommée par les animaux.**
- Ainsi, de nombreux élevages peuvent avoir une contribution positive à la production de protéines de qualité pour l'alimentation humaine.
- Cette contribution est d'autant plus importante que l'élevage valorise davantage de ressources non consommables par l'homme. Elle est ainsi très positive pour les systèmes laitiers herbagers.



FAIBLE EFFICIENCE ALIMENTAIRE CHEZ LE RUMINANT???

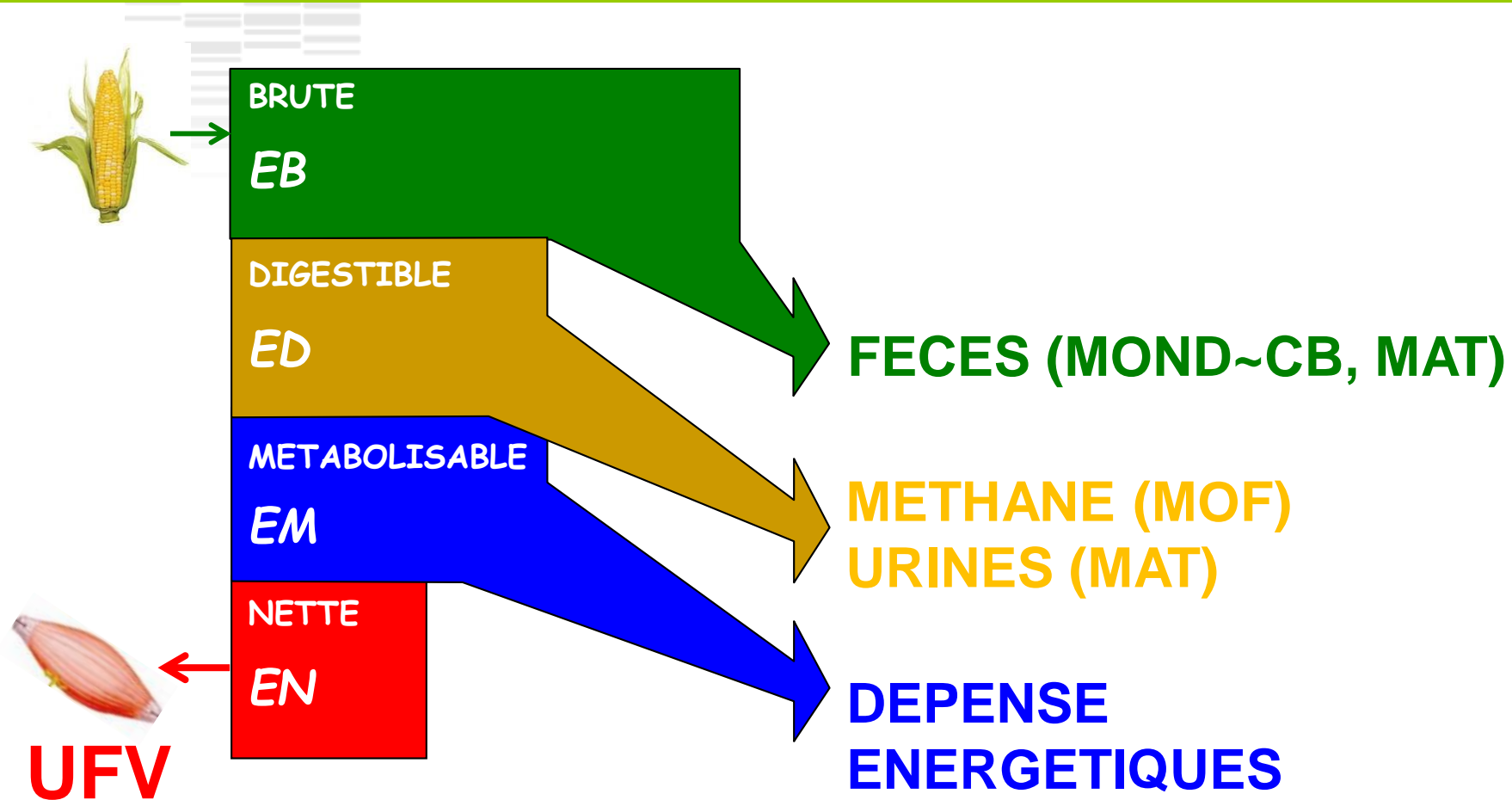
- Les principaux leviers d'amélioration de l'efficacité nette reposent sur le choix des matières premières pour l'alimentation animale, l'amélioration de la valeur alimentaire de ces matières premières et la sélection d'animaux aptes à bien les valoriser.
- L'accroissement éventuel de la valorisation en alimentation humaine des ressources végétales, du fait soit de changements d'habitudes alimentaires, soit de progrès technologiques, va contribuer à réduire l'efficacité nette des élevages, mais dans une moindre mesure pour les systèmes de ruminants valorisant beaucoup d'herbe.
- Pour raisonner plus finement encore la concurrence entre productions animales et productions végétales, de nouveaux ratios peuvent être envisagés pour compléter l'appréciation de l'efficacité nette en intégrant la qualité des protéines ou le bilan énergétique de la digestion qui sont beaucoup plus élevées pour les produits animaux que pour les produits végétaux. De tels ratios fourniraient des résultats supérieurs aux ratios actuels d'efficacité nette.



L'EFFICIENCE ALIMENTAIRE:

NUTRITION

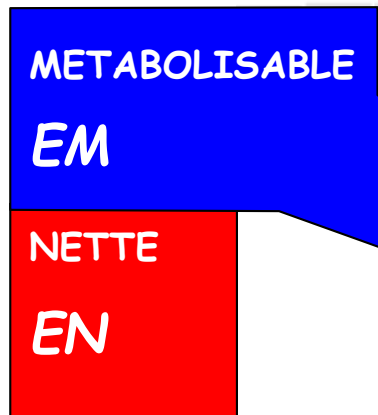
EFFICIENCE DANS LE SYSTÈME INRA : ENERGIE



$$k = \text{EN (output)} / \text{EM (input)}$$

- 1) Type de Nutriments (**APPORTS**)
- 2) Utilisation/Fonction (**BESOINS**)

EFFICIENCE METABOLIQUE DANS LE SYSTEME INRA :



$$k = \text{EN (output)} / \text{EM (input)}$$

1) TYPES DE NUTRIMENTS (APPORTS : qualité de l'EM)

Nutriments glucogéniques (AMIDON) > Nutriments cétogéniques (PAROIS)

Exemple :

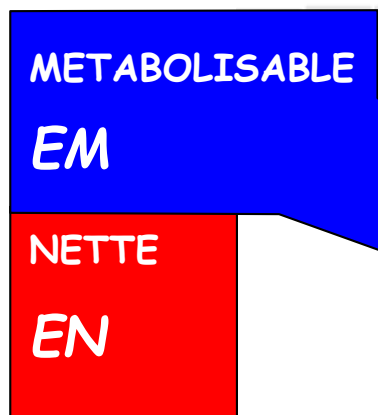
Mélasse de betterave (CF0130)
Ensilage d'herbe (FE0410)

EM = 2520

UFV = 0.93 (1694 kcal)

UFV = 0.82 (1493 kcal)

EFFICIENCE METABOLIQUE DANS LE SYSTEME INRA :

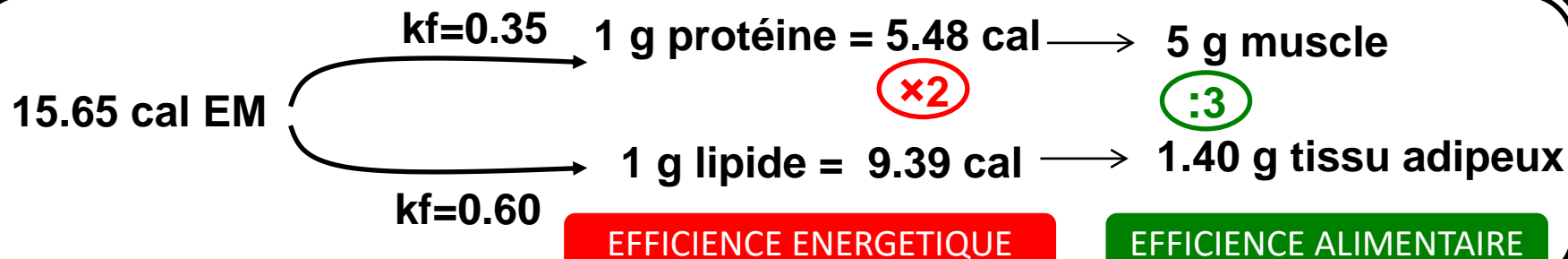


$$k = \text{EN (output)} / \text{EM (input)}$$

DEPENSE ENERGETIQUES

2) UTILISATION DE L'ENERGIE (BESOIN : type d'EN)

EN entretien > EN lactation > EN engraissement



REUSSIR UN DEPOT PROTEINE/LIPEDE ELEVE ENTRAINE UNE EFFICIENCE ENERGETIQUE
INFERIEUR MAIS UNE EFFICIENCE ALIMENTAIRE SUPERIEUR!!

EFFICIENCE DANS LE SYSTÈME INRA : PROTEINE



BRUTE

MAT

DIGESTIBLE

PDI

NETTE

Synthèse

Protéique

FECES + AMMONIAC

URINES

+ Fecal endo
+ Phanères

EFFPDI = Synthèse prot/ PDI

1) **APPORTS*****

2) **ANIMAL**

EFFICIENCE METABOLIQUE DANS LE SYSTEME INRA

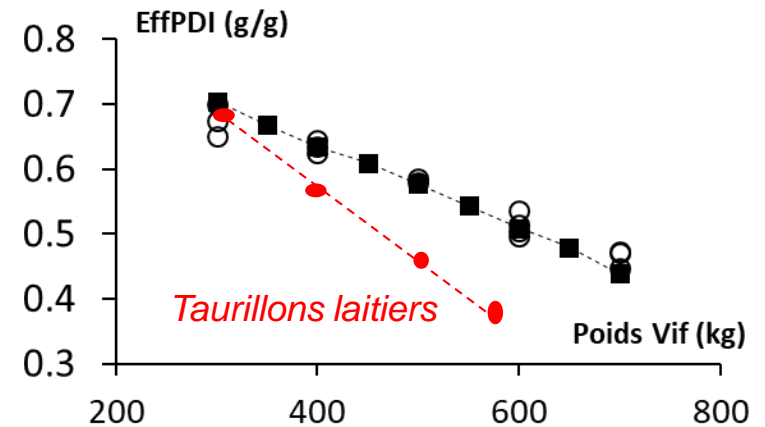
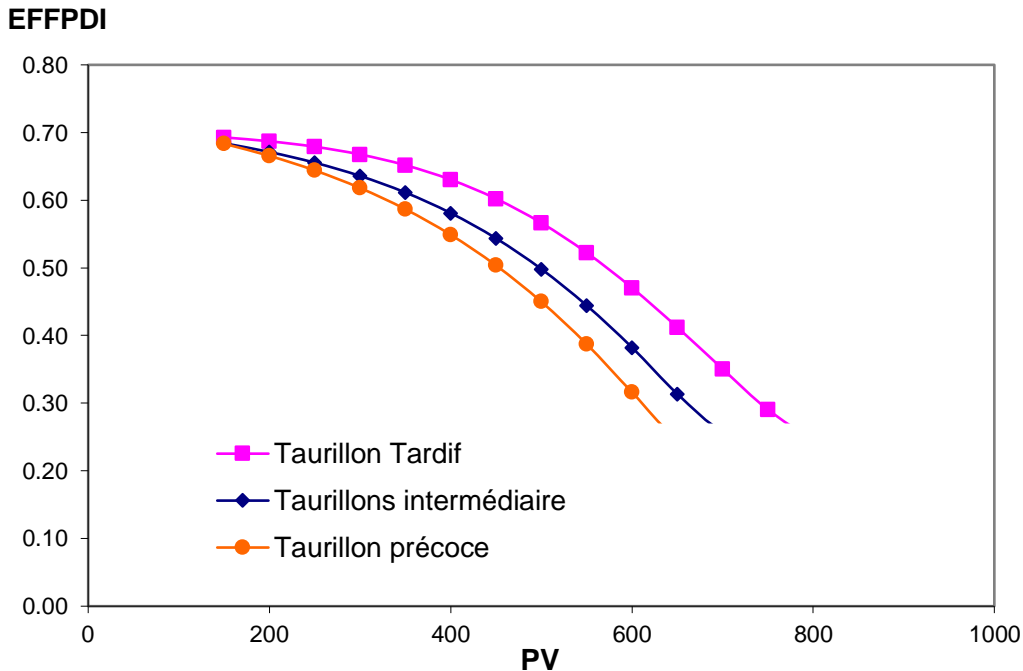
PDI

$$\text{EFFPDI} = \text{SYNTHESE (output)} / \text{PDI disponible (input)}$$

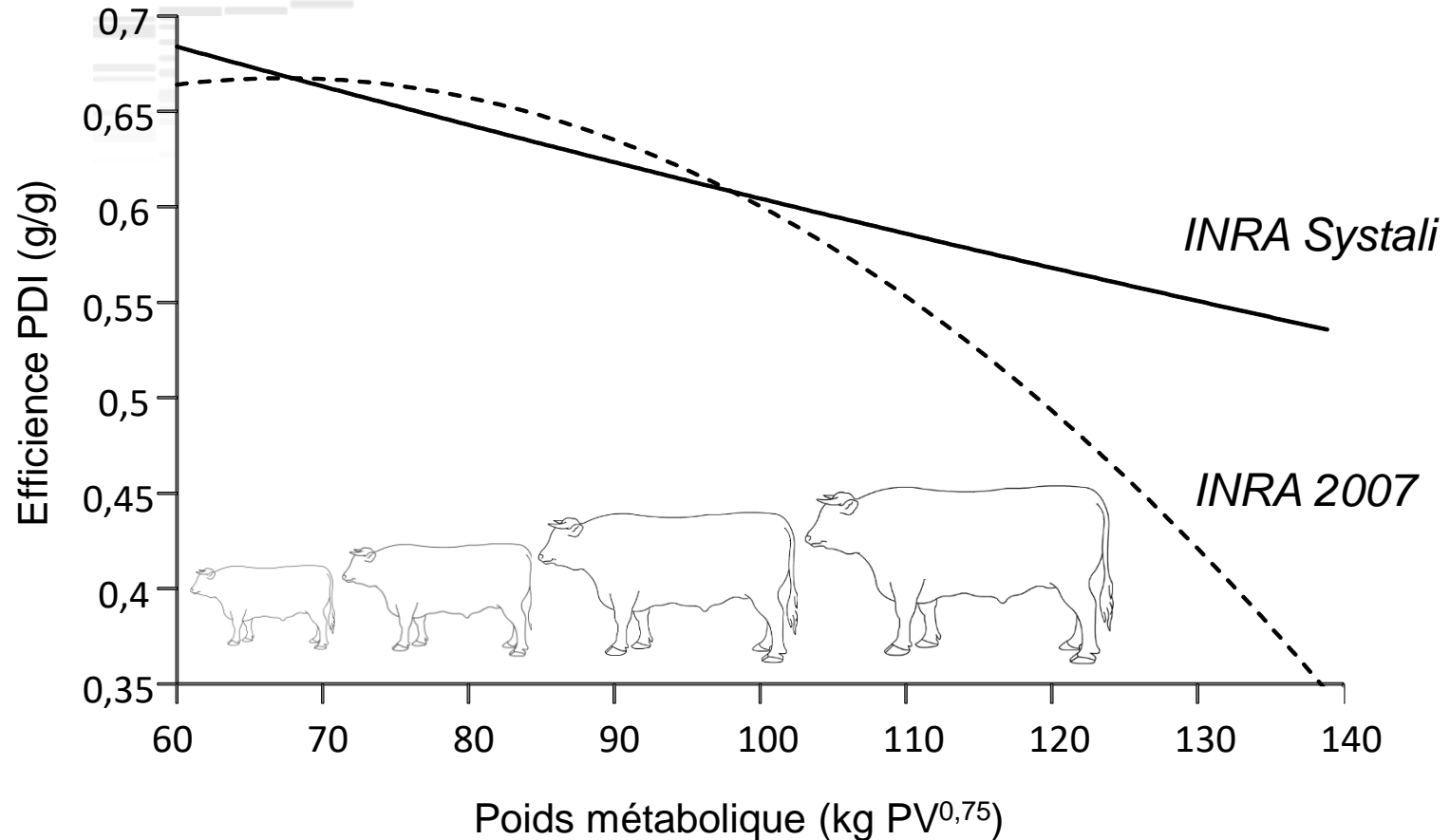
SYNTHESE
PROTEIQUE

INEFFICIENCE : N Urinaire

EFFPDI ~ PV et LIPIDES%



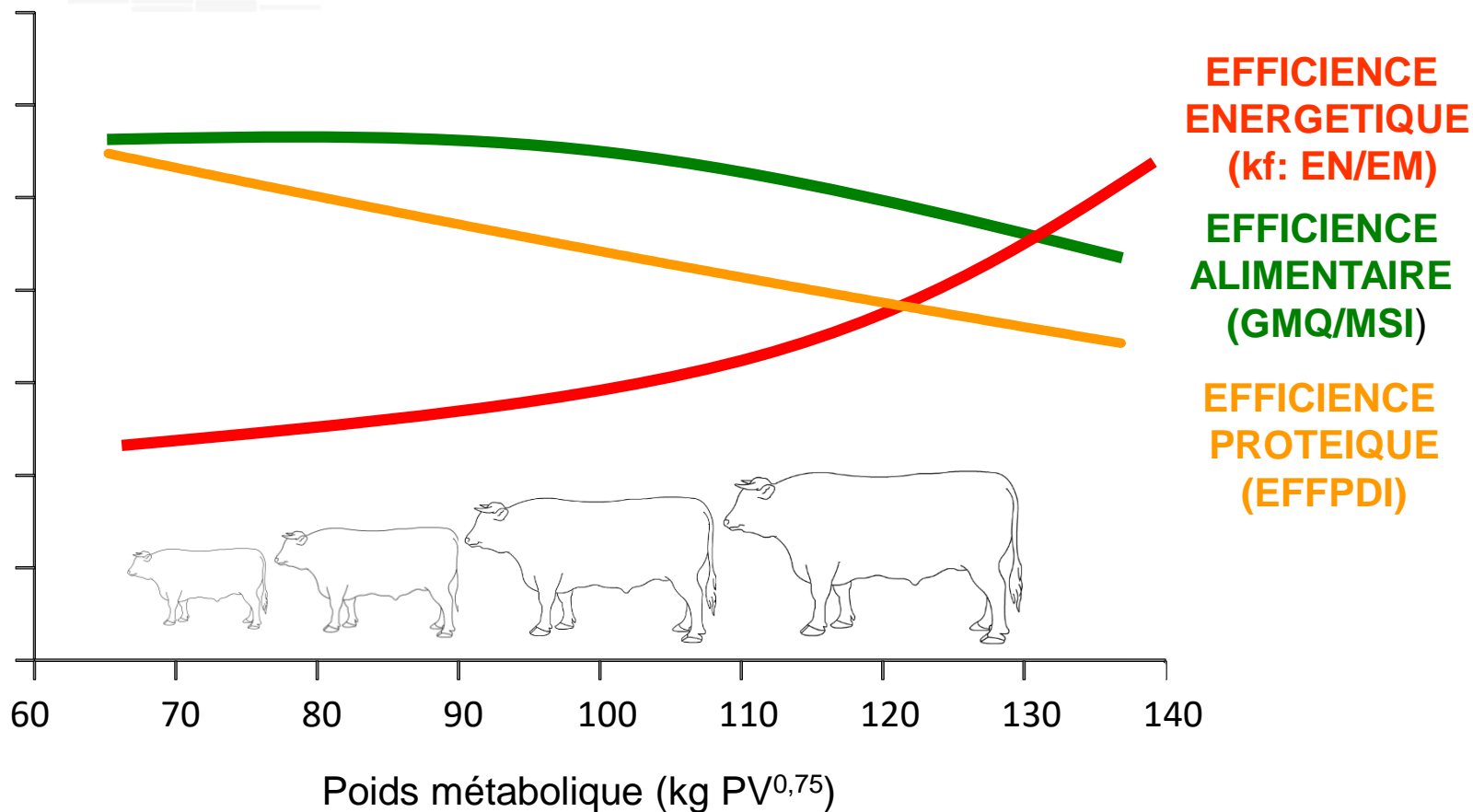
EffPDI en fonction de l'âge



Tous les organismes deviennent moins efficaces à utiliser les protéines avec l'âge.

+ Ruminant : *nécessité de fournir de l'azote aux microorganismes pour maintenir un bon fonctionnement du rumen* => *Fin engraissement : apport PDI excédentaire (hôte)*
=> *Faible efficacité PDI*

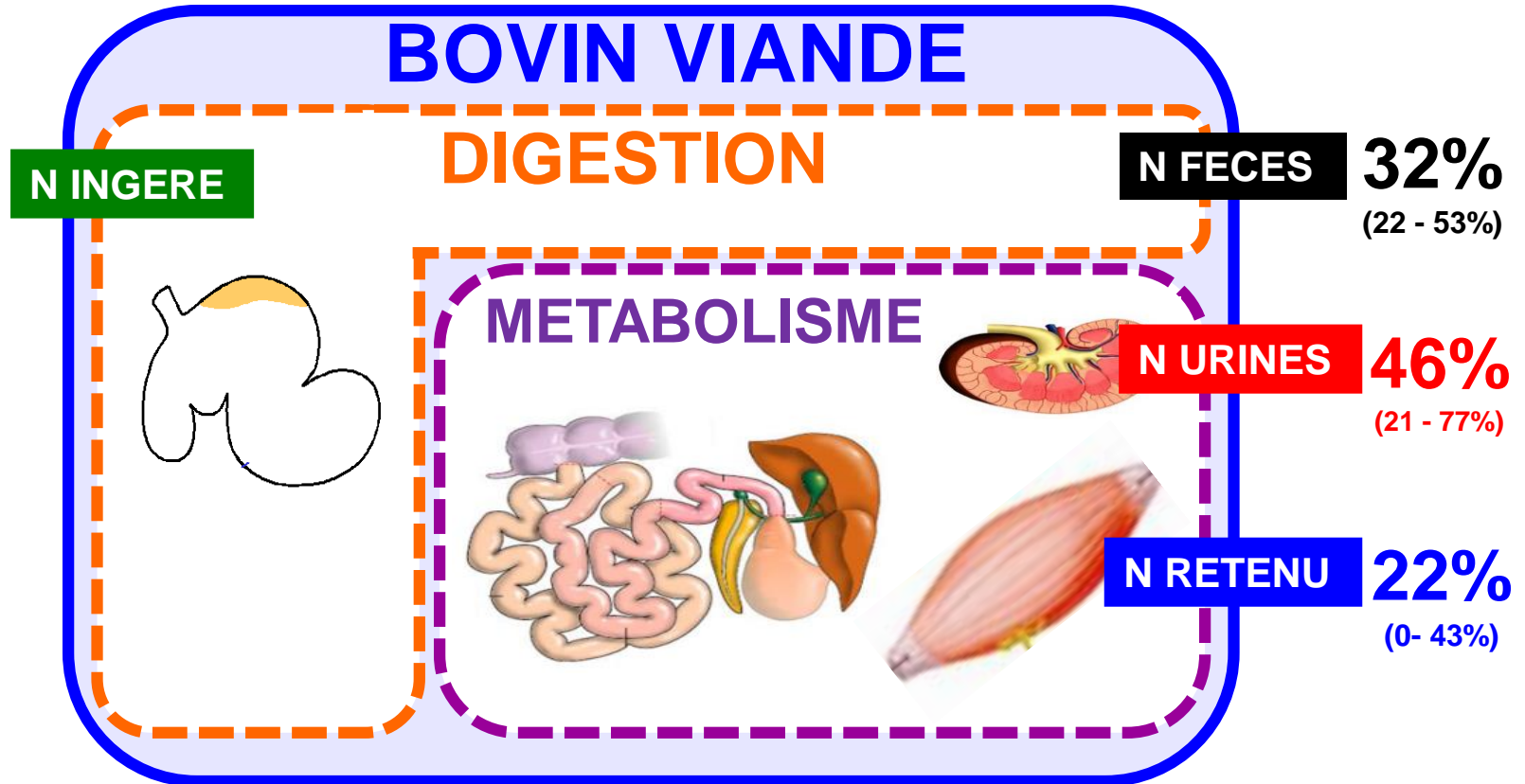
Evolution des efficacités au cours du temps chez l'animal en croissance



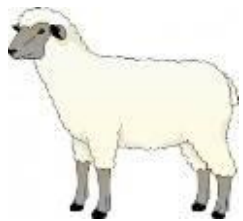
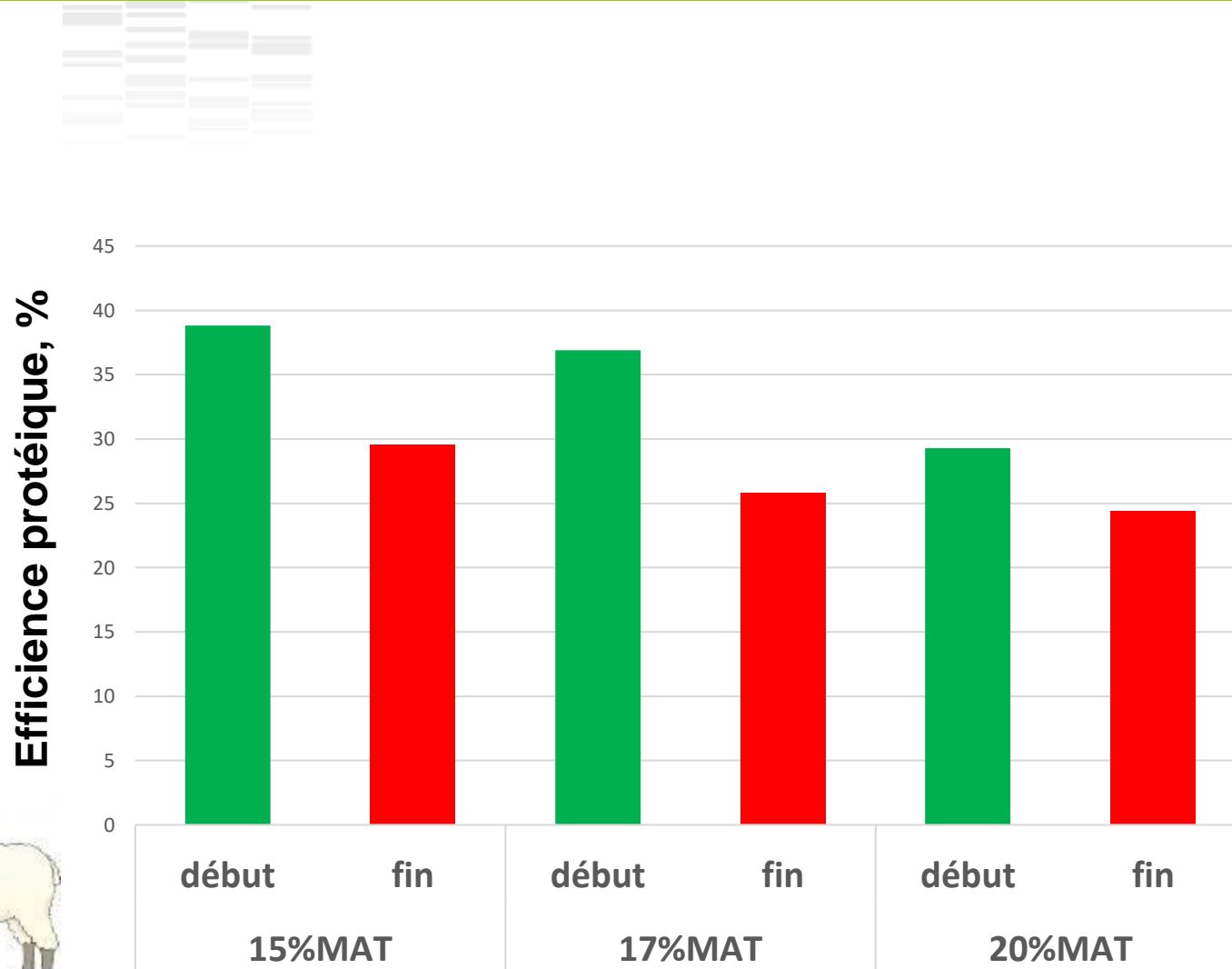
CAPACITE DU RUMINANT A FIXER L'AZOTE ALIMENTAIRE DANS DES PROTEINES ANIMALES : FAIBLE ET TRES VARIABLE

Yan et al., 2007

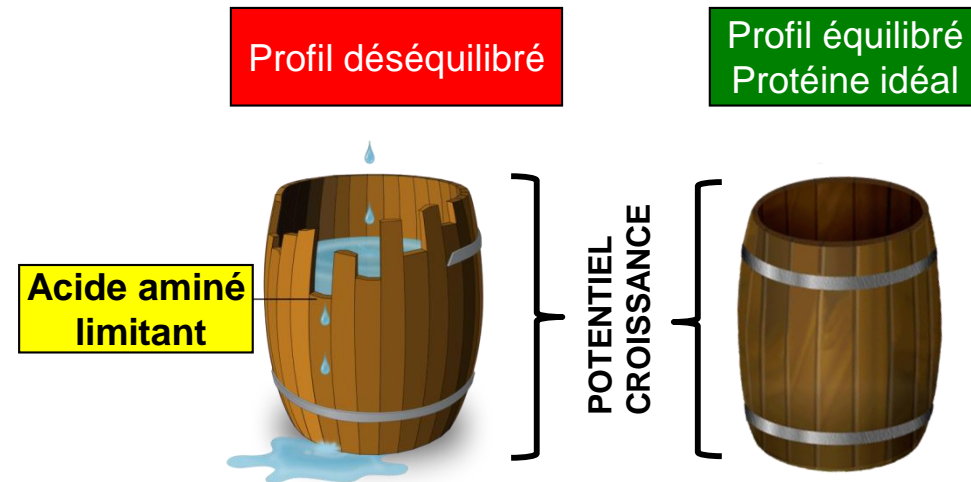
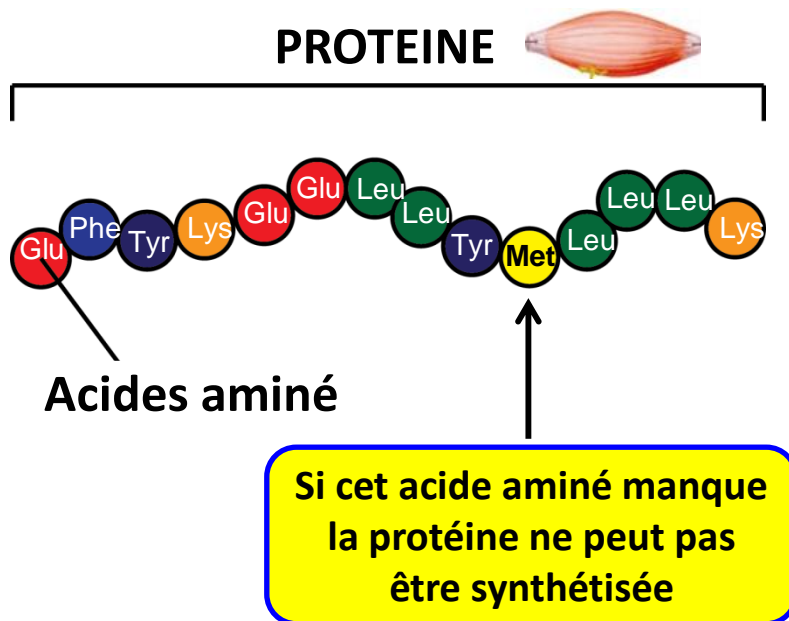
n = 286 (Jeune bovins en croissance ou engraissement)



EFFICIENCE PROTEIQUE DECROISSANTE AVEC L'AGE: VERS UNE ALIMENTATION PAR ETAPE



SYNTHESE DE PROTEINES ANIMALES: CONCEPT D'ACIDE AMINE LIMITANT



PERFORMANCES AMELIOREES LORSQUE LE PROFIL EN ACIDES AMINES EST EQUILIBRE

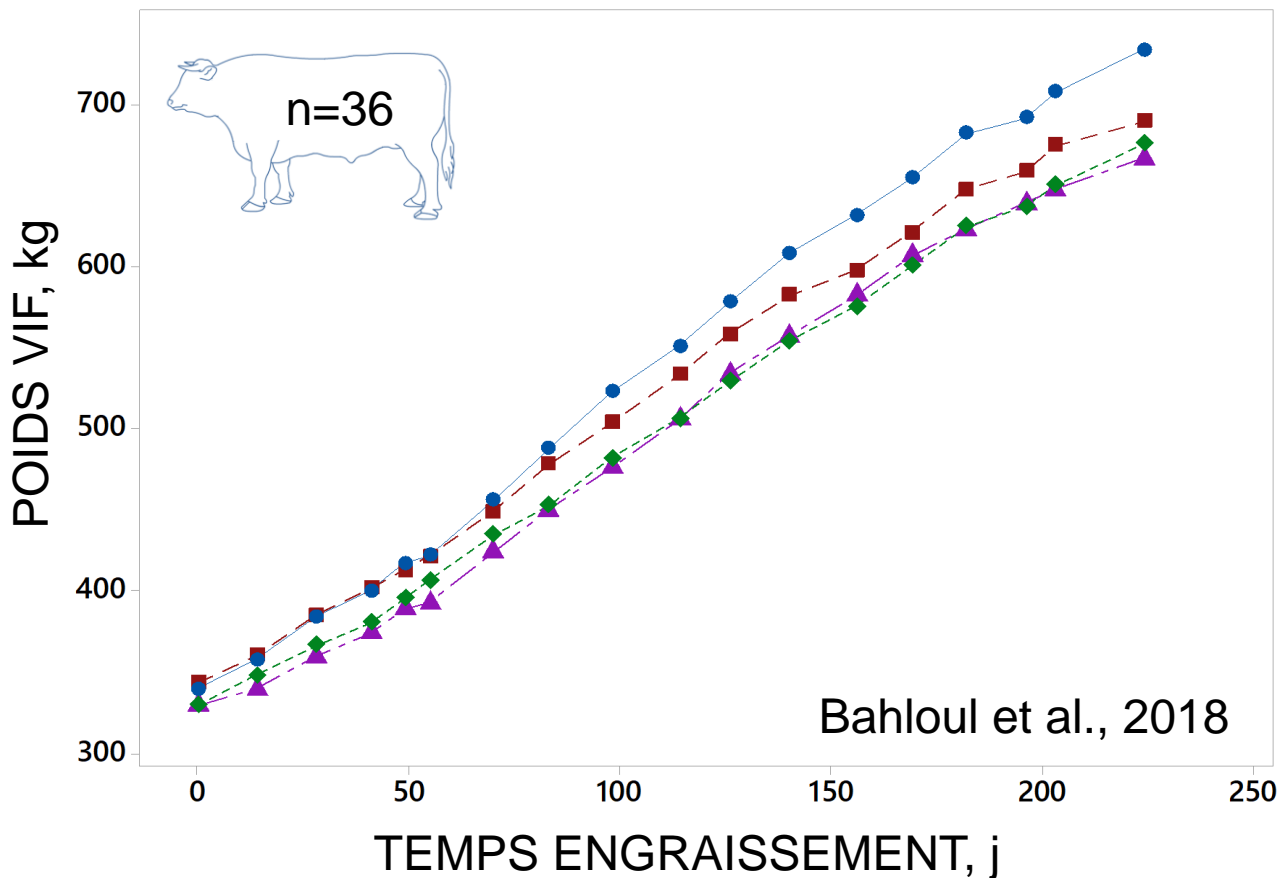
Teneur PDI	Profil AA
OK	OK
OK	Mauvais
BAS	OK
BAS	Mauvais

734 kg

690 kg

676 kg

668 kg





L'EFFICIENCE ALIMENTAIRE:

GENETIQUE

FEED CONVERSION

FCR ou IC

(Feed conversion ratio
Index de conversion)

$$\frac{\text{Ingestion}}{\text{Gain PV}}$$



FCE

(Feed Conversion
Efficiency)

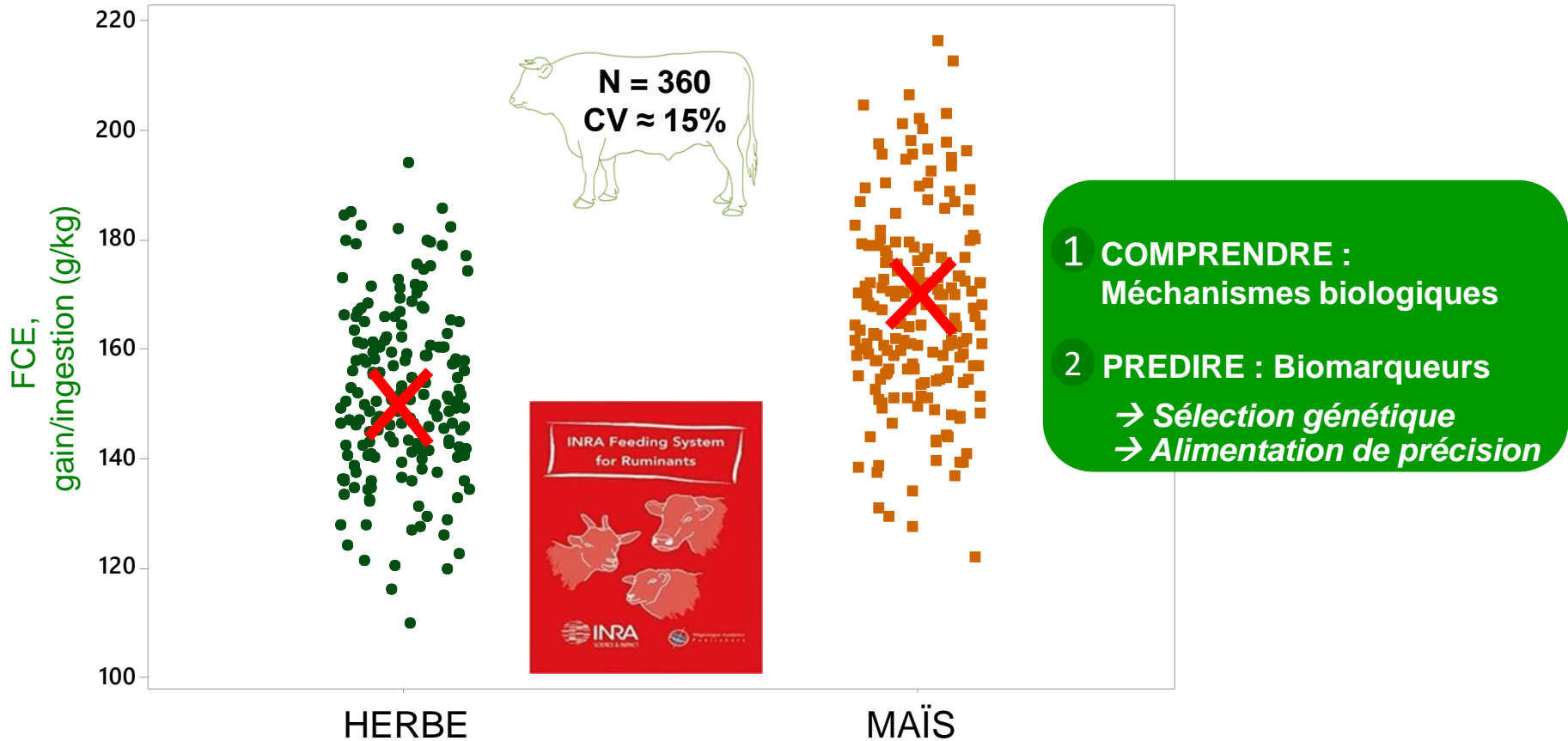
$$\frac{\text{Gain PV}}{\text{Ingestion}}$$



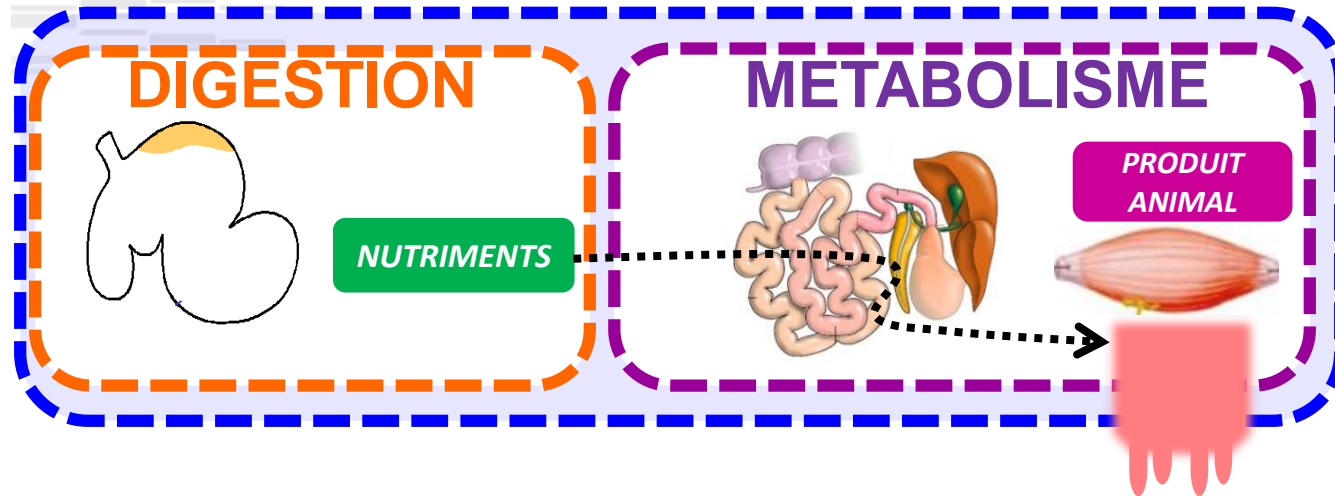
- Facile à comprendre
- Haute corrélation avec le gain poids (GMQ)
- Réponse inconsistante pour l'ingestion : Problèmes des index-ratio

NUTRITION vs GENETIQUE

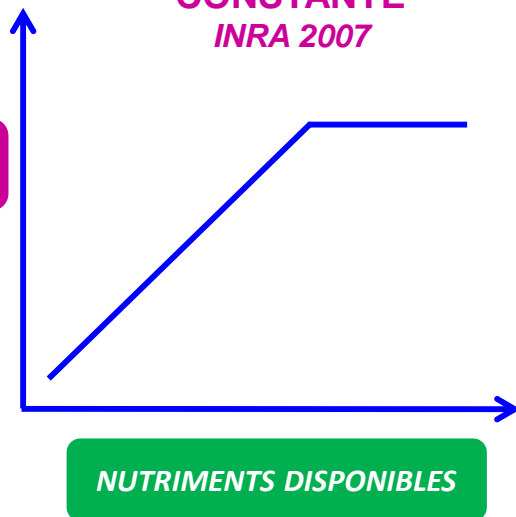
CHEZ LE JEUNE BOVIN EN ENGRAISSEMENT : Δ EA individu \approx Δ EA régimes



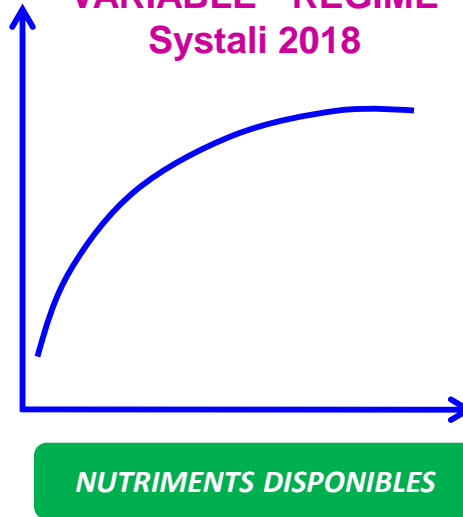
EVOLUTION DES SYSTEMES DE RECOMMANDATIONS



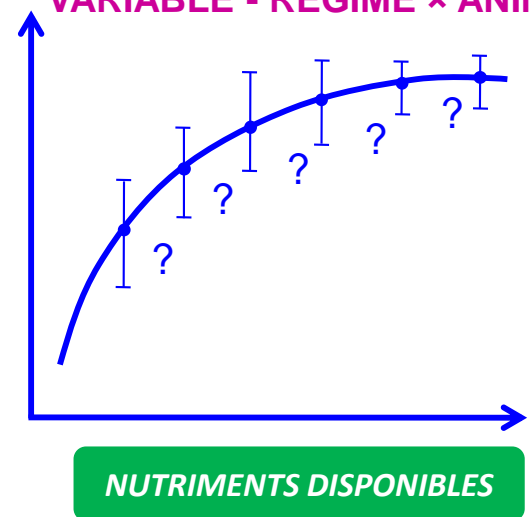
CONSTANTE
INRA 2007



VARIABLE - REGIME
Systali 2018



VARIABLE - REGIME × ANIMAL

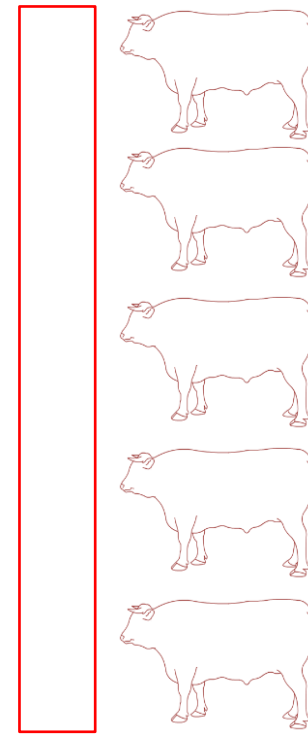
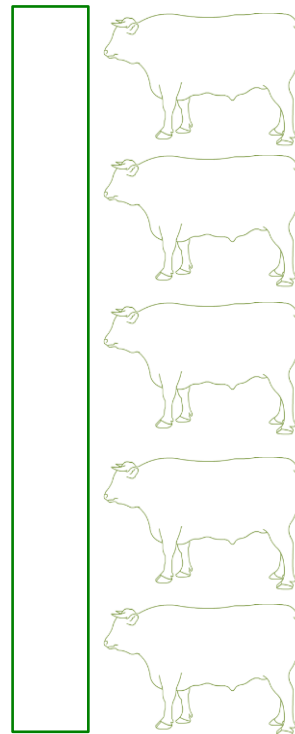
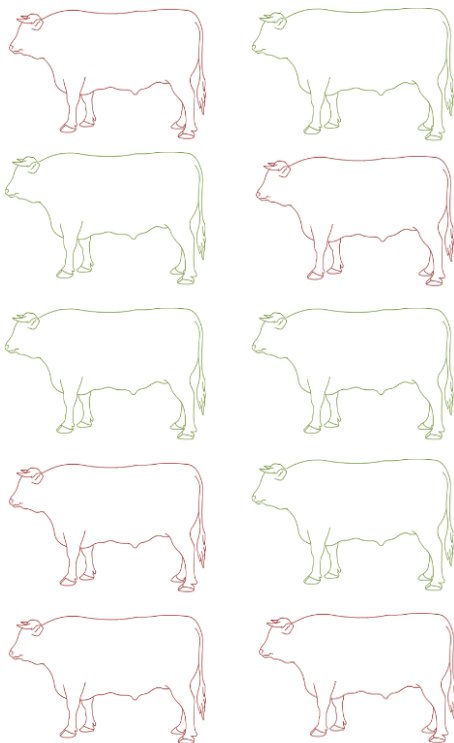


AUGMENTER L'UTILISATION DES FOURRAGES : VERS UNE ALIMENTATION DE PRECISION

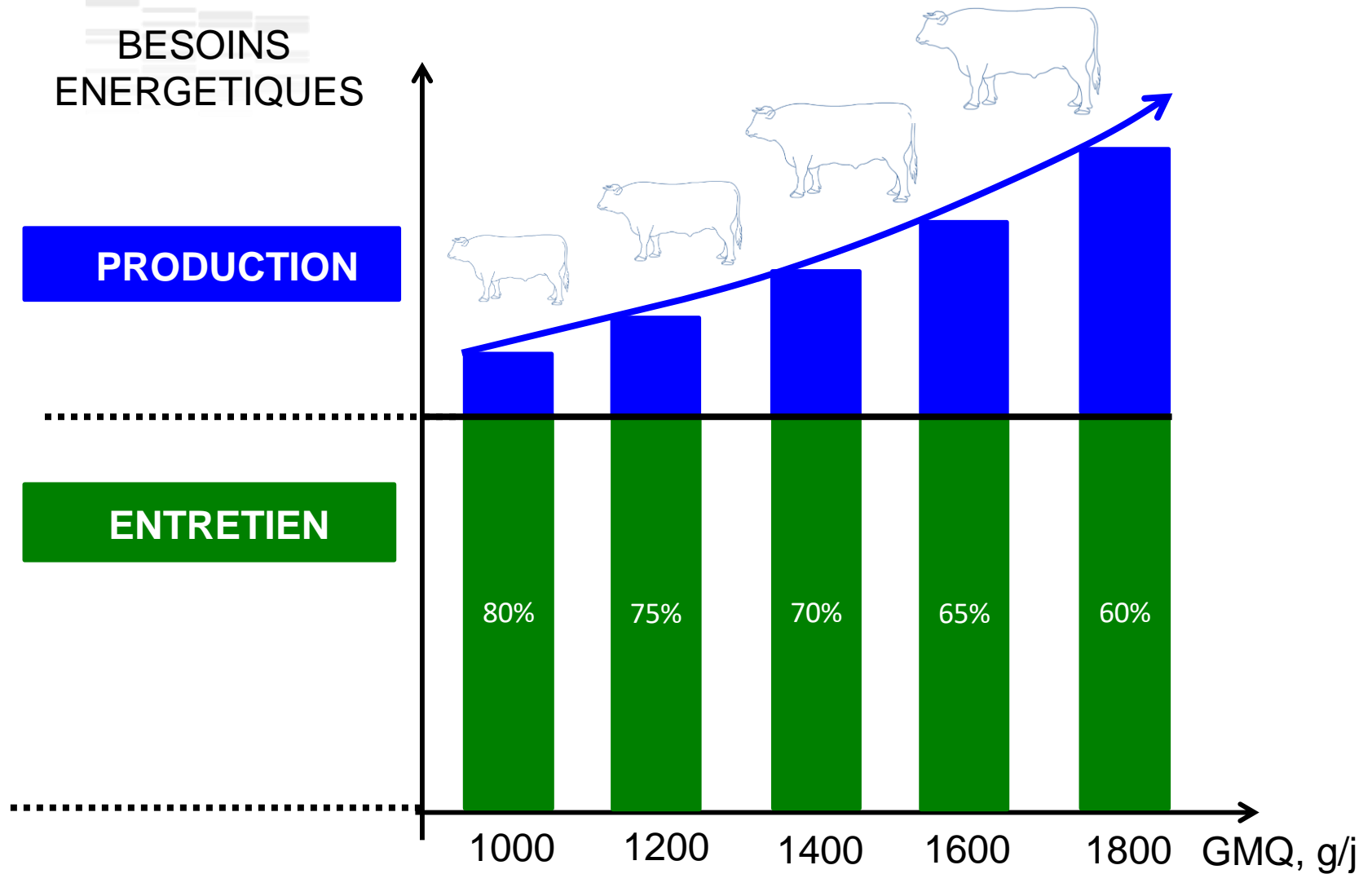
Détection précoce
du potentiel

Supplémentation adaptée
au potentiel

REGIME RICHE EN CELLULOSE



PLUS ON VA VITE MOINS ON COUTE



EFFICIENCE ALIMENTAIRE DANS LE SYSTEME BOVIN ALLAITANT

REGIMES
FOURRAGERES



SYSTEME NAISSEUR
70-80% BESOIN ENERGETIQUES POUR
LA **MAINTENANCE**



REGIMES
FOURRAGERES

GENISSES
DE REMPLACEMENT

PHASE CROISSANCE

JB ENGRAISSEMENT
GENISSES ENGRAISSEMENT

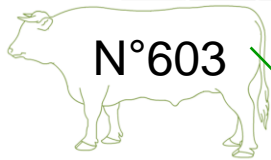
PHASE CROISSANCE



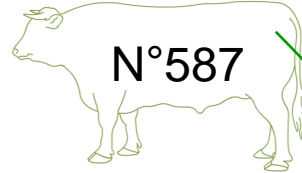
REGIMES DENSES
EN ENERGIE

EFFICIENCE ALIMENTAIRE DANS LE SYSTEME

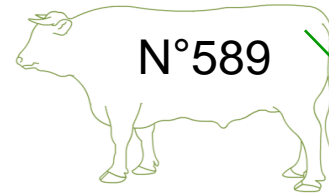
ANIMAUX EN CROISSANCE



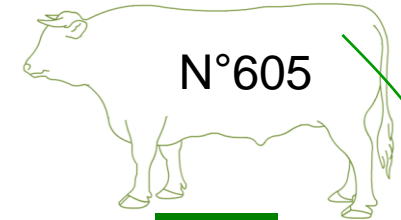
N°603



N°587



N°589



N°605

FCE, kg/kg

0,16

0,17

0,18

0,20

GMQ, kg/j

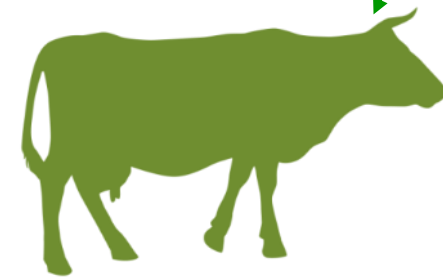
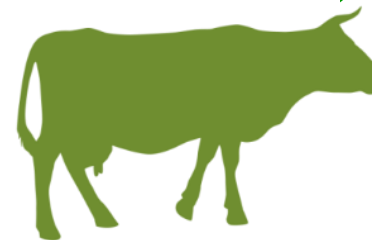
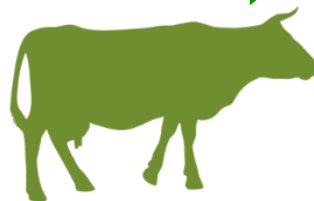
1,65

1,80

1,85

2,00

TROUPEAU REPRODUCTEUR



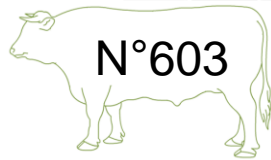
- FORTE HERITABILITE POUR LE POIDS VIF ADULTE (**JB LOURDS = VACHES LOURDS**)

=> BESOIN D'ENTRETEIN DU TROUPEAU REPRODUCTEUR PLUS ELEVES ($\approx 2/3$ Ferrell et Jenkins, 1985)

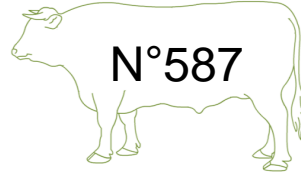
- JB ONT BESOIN DES REGIMES DE PLUS EN PLUS DENSE EN ENERGIE POUR FINIR

POURQUOI RFI?

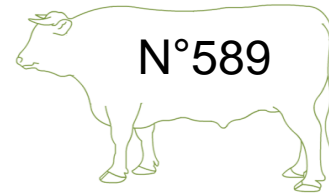
ANIMAUX EN CROISSANCE



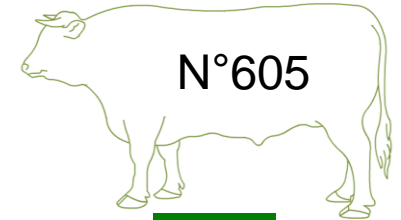
N°603



N°587



N°589



N°605

FCE, kg/kg

0,16

0,17

0,18

0,20

GMQ, kg/j

1,65

1,80

1,85

2,00

RFI, kg MS/j

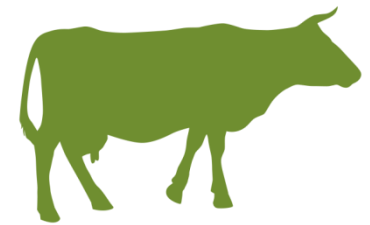
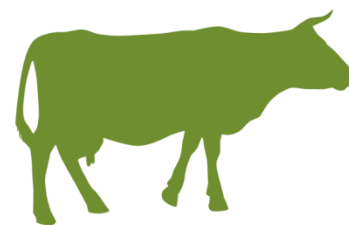
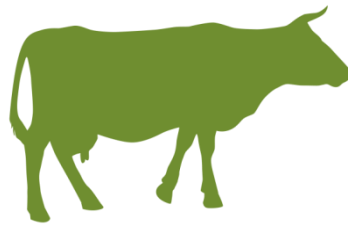
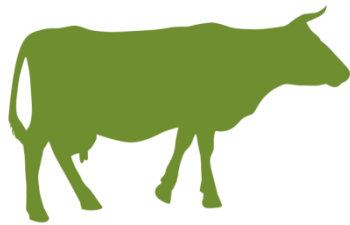
+0,75

-0,40

-1,10

+0,57

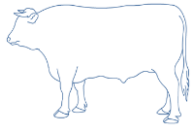
TROUPEAU REPRODUCTEUR



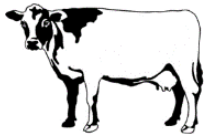
INDICES GENETIQUES D'EFFICIENCE ALIMENTAIRE

Residual feed intake; RFI (ϵ) = MSI obs – MSI théorique

Residual energy intake; REI (ϵ) = ENI obs – ENI théorique



$$\text{MSI obs} = \beta_0 + \beta_1 PV^{0.75} + \beta_2 \text{GMQ} + \epsilon$$



$$\text{ENI obs} = \beta_0 + \beta_1 PV^{0.75} + \beta_2 E_{\text{Lait}} + \beta_3 \Delta \text{NEC} \times PV + \epsilon$$

$PV^{0.75}$ et GMQ/Elait = principaux déterminants mais on peut inclure d'autres si mesurés

ϵ = erreur ou résidus du modèle

→ Contenant la variabilité inter-individu

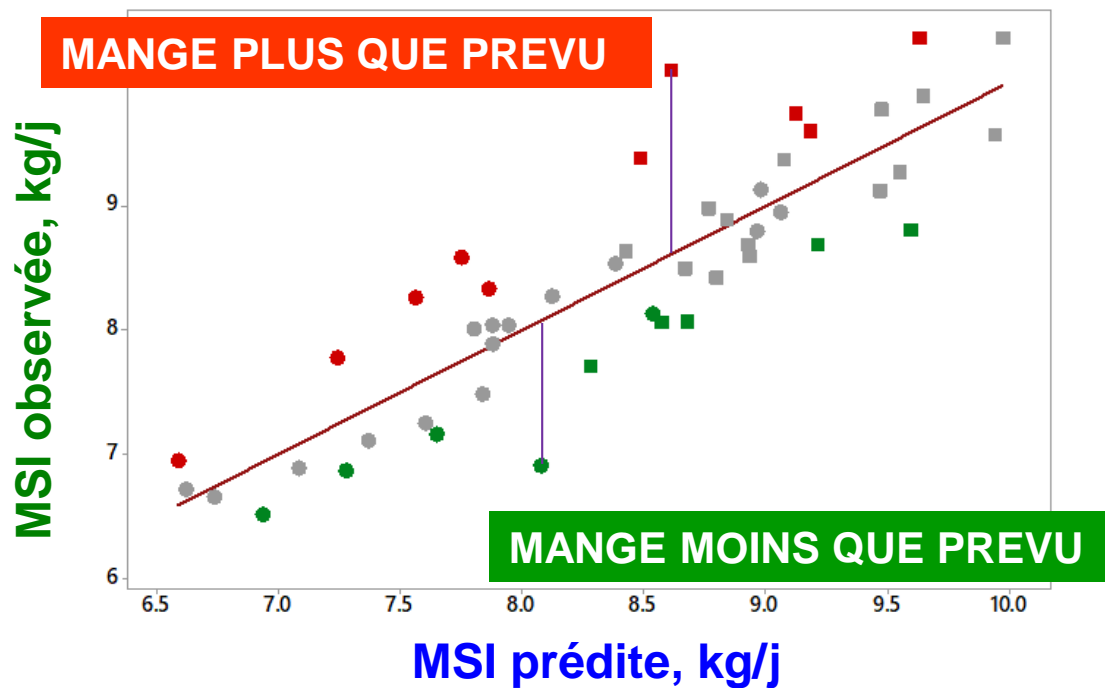
→ Contenant les ERREURS DE MESURE

RESIDUAL FEED INTAKE (RFI)

MSI prédite

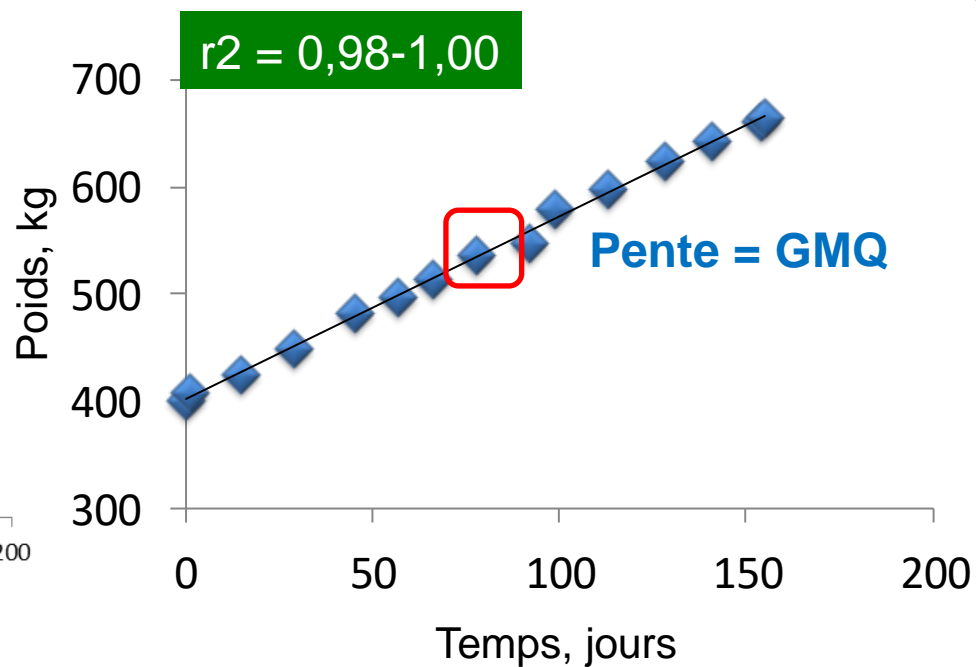
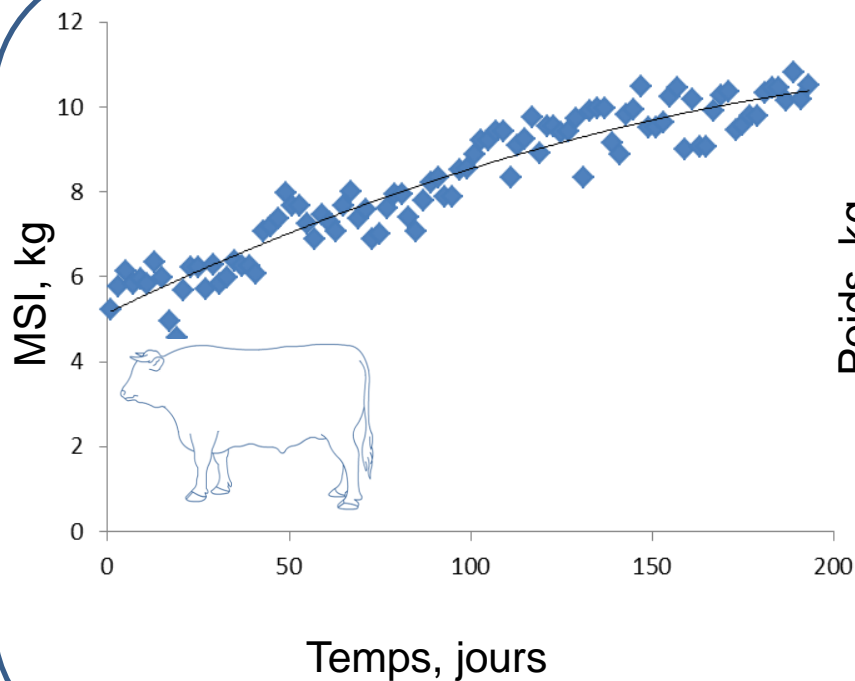
$$\text{MSI observée} = \beta_0 + \beta_1 \text{PV}^{0.75} + \beta_2 \text{GMQ} + \epsilon$$

$$\text{RFI} (\epsilon) = \text{MSI observée} - \text{MSI prédite}$$



CALCUL RFI

$$\text{MSI mesurée} = \beta_0 + \beta_1 \text{PV}^{0.75} + \beta_2 \text{GMQ} + \epsilon$$



EVALUATING INDIVIDUAL FEED EFFICIENCY: TIME AND LABOR CONSUMING



RECOMMENDATION

- RECORDING INDIVIDUAL DRY MATTER INTAKE (DAILY) AND BODY WEIGHT (WEEKLY) DURING AT LEAST 56 DAYS
- OR >70 DAYS IF BODY WEIGHT IS REGISTERED EVERY 2 WEEKS

INDICES D'EFFICIENCE ALIMENTAIRE



FEED CONVERSION RATIO
(FCR; ingéré/gain)

VS

RESIDUAL FEED INTAKE
(RFI; Ingéré Obs - Théor)



- Très corrélé aux performances animales
- Réponse variable comme index de sélection génétique (rapport)

- Ajusté à mêmes performances animales
- Les animaux efficaces sont ceux qui ingèrent moins que attendu

ANIMAUX EFFICIENTS SELON :

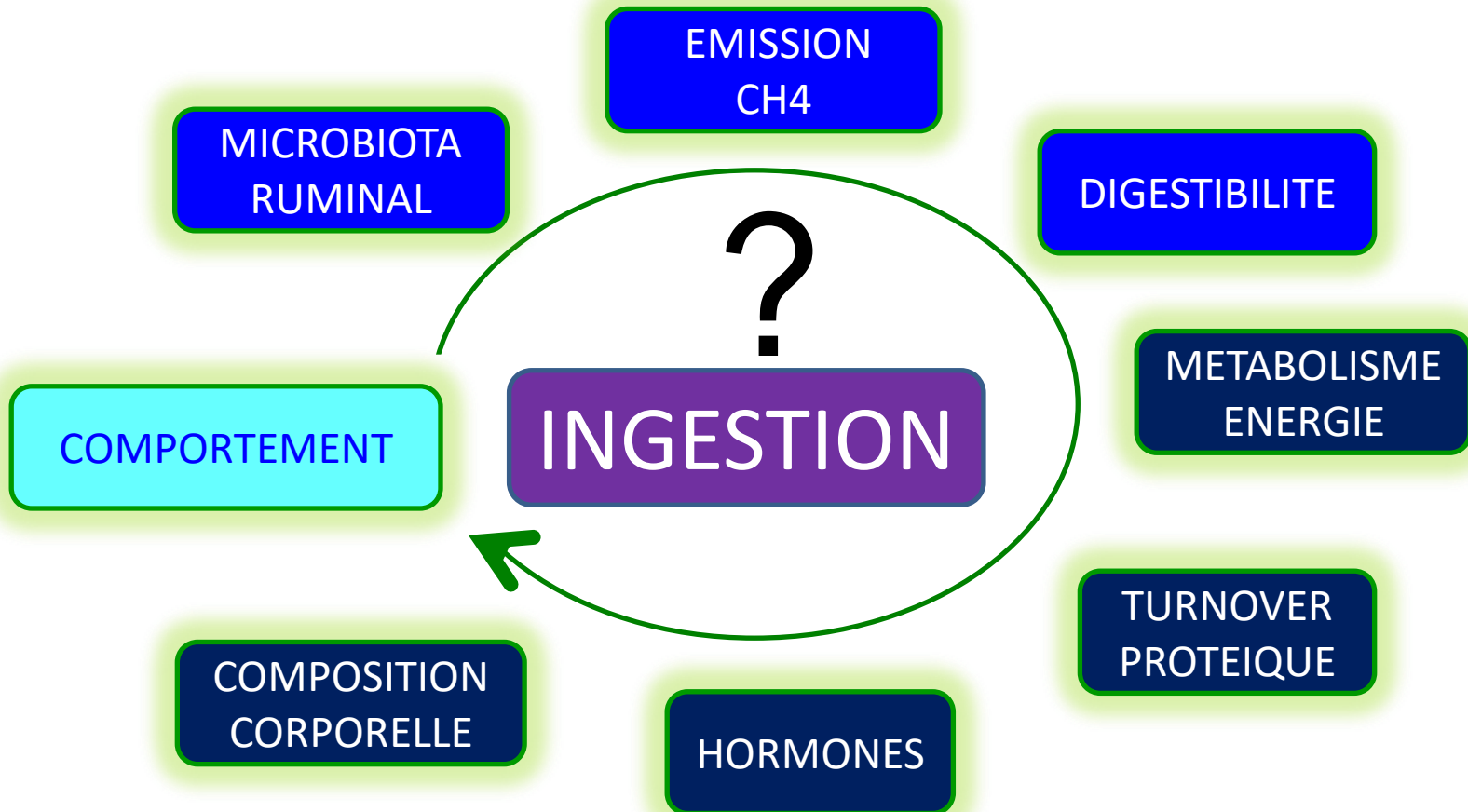
	FCR	RFI
PERFORMANCES	+	=
INGESTION	?	-



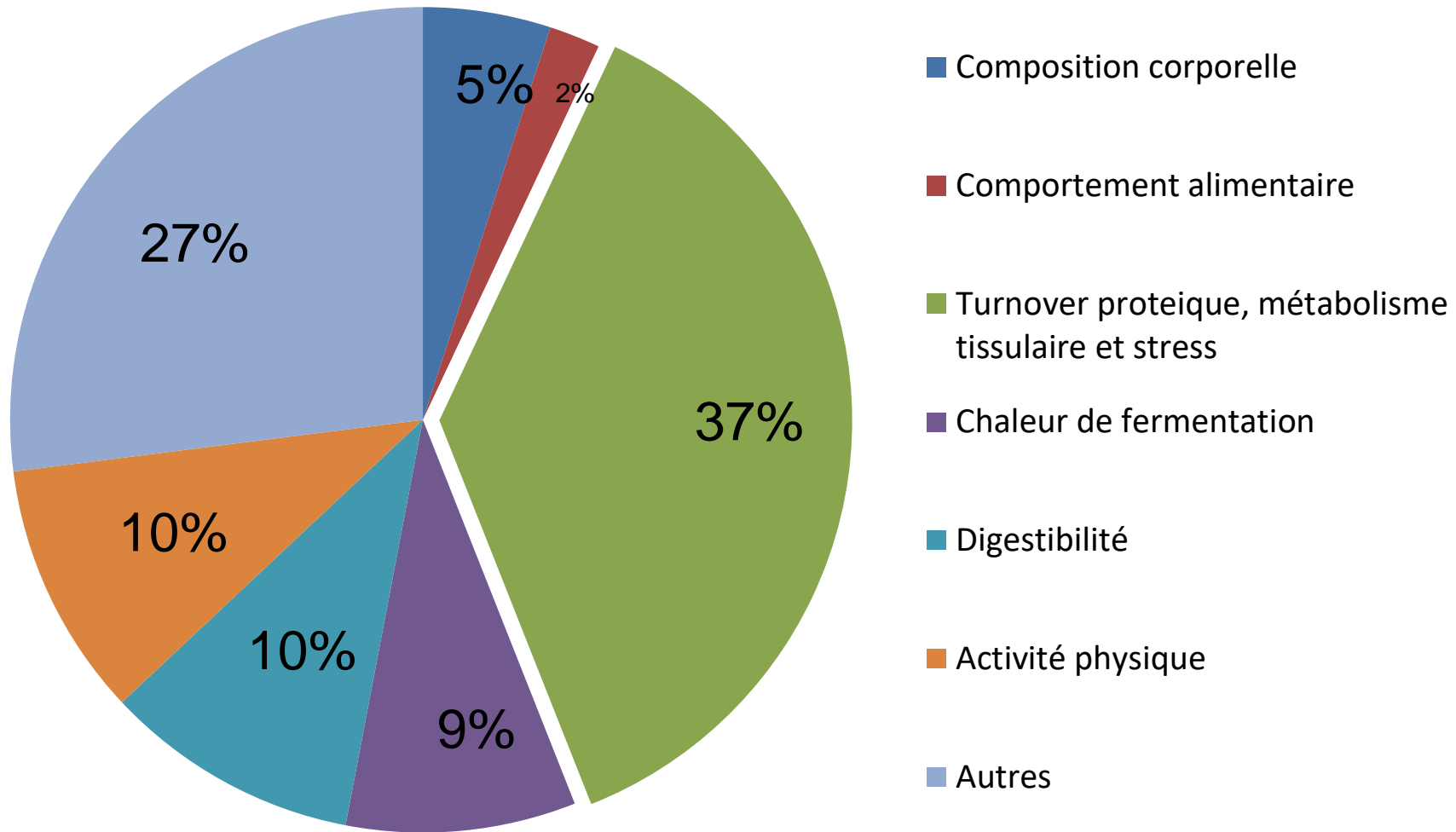
VARIABILITE INDIVIDUELLE DE L'EA :

MECANISMES ET DETERMINANTS

MECHANISMES/DETERMINANTS

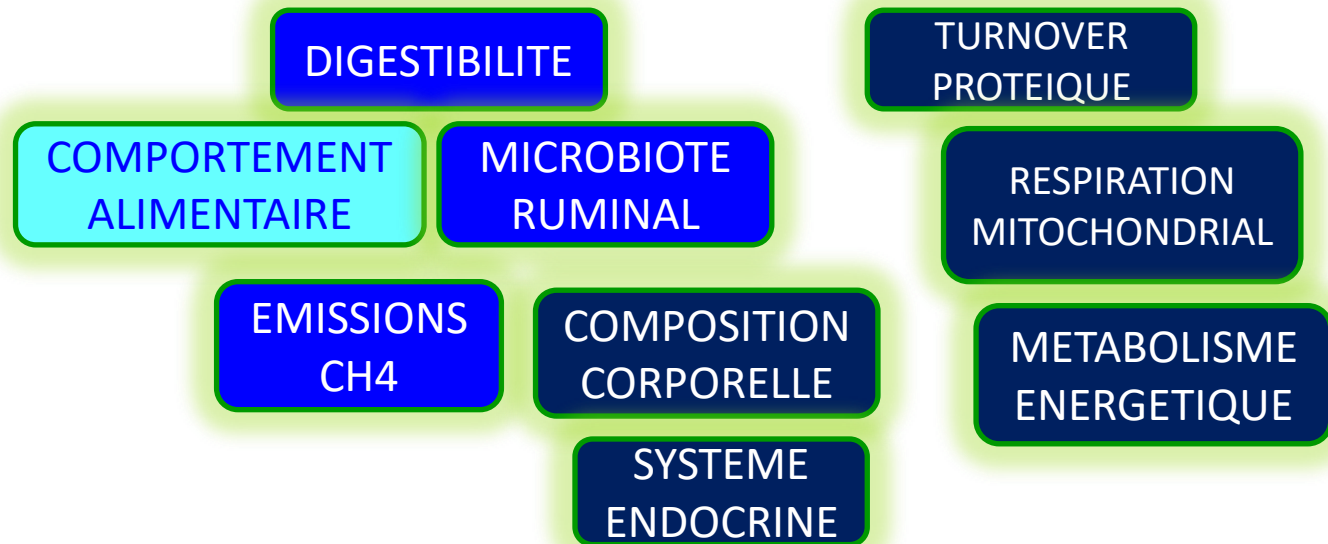


MECHANISMES/DETERMINANTS



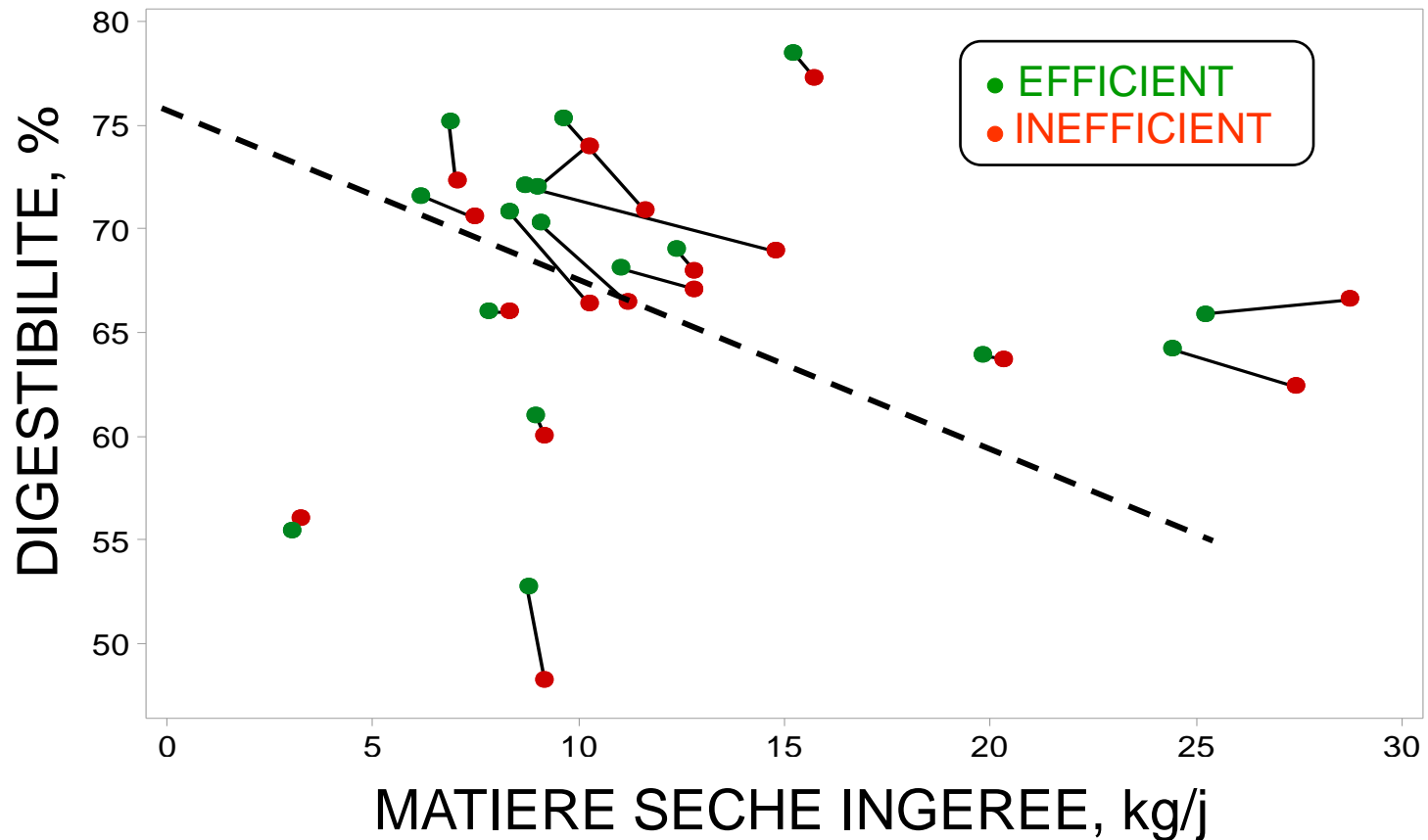
QUELS SONT LES DETERMINANTS DES VARIATIONS INDIVIDUELLES D'EA?

— **PROBABILITE D'ETRE UN VRAI DETERMINANT** +



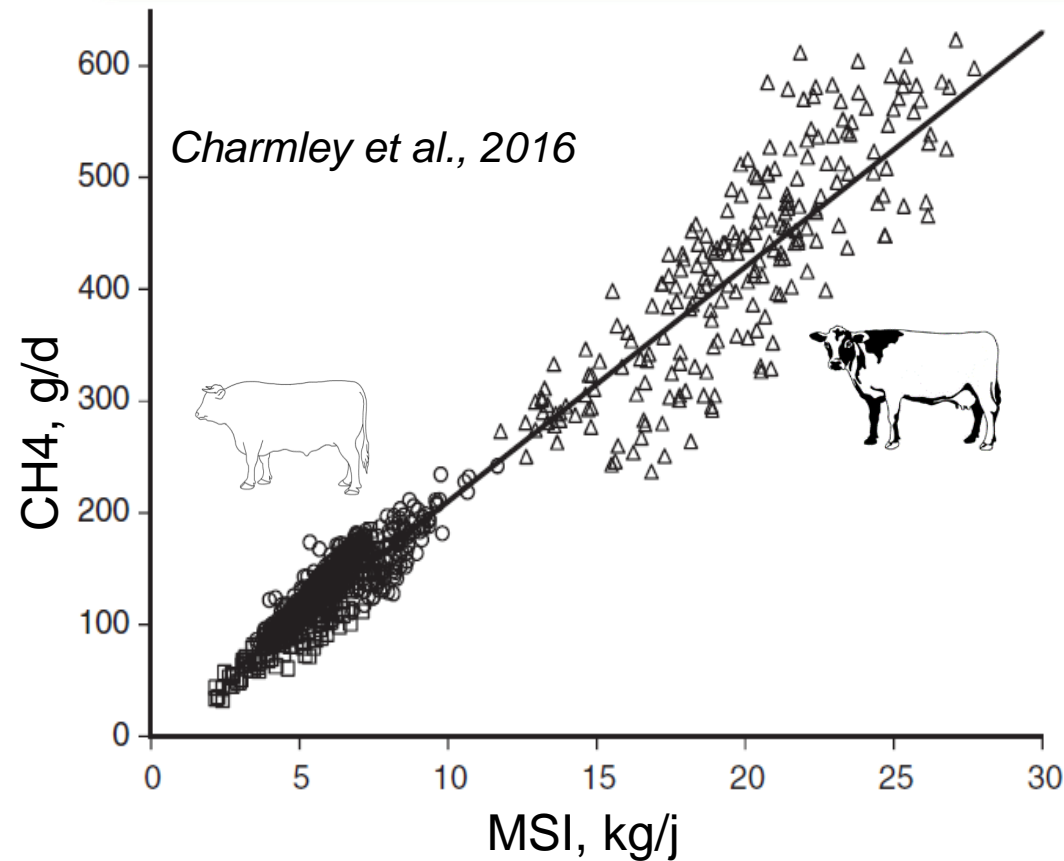
➤ *Ces conclusions ne s'appliquent qu'aux régimes riches en céréales!*

DIGESTIBILITE



Les animaux le plus efficaces (RFI négatif) ont une digestibilité plus élevée comme conséquence d'une ingestion plus faible

EMISSION DE METHANE



**COMPROMIS DIGESTIBILITE
vs EMISSION CH₄!**

THEORIE: Les animaux les plus efficaces (RFI negative) emettent moins de CH₄ car ils ingèrent moins

En pratique:

- Pas systématique
- Certains auteurs suggèrent que les animaux plus efficaces emettent moins de **CH₄ par unite d'ingéré (CH₄/kg MSI)** (Herd et al., 2016; McDonnell et al., 2016; Renand et al., 2016)

BASE BIOLOGIQUE

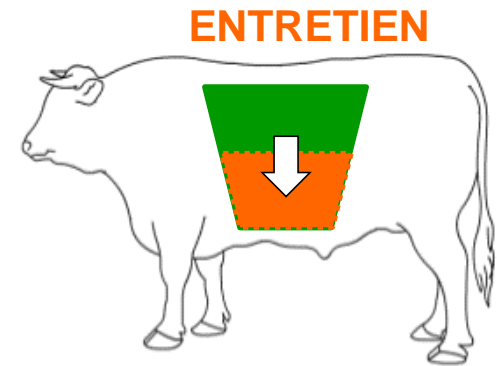
Animaux plus efficaces = Digestibilité accrue = Disponibilité de substrates au niveau du rumen augmentée
= Plus de CH₄ par unité d'ingéré

METABOLISME ENERGETIQUE

- Animaux efficients = Efficience d'utilisation de l'énergie plus élevée car:

1) Besoin d'entretien réduit

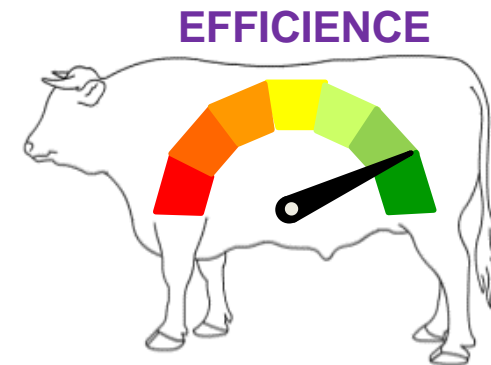
(Castro Bulle et al., 2007; Lawrence et al., 2012)



2) Efficience d'utilisation de l'énergie pour la croissance plus élevée

(Nkrumah et al., 2006)

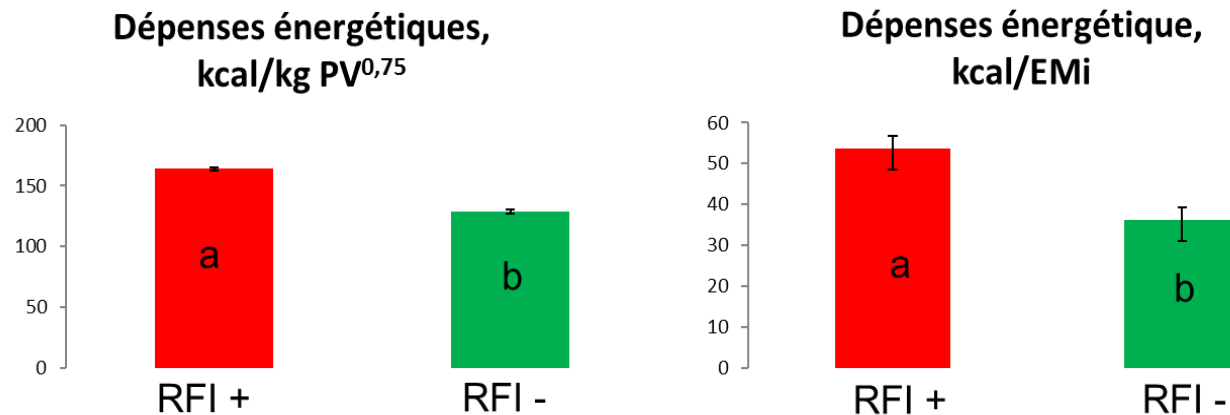
→ **Même à des quantités ingérées similaires**



METABOLISME ENERGETIQUE

Dépenses énergétiques

Efficient (RFI -) vs Inefficient (RFI +)



Nkrumah et al., 2006

COMPOSITION CORPORELLE

- Répartition carcasse / viscères impacte les dépenses énergétiques

% Corps entier

Poids

7-9

50

Dépense énergétique

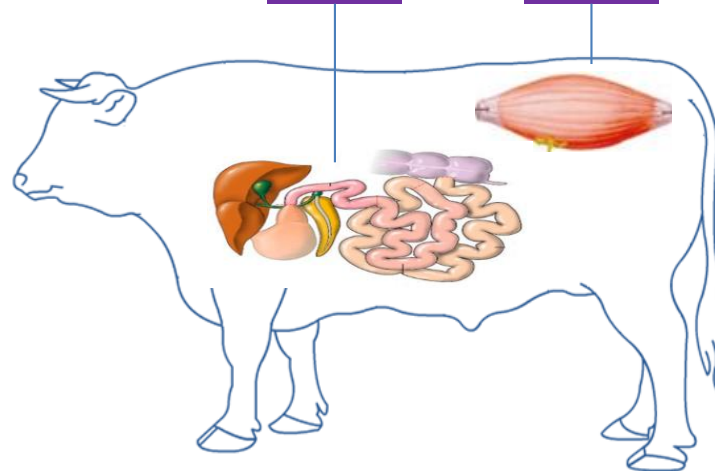
48

25-30

Synthèse protéique

36-60

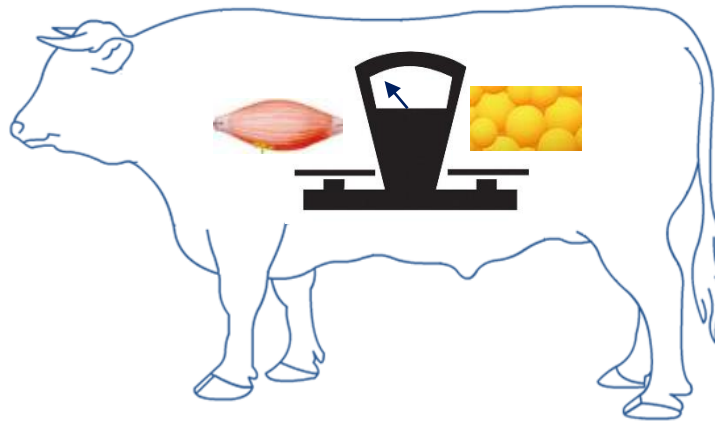
15-20



- Lien négatif entre EA (RFI bas) et % viscères dans nombreux études de la littérature, mais difficile à isoler l'effet du poids des organes par rapport aux changement d'ingestion

COMPOSITION CORPORELLE

- **Proportion muscle/gras : Avec la même quantité d'énergie on dépose 3x plus de poids avec le muscle vs gras!!**



- **Des études génétiques montrent que les animaux le moins gras sont ceux les plus efficaces. Néanmoins la contribution de ce mécanisme reste faible**
- **L'inclusion du gras corporelle dans le modèle RFI n'améliore que très peu l'ajustement du modèle.**

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION



gonzalo.cantalapiedra@inra.fr