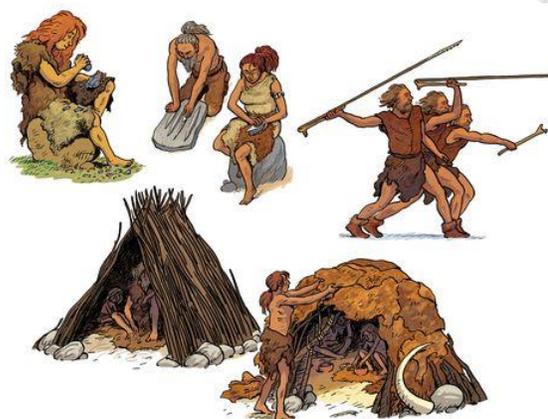
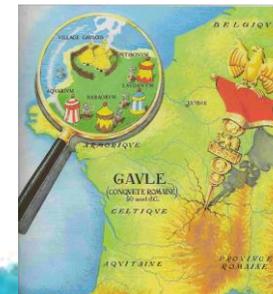
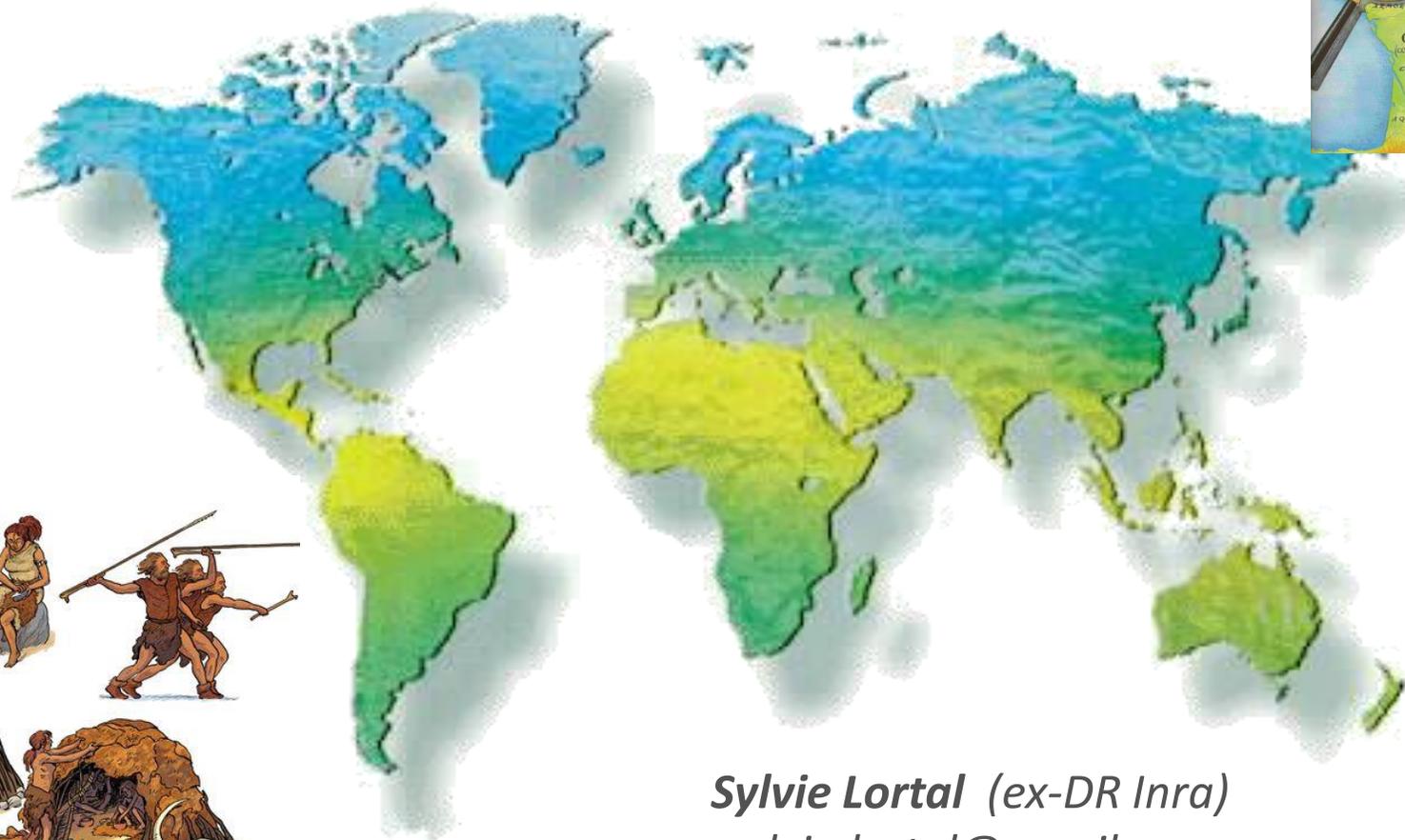


# Les fromages au lait cru : toute une histoire !



*Sylvie Lortal (ex-DR Inra)*  
[sylvie.lortal@gmail.com](mailto:sylvie.lortal@gmail.com)

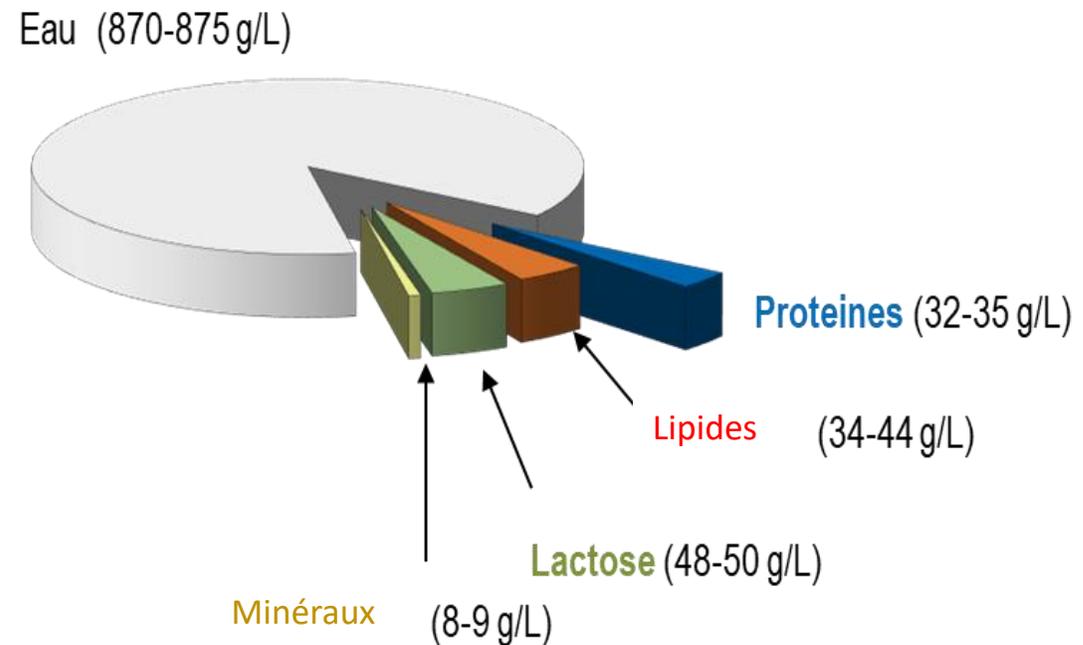


**INRAE**

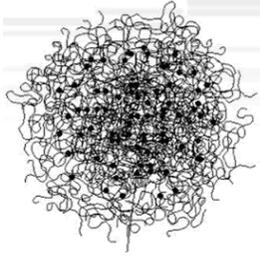
Les fromages au lait cru ....  
30 janvier 2020 / MAA

# Le lait, une matière première hors norme, et sans équivalent

120 millions d'années d'optimisation par les mammifères  
Protéines, lipides, minéraux, glucides (lactose), micronutriments  
dans beaucoup d'eau !



# Un système biologique complexe et en équilibre ...

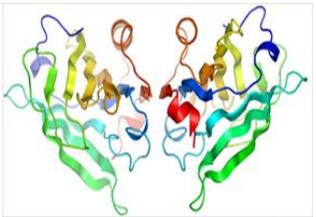


## Micelles de caséines

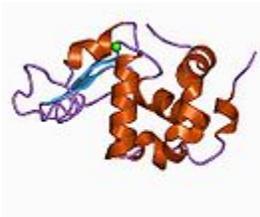
- 4 caséines :  $\beta$ CN,  $\alpha_{s1}$ CN,  $\alpha_{s2}$ CN et  $\kappa$ CN en interaction avec des minéraux (Ca et P)
- Structure supramoléculaire ?

## Protéines

### Protéines sériques



$\beta$ -lactoglobuline (3,2 g/kg)



$\alpha$ -lactalbumine (1,2 g/kg)

- structure moléculaire connue

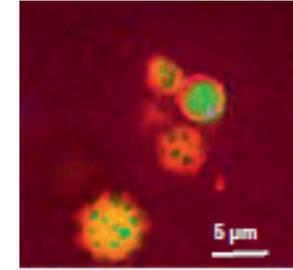
## 931 protéines mineures

Tacoma et al., 2016

ET Plusieurs centaines de molécules quantitativement mineures (signaux moléculaires – Transporteurs de vitamines ...)

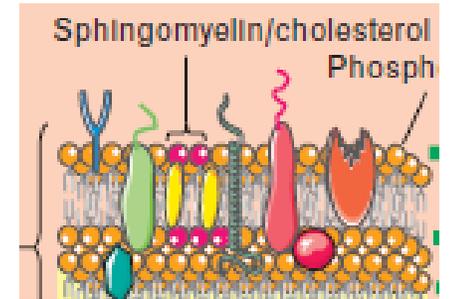


## Lipides Globules gras



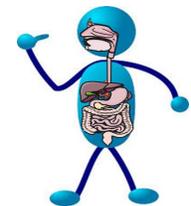
- En émulsion dans le lait
- Surface interfaciale: 100 m<sup>2</sup> /litre lait
- Membrane avec structure originale

## Lactose

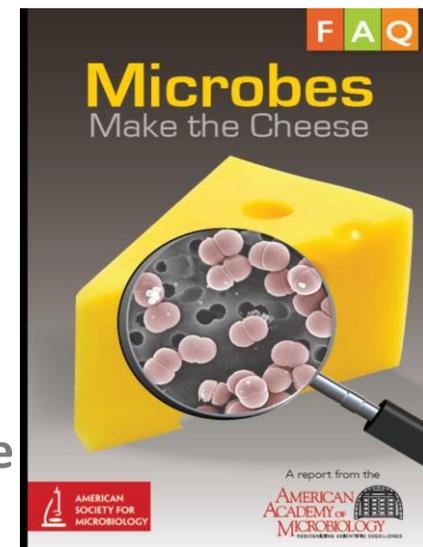
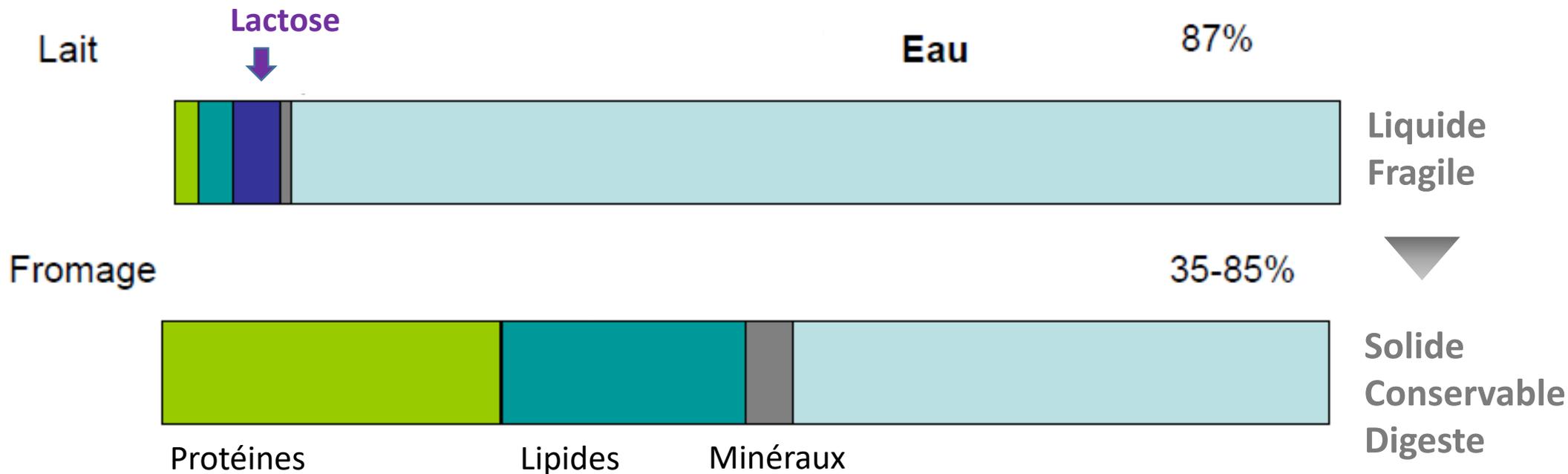


Bourlieu et Michalski, 2015

## Minéraux (Ca, P, Mg, ...)



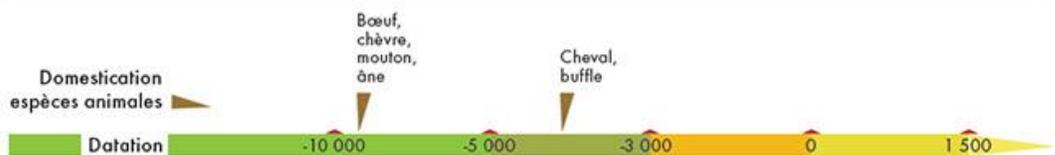
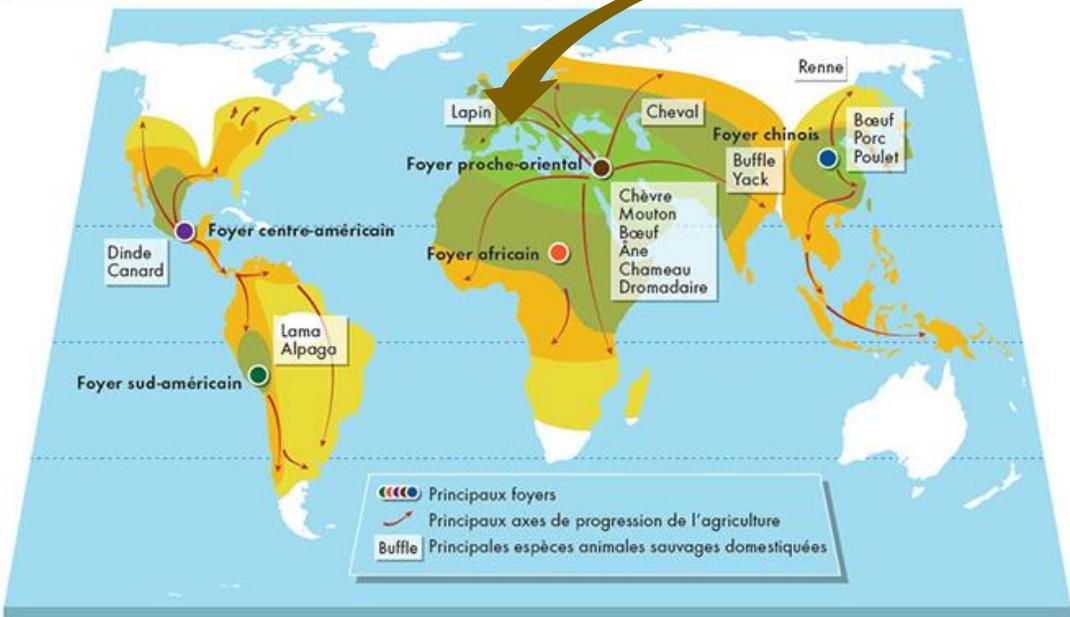
# Faire du fromage : concentrer les éléments nutritifs du lait càd enlever de l'eau et bien diriger l'action des microorganismes



Fromage : issu d'une fermentation  
C'est un aliment microbien

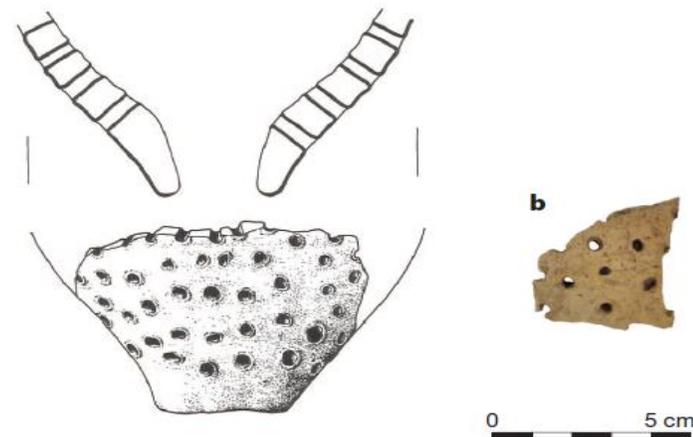
# Le fromage : une invention précoce dans l'histoire des hommes

## ORIGINES DE L'ÉLEVAGE ET DE L'AGRICULTURE



**10 000 ans**

Poterie trouée - Pologne  
Traces lipidiques laitiers



Salque *et al.*, 2013. Nature

Earliest evidence of cheese making in the sixth millennium BC in northern Europe

**8000 ans – invention multilocale**

Lait caillé - Moins périssable - Plus digeste  
Idem pour tous les aliments fermentés

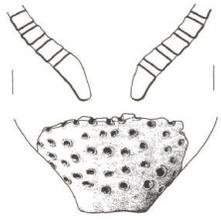
**Survie**



INRAE

Les fromages au lait cru ....

30 janvier 2020 / MAA



*Préhistoire*

*Histoire*

Tombe Sakkarah

- 3200 ans



*Civilisation Egyptienne*



*Civilisations Grecque et Romaine*

JC

- 6000 ans

- 5000 ans

- 3500 ans

*Homère  
VIII siècle*

*Aristote  
IVe siècle*

*Pline L'Ancien; Columelle  
1<sup>er</sup> siècle*

**Existence antérieure ?  
modes de vie nomades**

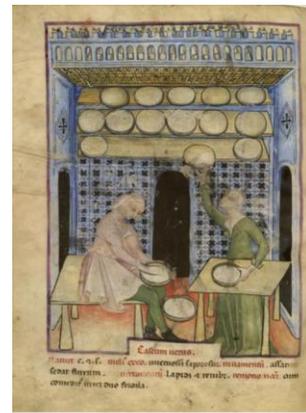


**INRAE**

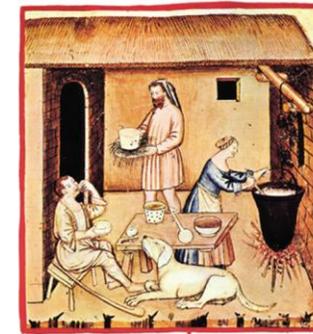
Les fromages au lait cru ....  
30 janvier 2020 / MAA

# Un concentré de créativité humaine, reflet des époques traversées

sociétés rurales  
fabrication à petite échelle



Beaucoup de sources,  
Iconographie riche



Vème

XVème

XVIIème siècle

Moyen âge

Renaissance

## Extraordinaire diversification ! Notamment en France

Pont- L'Evêque, Maroilles, Munster, Brie,  
Roquefort ... tous les grands fromages



Pourquoi  
en France ?!

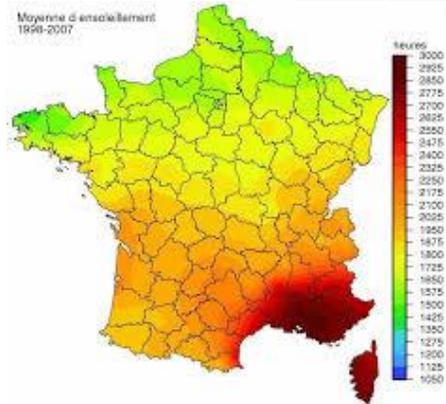


INRAE

Les fromages au lait cru ....

30 janvier 2020 / MAA

# ① La diversité des reliefs et des climats



**Normandie** : climat humide, océanique, herbe donc du lait ...toute l'année! Pas besoin de stocker/affiner fromages sur de longues périodes. Tradition de pates molles : Brie, camembert, neufchatel , Livarot (1236)



**Haute Savoie** : climat rude, montagne, production de lait saisonnière, nécessité de fromage « de garde »  
Création des premières fromageries au XIIIe siècle (innovation sociale)

Fromage de grande taille, cuit, facile à conserver des mois voire des années, facile à transporter dans la vallée et à partager : Beaufort, Comté, Abondance

**Méditerranée** : végétation limitée, climat très chaud; beaucoup plus propice aux chèvres et brebis. Petits fromages : Pelardon , Banon; Produits par fermiers indépendants

## ② La France, fille ainée de l'église Carte des abbayes au moyen âge



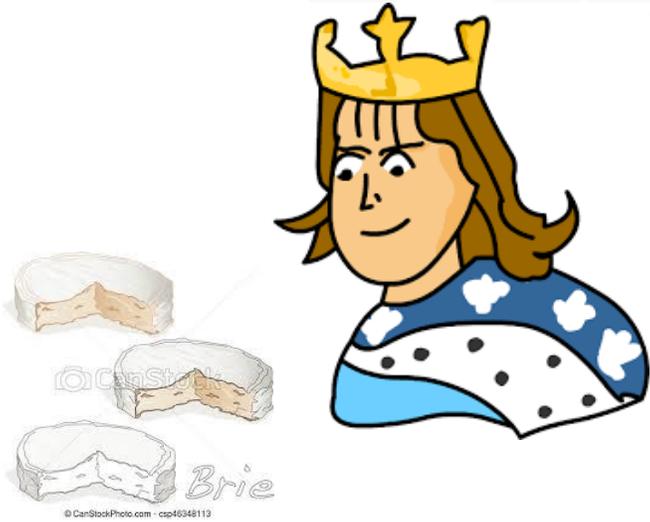
**Règle des bénédictins : le travail manuel a autant de valeur que la prière ou l'étude**

**Autonomie alimentaire des abbayes : mise au point, préservation recettes fromagères**

Ex: Création du Munster an l'an 855 dans une abbaye en Alsace

**Un rôle clé des moines ! Notamment dans les périodes troublées**

### ③ Un rôle décisif des Rois de France, de leur faste, Et de leur gourmandise



En l'an 774, Charlemagne en dégustant un Brie dit qu'il n'avait jamais rien mangé d'aussi délicieux

Qqs siècles plus tard, c'est 50 charrettes de Brie qui partaient de Meaux chaque semaine pour Versailles. Mentions de nombreux fromages dans livres de comptes intendances royales

En 1660, le roi Charles VI octroya par décret aux habitants de Roquefort un monopole : le droit de produire, d'affiner et de vendre leur fromage; aucun monarque n'a remis en cause ce droit.

**1925 Roquefort**

**Premier fromage français à avoir bénéficié d'une appellation d'origine contrôlée**



Industrialisation /urbanisation  
 Changement d'échelle  
 Développement hygiène alimentaire

*Très peu de nouveaux fromages .....!!*

Produits standardisés, plus « technologiques », produits à l'échelle industrielle, écosystèmes simplifiés

XIX ème XX ème

Xème siècle

XVIII ème

sociétés rurales  
 fabrication à petite échelle

1861



Microbiologie  
 Hygiène

Emballages

- Technologies à membrane
- Mécanisation

Tous les grands fromages existent !  
 Toutes les productions sont au lait cru

Loi Godefroy  
 1969

- Productivité vaches x3



Pasteurisation

Ferments sélectionnés

Transport (train)



Productions traditionnelles  
 Réglementées, naissance AOP 1950  
 Cahier des charges



INRAE

# Définition légale aujourd'hui d'un fromage au lait cru ?

Fromage qui a été fabriqué avec du lait n'ayant pas été chauffé à plus de 40 degrés ni soumis à un traitement non thermique d'effet équivalent notamment du point de vue de la concentration en micro-organismes [Règl CR853/2004]

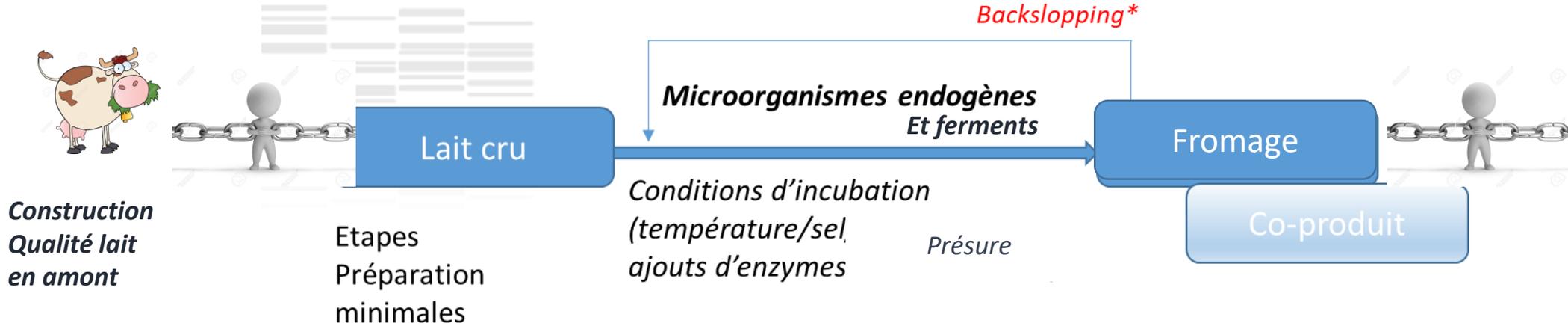
- **10 % des fromages consommés aujourd'hui** [Italie 34% ; suisse 70%]
- **45 fromages français AOP** [75 % au lait cru]
- **Développement Québec et côte Est USA** [Winner of the World cheese competition in Bergamo 2019....]



Au delà de leur longue histoire, de leurs qualités gustatives incontestables, de leur importance territoriale, sociale, culturelle,

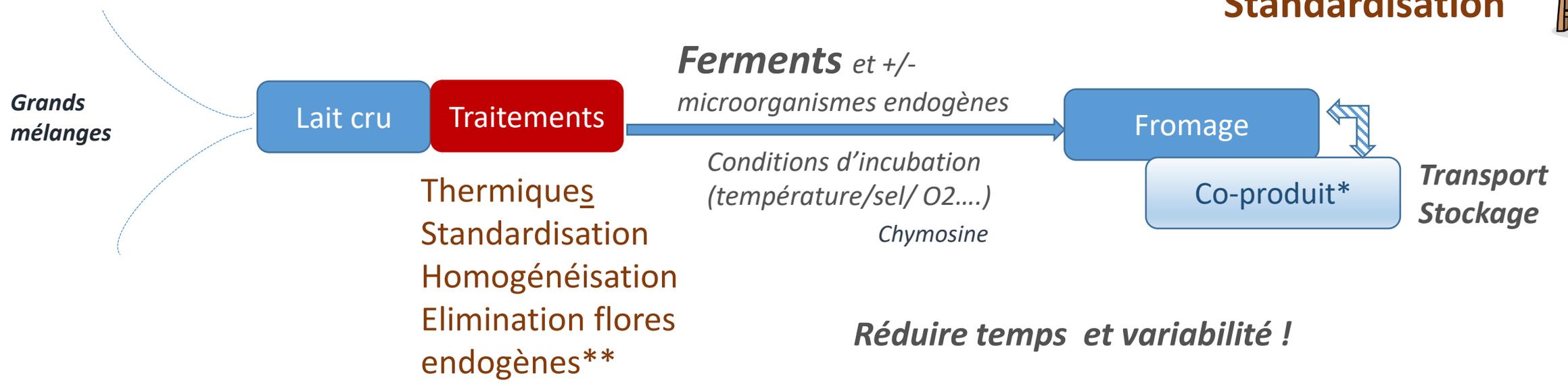
**Qu'est-ce qui distingue  
les fromages faits à partir de lait cru ?**

**Et quelles recherches restent à faire ?**



*Faire s'exprimer un potentiel !*

**Biodiversité VS Standardisation**



# Les matrices fromages issues de ces deux approches sont différentes à plusieurs niveaux

## Sur le plan microbien

Traitements  
thermiques

Ferments  
industriels



Réduction de la diversité de l'écosystème microbien  
et donc de toute la diversité qui en découle

Concept  
Post-biotics

- Composés microbiens (de surface)
- Métabolites microbiens
- Enzymes microbiennes et donc leurs produits d'hydrolyse à partir de la matrice (flaveur, profil de peptides bioactifs, ...)

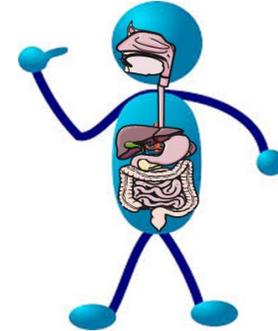
**Or en France, parmi les aliments fermentés [microbiens]  
les fromages sont la 1<sup>ère</sup> source de microorganismes dans notre diète**



*25 kg / personne / an*



1 à 100 milliards par jour  
de microorganismes ingérés



**La question de l'importance du niveau de diversité microbienne  
ingérée est aujourd'hui scientifiquement fondée**

**Contexte d'appauvrissement**



The need to preserve microbial diversity in all aspects of our life has become more and more clearly affirmed including **“changing diet to emphasize foods that promote microbial diversity and metabolism that benefits our health”**.

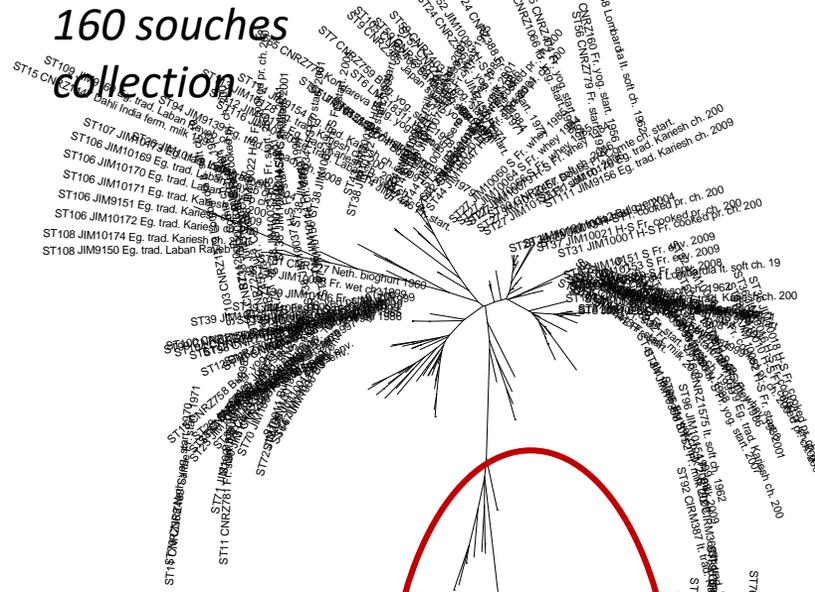
*Dominguez Bello et al., 2018. Science*

## **Fermented Foods as a Dietary Source of Live Organisms**

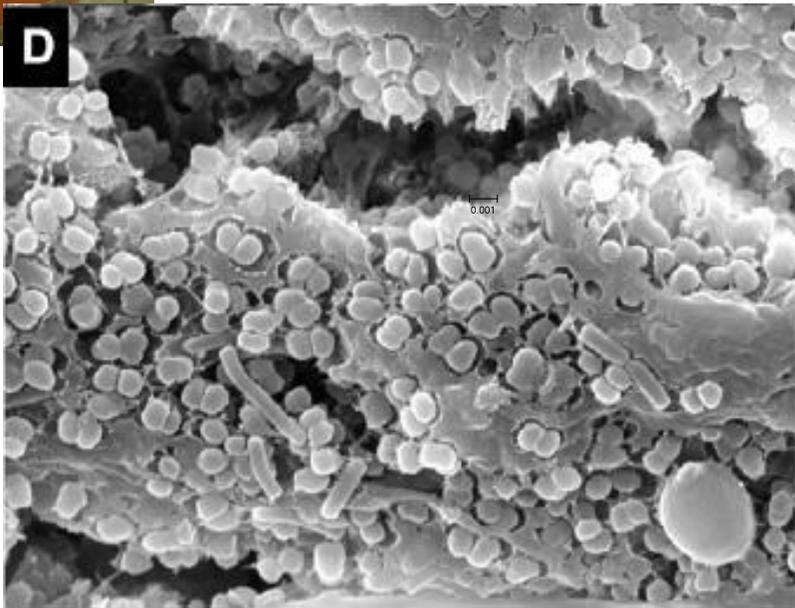
*Rozac et al., 2018 Frontiers*



160 souches collection



*S. thermophilus*



Cluster séparé

Les pratiques traditionnelles en lait cru sont aussi des réservoirs de biodiversité pour les espèces d'intérêt technologique



## Wooden Tools: Reservoirs of Microbial Biodiversity in Traditional Cheesemaking

SYLVIE LORTAL,<sup>1</sup> GIUSEPPE LICITRA,<sup>2</sup> and FLORENCE VALENCE-BERTEL<sup>1</sup>



INRAE

Les fromages au lait cru ....  
30 janvier 2020 / MAA



# Différences sur le plan biochimique

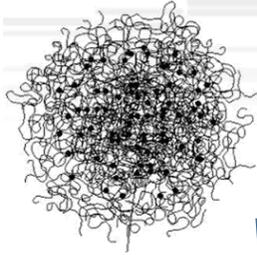
Traitements  
technologiques



Modifications des molécules du lait  
et de leurs interactions

# Remember : un système biologique complexe, en équilibre ...

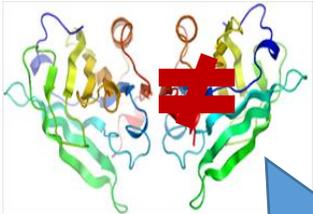
## Protéines



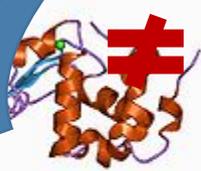
### Micelles de caséines

- 4 caséines :  $\beta$ CN,  $\alpha_{s1}$ CN,  $\alpha_{s2}$ CN et  $\kappa$ CN en interaction avec des minéraux (Ca et P)

### Protéines sériques



$\beta$ -lactoglobuline (3,2 g/kg)



$\alpha$ -lactalbumine (1,2 g/kg)

- structure moléculaire complexe

Maillard / LYS

931 protéines mineures  
(Tacoma et al., 2016) ?



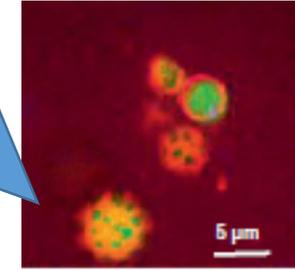
TraitementS thermiqueS

+ pompes

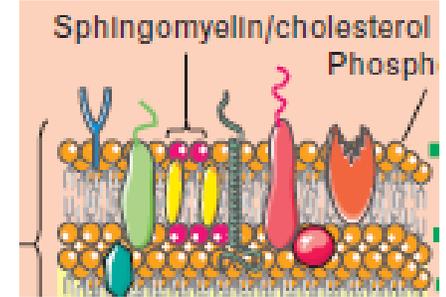
Lactose

Minéraux (Ca, P, Mg, ...)

Lipides



- Surface interfaciale: 6 m<sup>2</sup> / 100 ml **≠**
- Membrane avec structure originale **×**



ET Plusieurs centaines de molécules quantitativement mineures (signaux moléculaires et physiologiques) ?



Le caillé obtenu après ces traitements aura des caractéristiques propres, différentes d'une matrice au lait cru, qui dépendront du type et de l'intensité des traitements

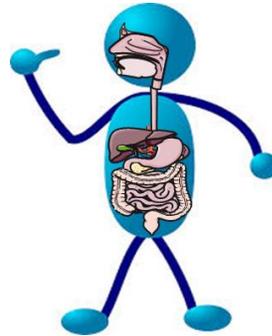


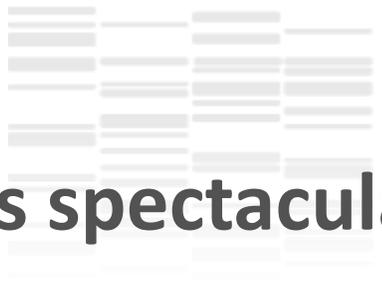
Cinétiques et profil de digestion différents (MG, protéines)  
Effet matrice avéré / digestion et impact métabolique (MG)  
Nutrition : approche quantitative à qualitative (Fardet, 2015)

Répartition / devenir des micro-nutriments ?  
Interactions cibles physiologiques ?



Au final, que ce soit sur le plan microbien ou biochimique  
**le « dialogue » avec l'hôte d'un fromage au lait cru sera  
différent et mérite d'être étudié spécifiquement**





# **Les outils existent aujourd'hui !**

## **Progrès spectaculaires qui permettent d'appréhender la complexité**

Métagénomique

Métabolomique

Nutrigénomique

Digesteurs

Cohortes

.....

## **Et aussi de sécuriser la filière dès l'amont en comprenant les dynamiques microbiennes**

# Factuellement

- **L'hygiène du lait a atteint des extrêmes** : certains laits < 5000 germes / ml  
[contre productif ? perte flores technologiques, perte effet barrière]
- **Produire au lait cru est devenu extrêmement compliqué**, la relève socialement n'est pas pleinement ni partout assurée
- **Chapeau bas pour la passion des acteurs de terrain .....**



# Pour que l'histoire continue...intelligemment Nous avons une responsabilité collective



**Albert Einstein**

*Ce qui caractérise notre époque, c'est la perfection des moyens  
et la confusion des fins*

## Que voulons nous ?



Vive la  
biodiversité  
microbienne !

*Merci à S. Bouhallab, MC Michalski, MC Montel,  
C. Chassard, .....et bien d'autres !*