
Comment améliorer les taux de matières utiles
dans le lait ?
Solutions actuelles et perspectives d'avenir ...

Beckers Yves

Université de Liège
Gembloux Agro-Bio Tech
Département des Sciences agronomiques
Zootechnie

A emporter ...

- % lactose : peu variable
- % matières grasses et protéines
 - Variables et modulables
 - Leviers immédiats et réversibles
 - Leviers sur le plus long terme et irréversibles
- % MG est le plus fortement et rapidement modifiable ... à la hausse comme à la baisse

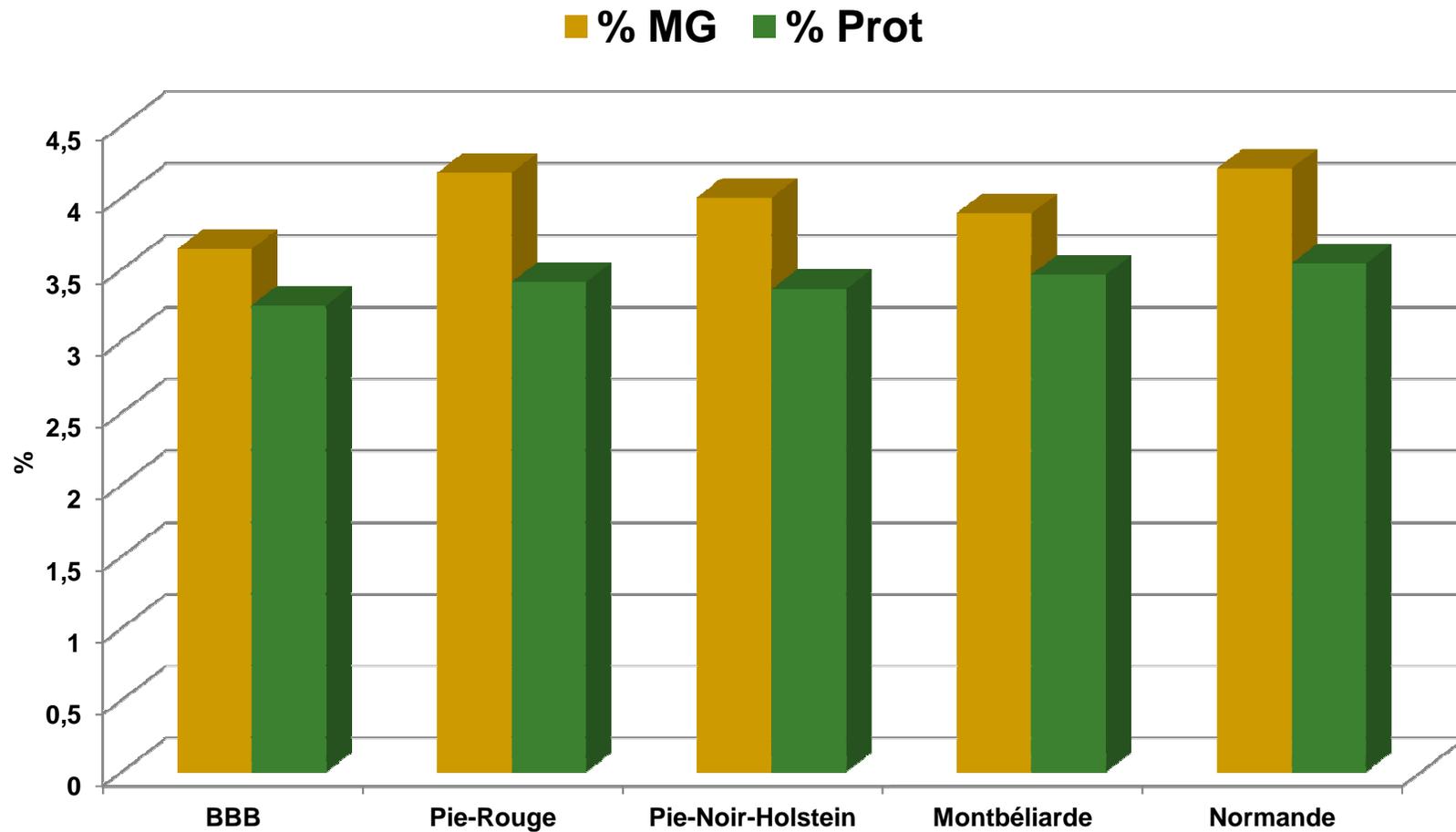
Sécrétion du lait par la glande mammaire

- Conséquences de nombreux mécanismes
 - Cyclicité de la glande mammaire
 - Développement et fonctionnement
 - Facteurs génétiques
 - Facteurs liés aux conduites d'élevage
 - Leviers alimentaires
 - Les pratiques de traite
 - Durée de la lactation et du tarissement
 - Facteurs liés à la santé de l'animal et du pis

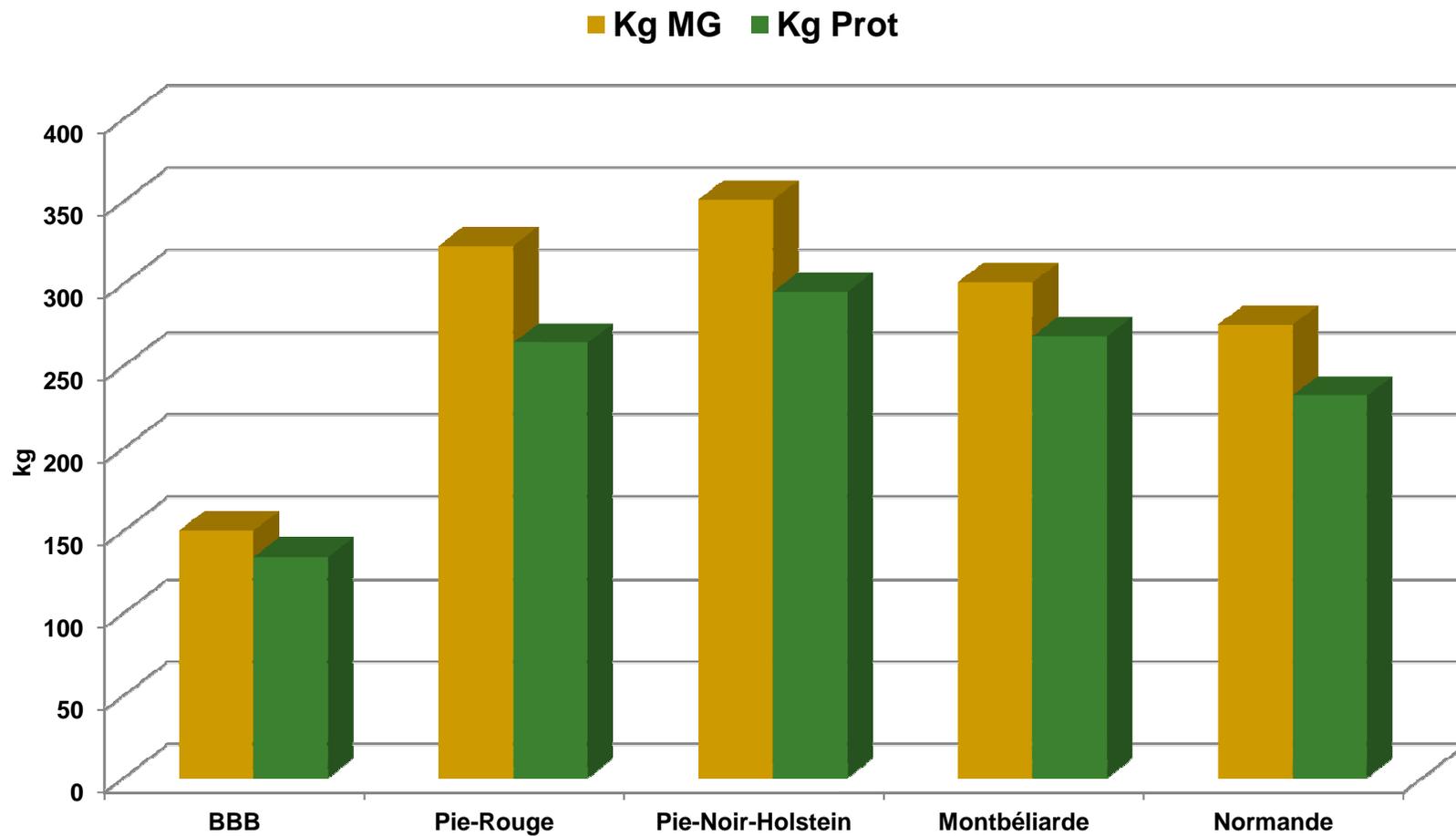
Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
 - Raisonner la quantité de lait et les taux → quantité de MU

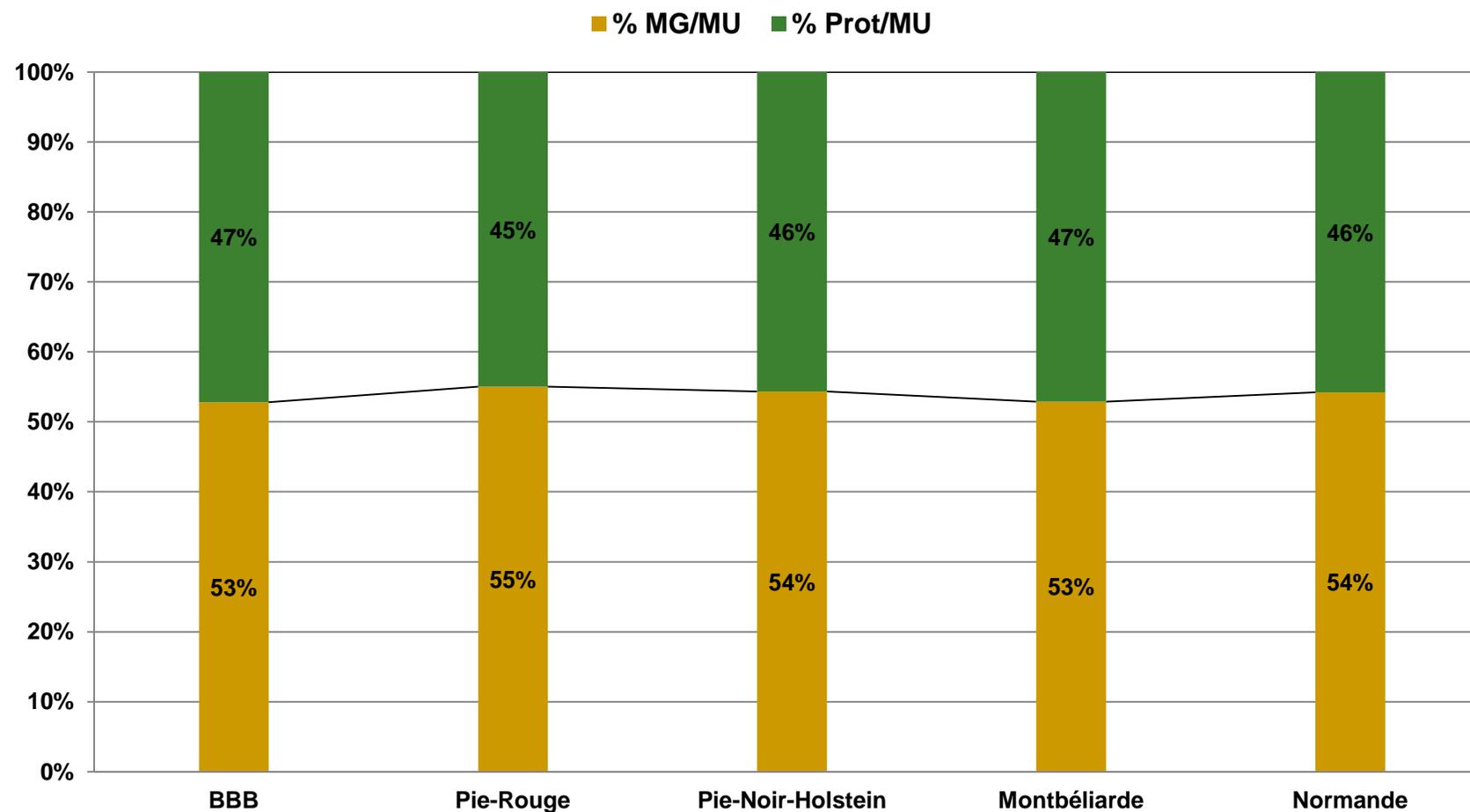
Effets des races sur les taux de MU



Effets des races sur les quantités de MU par lactation



Part de la MG et des Prot dans la MU produite par lactation



Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race

Effets génétiques

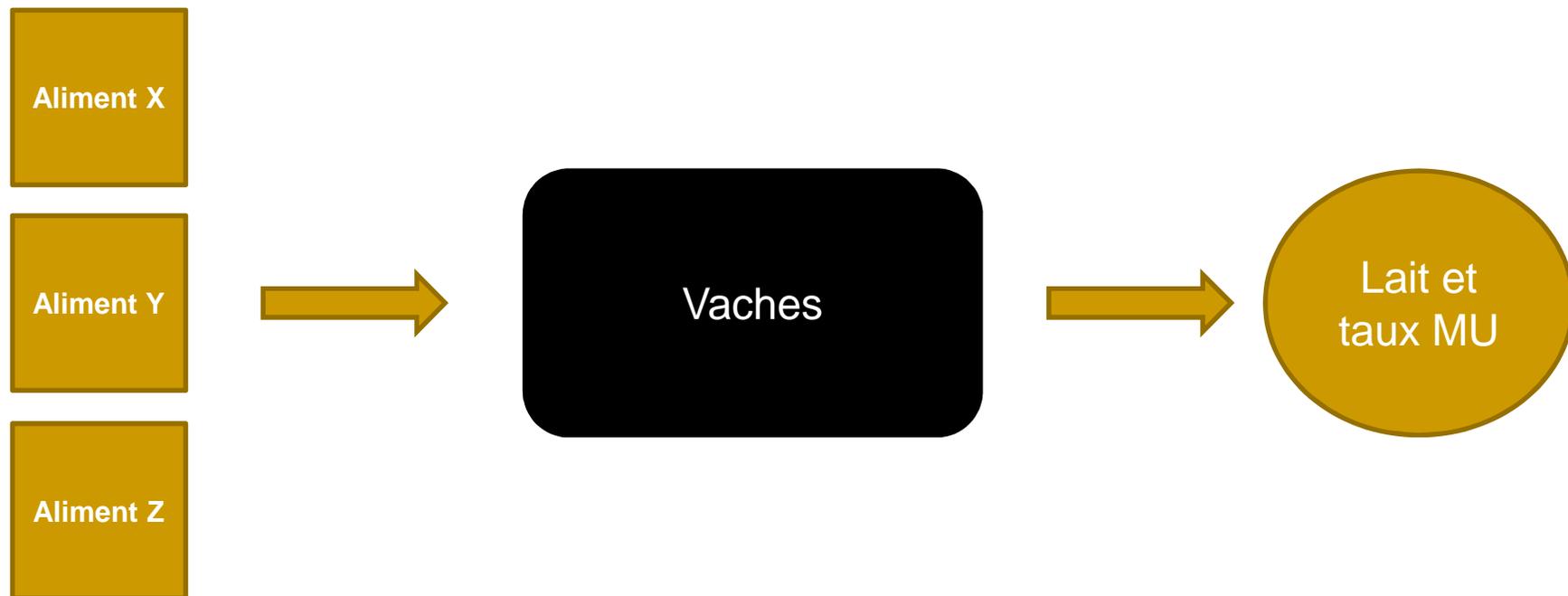
- Vaches laitières contemporaines placées dans un même environnement ont des taux différents → contrôle individuel
 - Variabilité génétique pour les taux de MU
 - % MG et composition de la matière grasse (*cf.* Soyeurt et al., 2006 et Arnould et Soyeurt, 2009)
- Choix des taureaux testés pour avoir des effets positifs ou négatifs sur les taux
- Croisement des races ?

Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- **Leviers alimentaires**

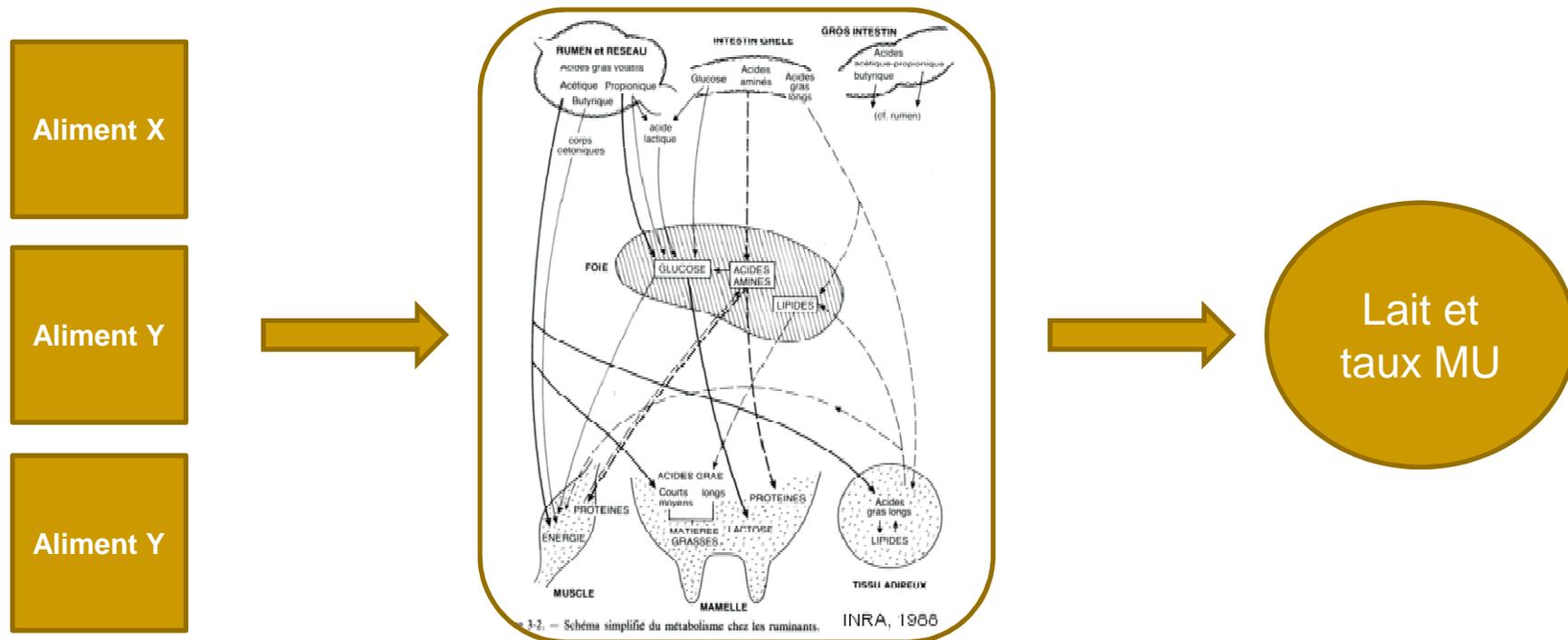
Leviers alimentaires

- Variation de l'alimentation et mesures des réponses en termes de lait et taux de MU



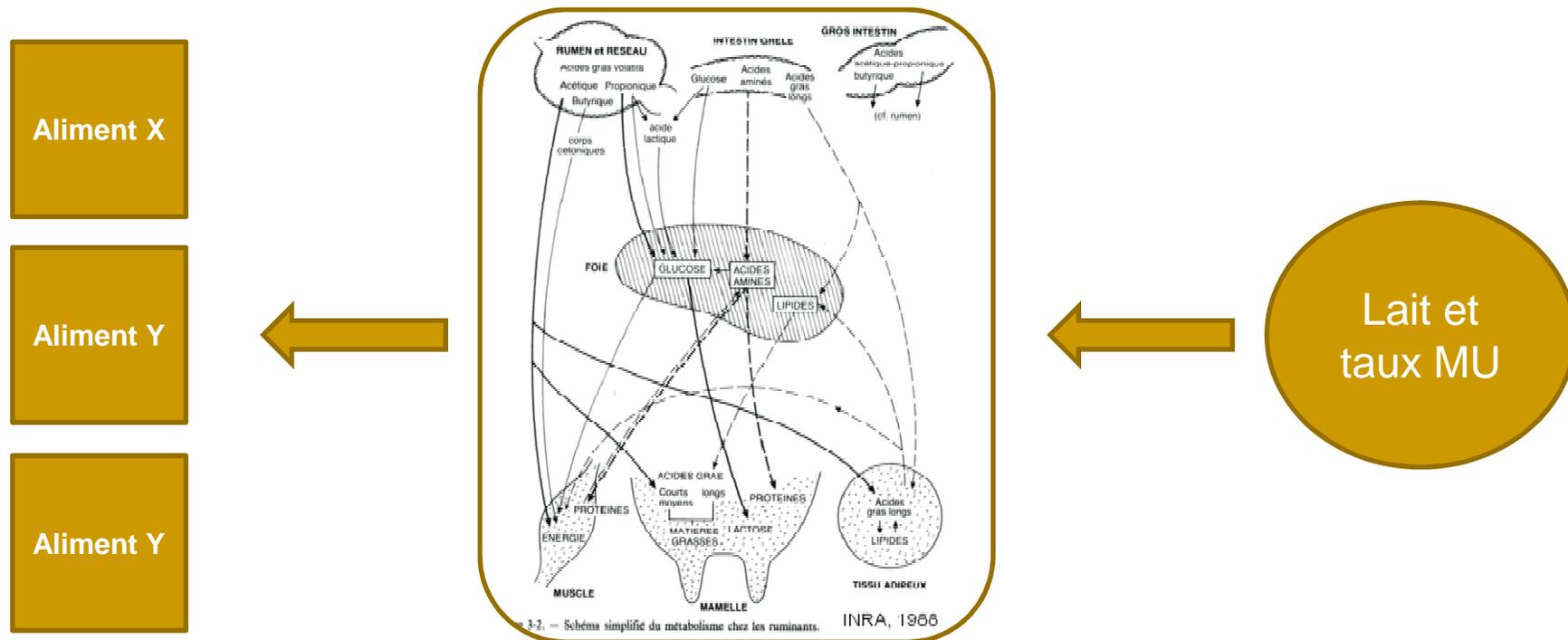
Leviers alimentaires

- Variation de l'alimentation et mesures des réponses en termes de lait et taux de MU



Leviers alimentaires

- Variation de l'alimentation et mesures des réponses en termes de lait et taux de MU



Origine des composés du lait

■ Lactose

- ❑ Détermine la quantité de lait
- ❑ Synthétisé dans le pis à partir du glucose
 - Glucose synthétisé dans le foie à partir de l'acide propionique (C3)

■ Matières grasses

- ❑ Acides gras courts et moyens : synthèse à partir des acides acétique (C2) et butyrique (C4)
- ❑ Acides gras longs : prélèvements dans le sang
 - Origine alimentaire
 - Réserves corporelles

Origines des composés du lait

■ Protéines

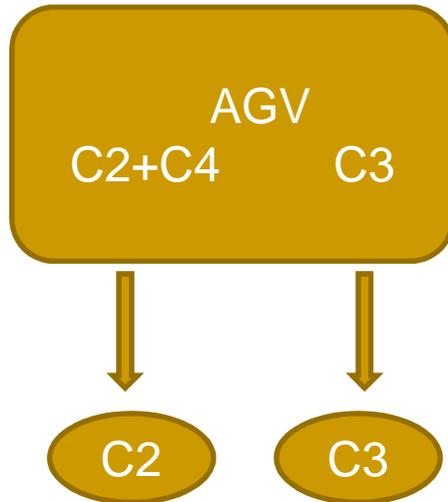
- Différentes protéines
 - Caséines (80 %) synthétisées par la mamelle
 - Protéines solubles (20 %)
 - Origine sanguine (50 %)
 - Synthèse (50 %)
 - Moins de 5 % des protéines sous forme d'ANP
 - 55 % sous forme d'urée (reflet de l'urée sanguine)
- Acides aminés absorbés par l'intestin grêle
 - Composante microbienne
 - Composante alimentaire (*i.e.* by-pass)
- Dépendance énergétique très marquée
 - Besoin de glucose pour la synthèse donc de C3

Origines des composés du lait : en résumé

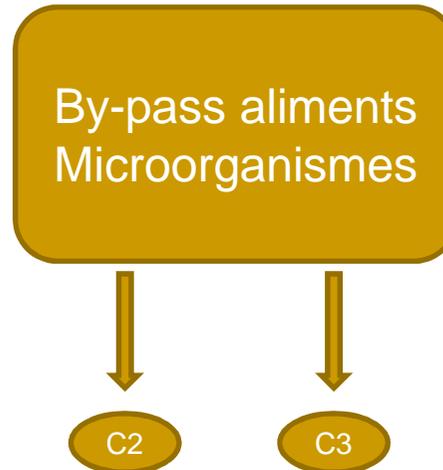
- **Besoins de composés C3**
 - Pour le lactose en priorité
 - Pour les protéines si acides aminés disponibles
 - Microbiens
 - Alimentaires by-pass
- **Besoins de composés C2**
 - Pour les matières grasses du lait
 - Acides gras courts et moyens
 - 50 % des acides gras C16

Origines des composés du lait : en résumé

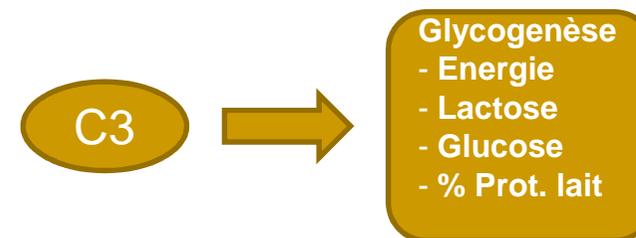
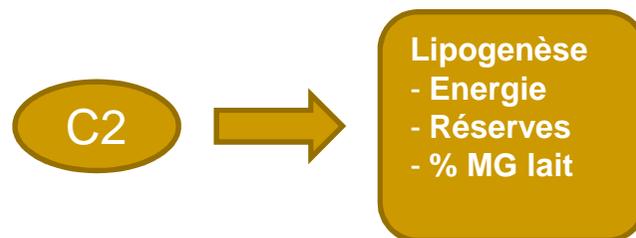
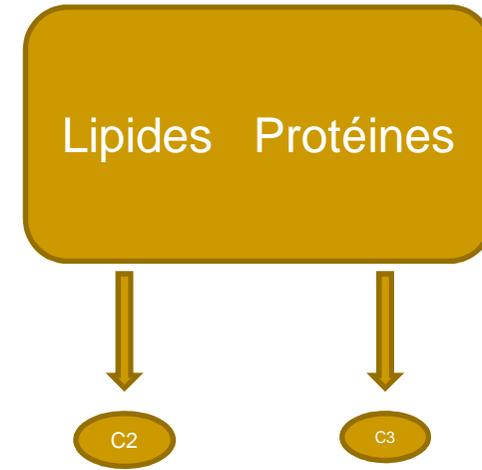
Rumen et gros intestin



Intestin grêle



Réserves corporelles



Origines des composés C2 et C3

■ Composés C3

□ Acide propionique absorbé par le rumen

- Travail des microorganismes
- Amidon > Pectines > Sucres >> Cellulose
 - Céréales, ensilage de maïs, pulpes de betteraves, protéagineux, ...
- Propylène glycol, glycérol, ...

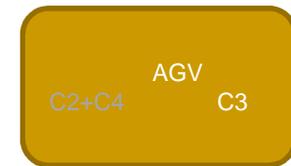
□ Glucose absorbé dans l'intestin grêle

- Amidon by-pass
 - Maïs, sorgho, pomme de terre crue, ...
- Sucres by-pass

□ Mobilisation des protéines corporelles

- Pour mémoire

Rumen et gros intestin



C3

Intestin grêle

By-pass aliments
Microorganismes

C3

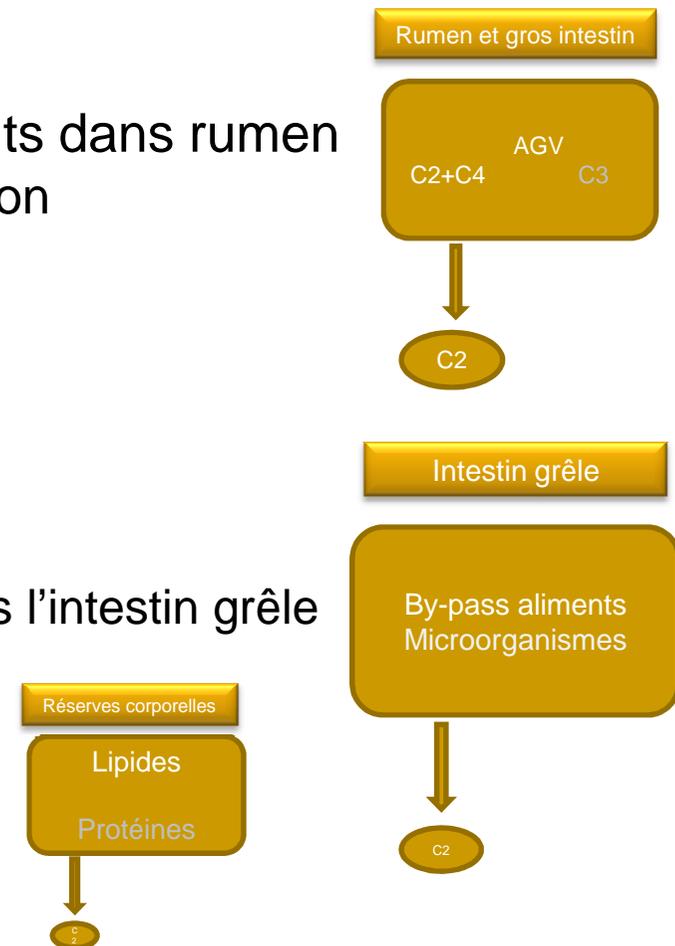
Origines des composés C2 et C3

■ Composés C2

- Acide acétique et acide butyrique produits dans rumen
 - Cellulose > Sucres > Pectines >> Amidon
 - Fourrages riches en cellulose digestible
- Acide butyrique produit dans le rumen
 - Saccharose
 - Betteraves fourragères

■ Composés C2

- Matières grasses alimentaires digérées dans l'intestin grêle
 - Huile et graines de lin, colza, soja ...
 - Tourteaux gras
 - Graisses protégées (*i.e.* by-pass)
- Mobilisation des réserves lipidiques
 - Balance énergétique négative



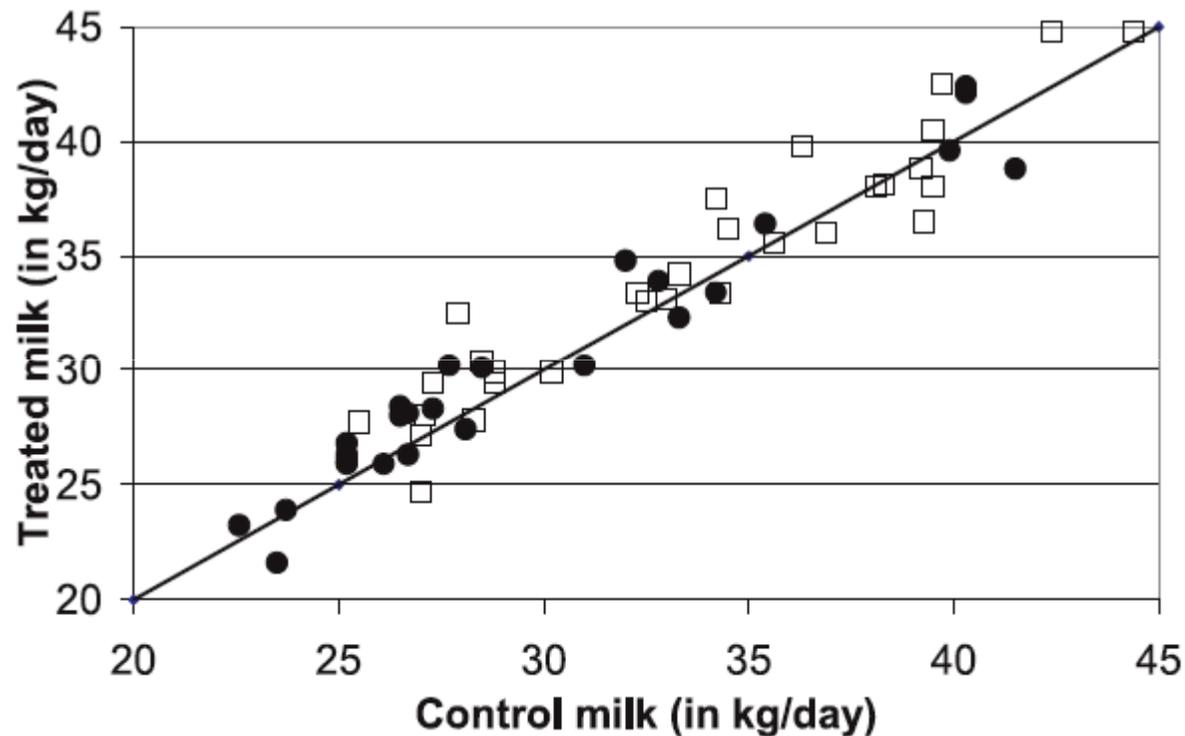
Modifier les taux de MU signifie modifier le rapport C2/C3

- Supplément pour la lipogenèse (*i.e.* C2)
 - Suppléments fermentescibles type cellulose et sucres
 - Lipides alimentaires
 - Mobilisation corporelle
 - Temporaire et à reconstituer
- Suppléments pour la glycogenèse (*i.e.* C3)
 - Suppléments fermentescibles type amidon
 - Augmentation C3
 - Suppléments by-pass
 - Augmentation glucose (*i.e.* C3)

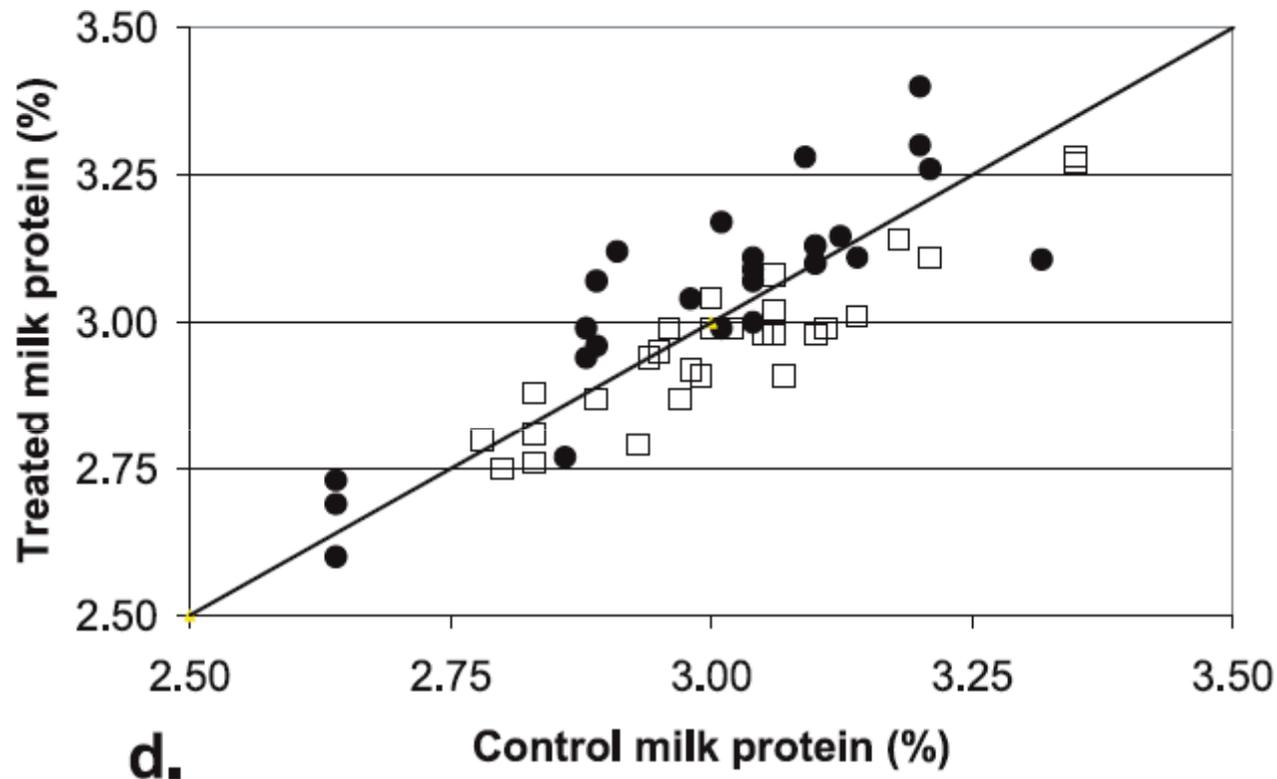
Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- **Leviers alimentaires**
 - Première moitié de la lactation

Synthèse des effets : lait brut

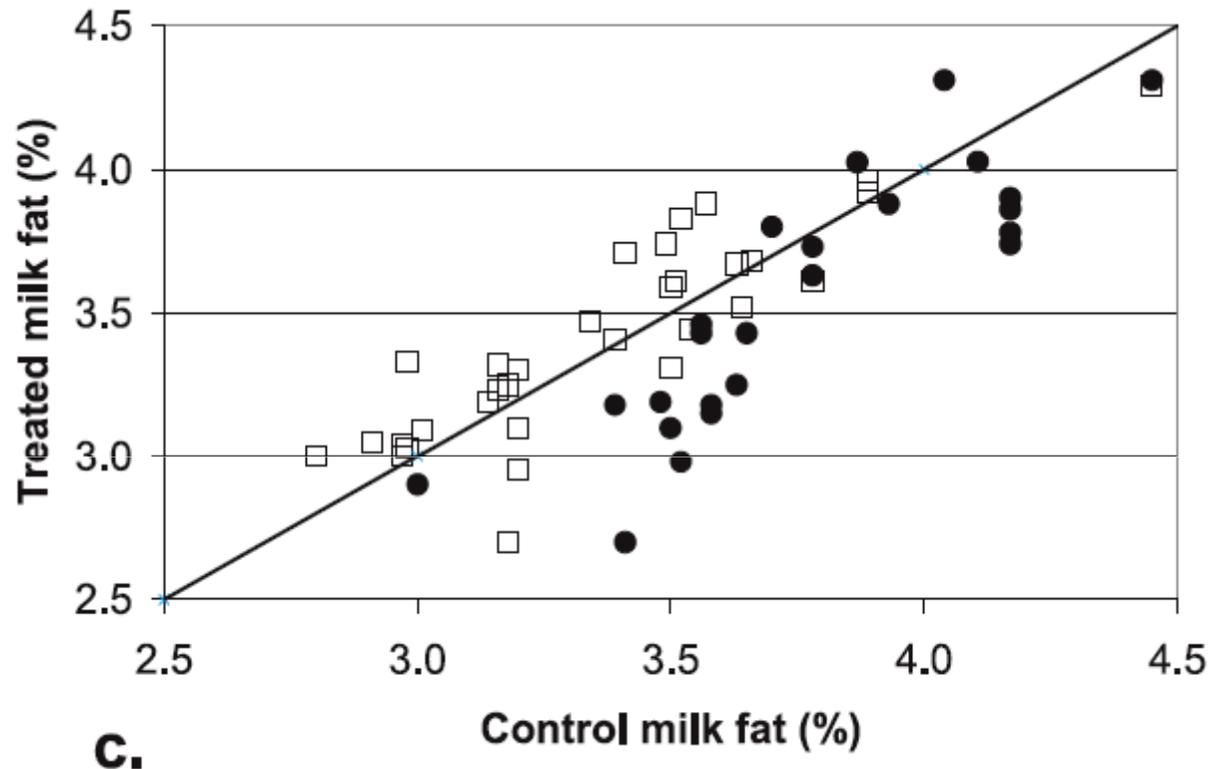


Synthèse des effets : % Prot.



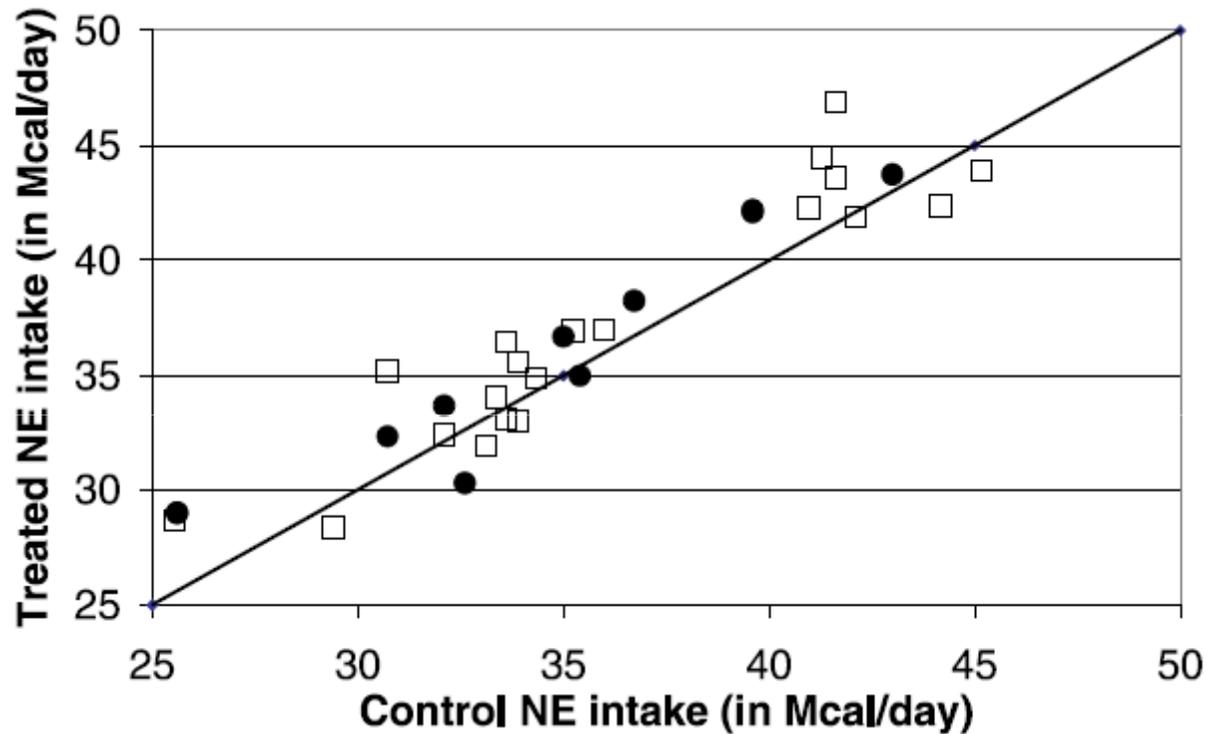
- = supplément glycogénique (C3), □ = supplément lipogénique (C2)
- Valeur au-dessus de la bissectrice = effet positif
- Valeur en-dessous de la bissectrice = effet négatif

Synthèse des effets : % MG



● = supplément glycogénique (C3), □ = supplément lipogénique (C2)
Valeur au-dessus de la bissectrice = effet positif
Valeur en-dessous de la bissectrice = effet négatif

Synthèse des effets : lait standard



● = supplément glycogénique (C3), □ = supplément lipogénique (C2)
Valeur au-dessus de la bissectrice = effet positif
Valeur en-dessous de la bissectrice = effet négatif

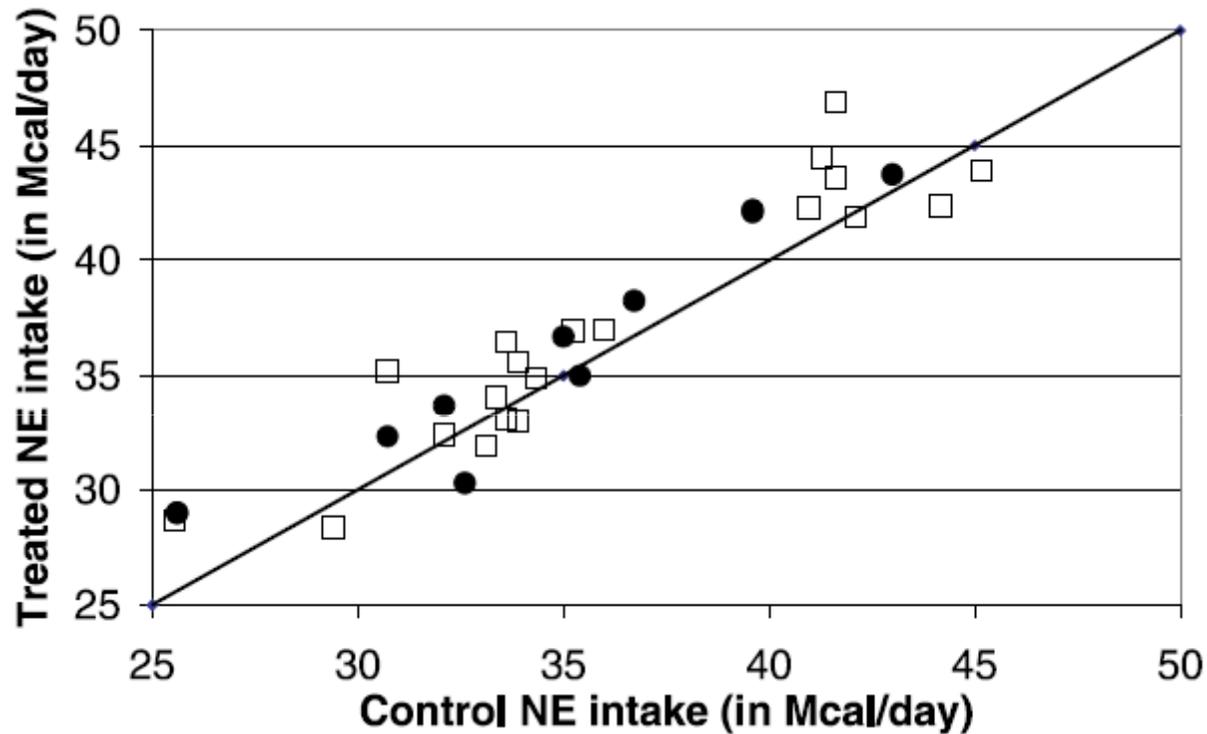
Modifier le rapport C2/C3

- Augmenter la quantité de C3
 - Favoriser les aliments du type amidon et sucres rapidement et lentement fermentescibles
 - Excès de MOF conduisant à l'acidose clinique et sub-clinique avec ses conséquences
 - Favoriser l'amidon (et les sucres) by-pass
- Réponse positive sur lait brut
- Réponse positive sur taux Prot
 - 7 cas sur 10
- Réponse négative sur taux MG
 - 9 cas sur 10
 - Inversion des taux !
- La réponse sur le lait standard est nulle à négative
 - 6 cas sur 10 !
- La balance énergétique est améliorée !!!!

Modifier le rapport C2/C3

- Augmenter la quantité de C2
 - Favoriser les lipides alimentaires protégés ou non
- Réponse positive sur lait brut
- Réponse positive sur taux MG
 - 8 cas sur 10
- Réponse négative sur taux Prot
 - 8 cas sur 10
- La réponse sur le lait standard est positive
 - 6 cas sur 10
- Accélère la perte de poids lorsque la balance énergétique est négative !!!!!

Synthèse des effets : ingestion



- = supplément glycogénique (C3), □ = supplément lipogénique (C2)
- Valeur au-dessus de la bissectrice = effet positif
- Valeur en-dessous de la bissectrice = effet négatif

Modifier le rapport C2/C3

- Objectif : augmenter l'énergie ingérée
- Suppléments tendent à réduire l'ingestion de la ration supplémentée (par rapport au témoin)
 - Dans 7 cas sur 10 si suppléments lipogéniques
 - Dans 5 cas sur 10 si suppléments glycogéniques
- Dans 7 cas sur 10, l'ingéré énergétique est cependant augmenté lors de la supplémentation
 - L'augmentation de la densité énergétique de la ration compense largement la diminution d'ingestion

Les AGV et les taux de MU

- Quantité d'AGV = 52 % de la MOF
 - 12 kg de MOF signifient
 - 6,2 kg d'AGV produits dans le rumen
 - 3,74 kg d'acide acétique (60 %)
 - 0,87 kg d'acide butyrique (14 %)
 - 1,25 kg d'acide propionique (20 %)
 - 0,37 kg autres AGV (6 %)
- La production de matières grasses augmente significativement *de + 57 et +104 g/j par kilogramme d'acide acétique ou butyrique ajouté*
- La réponse de la production de matières grasses décroît respectivement de - 129 et - 66 g/j par kilogramme d'acide propionique ou de glucose apporté

Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- **Leviers alimentaires**
 - Première moitié de la lactation
 - Règles générales

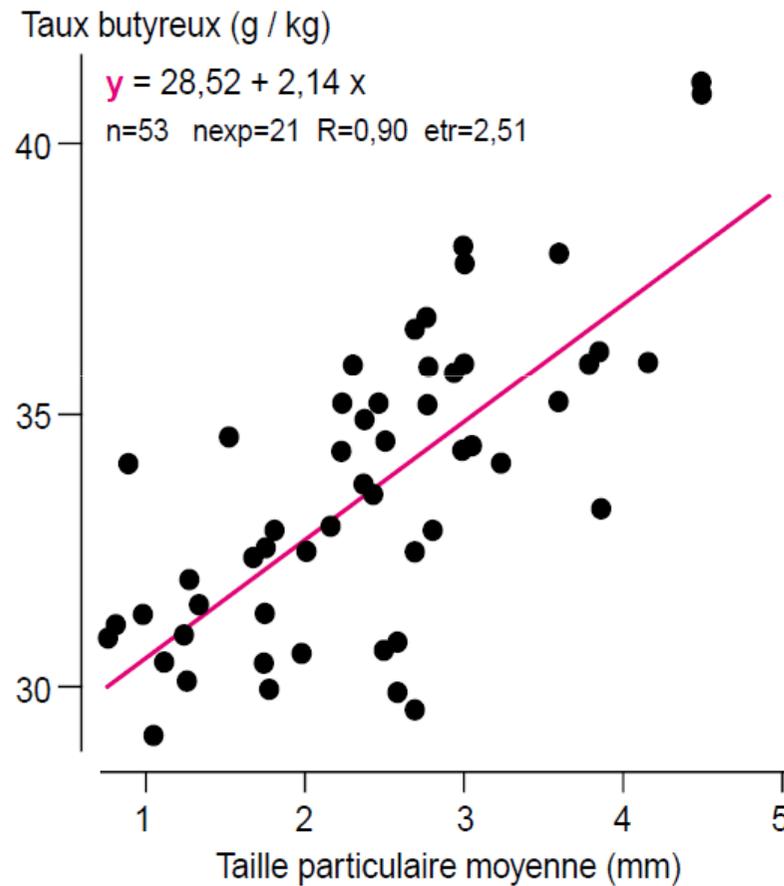
Règles générales

- Maximiser l'ingestion
 - Les vaches devraient pouvoir manger des quantités de MS de 3,5 à 4 % de leur poids vif !
- Une quantité adéquate d'hydrates de carbone non fibreux
 - $NFC = 100 - (\text{protéines} + \text{lipides} + \text{NDF} + \text{minéraux})$
 - Ration idéale entre 30 et 40 %
 - Trop = dépression du taux de MG
 - Trop peu = matières utiles pas optimisées

Règles générales

- Optimiser la rumination et la salivation
 - Rôles des fibres : teneur et longueur
 - 19 à 21 % d'ADF au minimum
 - 26 à 28 % de NDF au minimum
 - 75 % originaires du fourrage long
 - Ingestion NDF = 0,9 % du poids vif (*i.e.* 6 kg/jour)
 - Trop de fibres : énergie limitante et acétonémie
 - Lactose et % Prot diminuent
 - Trop peu de fibres : acidose
 - % MG diminue

Influence de la taille des particules sur le taux butyreux du lait



Sauvant, 2000. INRA Prod. Anim. 13 (2), 99-108

Composition de la ration

Recommandations alimentaires (% MS) pour des vaches laitières hautes productrices (from Mike Hutjens, 2008)

	Acides organiques	Sucres	Amidon	Fibres solubles	Hemicellulose	Cellulose	Lignine
Min	0	2	26	2	10	17	2
Max	4	4	30	5	12	19	4

Composition de la ration

Recommandations alimentaires (% MS) pour des vaches de 680 kg produisant X kg de lait à 3,5 % TB et 3,0 % de TP (from Mike Hutjens, 2008)

	Vêlage	Fraîchement vêlée	Début lactation	Milieu lactation	Fin de lactation	Tarissement
NDF	35	30	28	30	32	40
ADF	25	21	18	21	24	30
NFC	34	35	38	35	32	30
Kg lait	10	35	55	35	25	

NFC = non fibre carbohydrate

NFC = 100 – %protéines – %lipides - %NDF - % minéraux

NFC = acides organiques, sucres, amidon, fibres solubles

Règles générales

- Taux et nature des protéines
 - Faire tourner le rumen
 - De l'ordre de 150 g de protéines dégradables par kg de MOF
 - Maximiser la synthèse des protéines microbiennes
 - 1 kg de DVE microbienne/vache laitière x jour
 - Couverture entretien et 18 à 20 kg de lait
 - Stimuler l'ingestion de la ration (Valeur OEB)
 - Protéines by-pass
 - Production laitière élevée
 - Défaut d'ingestion (début de lactation)
 - Une partie sera consommée pour faire le lactose !

Règles générales

- **Supplémentation lipidique**
 - A réserver en cas de déficit énergétique prononcé
 - Attention aux effets sur le fonctionnement du rumen et du pis
 - Max 5 à 6 % de matières grasses dans la ration
 - Plus demande une protection des graisses
 - Effet sur le % MG et la nature de la matière grasse dans le lait

Nature de la matière grasse laitière

- 500 acides gras différents dont 150 bien identifiés
- Souplesse dans la composition
 - Acides gras saturés : 70 % (35 à 78 %)
 - Acides gras monoinsaturés : 26 % (17 à 50 %)
 - Acides gras poly-insaturés : 3,3 % (2 à 14 %)
 - Acides gras trans : 4 % (1 à 32 %)
- Conséquences de l'origine de la matière grasse dans le lait
 - Alimentaire et endogène (réserve et synthèse)

Facteurs alimentaires – nature de la matière grasse laitière

- Pâturage
 - ↗ : AGPI et AGtrans
 - ↘ : AGS
 - Effets de l'espèce, variété, stade, ...
- Nature du fourrage conservé
 - Frais > ensilage ± = foin
- Concentré
 - Réponse variable selon son importance et nature
- Oléagineux : lin et colza
 - Diminue les AG courts et moyens et augmentent les AGPI
- « Milk fat depression »

Règles générales : taux et quantité de MG

- Le quantité de matières grasses produites est maximisée lorsque la proportion de concentré représente de 35 à 50 % de la ration
- Le TB est sensible à la structure de la ration et à la rapidité de la digestion de l'amidon dans le rumen
- Suppléments lipidiques peuvent diminuer le taux et la quantité de MG mais moins si suppléments protégés
 - Effets plus manifestes avec les AG insaturés (ex. Herbe jeune et fraîche)

Par rapport à une ration ensilage de maïs

Tableau 1. Effet de la nature du fourrage sur la production laitière (écart par rapport à une ration maïs ensilage)

	Nbre d'essais	Lait (kg/VL/j)	TB (g/kg)	MG (g/VL/j)	TP (g/kg)	MP (g/VL/j)
Ensilage d'herbe	15	- 0,9	- 2,7	- 95	- 1,3	- 60
EM + ensilage d'herbe	13	0,1	0	0	- 0,1	0
EM + EH + blé (3 kg)	2	0,4	0,3	24	0,7	33
BRE	3	1,2	- 3,4	- 60	- 0,8	15
Foin	4	- 2,4	- 1,0	- 125	- 0,6	- 90
EM + ens. de trèfle violet	6	0,6	- 1,8	- 20	- 0,8	0
EM + ens. de luzerne	6	- 0,6	- 0,4	- 35	- 1,0	- 40
Betteraves (3,5 kg MS)	1	- 0,4	4,2	86	0,6	0
Pulpes bett. (6 kg MS)	1	2,9	- 1,6	78	1,8	135
Ensilage de sorgho grain	1	0	- 0,2	- 7	- 0,7	- 19
Betteraves (3,1 kg MS)*	4	0,6	1,2	53	0,8	38

(* écart à la ration ensilage d'herbe)

Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- Leviers alimentaires
- **Fréquence de traite**

Fréquence de la traite

- Levier pour augmenter ou réduire rapidement la production laitière
- Monotraite
 - Effet immédiat : moins 20 à 30 % de lait
 - Rémanence
 - Plus de 3 semaines consécutives : moins 10 % de lait
 - Effet individu très marqué
- 3 traites/jour
 - Plus 13 à 17 % de lait selon la complémentation

Fréquence de la traite

- Levier pour modifier la composition du lait
- Monotraite
 - ❑ Effet sur %MG : plus 6 g/kg
 - ❑ Effet sur lactose : moins 5 g/kg
 - ❑ Effet sur %Prot : plus 3 g/kg (protéines solubles)
- 3 traites/jour
 - ❑ Effet sur %MG : plus à moins 2 g/kg
 - ❑ Effet sur %Prot : plus à moins 1 g/kg (protéines solubles)

Fréquence de la traite

- Levier pour gérer l'animal
- Monotraite au début de lactation
 - 3 à 6 semaines
 - 20 à 34 % de lait en moins
 - Moindre mobilisation des réserves
 - Réduction de l'anoestrus post-partum
- Monotraite en fin de lactation
 - Accélérer les reprises de note d'état corporel
 - Ressources alimentaires limitées

Fréquence de la traite

- Levier pour gérer la courbe de lactation
- 3 traites/jour : meilleure persistance
 - Allongement de la lactation ?
- Monotraite : sans effet ?

Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- Leviers alimentaires
- Fréquence de traite
- **Période de tarissement**

Durée de la période de tarissement

- Réduction de la période
 - Moins 4 à 5 % de lait
- Suppression de la période de tarissement
 - Moins 19 % de lait
- Pas d'effet sur le TB et augmentation du TP (0,06 % si réduction et 0,25 % si suppression de la période)
- Balance énergétique négative diminuée voire supprimée ainsi que l'acétonémie
- Rien sur les mammites, métrites, rétention placentaire et déplacement de caillette
- Paramètres de reproduction uniquement augmentés si suppression
- Revue de van Knegsel et al., 2013. The Veterinary Journal 198 : 707–713

Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- Leviers alimentaires
- Fréquence de traite
- Période de tarissement
- **Autres facteurs**

Autres facteurs de modulation

- Parité (↓↑) et stade de lactation (↓↑)
- Saison (↓↑)
- Santé animale et du pis
 - Infections intra-mammaires
 - Mammite subclinique
 - 20 à 50 % des quartiers des vaches d'un troupeau
 - Dermatite digitée (Mortellaro)
- ...

Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- Leviers alimentaires
- Fréquence de traite
- Période de tarissement
- Autres facteurs
- **Perspectives**

Leviers alimentaires

- Aliments → Nutriments → Fonctions physiologiques (lactation, reproduction, réserves, ...)
- Approche classique
 - Vache moyenne
 - Milieu de lactation
 - X kg de lait standard
- Approche dynamique
 - Début de lactation
 - Priorité au pis et mobilisation des réserves
 - Fin de lactation
 - Priorité à la reconstitution des réserves
 - Courbes de production des matières du lait
 - Dépendances génétiques

Leviers alimentaires

- Réponses aux variations des nutriments
 - Quantité consommée
 - Composition de la ration
 - Indépendamment du génotype (*i.e.* considéré comme fixe)
- Nouvelles approches
 - Intégrer le génome
 - Nutrigénétique : effets du génome pour une alimentation donnée
 - L'expression du génome
 - Nutrigénomique : effets de l'alimentation sur l'expression génétique

Effets génétiques des lactoprotéines

- Nombreux gènes impliqués dans la synthèse du lait
 - > 16 000 gènes
- 6 protéines majeures
 - 2 solubles (lactosérum) et 4 insolubles (les caséines)
 - Caséine α s1
 - Polymorphisme important chez la chèvre
 - De 0 g/l à 7 g/l suivant les allèles !
 - Corrélation positive entre TP et TB !
 - Nombreux variants génétiques chez la vache
 - De 3 à 9 variants selon la protéine
 - Le nombre de combinaisons est énorme !

Effets génétiques

- L'alimentation modifie l'expression des gènes responsables
 - De la synthèse et de la sécrétion des composants du lait
 - De la différenciation et la prolifération cellulaire
 - De la mort cellulaire
- Supplémentation lipidique (insaturée) de la ration
 - Plus 15 % de lait, moins 20 % sur le %MG et moins 6 % sur le %Prot
 - 972 gènes concernés !

Autre exemple

- Expression des gènes en période péri-partum
- Source
 - Bionaz and Loor, Gene Regulation and Systems Biology, 6 : 109-125

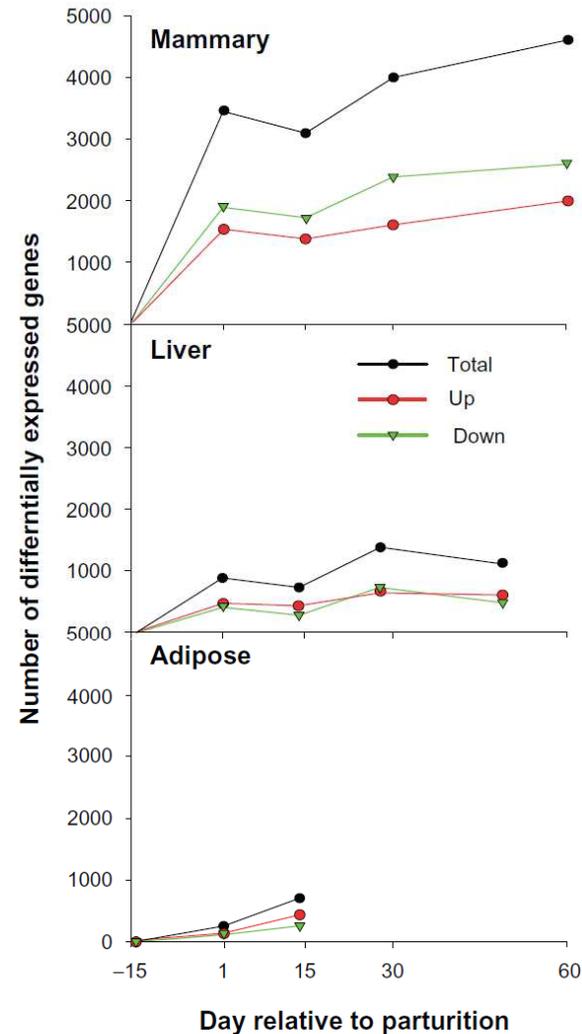


Figure 4. Number of differentially expressed genes in each time point relative to -15 in mammary tissue, liver, and adipose tissue.
Notes: The genes were deemed to be differentially expressed if the overall time effect was with a FDR < 0.05 and the comparison between each time point was with P -value < 0.05. Data from mammary and liver are from dataset prior deposited in GEO (GSE19055 for mammary tissue and GSE2692 for liver) while for adipose are from unpublished data. For all tissues the statistical analysis was as described previously.²³

Biosynthèse des constituants du lait

- Effets des races
- Variation individuelle au sein de la race
- Leviers alimentaires
- Fréquence de traite
- Période de tarissement
- Autres facteurs
- Perspectives
- **Conclusions**

Conclusions

- La voie génétique est la plus à même de modifier les taux de matières utiles, elle est cependant lente et irréversible
 - Les sciences « omiques » devraient mieux objectiver les choix et les accélérer
- De nombreux facteurs environnementaux peuvent modifier plus rapidement les taux et ce de manière réversible
 - Le levier alimentaire reste prépondérant
 - Les amplitudes de variation à la hausse reste cependant modeste