



Centre wallon de Recherches
agronomiques

Raisonner l'alimentation des vaches: des repères pour un lait de qualité

[Pierre Rondia](#), Adeline Lefèvre, Eric Froidmont, Clément
Grelet, Virginie Decruyenaere

Diversiferm – les rendez-vous de la diversification 18-05-22

Menu

Entrée

Composition du lait
De quelles qualités parle-t-on ?

Plat principal

Métabolisons !
Origine des composés du lait
Facteurs alimentaires impactant la valeur nutri
Composés d'intérêt pour notre santé
En été ? ... du pâturage !
... Et en hiver ?
Des outils pour piloter la qualité du lait

Dessert

Que retenir ?



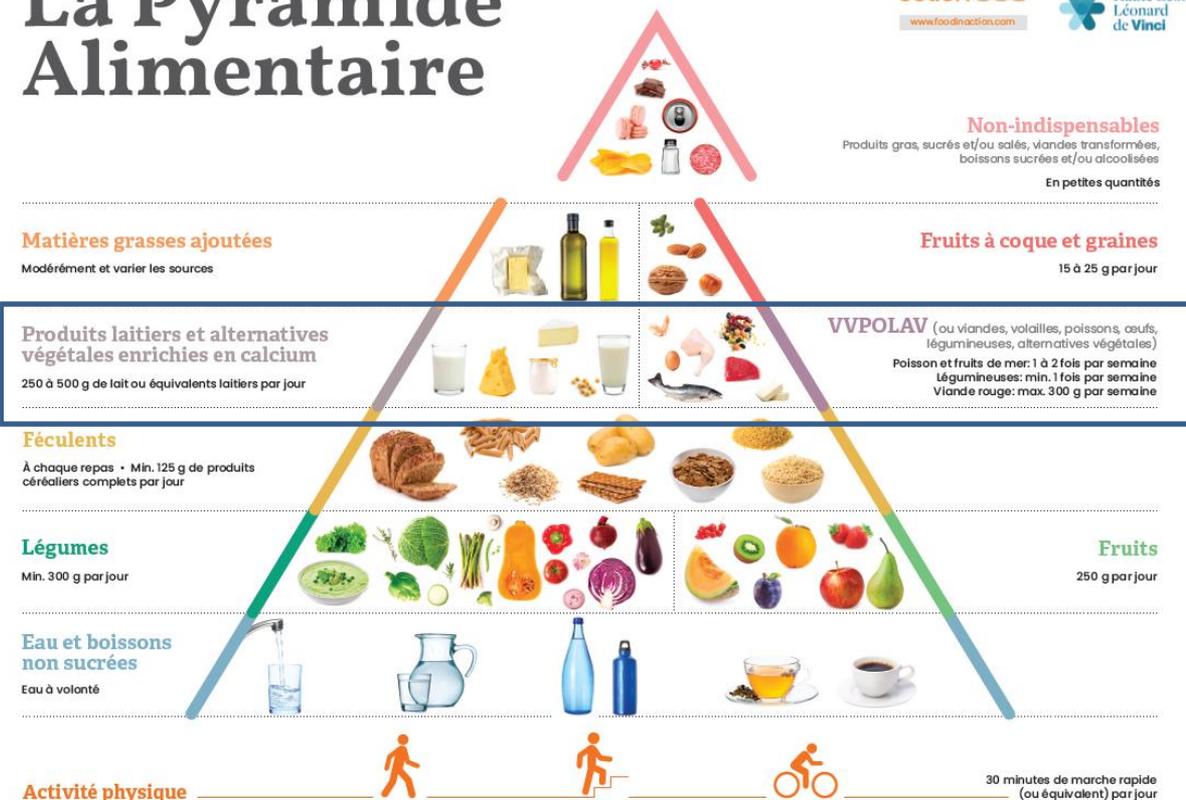
Avant-propos

Place du lait dans notre alimentation

La Pyramide Alimentaire



Avec la collaboration de
LA HAUTE ÉCOLE LÉONARD DE VINCI



Le lait, source de nutriments intéressants pour la santé?

© FOOD IN ACTION 2022

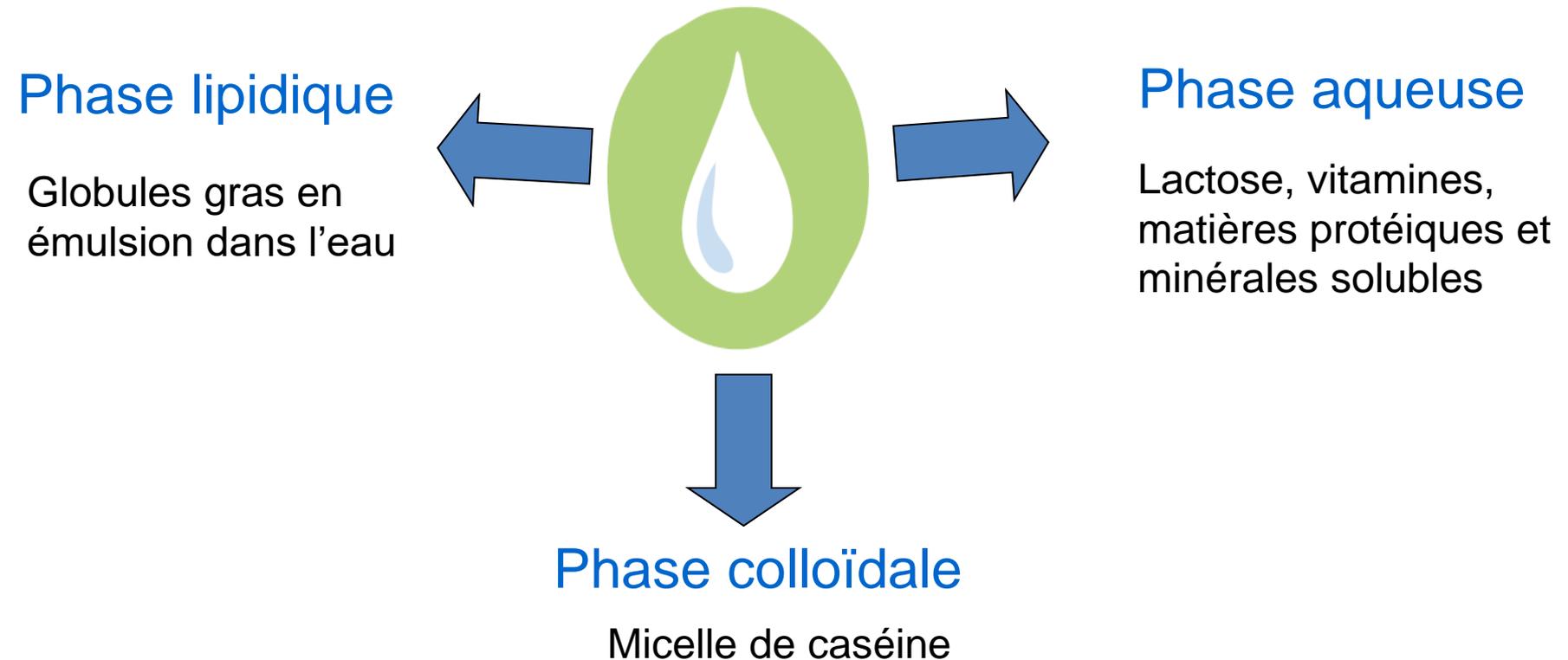
Avant-propos

Grande diversité des animaux traits pour leur lait



Avant-propos

Composition du lait de vache



Avant-propos

Composition du lait de vache

Macro-constituants

Eau : 88%

Lactose : 4,5 %

Matières grasses : 4,0%

Protéines : 3,3%, dont les caséines (80%)

Micro-constituants

Minéraux :

Anions : K, **Ca**, Na, Mg

Cations : Chlorures, sulfates, carbonates, phosphates, citrates

De nombreuses enzymes (> 70)

Micro-constituants organiques : vitamines (A, B1, B2, B12), terpènes, polyphénols...

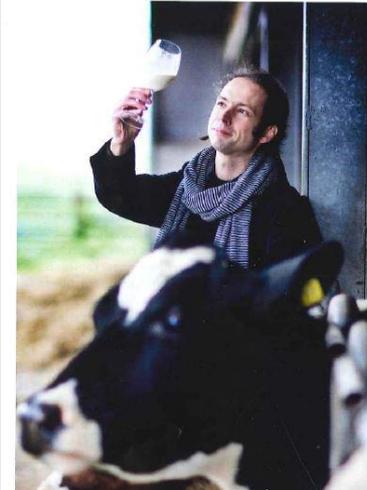
→ tous ne sont pas identifiés → **un monde à explorer !**

Le lait est donc un **aliment complet**, à l'exception du Fe, **et complexe !**

Fasciné par le lait, il devient sommelier du lait

Texte: Koen Vandepopuliere
Photos: Guus Schoonville

Fasciné par le lait, Bas de Groot a découvert petit à petit que chaque producteur laitier fournit un produit unique qui a sa propre histoire. Malheureusement, cette spécificité est insuffisamment mise en valeur. La conséquence, pour le consommateur, c'est un produit basique vendu à bas prix. Bas de Groot se donne pour objectif de réhabiliter le lait dans sa diversité, d'où son titre de 'sommelier du lait'.



Saveurs

Les différences de goût entre les vins sont immenses, ce qui doit tout au terroir. «Le lait et les vaches ont également leur terroir», entame Bas de Groot. «Parmi les facteurs qui influencent le goût du lait, il y a les aliments, la saison, la race, la vache individuelle, son âge, son état de santé, etc. Et même le moment de la traite: le matin, le lait aura une autre saveur qu'en fin d'après-midi. C'est l'ensemble de ces paramètres qui rend la chose tellement captivante. Malheureusement, la filière ne fait pas grand-chose pour mettre cette diversité en valeur.»

Facteurs d'influence

La ration joue bien sûr un rôle décisif, comme l'observe notre interlocuteur: «Le lait d'une vache qui ingère beaucoup d'amidon - par exemple du maïs ou des pommes de terre - donnera comme une fine pellicule dans la bouche, avec un goût un peu amer. Rien de tel pour une vache nourrie à l'herbe, du moins si l'herbage est riche en espèces végétales différentes: elle donne alors un lait léger au goût de framboise, subtil. Dans un environnement naturel, une vache n'ingère qu'un demi-pourcent d'amidon. Mais dans l'élevage d'aujourd'hui, on atteint aisément 20%. Cette dérive est due également à l'amélioration des graminées qui sont devenues plus riches en protéines qu'il y a une quarantaine d'années. La solution? En revenir aux herbages diversifiés d'il y a 40 ans.»

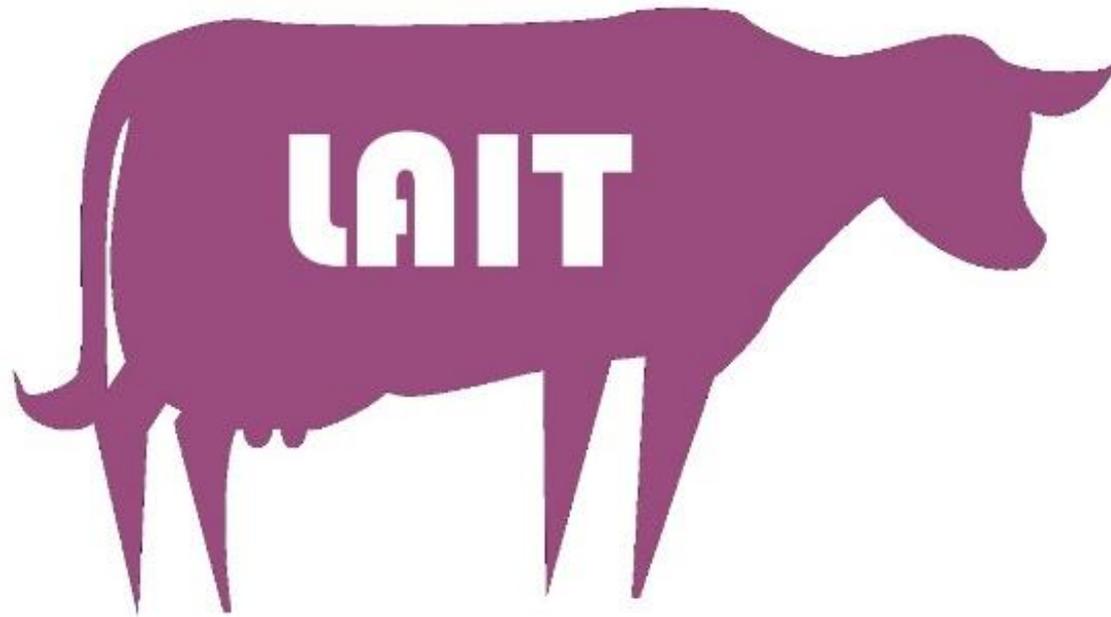
Bas de Groot ne cache pas sa prédilection pour le lait de la Jersey. «Ce lait présente une teneur exceptionnelle en matière grasse et en protéine. Quant à la Geurnesey, une autre race mixte, son lait est également très riche en protéine. S'agissant de la Holstein, on connaît sa productivité très élevée, mais au fil de la sélection, son lait est devenu plus pauvre en protéine. Mais elle ne peut élever que des vaches à haut rendement.»

Avant-propos

Un lait de qualité ... mais de quelles qualités parle-t-on ?

- Qualité physique (densité, pH, acidité, point de congélation)
- Qualité microbiologique et sanitaire (flore banale, utile, d'altération, pathogène)
- Qualité nutritionnelle (TB, TP, minéraux, lactose)
- Qualité « santé » (acides gras, vitamines, antioxydants, ...)
- Qualité sensorielle (texture, flaveur, couleur)

Métabolisons pour une meilleure compréhension !



Métabolisons pour une meilleure compréhension !

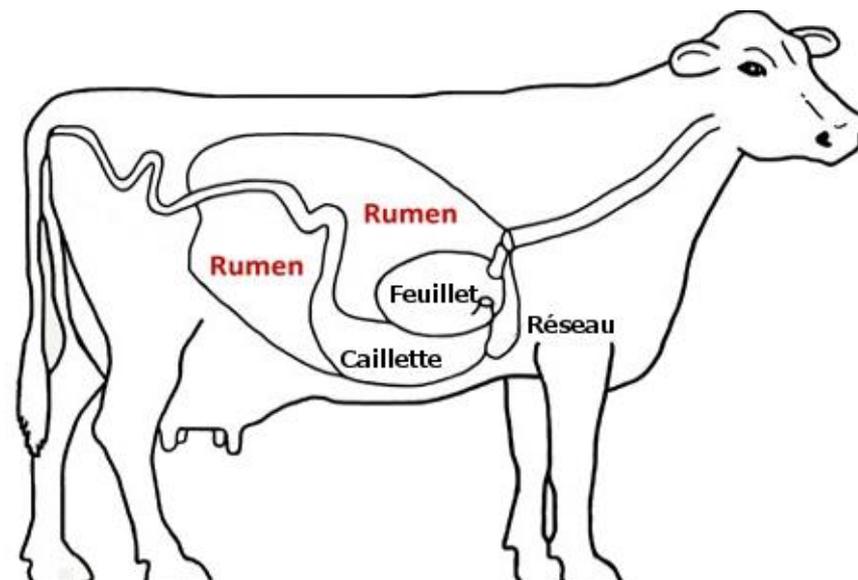
La vache est un ruminant

4 estomacs :

panse + réseau = « cuve de fermentation »

feuillet = sas entre le réseau et la caillette

caillette = estomac conventionnel



La digestion chez la vache se caractérise par une prédigestion fermentaire (**rumen** ou **panse**)

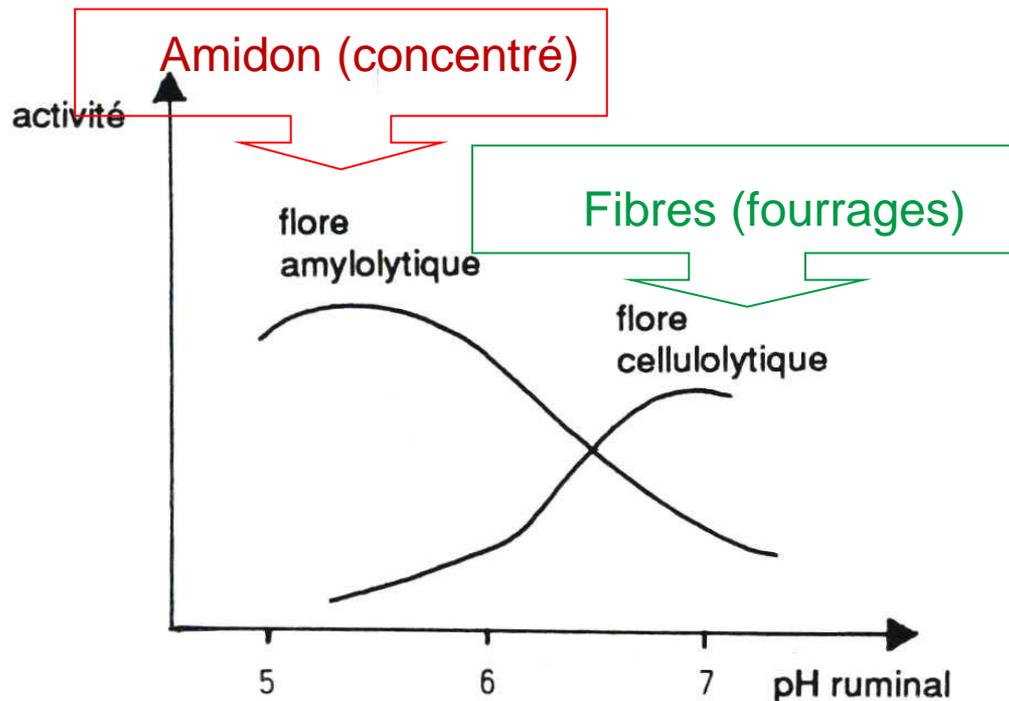
Permet l'utilisation des aliments riches en fibres (fourrages)

Milieu de culture anaérobie :
 10^{10} bactéries et 10^6 protozoaires par mL

Alimenter le ruminant, c'est d'abord nourrir une microflore...

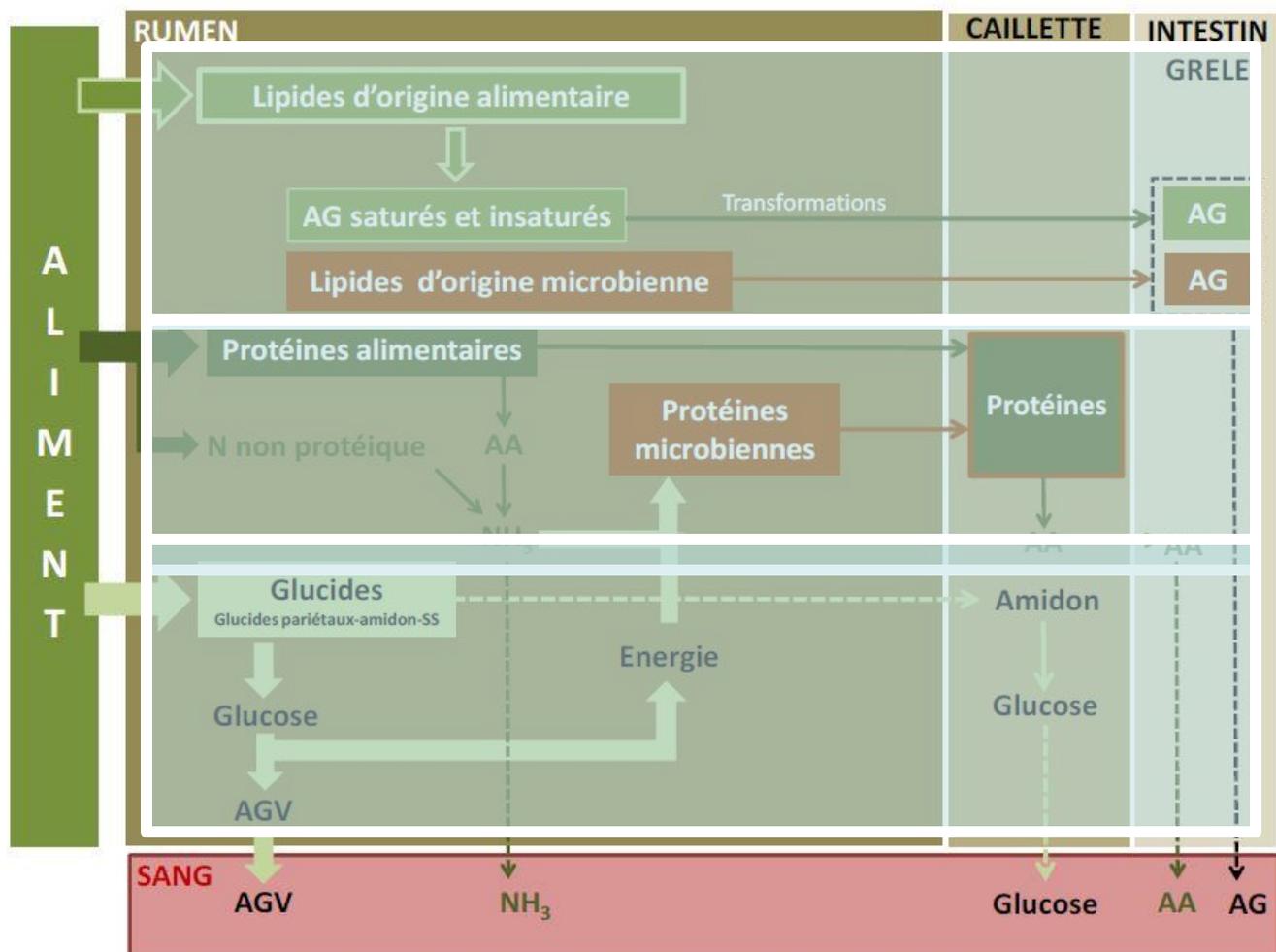
Métabolisons pour une meilleure compréhension !

Optimiser les fermentations dans le rumen



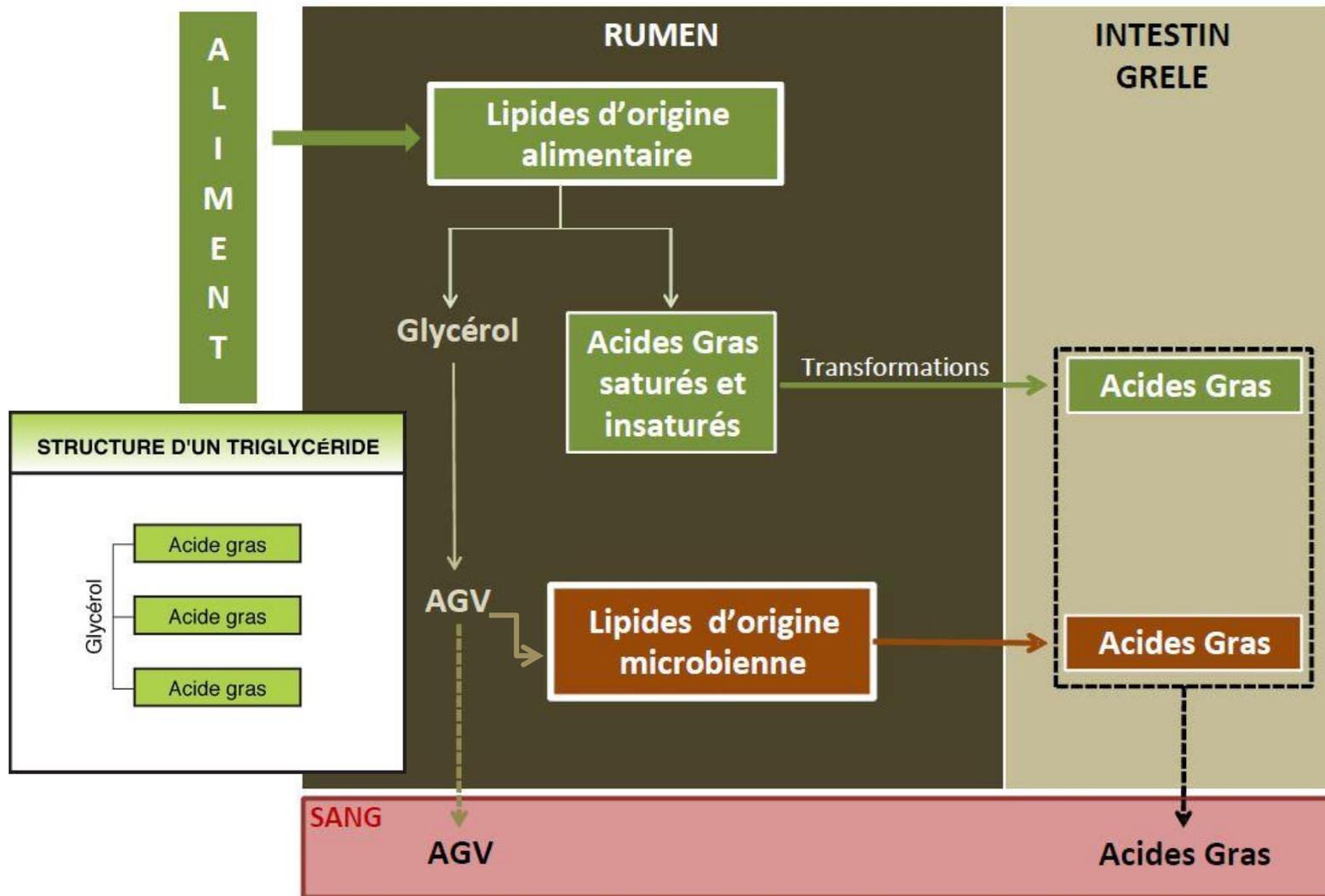
Influence du pH sur le faciès microbien

Digestion des constituants de l'aliment

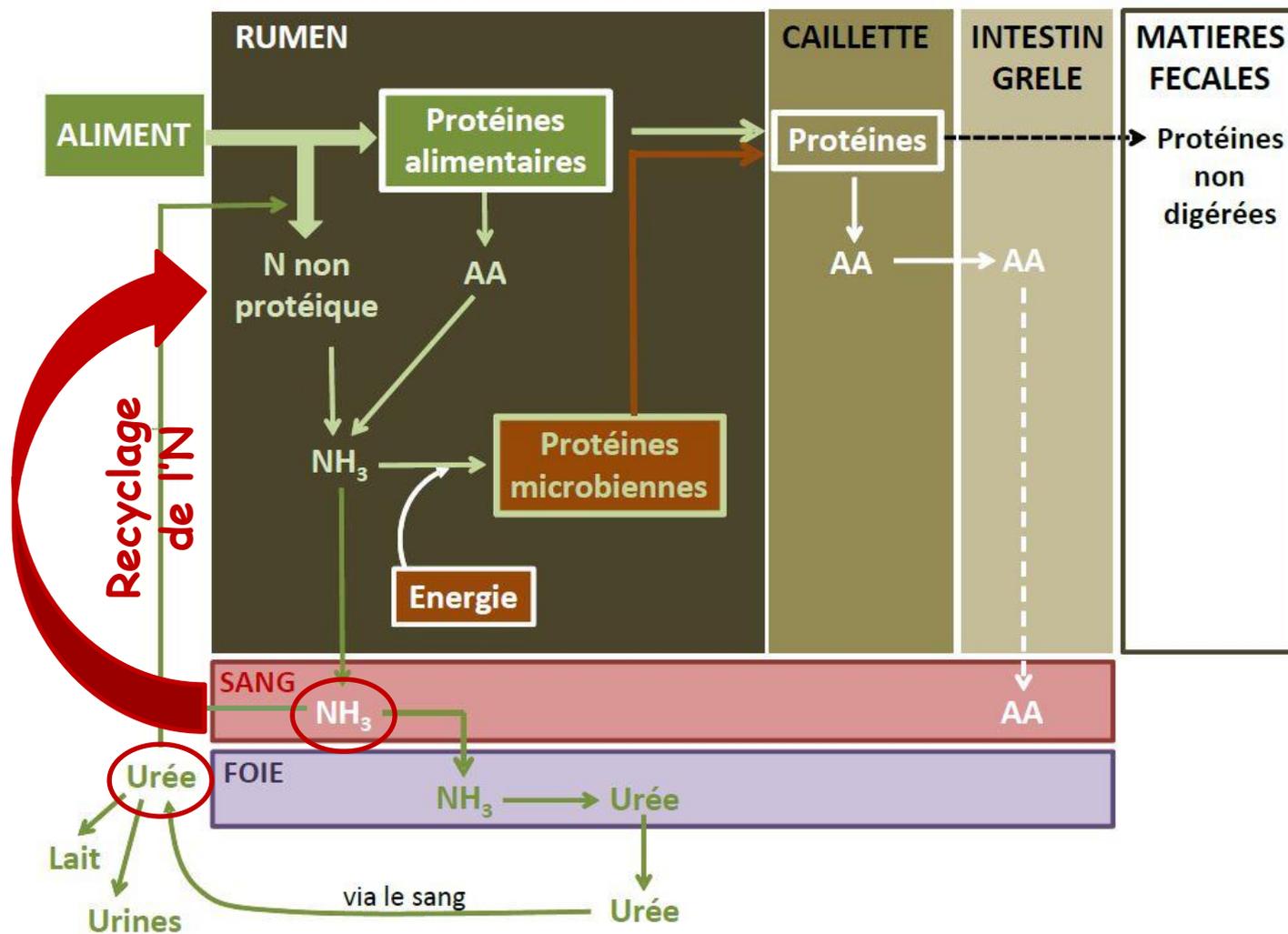


AA : acide aminé ; AG : acides gras ; AGV : acide gras volatil ; N non protéique : azote non protéique ; SS : sucres solubles

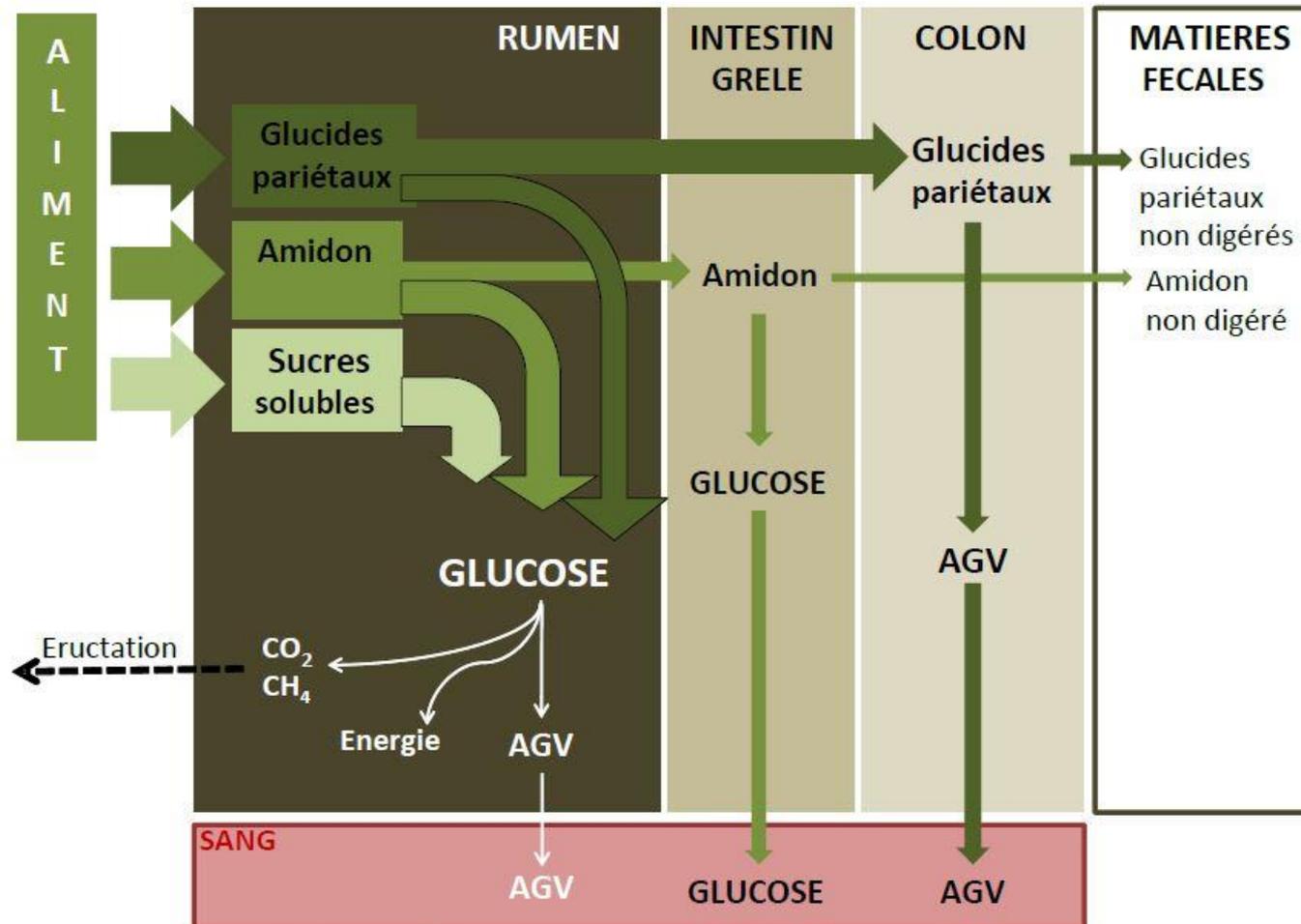
Digestion des lipides



Digestion des protéines

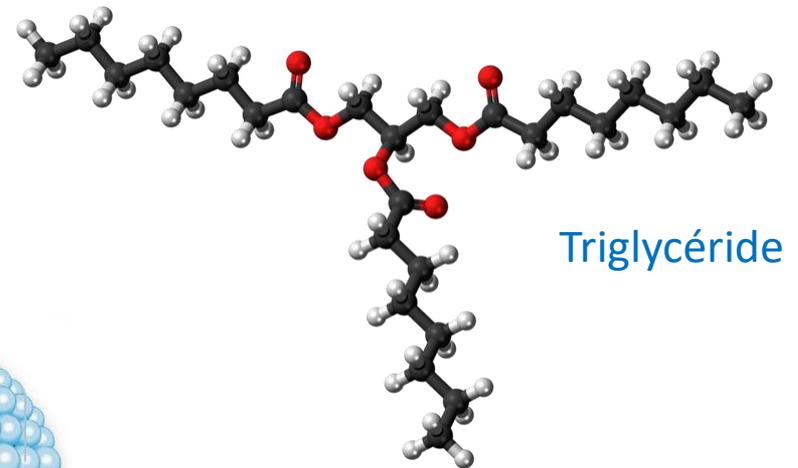
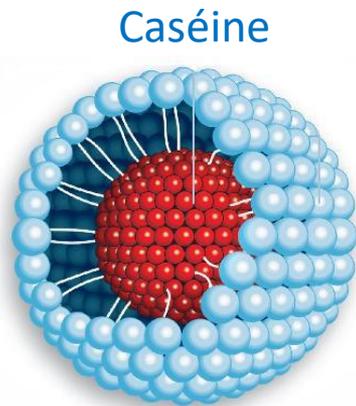
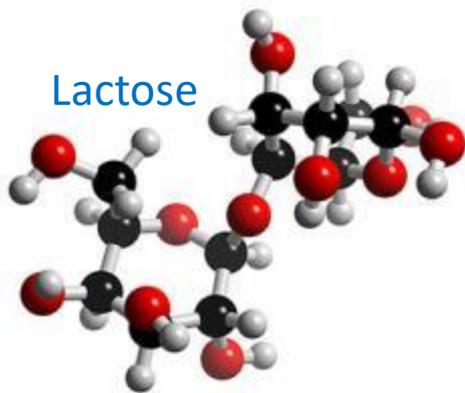


Digestion des glucides

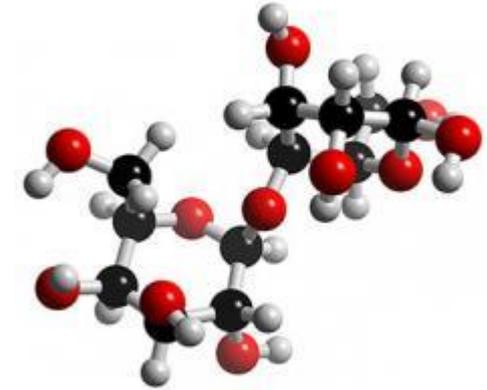


AGV = acides acétique, propionique et butyrique

Origine des composés du lait



Le lactose



Propionate



Glucose



Galactose
+
Glucose

→ Lactose

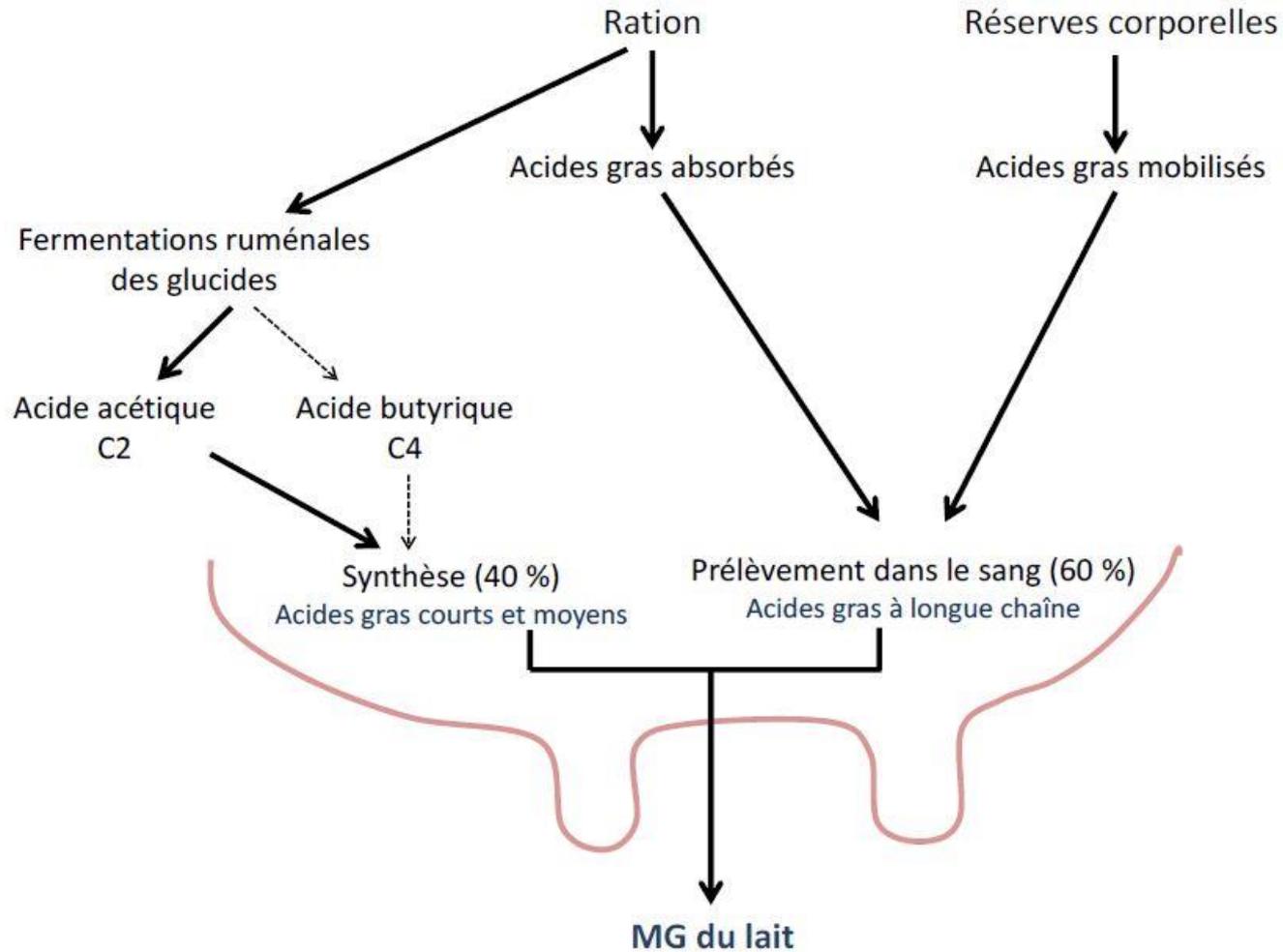
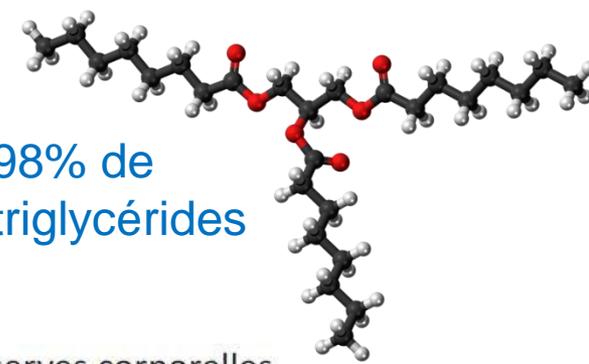


Quantité de lait

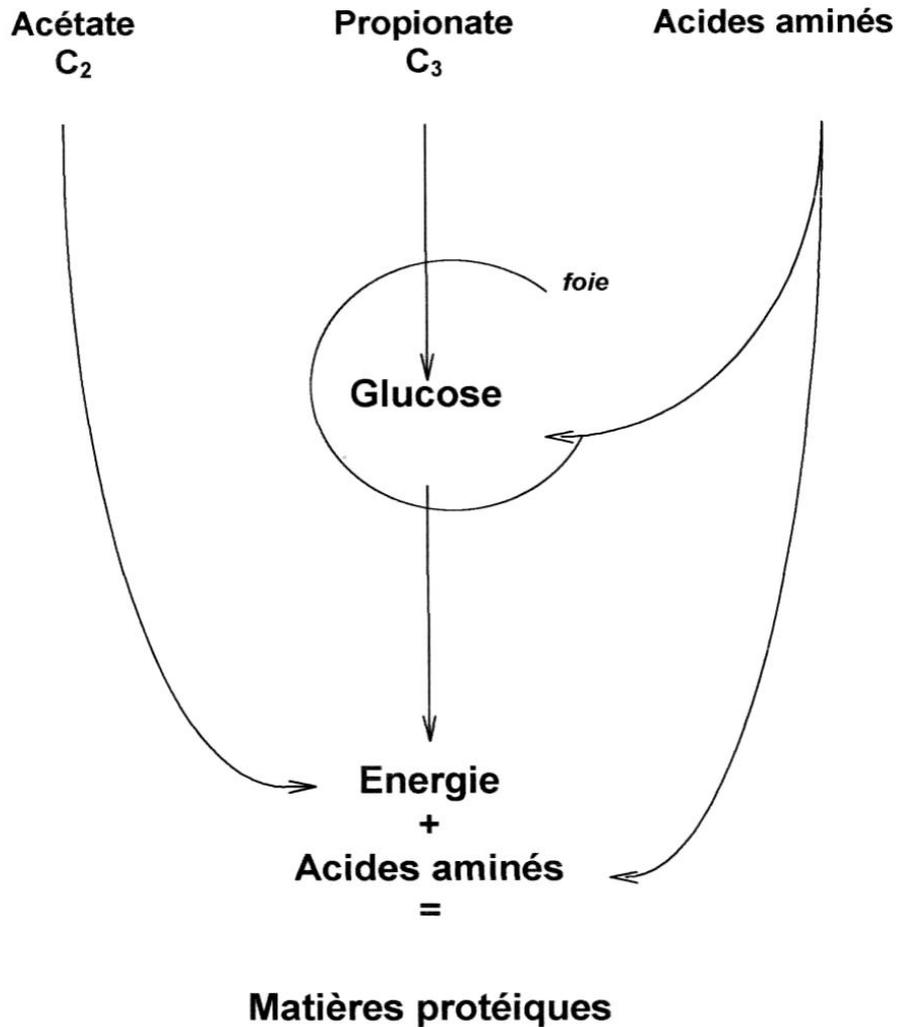
- Le sucre du lait mais faible goût sucré (3 x moins que le saccharose)
- Favorise l'absorption du Ca et des protéines
- Favorise le développement d'une flore lactique dans l'intestin
- **Trouble possible : intolérance au lactose** : due à une déficience en lactase intestinale

Les matières grasses

98% de triglycérides

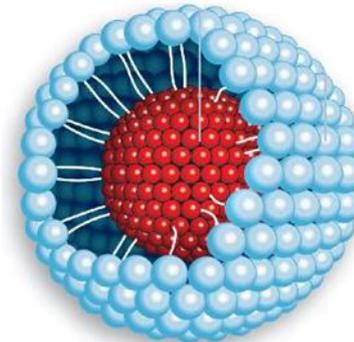


Les protéines

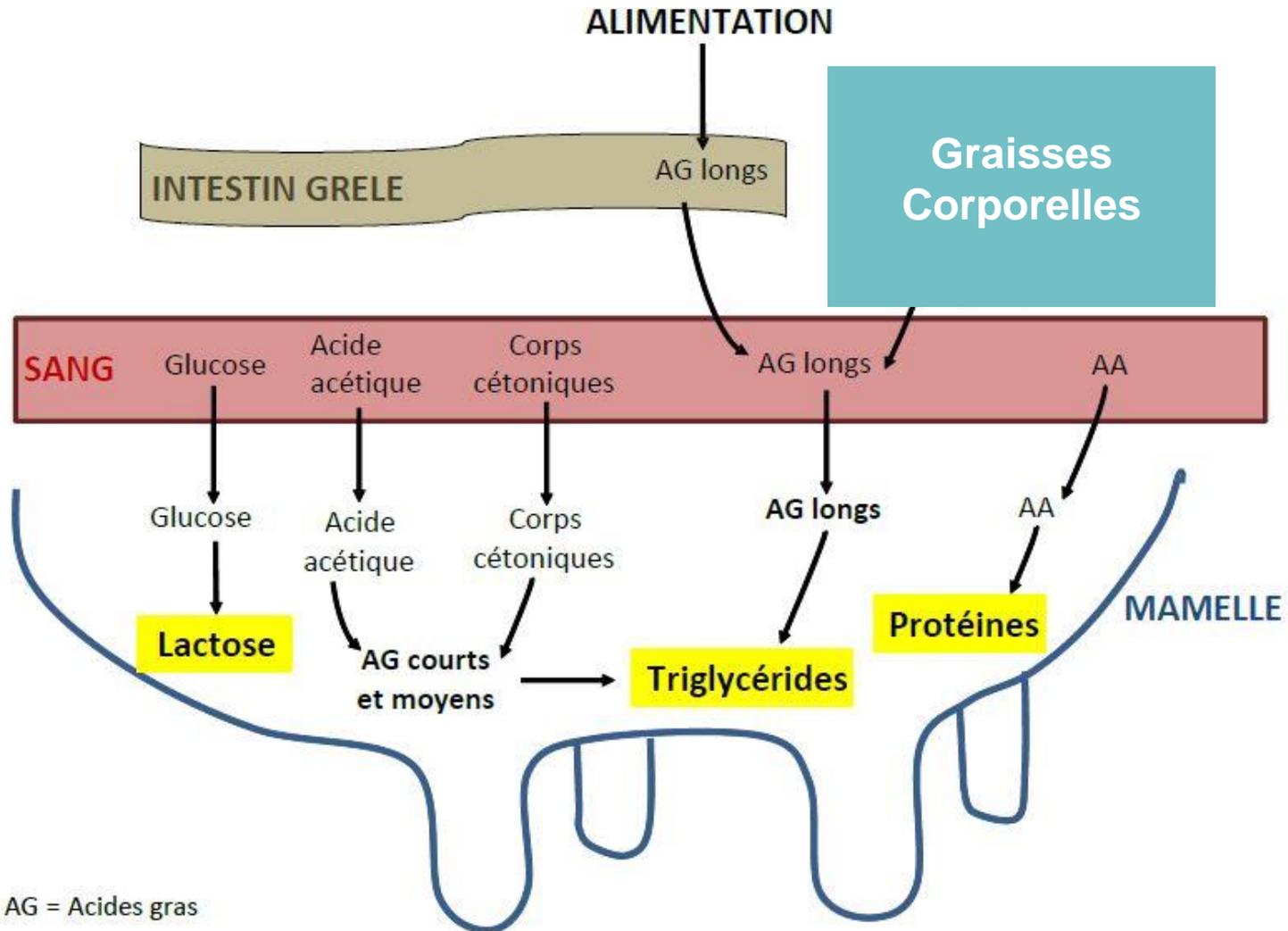


Prélevées dans le sang (10%)
Immunoglobuline ; sérumalbumine

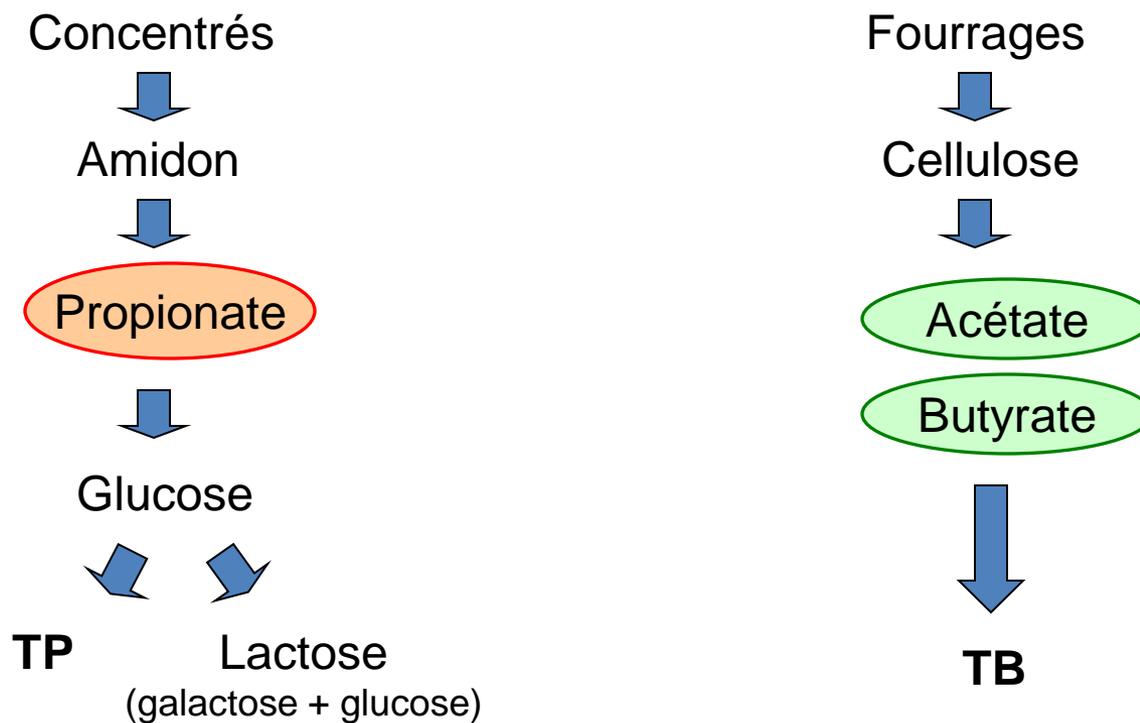
Synthétisées dans la mamelle (90%)
Caséines ; lactoglobuline



En résumé ...



Importance des AGV pour la synthèse des constituants du lait



Facteurs alimentaires impactant la valeur nutritionnelle du lait

Effet des constituants des matières premières (énergie, azote, MG)

Effet des constituants des rations (concentrés, fourrages, ratio)

Effet de la forme de présentation des rations (traitements technologiques)

Sur Taux protéique (TP) et Taux butyreux (TB)



Peu d'effet
(génétique principalement)



Effet ++

Facteurs alimentaires

Effet des constituants des matières premières (énergie, azote, MG)

Apport énergétique : TB ↘

Apport azoté : peu d'effets

Si ration riche en protéines brutes (17% ou plus) :
urée dans le lait (indicateur d'une suralimentation azotée)

Apport de graisses : Effet dépresseur si excès
(fermentations ruminales perturbées)

Facteurs alimentaires

Effet des constituants des rations (concentrés, fourrages, ratio)

Concentrés :

Quantité et type de glucides (sucres simples - complexes) ingérés

Avec céréales (+ de 50%) : TP ↗ et TB ↘

Fonction du type d'amidon :

*Effet plus marqué de orge et avoine (dégradabilité rapide)
que maïs (dégradabilité de l'amidon plus lente)*

Facteurs alimentaires

Effet des constituants des rations (concentrés, fourrages, ratio)

Fourrages :

Effets plus marqué sur le TB que sur le TP

Cas de l'ensilage de maïs :

Lait + riche en MG (vs ensilage d'herbe)

car favorable aux fermentations butyriques

En + : souvent associé à des TP élevés (valeur énergétique élevée)



Herbe jeune de printemps (riche en sucres solubles) :
diminutions de TB (par accroissement du taux sanguin de propionate)

Facteurs alimentaires

Effet des constituants des rations (concentrés, fourrages, ratio)

Ratio :

Repères pour une ration équilibrée :

Ratio fourrages/concentrés > 60/40 (kgMS)

Cellulose brute >18% (kgMS)

Amidon + sucres <15% (céréales)

Amidon + sucres <25-30% (maïs)

MG = 3%

Facteurs alimentaires

Effet de la forme de présentation des rations (traitements technologiques)

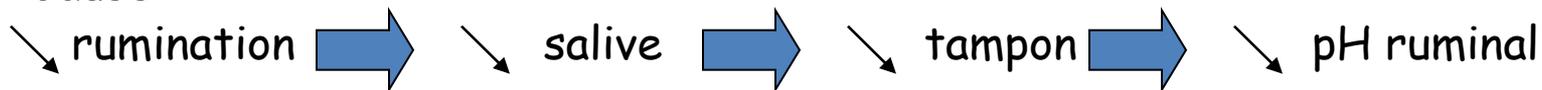
Traitement technologique des aliments : modifie la vitesse de fermentation, la salivation et le temps de mastication

... et donc la quantité et la composition des AG volatils du rumen !

Temps de mastication : rôle important pour le TB
indice de fibrosité (min de mastication par kg de MS ingérée) } Corrélation positive

Fourrages et concentrés broyés : effet négatif sur TB

Cause :



Les composés d'intérêt pour notre santé

Les acides gras

- **Participent au stockage de l'énergie**
- Entrent dans la composition des membranes cellulaires et des tissus nerveux
- **Indispensables à la fabrication d'hormones, au transport de vitamines...**
- Se trouvent dans **le lait et la viande**

Les acides gras saturés

- Effets du C12 et du C16, discutés
- Effets du C14 selon la quantité ingérée
- **Responsables de l'augmentation du cholestérol**

Les acides gras insaturés

- Acides gras essentiels (**$\omega 3$ et $\omega 6$**)
- Essentiels au bon fonctionnement de la rétine
- Impliqués dans les **processus anti-inflammatoires**

Les CLA

- **Prévention du cancer**
- Impliqués dans le système immunitaire

Les composés d'intérêt pour notre santé

Les acides gras

Balayer les idées reçues !

Tous les AG saturés ne sont pas
« mauvais »

- Acide stéarique = neutre (désaturé en acide oléique)
- AGS court (< 12C) neutres car source énergétique directe
- Seuls les AGS C₁₂, C₁₄, C₁₆ sont considérés athérogènes

Tous les AG insaturés ne sont pas
« bons »

- Les acides gras *trans* industriels sont doublement athérogènes (+ de LDL-cholestérol ; - de HDL-cholestérol)
- Déséquilibre entre oméga 6 et oméga 3 (problèmes inflammatoires, pathologies chroniques)

Certains AG « *trans* » naturellement
présents pourraient avoir des effets
bénéfiques

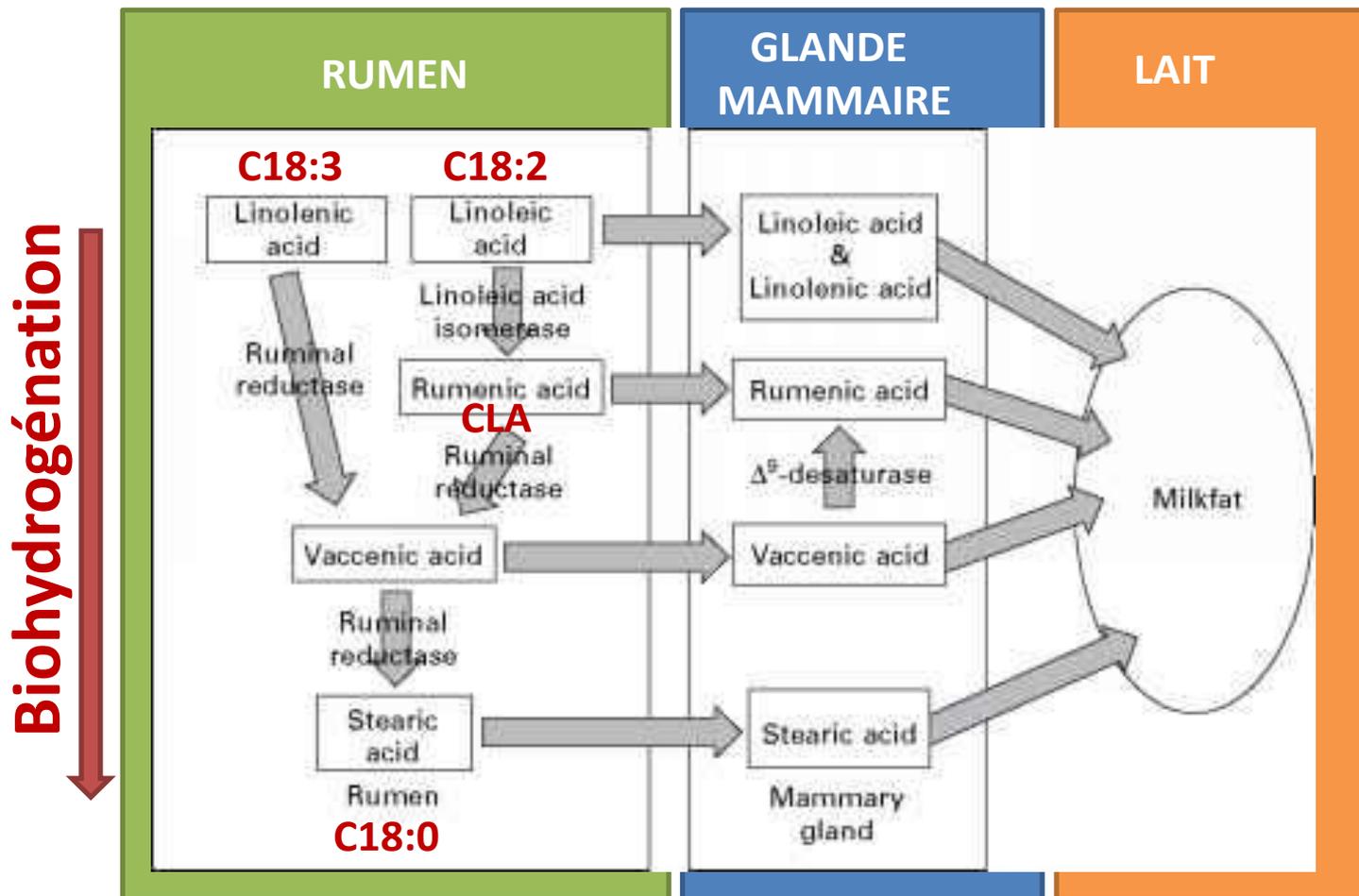
- L'acide ruménique (le CLA principal du lait) a des effets prometteurs (cancer, pathologies chroniques)
- L'acide vaccénique (le principal *trans* du lait) est efficacement converti en acide ruménique

Le végétal n'est pas toujours mieux

- Σ C₁₂, C₁₄, C₁₆ des huiles de palmiste et de coco >> beurre
- Déséquilibre entre oméga 6 et oméga 3 dans bcp d'huiles

Les composés d'intérêt pour notre santé

Les acides gras ... leur devenir dans le rumen ?



Les composés d'intérêt pour notre santé

Les vitamines

Vit A (Rétinol)

- Vitamine liposoluble
- impliquée dans de nombreuses fonctions biologiques (développement embryonnaire, croissance, immunité, vision)
- Dérivés de caroténoïdes (pro-vit A)
- Apports nutritionnels conseillés : 700 µg/j
- Carence : baisse de l'acuité visuelle
- Excès (>1500 µg/j) :
 - malformations congénitales
 - Risques de fractures (> ménopause)

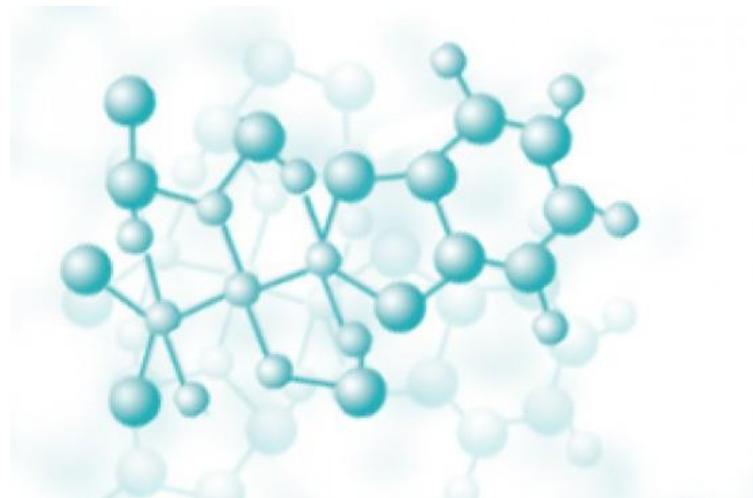
Vit E (α-tocophérol)

- Vitamine liposoluble
- Lutte contre le stress oxydatif et le vieillissement cellulaire
- Prévient les maladies cardiovasculaires
- Pas de synthèse de novo
- Apports nutritionnels conseillés : 15 mg/j
- Carence : affection du système nerveux et des muscles (troubles de la coordination)

Les composés d'intérêt pour notre santé

Les caroténoïdes

- Substances liposolubles
- Beta-carotène = pro-vitamine A (clivée en Vit A dans le foie)
- Activité antioxydante (lutte contre les radicaux libres)
- Performances cognitives ++
- Effet anti-cancer
- Protection contre les maladies cardio-vasculaires

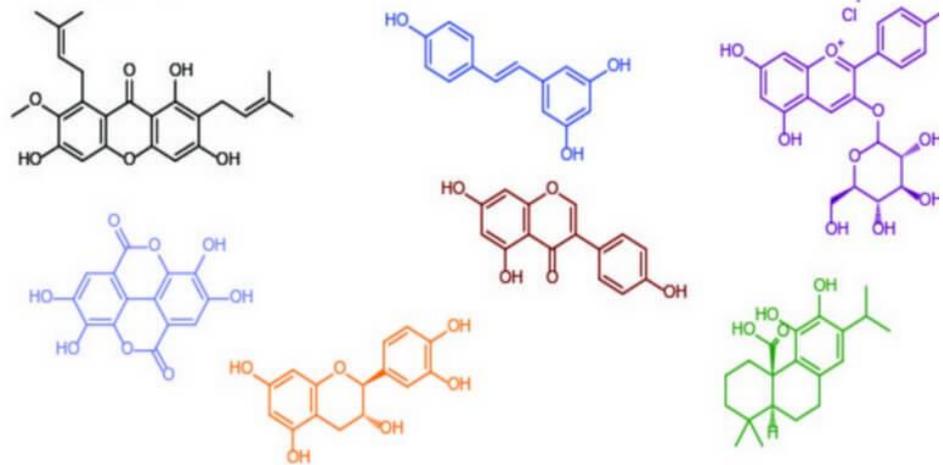


Les composés d'intérêt pour notre santé

Les composés polyphénoliques

- Large famille de molécules (flavonoïdes, tanins, anthocyanines ...)
- Propriétés antioxydantes (lutte contre les radicaux libres)
- Lutte contre le vieillissement de la peau
- Prévention maladies cardio-vasculaires
- Effet anti-cancer

Polyphénols



Les composés d'intérêt pour notre santé

Les composés polyphénoliques : cas de l'équol

Polyphénol (Magee, 2011)

pouvoir anti-oxydant >>> aux autres isoflavones

→ Intérêts multiples, notamment **maladies cardiovasculaires**

Activité (anti) oestrogénique (Setchell et al., 2002)

Activation ou inhibition récepteurs oestrogènes >>> isoflavones d'origine

→ Intérêt pour les maladies hormono-dépendantes

Cancers du sein, prostate

Ostéoporose

Symptômes de la ménopause

Influence sur l'expression des gènes (Gopaul et al., 2012)

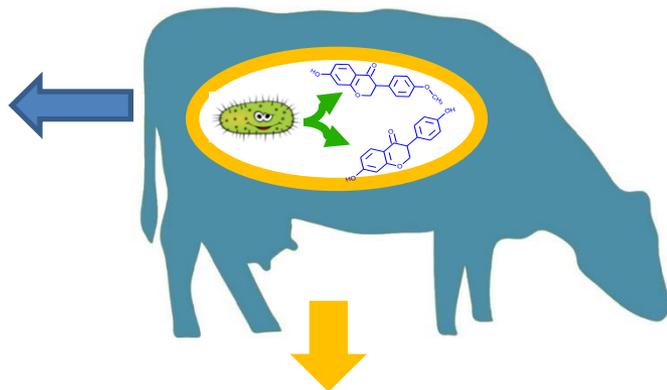
Ex: modification des types de collagènes et élastine

Intérêt dans le traitement **vieillesse de la peau...**

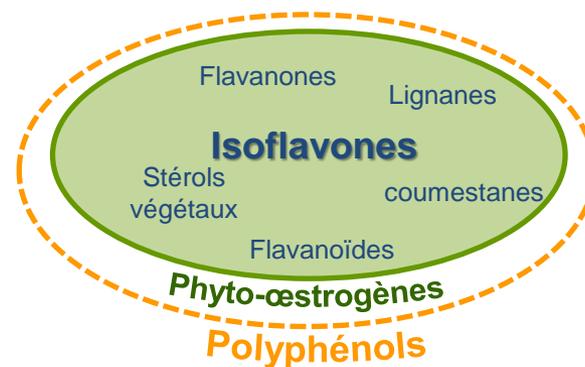
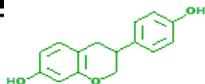
Les composés d'intérêt pour notre santé

Les composés polyphénoliques : cas de l'équol

Synthèse

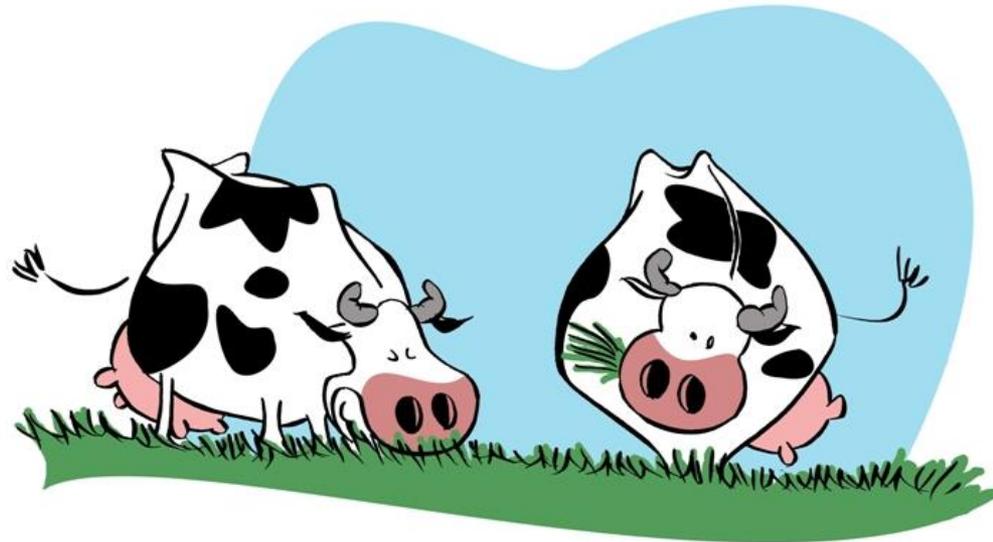


Equol



En été ? ... du pâturage évidemment !

L'herbe, un atout santé à plus d'un titre ...



L'herbe, un atout santé à plus d'un titre ...

Acides gras polyinsaturés



L'herbe = 1 à 3% (/MS) d'AG, dont 50-75% d'acide alpha-linolénique (Ω3)

Valeurs les plus hautes pour l'herbe de printemps et les repousses d'automne

Valeurs d'autant plus hautes que l'herbe est feuillue, exploitée à un stade jeune

Valeur aussi liée à la nature botanique de l'herbe (présence de légumineuses, trèfles)

Enrichissement du produit lié à la proportion d'herbe dans la ration

L'herbe, un atout santé à plus d'un titre ...

Caroténoïdes



Pigments végétaux / métabolites secondaires

Apports par les graminées

Teneurs variables : de 400 à 800 $\mu\text{g/g}$ MS

Une dizaine de caroténoïdes identifiés
(xanthophylles)

Rôle important dans la photosynthèse (protection
de la chlorophylle de la chaleur et radiations
solaires)

+ activité anti-oxydante

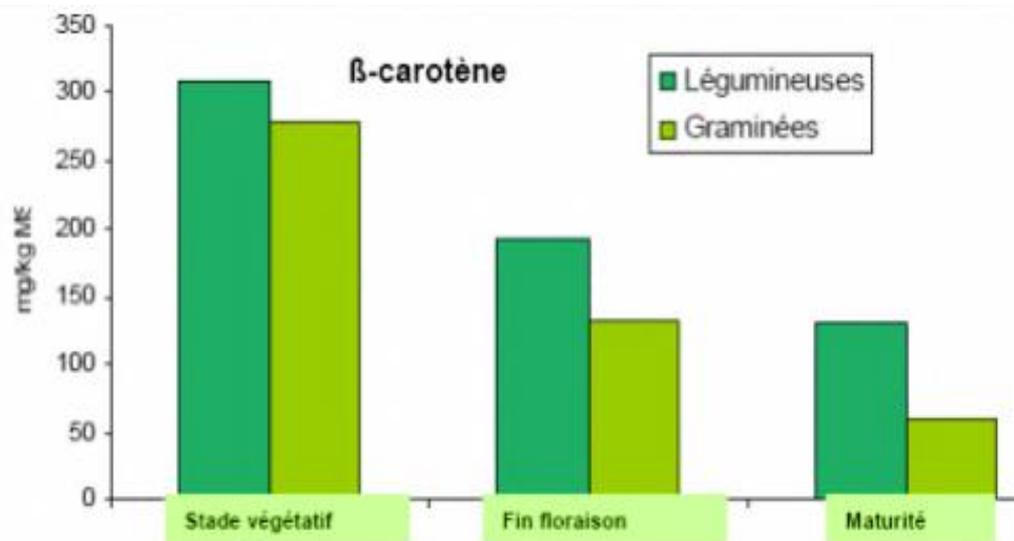
herbe fraîche ++ vs fourrage conservé (foin)

Si herbe feuillue (printemps et repousse
d'automne)

Diversité botanique (effet -) : présence surtout
dans les graminées.

L'herbe, un atout santé à plus d'un titre ...

Caroténoïdes



Williams et al., 1998

L'herbe, un atout santé à plus d'un titre ...

Vitamine E



Teneurs variables (herbe fraîche++) : 250 µg/g de MS

Apports par produits laitiers faibles (< 3% des ANR)

Rôle important pour limiter l'oxydation des AGPI (à l'origine de saveurs désagréables).

L'herbe, un atout santé à plus d'un titre ...

Composés polyphénoliques

Métabolites secondaires sous forme soluble ou polymérique (tanins)

Présent surtout dans les dicotylées (légumineuses)

Teneurs variables : 6 à 10 mg eq acide gallique/g de MS

L'herbe, un atout santé à plus d'un titre ...

Les terpènes



Métabolites secondaires des plantes (dicotylées)

Action indirecte sur les propriétés sensorielles des fromages (effet antimicrobien)

Biomarqueur de l'alimentation des animaux (lié à la composition botanique)

Effet de l'herbe sur les acides gras

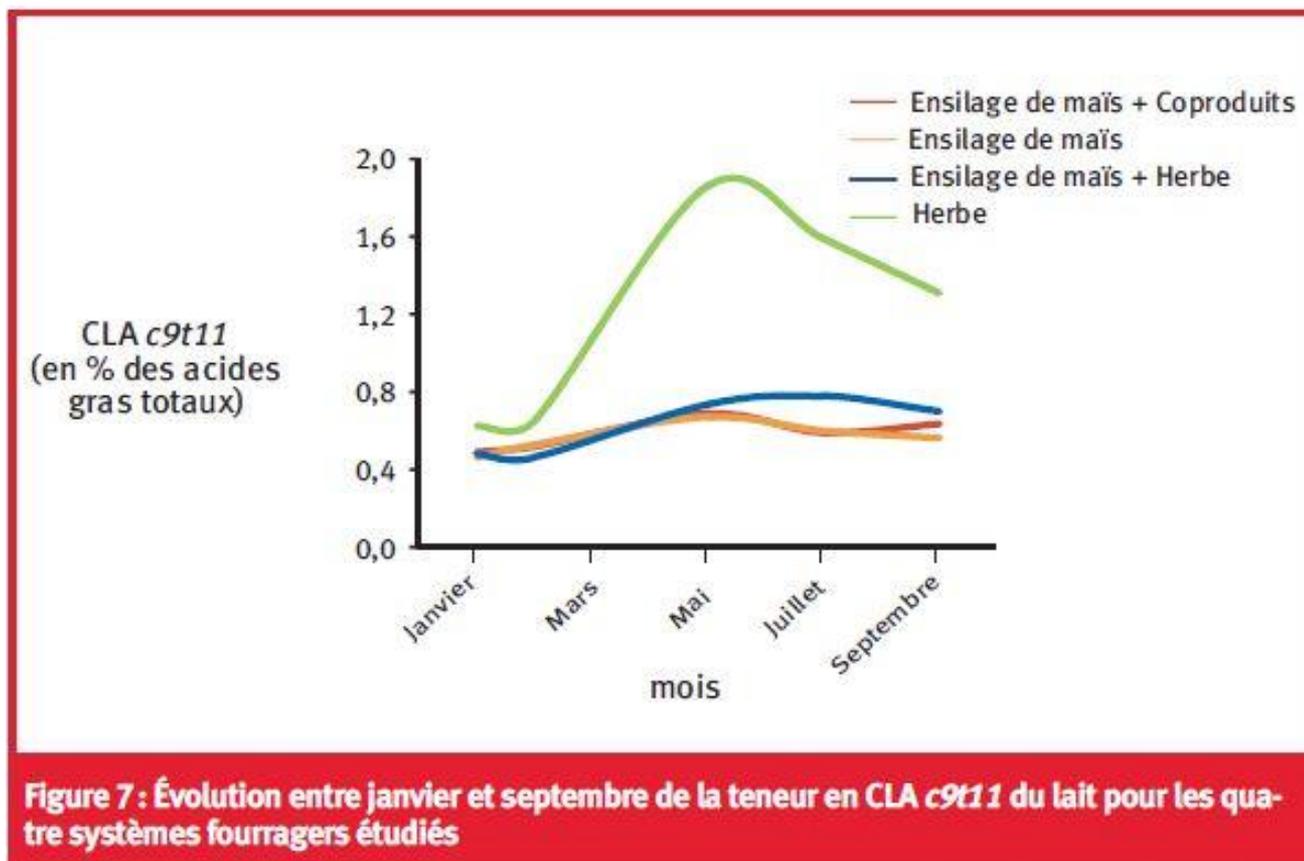
Part d'herbe fraiche dans la ration

Herbe (%MS)	0	30	60	100
Acides gras des laits (g/100 g AGT)				
C16 :0	31,0	28,4	26,8	24,1
ΣAG saturés	71,8	69,8	68,4	64,7
C18 :1 trans-11	0,85	1,45	3,12	4,70
CLA cis-9, trans-11	0,48	0,54	1,21	1,65
C18 :3n-3	0,22	0,40	0,56	0,70

(Martin et al., 2009)

Effet de l'herbe sur les acides gras

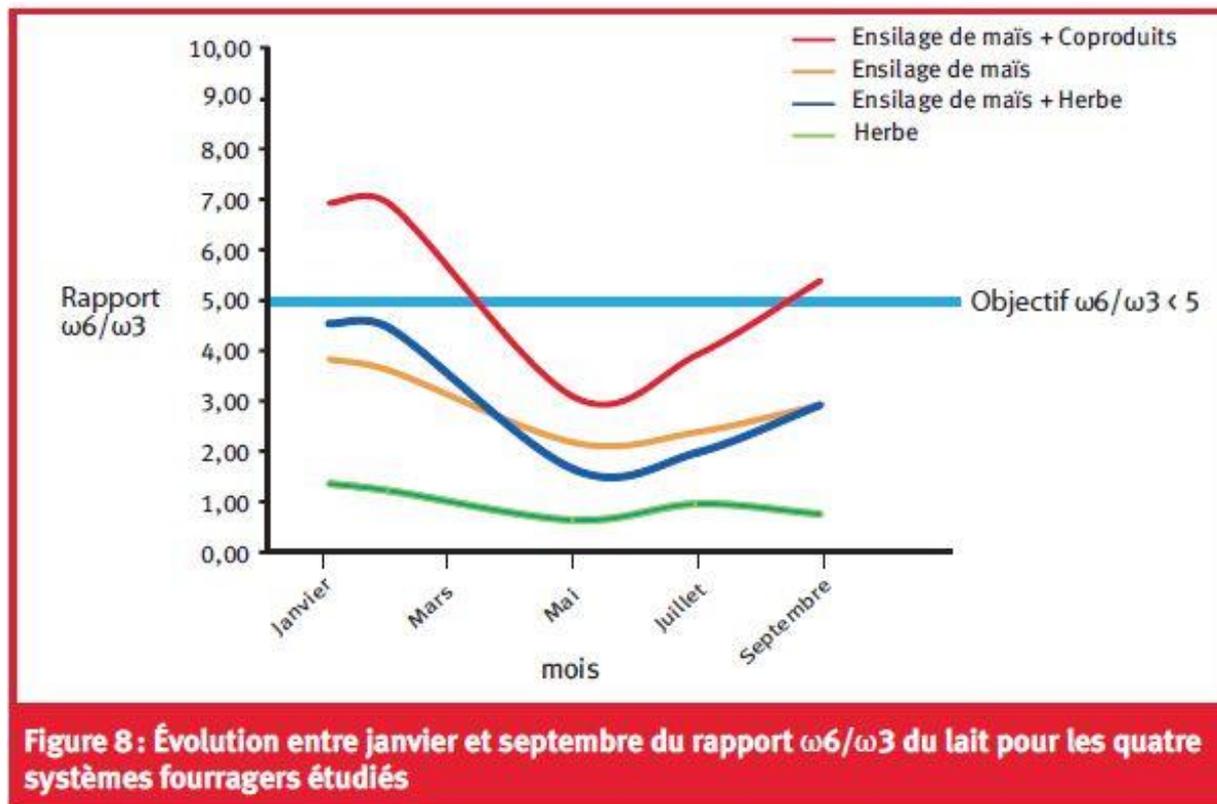
Effet saison



Source : Institut de l'Élevage

Effet de l'herbe sur les acides gras

Effet saison



Source : Institut de l'Élevage

Effet de l'herbe sur les acides gras

Mode de conservation

Herbe fraîche pâturée = **le plus riche en AGPI**

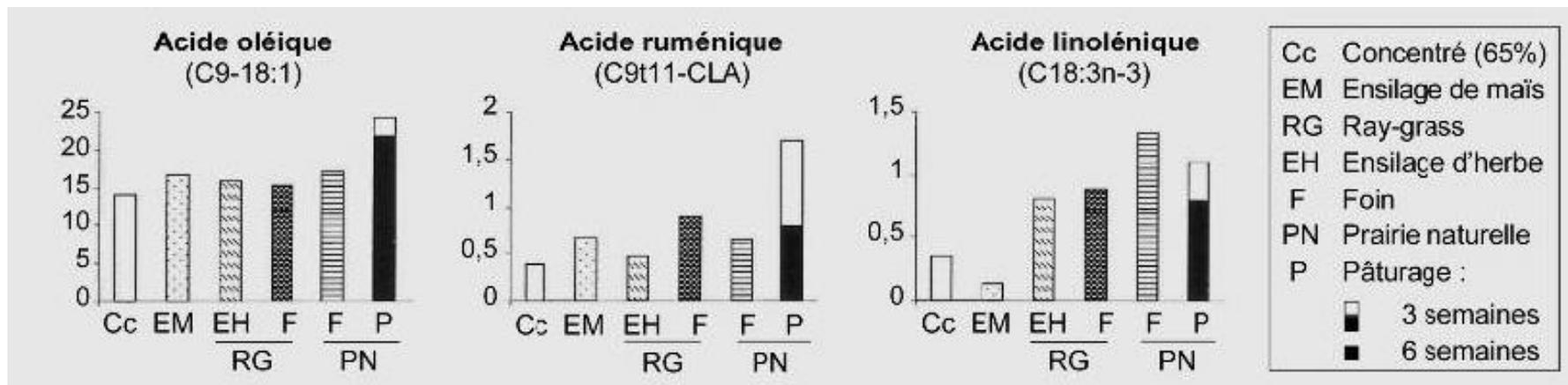
Fanage et séchage = forte diminution (oxydation du C18:3n-3; perte des feuilles plus riches en lipides que les tiges)

→ **Herbe fraîche > ensilage herbe > foin > ensilage de maïs**

Mais **foin séché en grange** comparable à l'herbe verte

Effet de l'herbe sur les acides gras

Nature des fourrages



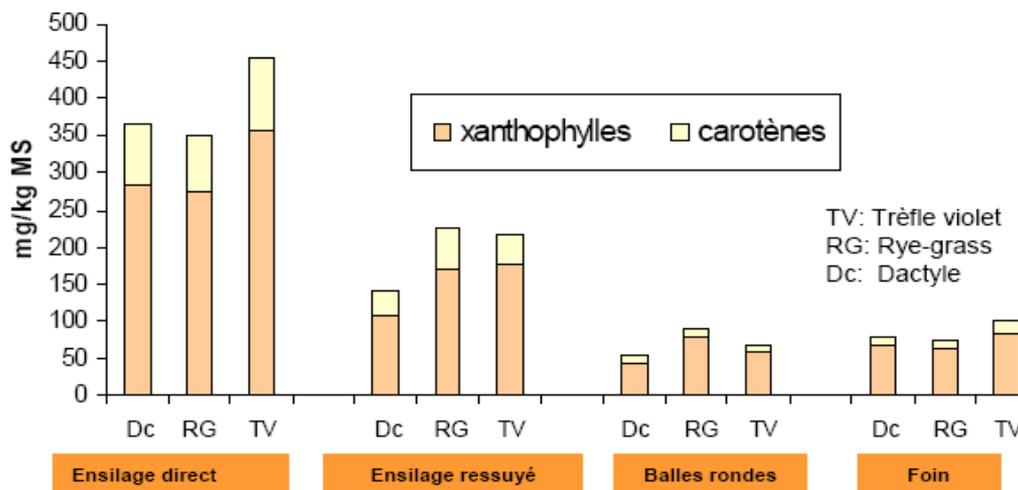
Effets du type de fourrage sur les teneurs en acides oléique, ruménique et Alpha-linolénique du lait de vache (adapté de Ferlay *et al.*, 2006)

Effet de l'herbe sur les caroténoïdes et vitamines

Nature des fourrages

Régimes*	Cc	EM	ERG	FRG	FPN	P3	P6
Lutéine (µg/ml)	0,026 ^a	0,024 ^a	0,027 ^a	0,030 ^{ab}	0,024 ^a	0,032 ^b	0,027 ^a
β-carotène (µg/ml)	0,12 ^c	0,10 ^{cd}	0,17 ^{ab}	0,13 ^c	0,09 ^d	0,19 ^a	0,16 ^b
Vitamine A ((µg/ml)	0,16 ^{ab}	0,11 ^b	0,18 ^{ab}	0,17 ^{ab}	0,12 ^b	0,20 ^a	0,14 ^{ab}
Vitamine E (µg/ml)	0,46 ^a	0,48 ^a	0,62 ^b	0,47 ^a	0,47 ^a	0,63 ^b	0,62 ^b

* Cc : Concentrés et fourrages (65% / 35%) ; EM : Ensilage de maïs (87%) ; ERG : Ensilage de ray-grass (86%) ; FRG : Foin de ray-grass (90%) ; FPN : Foin de prairie naturelle (87%) ; P3 - P6 : Pâturage après 3 et 6 semaines (100%).

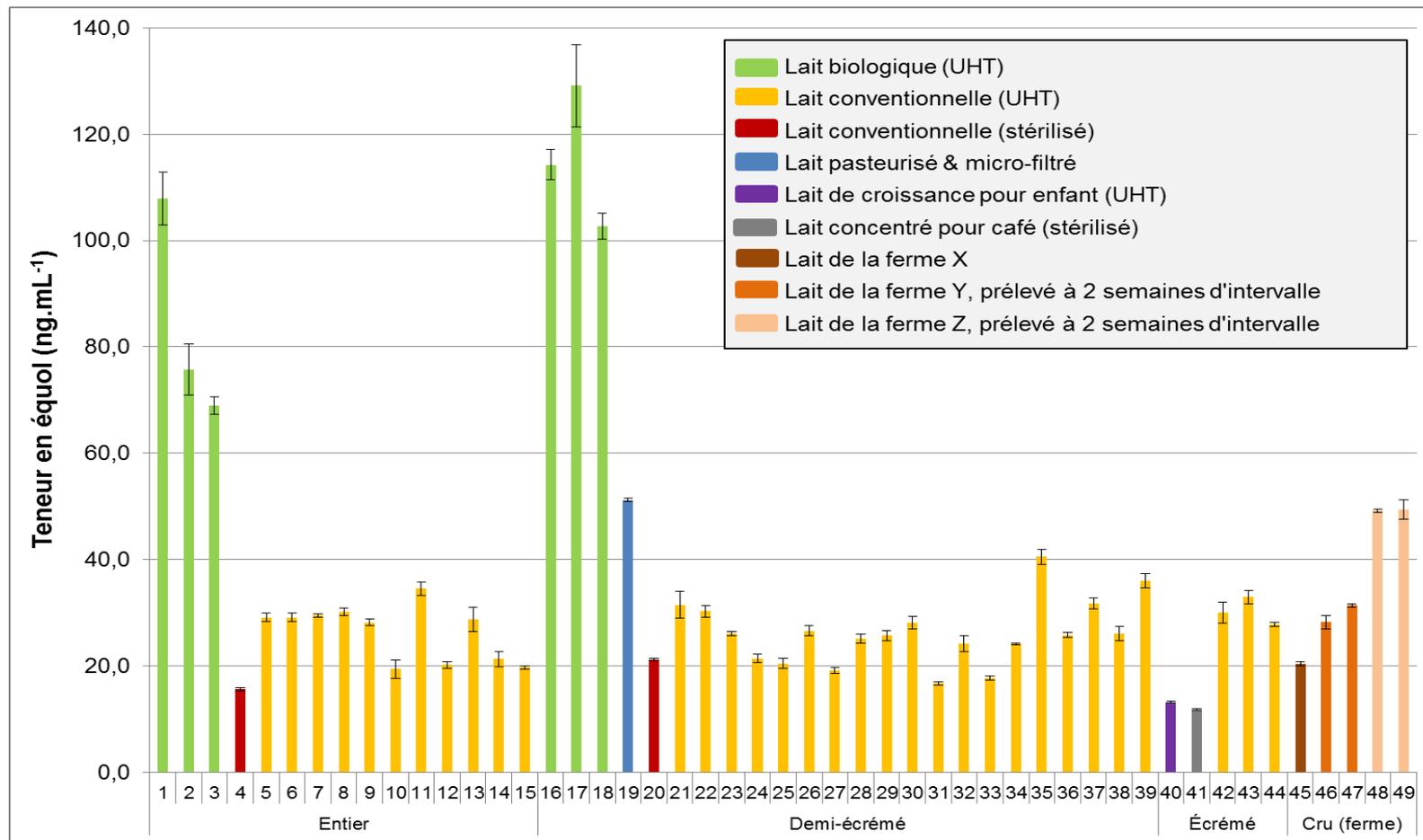


(Martin et al., 2009)

(Chauveau-Duriot et al., 2005)

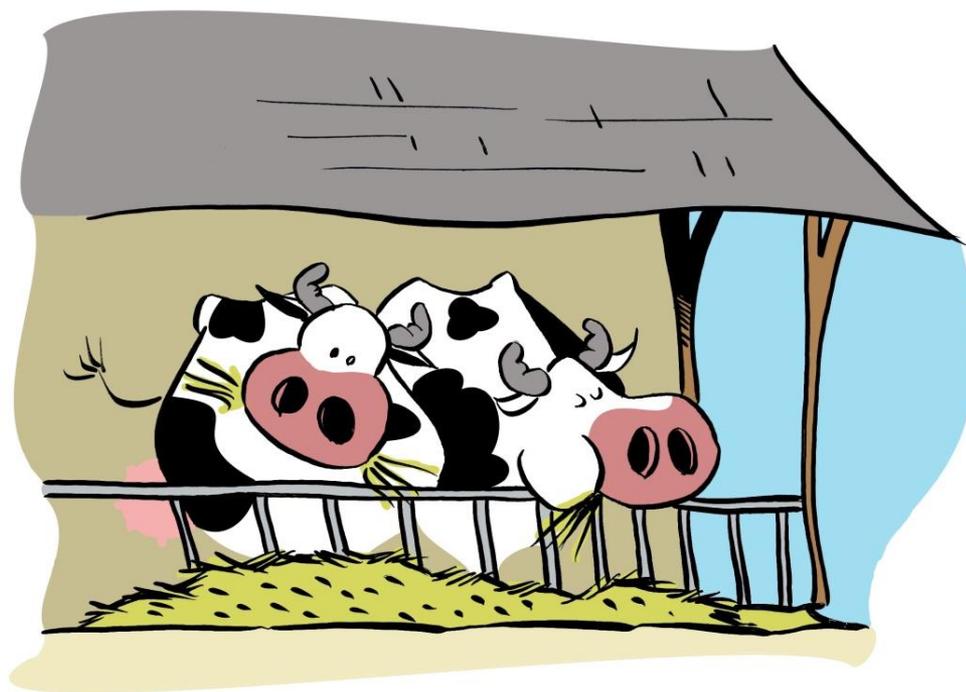
Effet de l'herbe sur les composés phénoliques : cas de l'équol

Laits du commerce



... Et en hiver ?

... Quelles stratégies pour augmenter les composés d'intérêt « santé » dans le lait d'hiver ?



Acides gras : Apporter des graines oléagineuses

Lesquelles choisir ?

Tableau 1. Composition moyenne en acides gras (% des AG totaux) des principales sources de lipides consommées par les ruminants¹.

	Acides gras					
	<16:0 ²	16:0	18:0	18:1n-9	18:2n-6	18:3n-3
Huile de coprah	80	8,5	2,5	7,5	1,5	-
Huile de palmiste	71	8,5	2,5	15	2,5	0,5
Huile de palme	1,7	46,5	4,4	36,1	8,7	0,2
Suif	3,5	25,4	17,2	39,9	4,4	0,4
Graine de colza	0,2	4,8	2,1	60,5	20,8	9,2
Graine de tournesol (linoléique)	0,1	5,1	4,3	21,6	66,8	0,3
Graine de tournesol (oléique)	-	3	5	83	9	-
Graine de coton	< 1	24	2	17	47	< 1
Graine de soja	0,1	11,3	4,1	22,4	53,5	7,2
Graine de lin	0,1	3,6	3,4	18,8	16,3	54,4

Intérêt des graines de lin et colza

Richesse en AGPI, en particulier en ω 3

AGPI sécrétés partiellement dans le lait \rightarrow intérêt des ω 3 \times maladies cardiovasculaires

Acide linoléique ($C18:2$ n-6) et linoléique ($C18:3$ n-3) = précurseurs d'un AG conjugué (**CLA**) spécifiquement produit dans le rumen et dans la glande mammaire: l'**acide ruménique** ($C18:2$ c9+11)

Améliorer le rapport ω 6/ ω 3 du lait

Colza < Lin, mais produit localement

Nécessité de traiter thermiquement les graines (conservation, FAN)

Comparaison de 2 rations

Composition centésimale	Ration témoin	Ration optimisée
Ensilage de maïs	7	7
Ensilage d'herbe de graminées	7	
Ensilage d'herbe TB-TV-dactyle		7
Tourteau de soja	3	0
Tourteau de colza	2	2
Pois	0,5	0,5
Orge	0,9	0,9
Nutex Excell (32% lin, 18% colza)	0	2,3
CMV	0,39	0,39
Vitamine E	0	0,01
Total	20,8	20,1
Valeur nutritionnelle		
VEM, /j	19513	19621
DVE, g/j	1858	1458
OEB, g/j	332,8	-20,1
MAT, %	17,0	13,1
MG, %	4,1	6,0
Amidon, %	18,2	20,2
Fibres NDF, %	37,4	35,9

Essai 2017 CRAw + UCLouvain

Performances zootechniques

Production laitière

	Ration témoin	Ration optimisée	Diff.
Production standard(kg/j)	29,1	28,0	-4%
Taux protéique (%)	3,28	3,19	-3%
Taux butyreux (%)	4,39	4,31	NS
Urée (mg/l)	291	187	-36%

Valeur nutritionnelle du lait

Profil en AG (% AG totaux)

	Ration témoin	Ration optimisée	Diff.
C6-C14	26,9	21,2	-22%
C12:0	4,4	3	-32%
C14:0	14,5	11,5	-21%
C16:0	38,9	28	-28%
C18:2 c9t11 (CLA)	0,4	0,8	+100%
C18:3 c9c12c15	0,6	1,6	+167%
AGS	76,1	64,5	-15%
AGPI	2,9	4,7	+62%
Ω6/Ω3	2,8	1,1	-61%

Valeur nutritionnelle du lait

Teneur en certains micro-nutriments

Teneur en micronutriments	Ration témoin	Ration optimisée	Diff.
Vit. B12 ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	0,32	0,47	+47%
Vit E ($\text{mg}/100\text{g}$)	0,04	0,13	+225%
Iode (mg/kg)	0,17	0,18	NS
Equol ($\mu\text{g}/\text{l}$)	21	173	725%

Equol: Apporter de l'ensilage de trèfle violet

Comparaison de 2 rations

	Ration témoin	Ration optimisée
Ensilage dactyle	6,50	0
Ensilage graminée	8,00	0
Ensilage TV/TB/dactyle	0	14,50
Ensilage de maïs	0,50	0,50
Pulpes de betterave	0	1,60
Orge aplatie	0,75	1,00
Gluten de maïs	0,25	0,05
Tourteau de colza	2,5	0,85
Total MS	18,5	18,5

Composition en phyto-oestrogènes et équol excrété

Des différences de composition selon le type d'ensilage:

	Teneur en phyto-oestrogènes (µg/g MS)			
	Daidzeine	Génistéine	Formononétine	Biochanine
Ensilage dactyle	< LD	< LD	1,2	< LD
Ensilage graminée	0,9	2,5	22,4	3,0
Ensilage avec TV + TB	50,8	114,0	485,4	327,0

➔ Incidence sur les quantités d'équol excrétées dans le lait

µg/vache/j	Moyenne	Min	Max
Ration témoin	273	102	667
Ration optimisée	11879	4928	24372

➔ Avec la ration optimisée :
+ 27% AGPI (3,78 vs 2,97% AG totaux)
+ 76% C ω 3 (1,09 vs 0,62% AG totaux)
+ 11% CLA (0,59 vs 0,53% AG totaux)

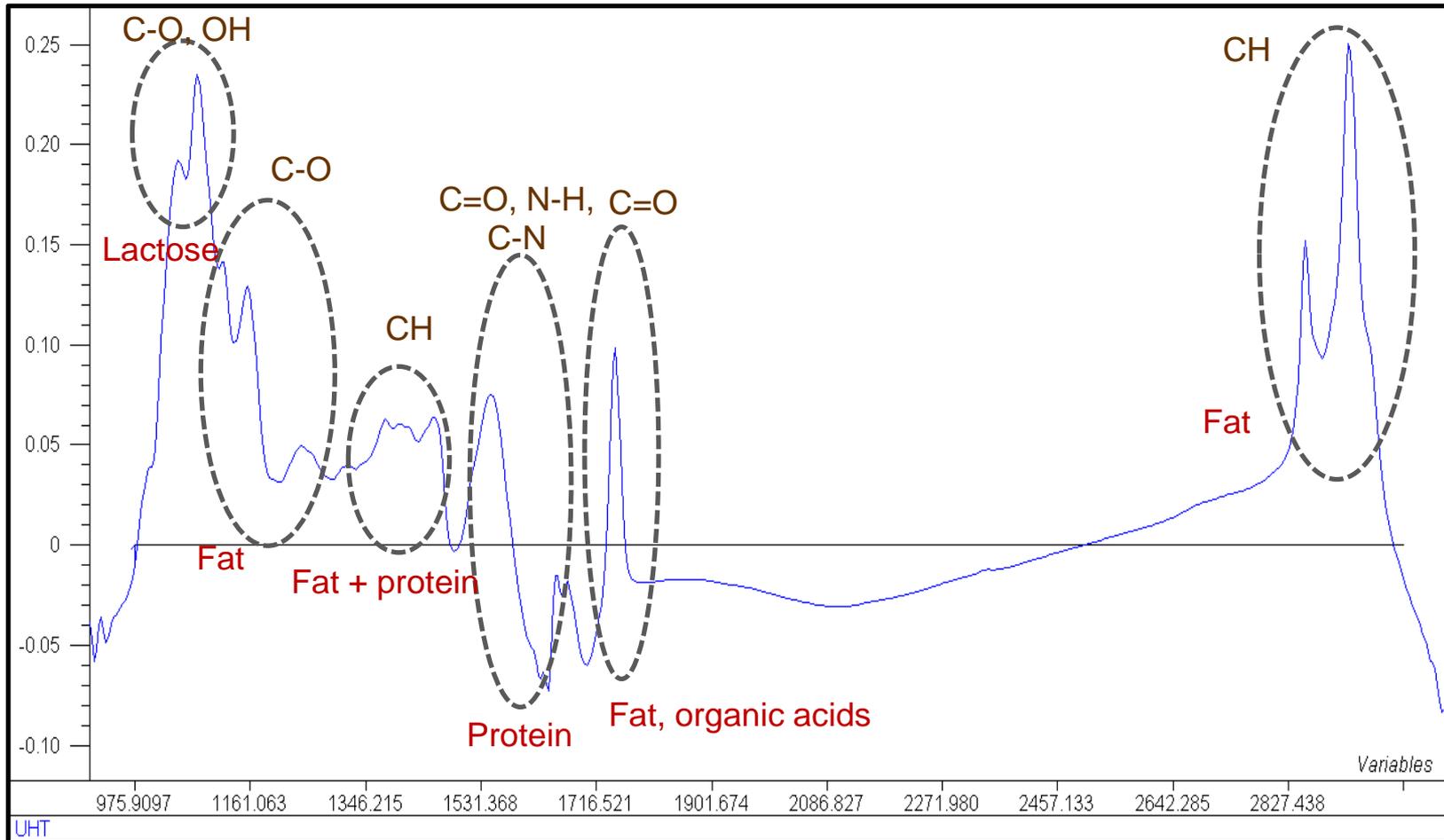
Des outils pour piloter la qualité du lait ...

... les apports de la spectrométrie infra-rouge

Simple
Rapide
Non invasif
En routine
Faible coût
Beaucoup de potentiel !



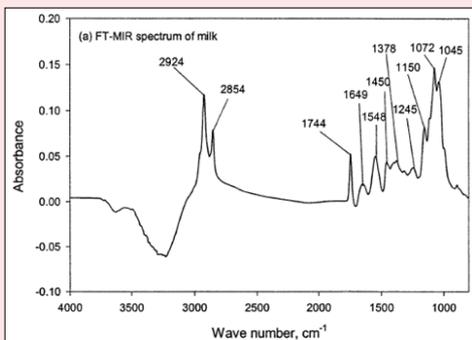
Spectrométrie moyen infra-rouge (MIR)



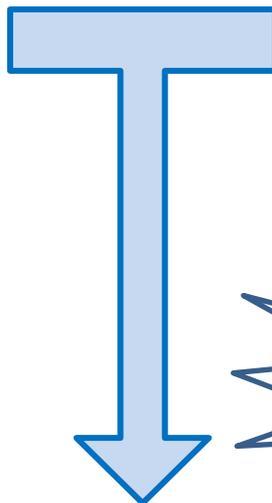
- Position des pics → analyse **Qualitative**
- Intensité des pics → analyse **Quantitative**

Spectrométrie moyen infra-rouge (MIR)

Spectre MIR



Analyse de référence



Chimiométrie



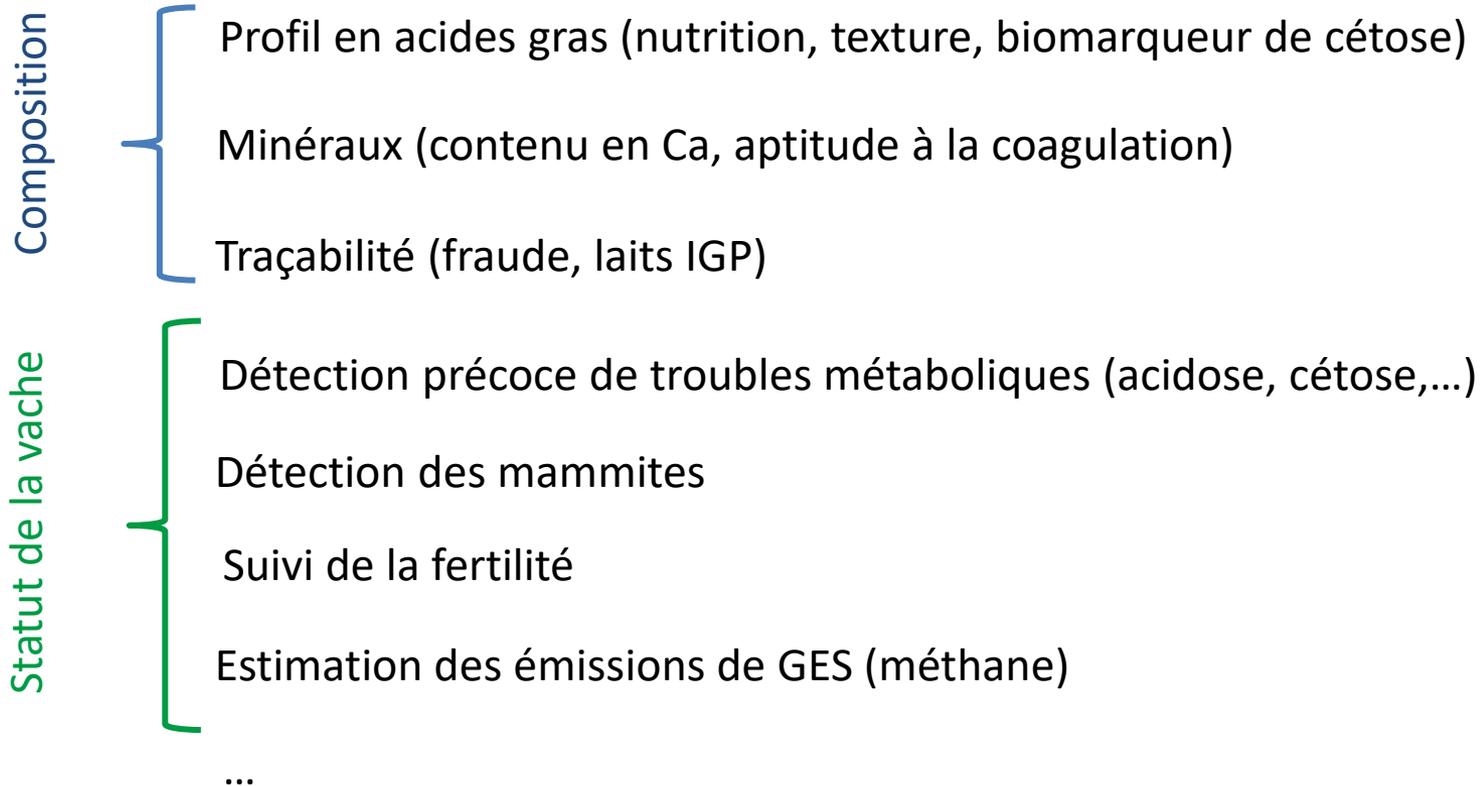
Composition du lait

Matières grasses
Protéines
Urée
Lactose
 ...

$$\begin{aligned} \text{Fat (g/100ml)} = & 0.0985 + 4.6191 * X_1 + 1.1659 * X_2 + 1.4827 * X_3 + 4.1684 * X_4 + 7.3294 * X_5 + 9.8991 * X_6 + 11.183 * X_7 \\ & + 8.0711 * X_8 + 2.1599 * X_9 - 0.4619 * X_{10} - 1.7876 * X_{11} - 2.5708 * X_{12} - 2.8941 * X_{13} - 2.9217 * X_{14} - 2.7392 * X_{15} - 2.2543 * X_{16} - \\ & 1.2677 * X_{17} + 0.0676 * X_{18} + 1.0762 * X_{19} + 1.3228 * X_{20} + 1.0241 * X_{21} + 0.536 * X_{22} + 0.0177 * X_{23} - 0.5265 * X_{24} - 1.1445 * X_{25} - \\ & 1.8178 * X_{26} + -2.212 * X_{27} - 2.0766 * X_{28} + -8.3083 * X_{29} - 3.703 * X_{30} + -1.1999 * X_{31} + -0.5698 * X_{32} - 0.1674 * X_{33} + 0.246 * X_{34} \\ & + 0.666 * X_{35} + 1.2938 * X_{36} + 2.0946 * X_{37} - 0.0689 * X_{38} - 1.4774 * X_{39} - 1.7984 * X_{40} - 2.0553 * X_{41} - 2.9338 * X_{42} - 4.644 * X_{43} - \\ & 6.764 * X_{44} - 8.1475 * X_{45} - 5.6904 * X_{46} + 2.6657 * X_{47} + 10.9883 * X_{48} + 14.4346 * X_{49} + 13.8878 * X_{50} \\ & + 10.2135 * X_{51} + 4.8464 * X_{52} - 1.2081 * X_{53} - 7.4854 * X_{54} - 11.6799 * X_{55} - 12.6849 * X_{56} - 10.7724 * X_{57} - 4.8936 * X_{58} + \\ & 0.4425 * X_{59} + 3.583 * X_{60} + \dots + 2.9636 * X_{n-1} + 6.4566 * X_n \end{aligned}$$

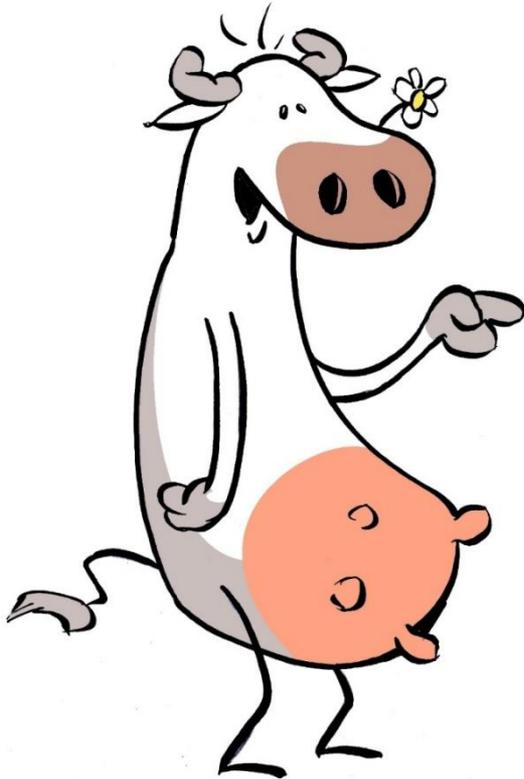
... les apports de la spectrométrie infra-rouge

Vers de nouvelles applications !



Que retenir ?

- ✓ *Importance du microbiote ruminal*
- ✓ *Enrichissement en molécules d'intérêt spécifiques à l'animal (Vit A, CLA et Equol)*
- ✓ *Biomarqueurs de la composition de la ration (AG, équol, terpènes)*
- ✓ *Profil en AG meilleur à l'herbe mais stratégies possibles en hiver (graines lin/colza)*
- ✓ *Equol = trèfle violet pâturé et ensilé !*
- ✓ *Teneurs en vitamines A et E plus élevées à l'herbe (limite le stress oxydatif)*
- ✓ *Mode de conservation des fourrages : Herbe fraîche > Ensilage > Foin*
- ✓ *Effets de l'herbe sur la couleur du gras (+ jaune suite aux bêta-carotènes)*
- ✓ *Pâturage : complémentarité graminées (AG, caroténoïdes, Vit E)
et légumineuses (AG, polyphénols, terpènes)*
- ✓ *Monitoring : la spectrométrie IR étend le champ des possibles*



Merci pour votre attention !

... des questions ?