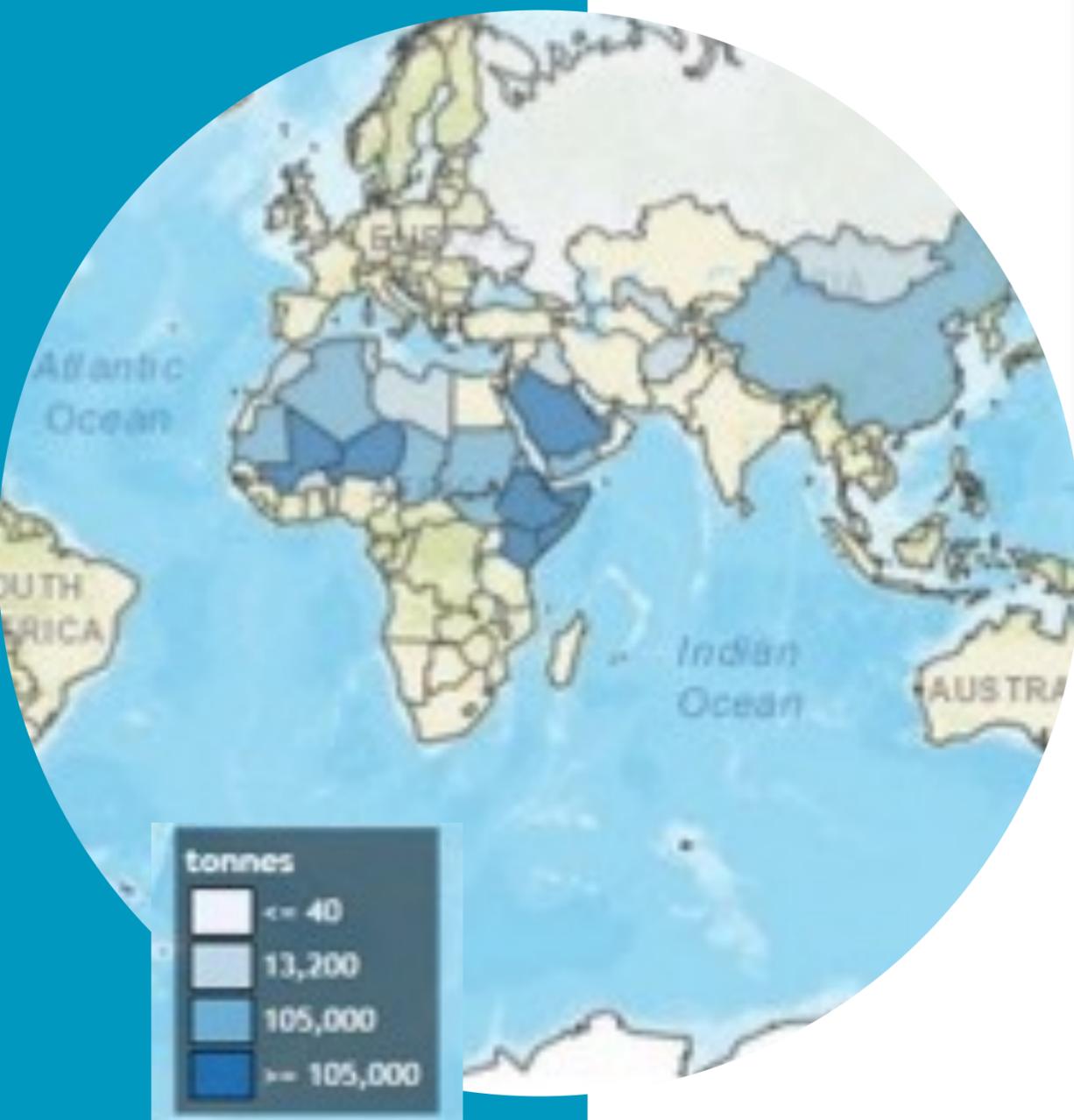


# Propriétés technofonctionnelles des protéines du lait de chamelle



# Production du lait de dromadaire/chamelle



*Camelus dromedarius* (Dromadaire)



*Camelus bactrianus* (Chameau de Bactriane)

- 29 millions de chameaux dont 95% dromadaires FAO, ([Sikkema et al., 2019](#)).
- Production mondiale 2 millions de tonnes (mt) (0,3% de la production laitière mondiale) contre 614 mt pour le lait de vache (83,1%) (FAOSTAT 2013)
- Production limitée à cause de sa commercialisation réduite
- Intérêt croissant depuis 20-30 ans suite à sa réputation bénéfique pour la santé des consommateurs réguliers

# Quelques particularités du lait de dromadaire/chamelle



- **Blanc laiteux** (moins de  $\beta$ -carotène/lait de vache)  
Légèrement plus salé que le lait de vache (fonction de la teneur en sel des aliments) et moins visqueux
- **Conservation prolongée** du lait cru / lait de vache  
(10 jours à 4°C/ 2-3 jours à 4°C)
- **Composition nutritionnellement intéressante**  
Richesse en acides aminés essentiels, en protéines solubles d'intérêt et peptides actifs, en acides gras à longue chaîne et insaturés, en vitamines (dont la vit C, B3 et D) et en minéraux d'intérêt (Fer, Cu, Zn et Mn)

# Intérêt grandissant du lait de dromadaire/chamelle



## Health Benefits of Camel Milk

Organic Facts  
www.organicfacts.net



Boosts immune system



Helps to prevent anemia



Aids in preventing diabetes



Prevents autoimmune disorders



Beneficial in increasing blood circulation in body



Lowers risk of atherosclerosis, heart attacks and strokes



Helps in reducing allergic reactions such as lactose intolerance



Bénéfices santé contre la tuberculose, les maladies gastro-intestinales, l'asthme et l'autisme chez l'enfant



Activités antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires, immunomodulatrices, anti-cholestérolémiantes

# Composition du lait de chamelle / lait de vache

Composition (modulée par l'alimentation, la race, âge et stade de lactation)

(Hailu et al.2016)	Eau (%)	MG (%)	Lactose (%)	Protéine (%)	Cendres (%)	pH
	88.1	1.2 à 4.5*	4.4	3.1	0.79	6.2-6.5
	87.3	3.7	4.8	3.4	0.7.	6.5-6.7

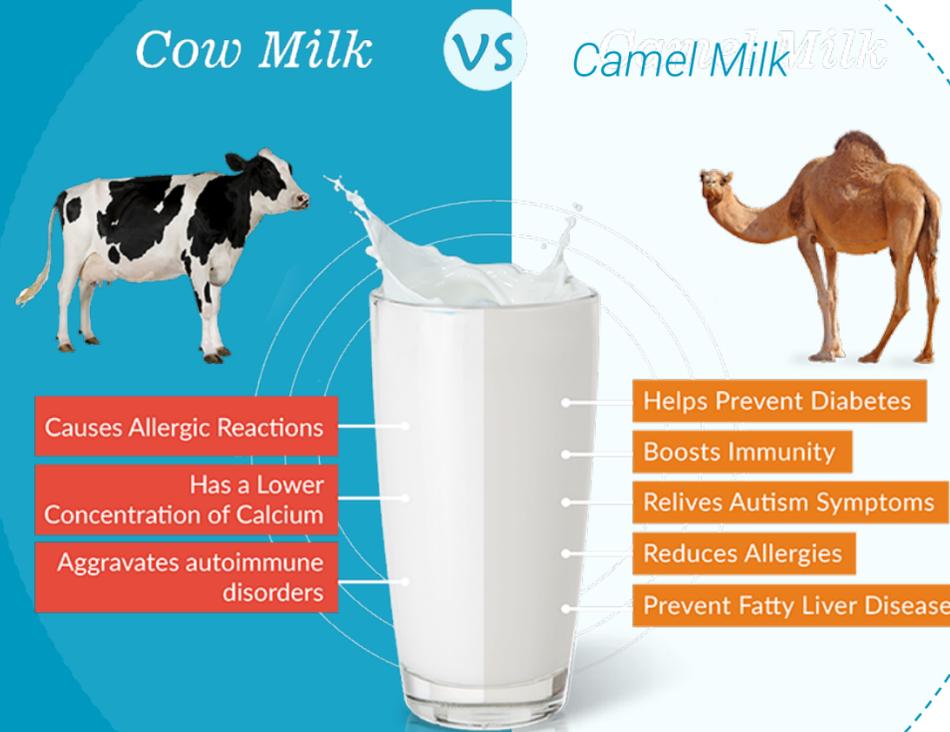
(El-Hatmi et al., 2015)

\*(Devendra et al.,2016)

## Comparaison lait de Chamelle / Vache

Swelum et al. 2021

- ✓ **Moins de MG** + AG polyinsaturés longue chaîne - 96% triglycerides (Ereifej et al., 2011)
- ✓ **Moins de lactose** - Meilleure digestion pour les intolérants au lactose (Meena et al., 2014)
- ✓ Concentration moindre en protéines (Absence de  $\beta$ -lactoglobuline et plus de  $\beta$ -caséine) mais **plus de protéines solubles d'intérêt** dont lactoferrine, Ig, lysosyme et peptides bioactifs produits pendant la fermentation (Maty et al. 2017) ainsi que des peptides inhibiteurs de l'enzyme de conversion angiotensine (Angiotensin-converting enzyme : ACE)
- ✓ **Plus riche en vitamines** : Vit C (170 mg/L vs 25 mg/L vache), Vit B3 (Niacine 5 mg/L vs 1 mg/L vache), Vit D (15 mg/L vs 2 mg/L vache – Farah et al, 1992, Sboui et al. 2016 (Faye et al.2019)
- ✓ **Riche en minéraux d'intérêt** : Ca, P, Mg, Na identique/vache + Fer, Cu, Zn et Mn (Kaskous, 2016)  
Charge minérale plus élevée dans les micelles de caséines (Attia et al., 2001)

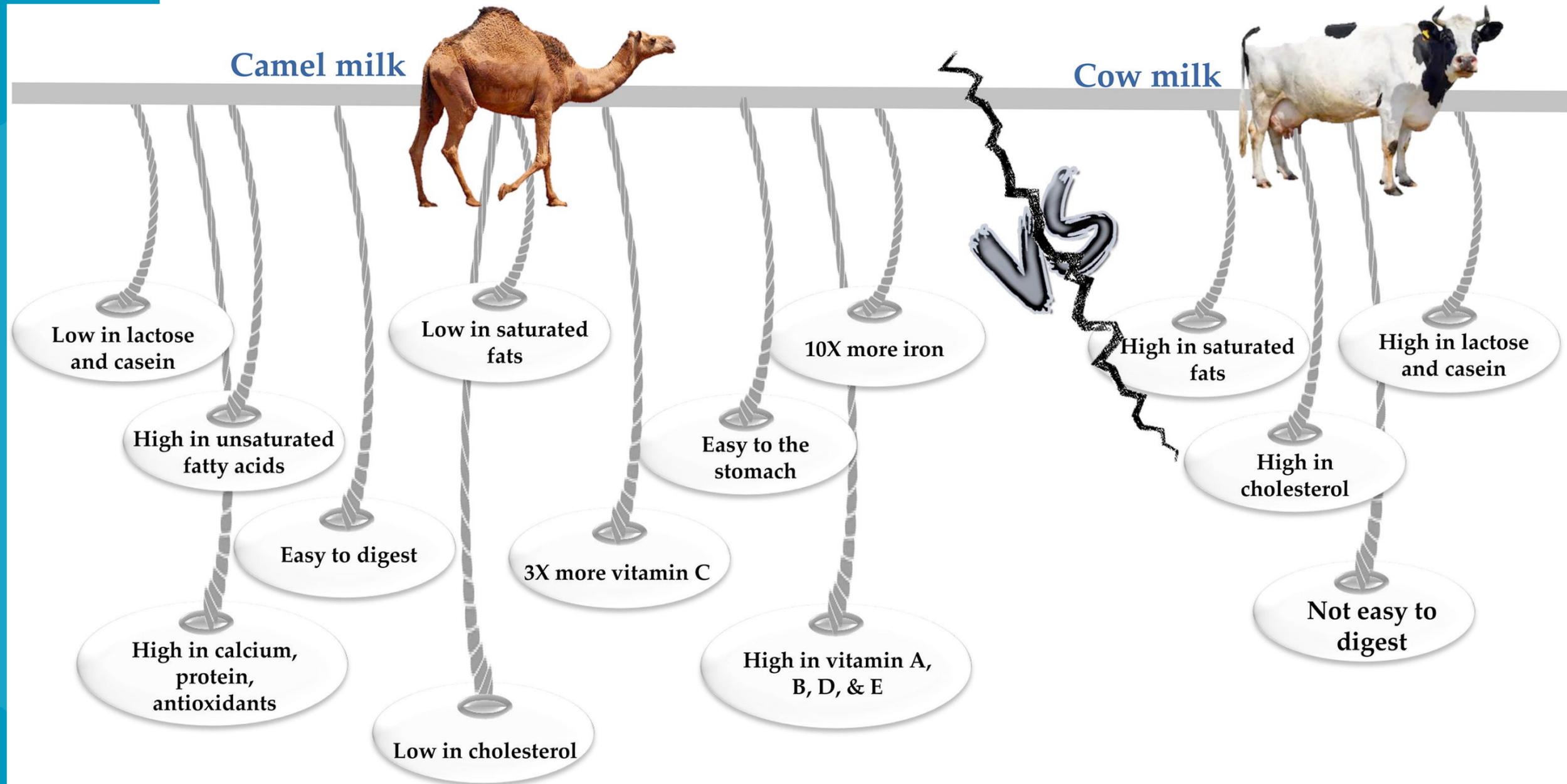


Domedary camel milk proteins, a source of peptides having biological activities – A review (Mati et al.2017)

Vitamins of camel milk: a comprehensive review (Faye et al.2019)

La composition du lait de chamelle et ses potentiels bénéfiques en termes de santé – Gaukhar Konuspaveva,

# Comparaison du lait de chamelle / lait de vache



Swelum et al. 2021

# Vers la transformation technologique du lait de chamelle

Les propriétés fonctionnelles des protéines dépendent de la nature des protéines, séquence en AA ainsi que des traitements technologiques subis ([Laleye et al. 2008](#))



**Traditionnellement** : Lait de chamelle consommé sous forme crue ou naturellement fermentée

**Aujourd'hui** : Subi des transformations technologiques pour tenter de l'exporter

- Pasteurisation
- Fermentation contrôlée pour la transformation en yaourt
- Transformation en fromage
- Transformation en poudre de lait pour le marché d'exportation.

Cependant, les caractéristiques spécifiques de ce lait (composition, propriétés physiques) nécessitent une adaptation des technologies appliquées

**Difficultés actuelles** :

- Traitement UHT
- Laits concentrés
- Crème et beurre
- Cracking du lait et génération de poudre de protéines spécifiques

Recent Advances in camel milk processing ([Konuspayeva & Faye, 2021](#))

Functional and technological properties of camel milk proteins: a review ([Hailu et al., 2016](#))

# Propriétés technofonctionnelles des protéines du lait de chamelle

## 1-Composition en protéines

- Différence de composition et ratio caséines / protéines solubles
- Différences de séquence primaire

## 2-Impact des traitements thermiques

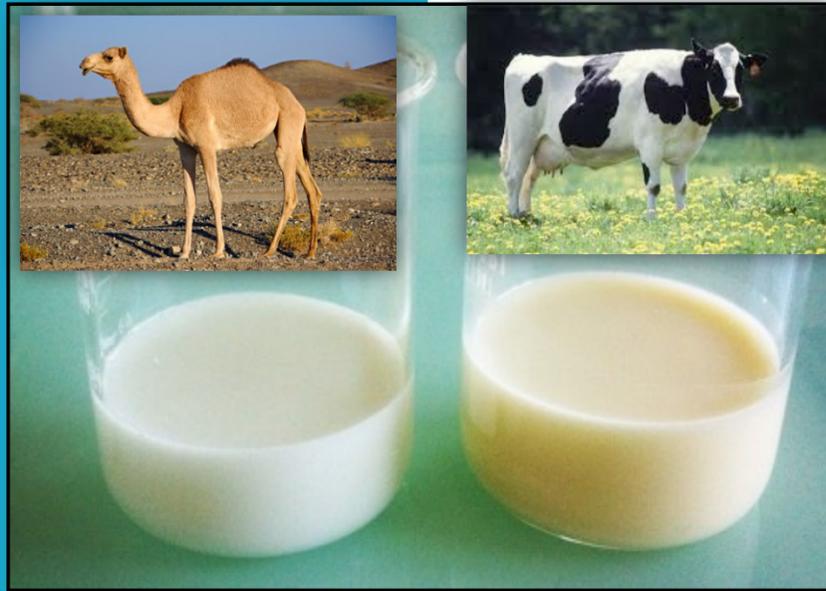
- Thermostabilité, dénaturation thermique des protéines
- Technologie de conservation du lait (pasteurisation, UHT, séchage)
- Encrassement des équipements

## 3-Propriétés moussantes, émulsifiantes

- Rôle des protéines aux interfaces sur la formation de mousses et sur leur stabilité dans le temps

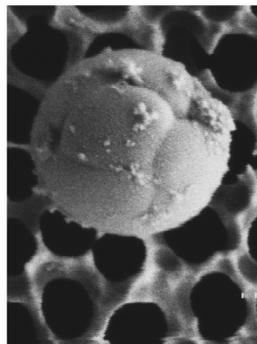
## 4-Propriétés gélifiantes

- Par voie d'acidification et voie enzymatique

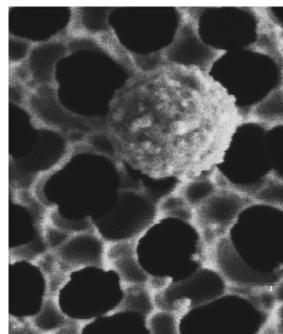


# 1- Composition en protéines du lait de chamelle

Micelles de caséines

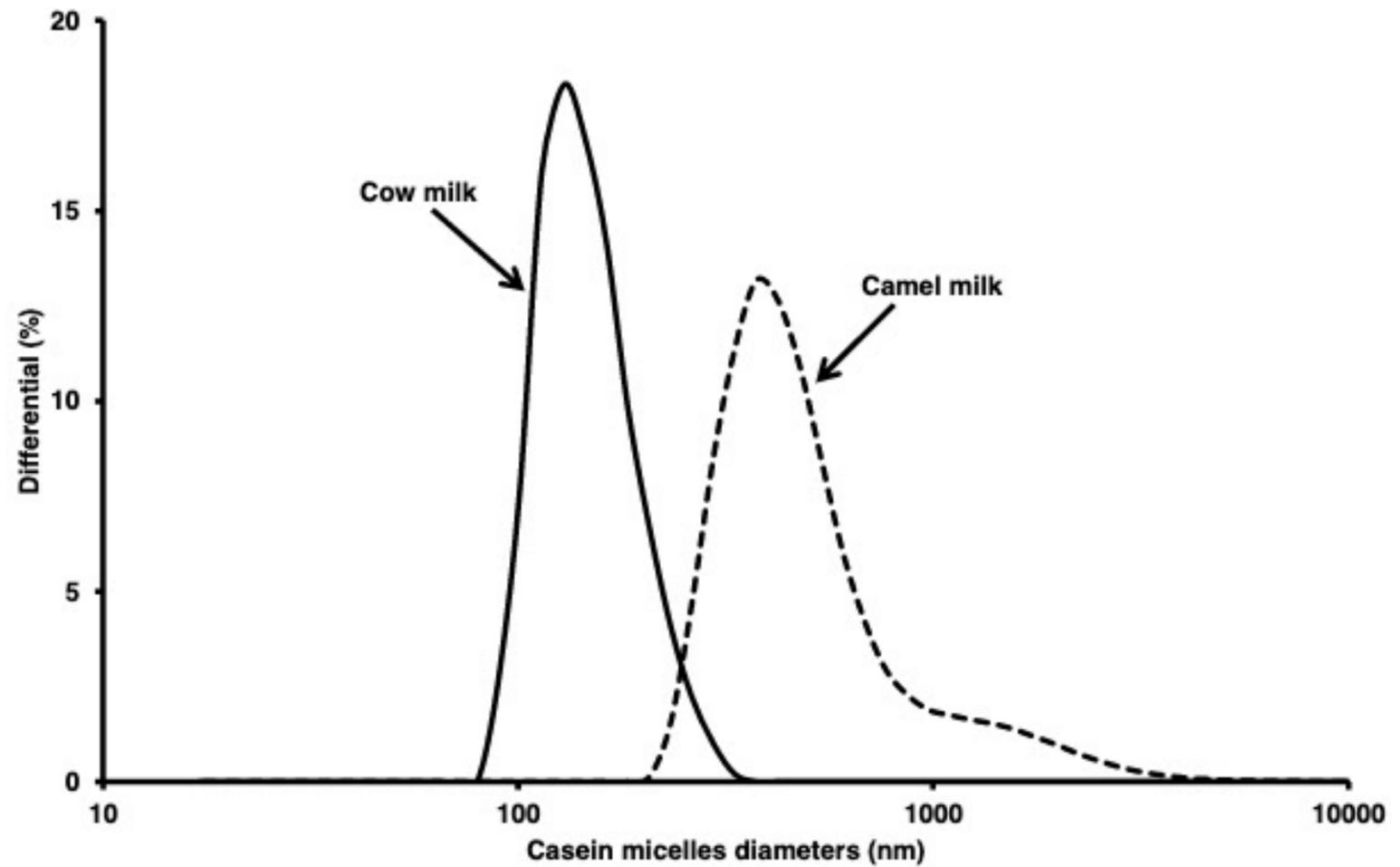


$\text{Ø}=220\text{nm}$   
(20-300 nm)  
*Bornaz et al., 2009*



$\text{Ø}=120\text{nm}$   
(40-160 nm)  
*Glantz et al., 2010*

(Park & Haenlein, 2013)



(Kamalet al., 2019)

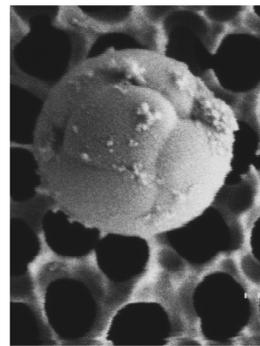
# 1- Composition en protéines du lait de chamelle

Micelles de caséines

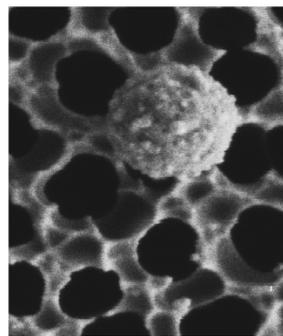
Globules gras

Caséines (70 à 80%)

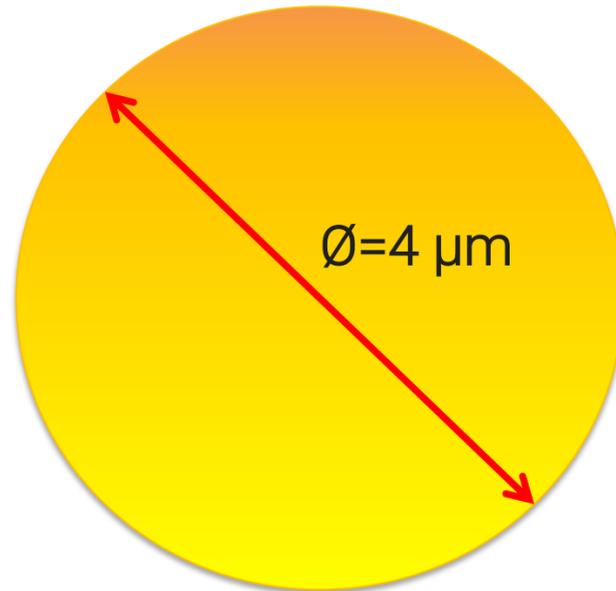
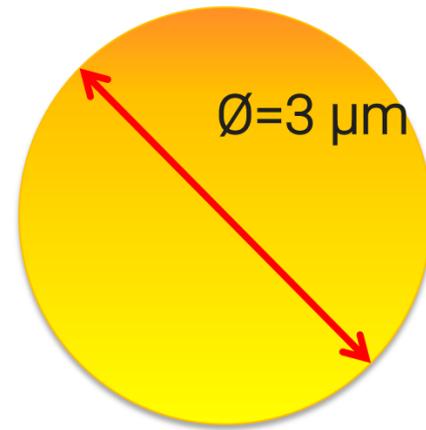
Protéines sériques (20 à 30%)



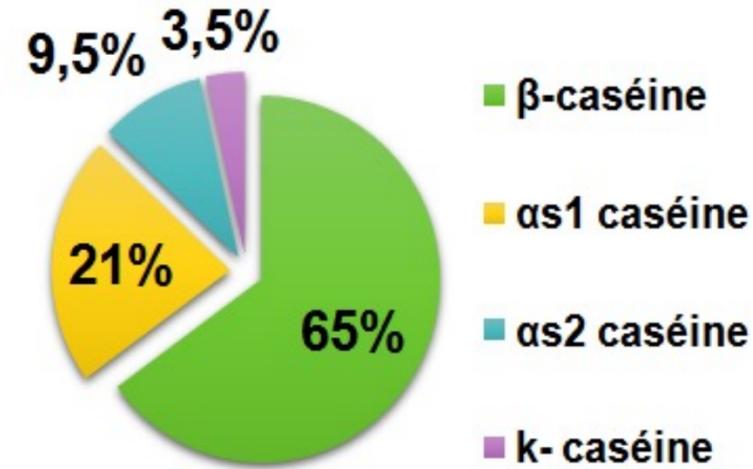
Ø=220nm  
(20-300 nm)  
*Bornaz et al., 2009*



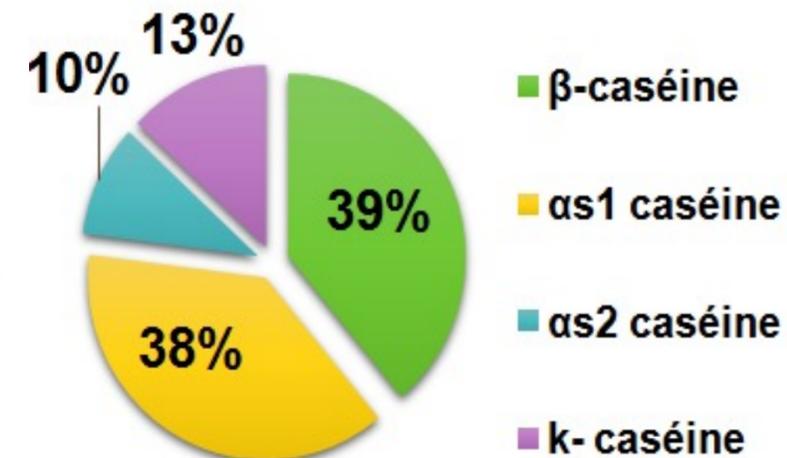
Ø=120nm  
(40-160 nm)  
*Glantz et al., 2010*



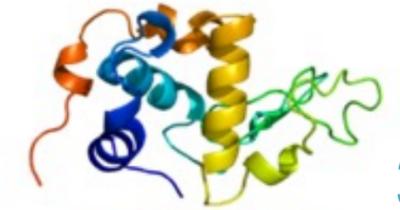
21/9.5/65/3.5 % (Park & Haenlein, 2013)



38/10/39/13 % (Lebeuf Y. et al., 2002)



Devendra et al., 2016)



α-La (54%)

~~β-Lg~~

- + S. Albumine
- + Lactoferrine
- + Lactophorine
- + Lysozyme
- + IgG
- + PGRP, WAP,...

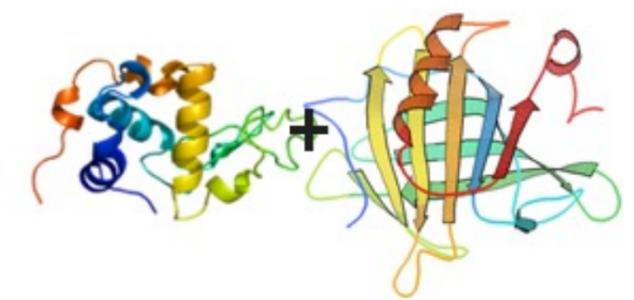
70%

30%

80%

β-Lg (56%)  
α-La (21%)

20%



(Park & Haenlein, 2013)

(Khalesi et al., 2017)

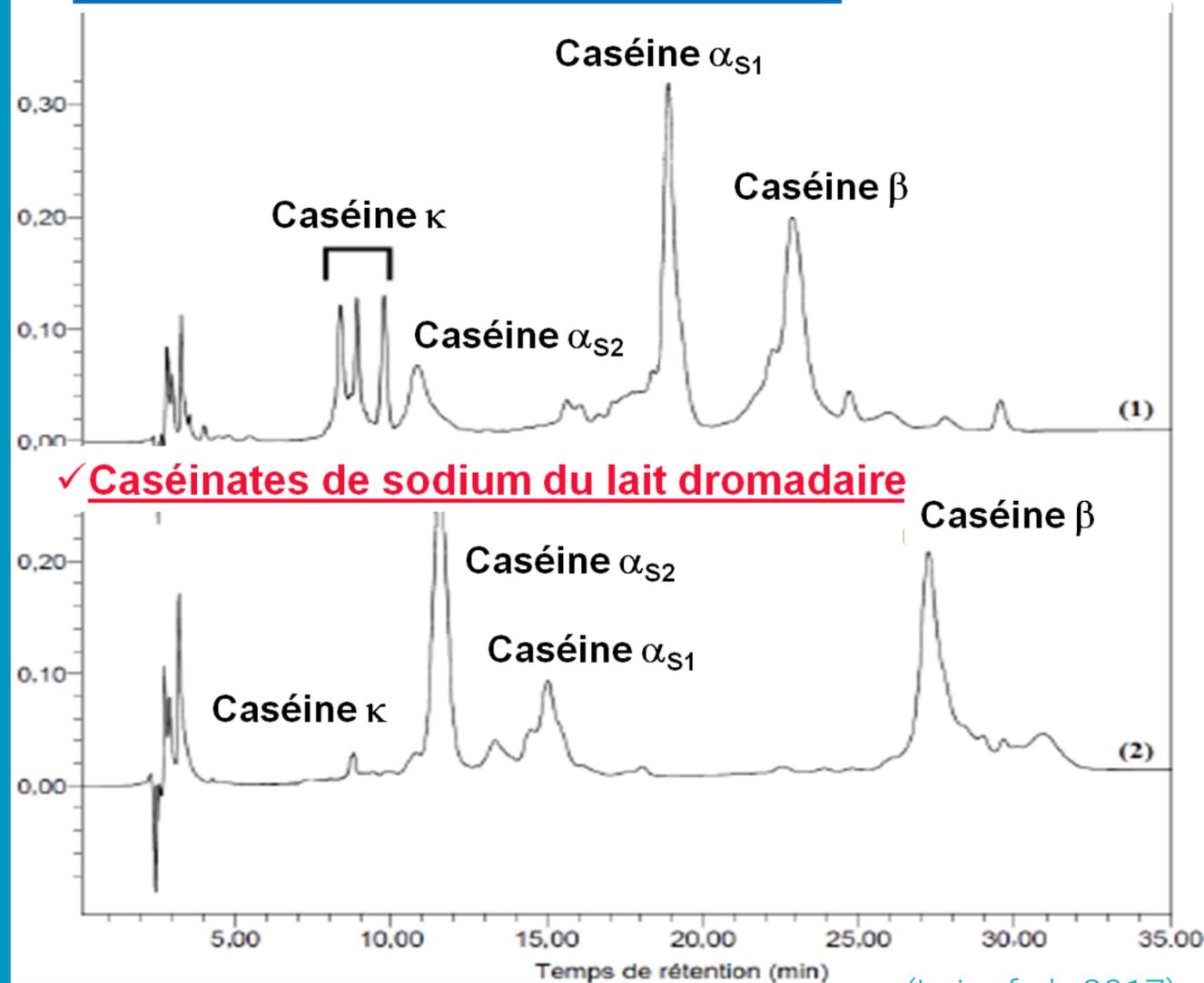
(El-Zeini et al., 2006)

(Kappeler et al., 2003)

(Ereifej et al., 2011)

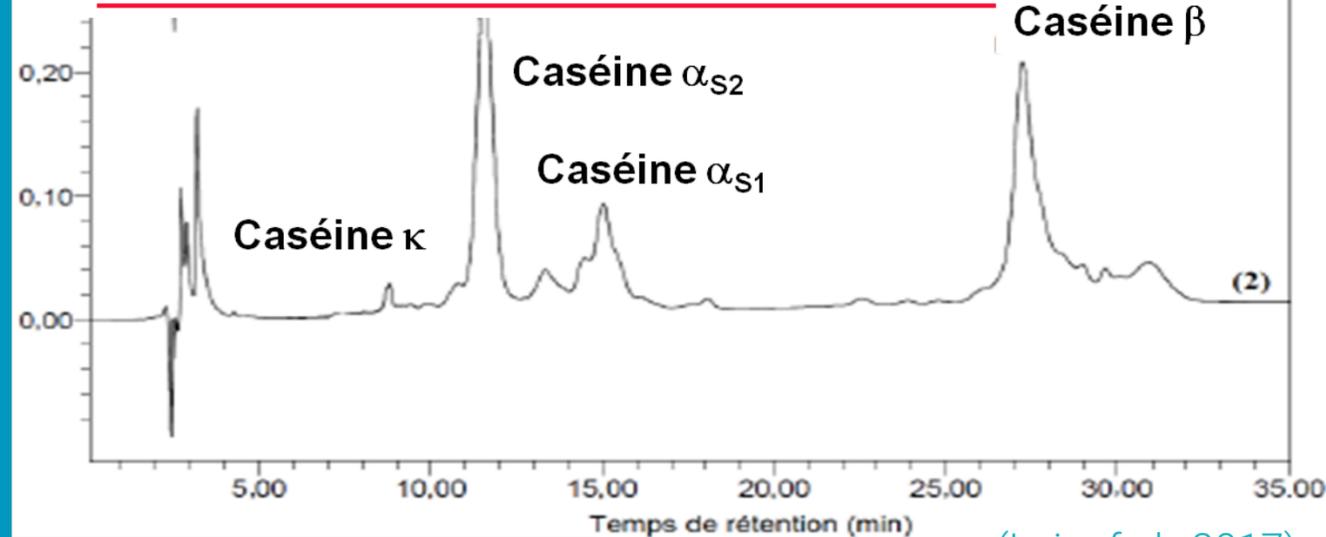
# Les caséines du lait de dromadaire / vache

## ✓ Caséinates de sodium du lait de vache



(Lajnaf et al., 2017).

## ✓ Caséinates de sodium du lait dromadaire



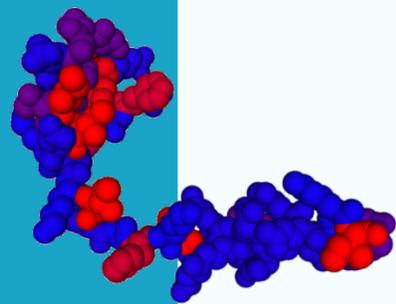
- Les caséines bovines plus riches en caséine  $\alpha_{S1}$  et caséines  $\kappa$
- Les caséines du lait de dromadaire plus riches en caséine  $\alpha_{S2}$  et caséine  $\beta$

## Caséine $\beta$ cameline : pH isoélectrique de 4,66

- ✓ Plus digeste et moins allergique pour l'homme, car elle est plus sensible à l'hydrolyse peptique dans l'intestin. Le pourcentage élevé de  $\beta$ -caséine rend le lait de chamelle bénéfique pour la santé humaine. (Devendraet et al., 2016)
- ✓ Séquence plus courte et contient plus de proline. Son hydrolyse entraîne la formation de peptides bioactifs et la libération d'acides aminés tels que la phénylalanine et le tryptophane aux propriétés antioxydantes (Izadi et al., 2019)
- ✓ Activité inhibitrice importante de ECA : Enzyme de conversion de l'angiotensine (Salami et al., 2008)
- ✓ Activité antioxydante plus importante que la caséine  $\beta$  bovine (Salami et al., 2008)
- ✓ Affinité pour la curcumine (diminue le stress oxydatif, l'inflammation) (Esmaili et al., 2011)

# La caséine $\beta$ du lait de dromadaire / vache

## La caséine $\beta$ du lait de dromadaire



(<http://swissmodel.expasy.org>)

65 % des caséines camelines

### Propriétés interfaciales

- Forte hydrophobicité et amphipolarité
- Sensibilité plus réduite aux variations de pH que la caséine  $\beta$  bovine

### Propriétés biochimiques

- Charge négative plus faible que la caséine  $\beta$  bovine
- Hydrophobicité plus élevée que la caséine  $\beta$  bovine

### Extraction

- Possibilité d'extraction par solubilisation à froid (5°C)
- Rendement d'extraction et pureté plus faibles que pour la caséine  $\beta$  bovine

### Propriétés moussantes

- Similaires à celles de la caséine  $\beta$  bovine, avec une stabilité plus faible
- Diminuent avec la diminution du pH

# Les protéines solubles du lait de dromadaire / vache

L'  $\alpha$ -lactalbumine : Protéine majeure de la fraction soluble du lait de dromadaire

**53% des protéines solubles camelines**

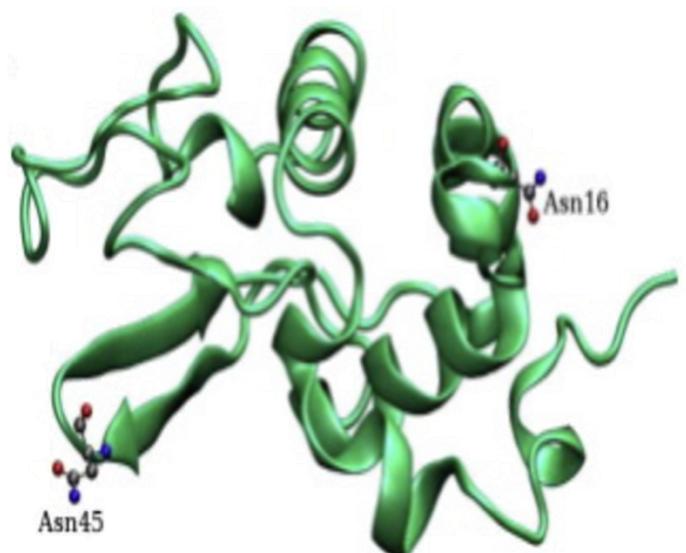
Caractéristiques:

- ✓ pH isoélectrique : 4,8
- ✓ 123 acides aminés avec 39 résidus différents de l' $\alpha$ -lactalbumine bovine : Taux de similarité 82,9%
- ✓ Masse moléculaire: 14,43 kDa
- ✓ 4 ponts disulfures et site de fixation du calcium

A fait l'objet de plusieurs travaux de recherche :

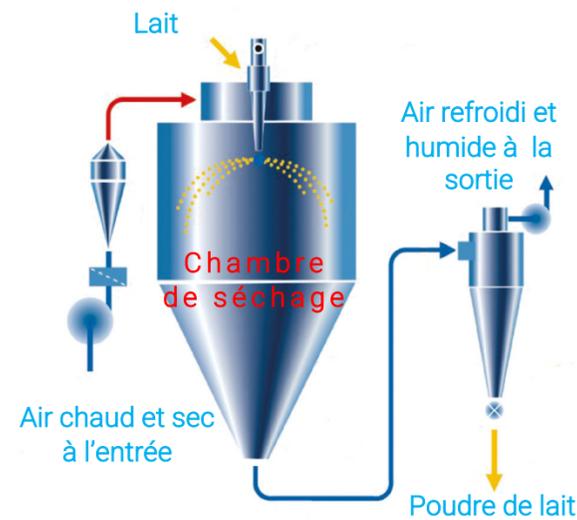
- ✓ Affinité importante pour l'ion calcium ([Atri et al., 2010](#))
- ✓ Grande digestibilité par rapport à l' $\alpha$ -lactalbumine bovine
- ✓ Activité antioxydante plus importante
- ✓ Taux d'acides aminés essentiels important ([Salami et al., 2008](#))
- ✓ Flexibilité aux interfaces

L'  $\alpha$ -lactalbumine de dromadaire



(Si Ahmed Zennia et al., 2015)

## 2-Impact des traitements thermiques



Résistance aux traitements  
thermiques  
lait de dromadaire / vache

### ✓ Thermostabilité des laits

- $\beta$ -LG = thermostabilité du lait de vache.
- Absence  $\beta$ -LG cameline + faible taux de caséine  $\kappa$  **diminue la stabilité thermique du lait de chamelle** (Farah & Atkins, 1992 ; Al-Saleh, 1996) même si l' $\alpha$ -lactalbumine, lactoferrine et lysosyme du lait de chamelle sont plus résistantes à la chaleur / bovin (El-Agamy, 2000).

- IgG se dénaturent à 65°C/30 min, impliquant une diminution de l'effet santé

➔ Nécessite des conditions particulières pour fabriquer de la poudre de lait par traitement thermique et atomisation

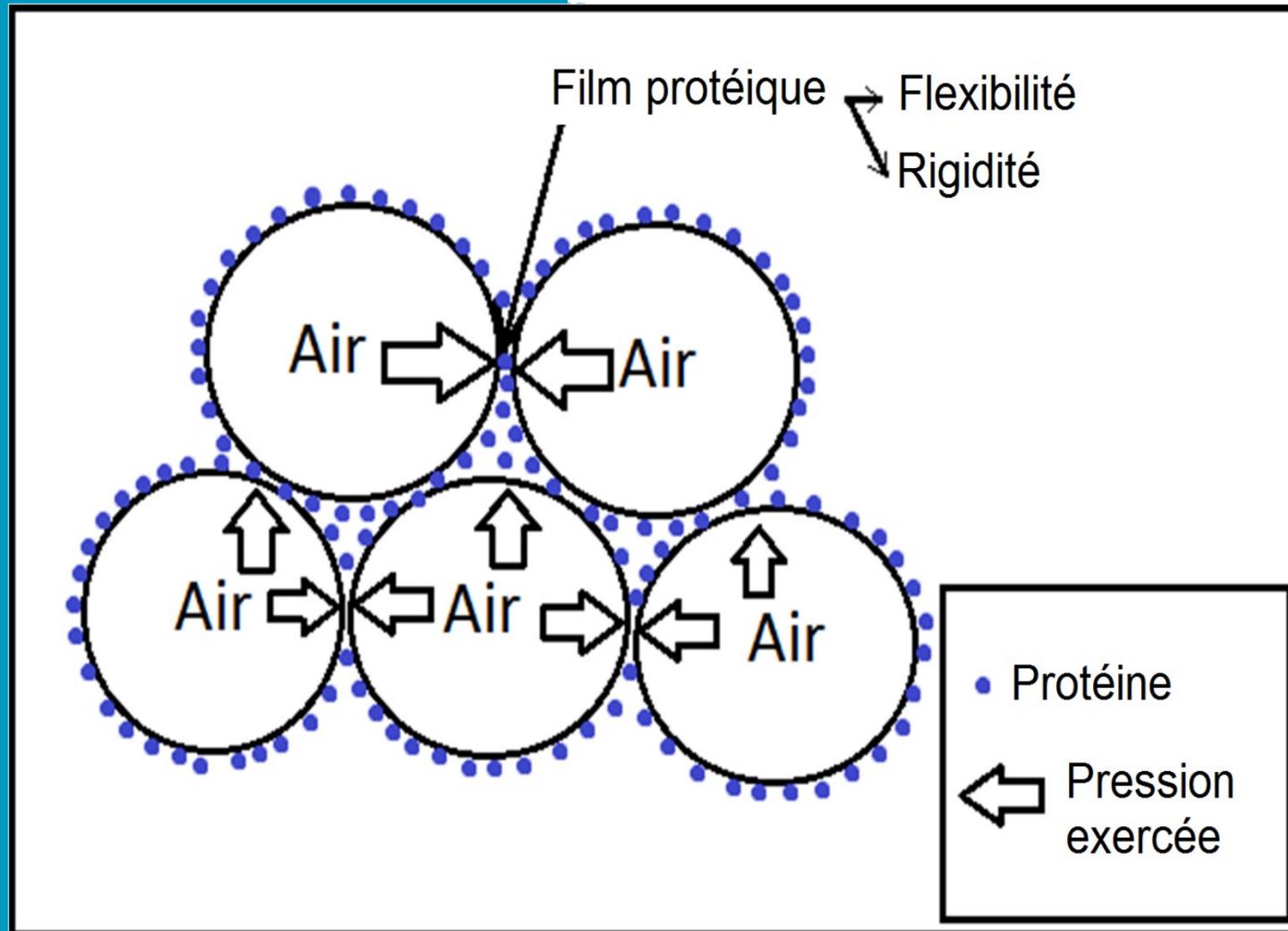
### ✓ Encrassement des équipements (adhérence des protéines du lait aux surfaces chauffées)

- Propriétés d'encrassement du lait de chamelle attribuées à l' $\alpha$ -LA et à S.Alb
- $\beta$ -LG est le principal agent d'encrassement du lait de vache (Felfoul et al. 2015).

### ✓ Solubilité

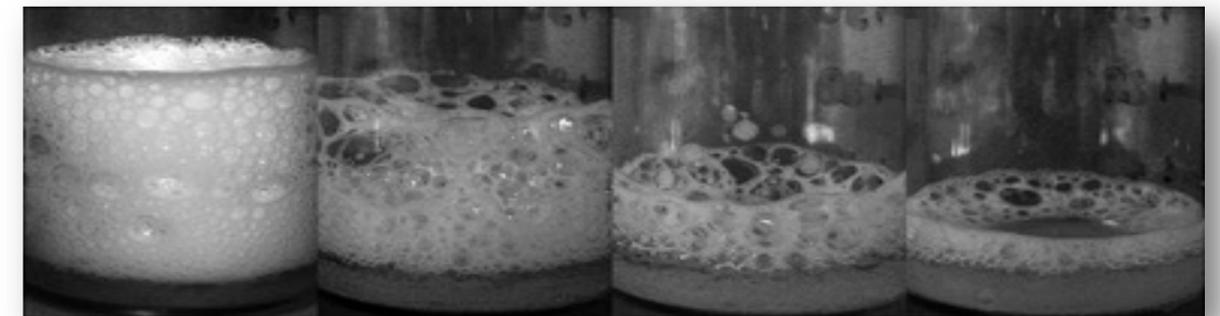
- La solubilité des protéines du lactosérum camelin traitées thermiquement est plus faible que celles du lait de vache, principalement aux valeurs de pH proches du pHi, du à des phénomènes d'agrégation (Laleye et al. 2008)

### 3-Propriétés moussantes, émulsifiantes



Propriétés moussantes des protéines :

- ✓ Flexibilité des protéines à l'interface air/eau : diminution de la tension de surface
- ✓ Rigidité du film protéique créé: stabilité de la mousse

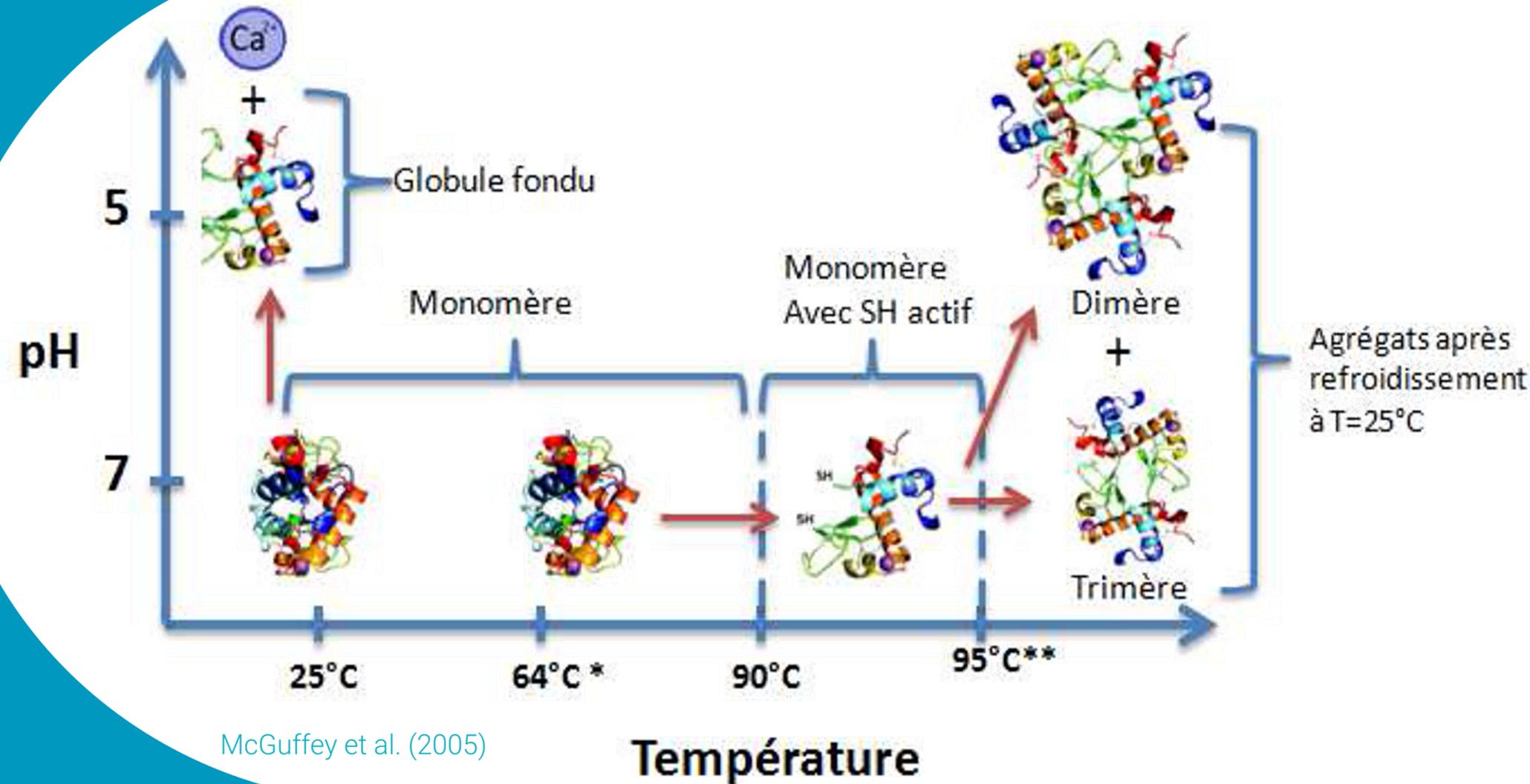


Les propriétés moussantes du lait de vache :

- ➔ Prédominées par la caséine  $\beta$  et la  $\beta$ -lactoglobuline (Parkinson & Dickinson, 2004)
- ➔ Influencées par plusieurs facteurs : pH et traitement thermique

# 3-Propriétés moussantes, émulsifiantes

L'  $\alpha$ -lactalbumine de dromadaire



McGuffey et al. (2005)

## ➔ Effet du pH:

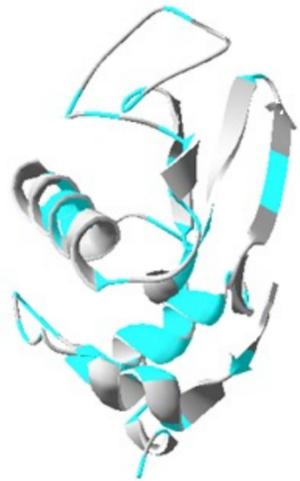
pH < 5 : Etat de globule fondu + libération de l'ion calcium

## ➔ Effet de la température:

- ✓ Dénaturation 64°C
- ✓ Coupure des ponts S-S: 90°C
- ✓ Agrégation: 95°C

# 3-Propriétés moussantes, émulsifiantes

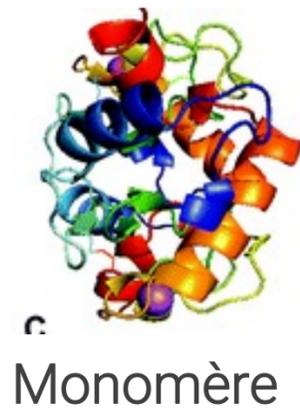
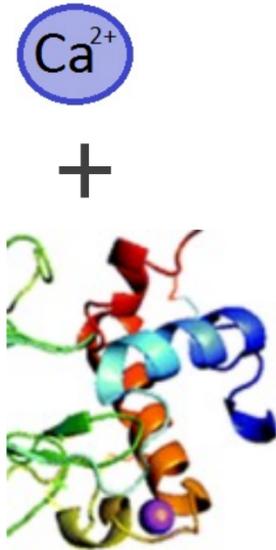
L'α-lactalbumine du lait de dromadaire



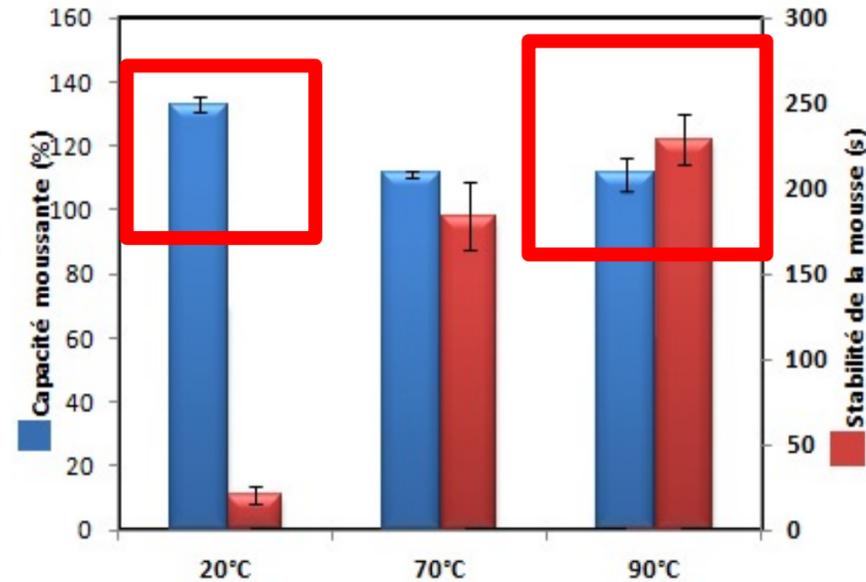
pH 4,3

pH 6,5

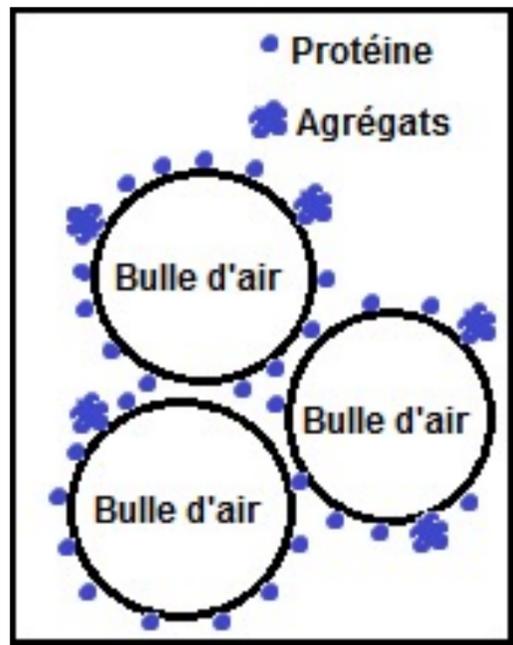
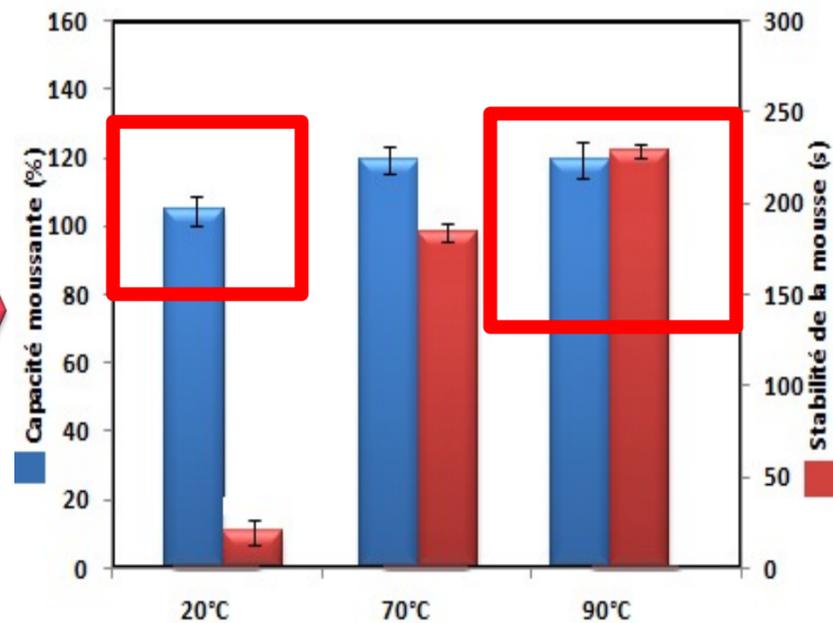
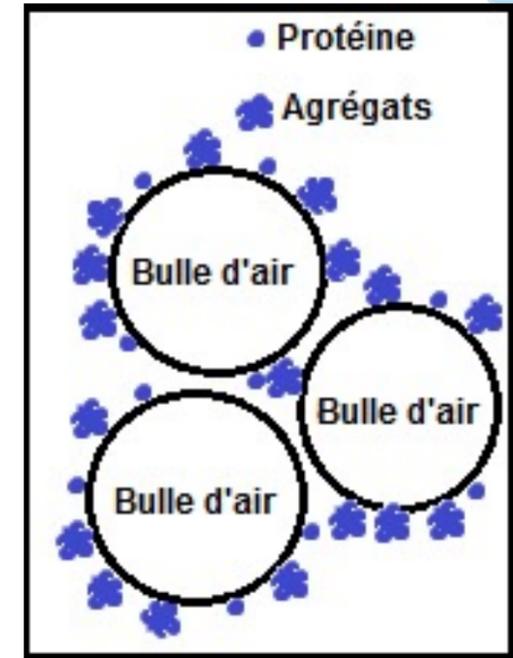
Etat de globule fondu



- 20°C: Capacité moussante importante
  - 70°C + 90°C: Augmentation de la stabilité
- Légère réduction de la capacité moussante



Agrégation accrue



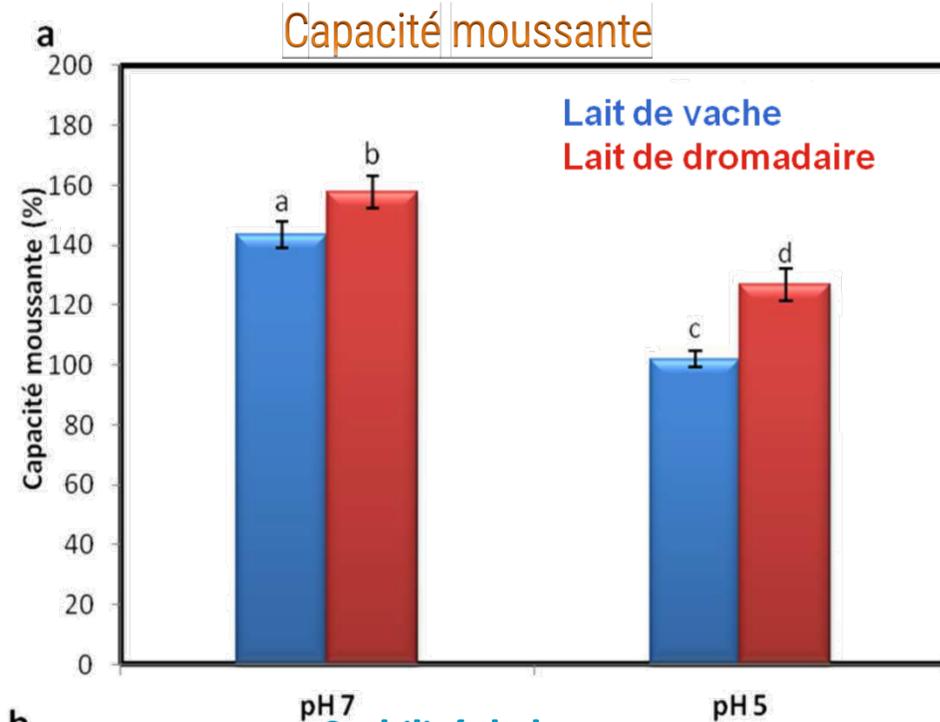
Agrégation réduite

- 20°C: Capacité moussante inférieure à celle à pH 4,3
- 70°C + 90°C: Augmentation de la stabilité

Augmentation de la capacité moussante

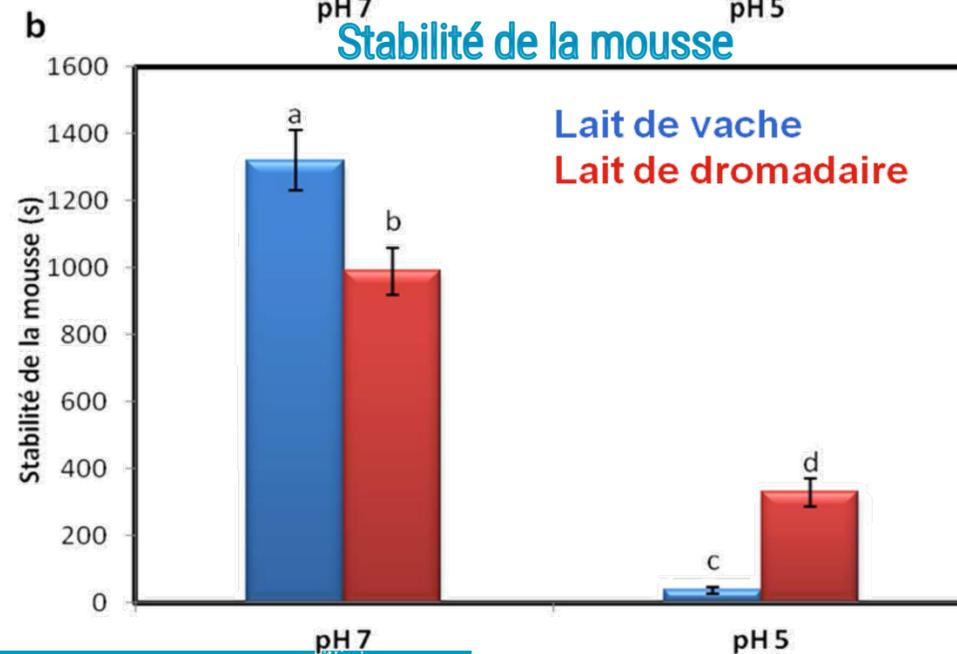
Propriétés technofonctionnelles du lait de chamelle (Lajnaf et al., 2017)

# 3-Propriétés moussantes, émulsifiantes



## Pour la capacité moussante:

- Meilleur rendement moussant et stabilisant obtenu pour le lait de dromadaire à pH 7
- Réduction du rendement moussant suite à la diminution du pH de 7 à 5

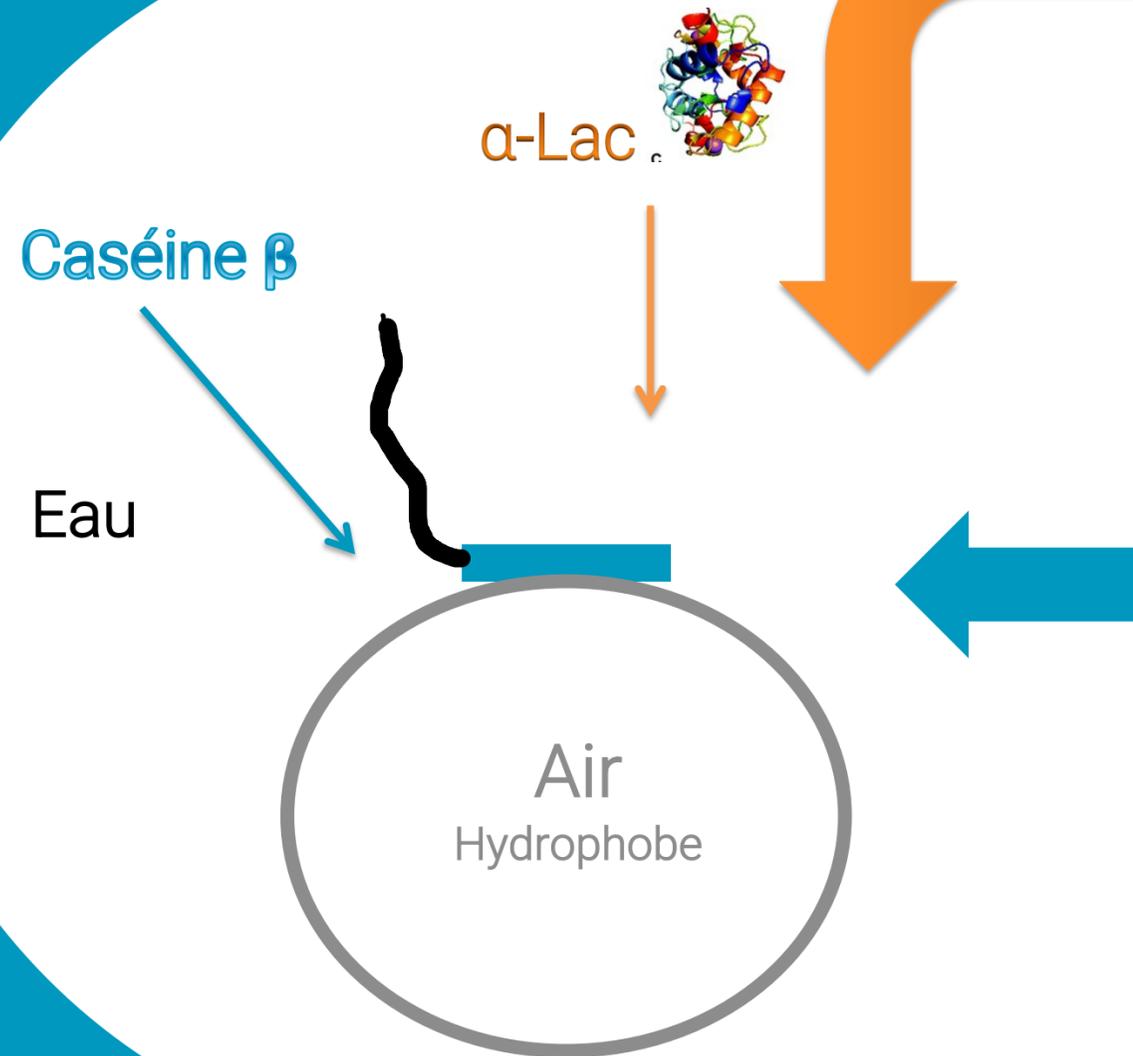


## Pour la stabilité de la mousse:

- Meilleure stabilité de la mousse obtenue à pH 7 et pour le lait de vache

# 3-Propriétés moussantes, émulsifiantes

Mousses



## 2. Adsorption de l'α-lactalbumine du dromadaire

- Augmentation du module viscoélastique
- Renforcement de la rigidité du film protéique créé par la caséine  $\beta$  mais de façon moins efficace qu'avec la  $\beta$ -lactoglobuline bovine
- ➔ Moins bonne stabilité de la mousse cameline dans le temps

## 1. Adsorption de la caséine $\beta$ du dromadaire

- ➔ Diminution de la tension superficielle
- ➔ Capacité moussante du lait de chamelle renforcée par l'hydrophobicité de la caséine  $\beta$  cameline, sa charge plus faible et sa concentration plus élevée

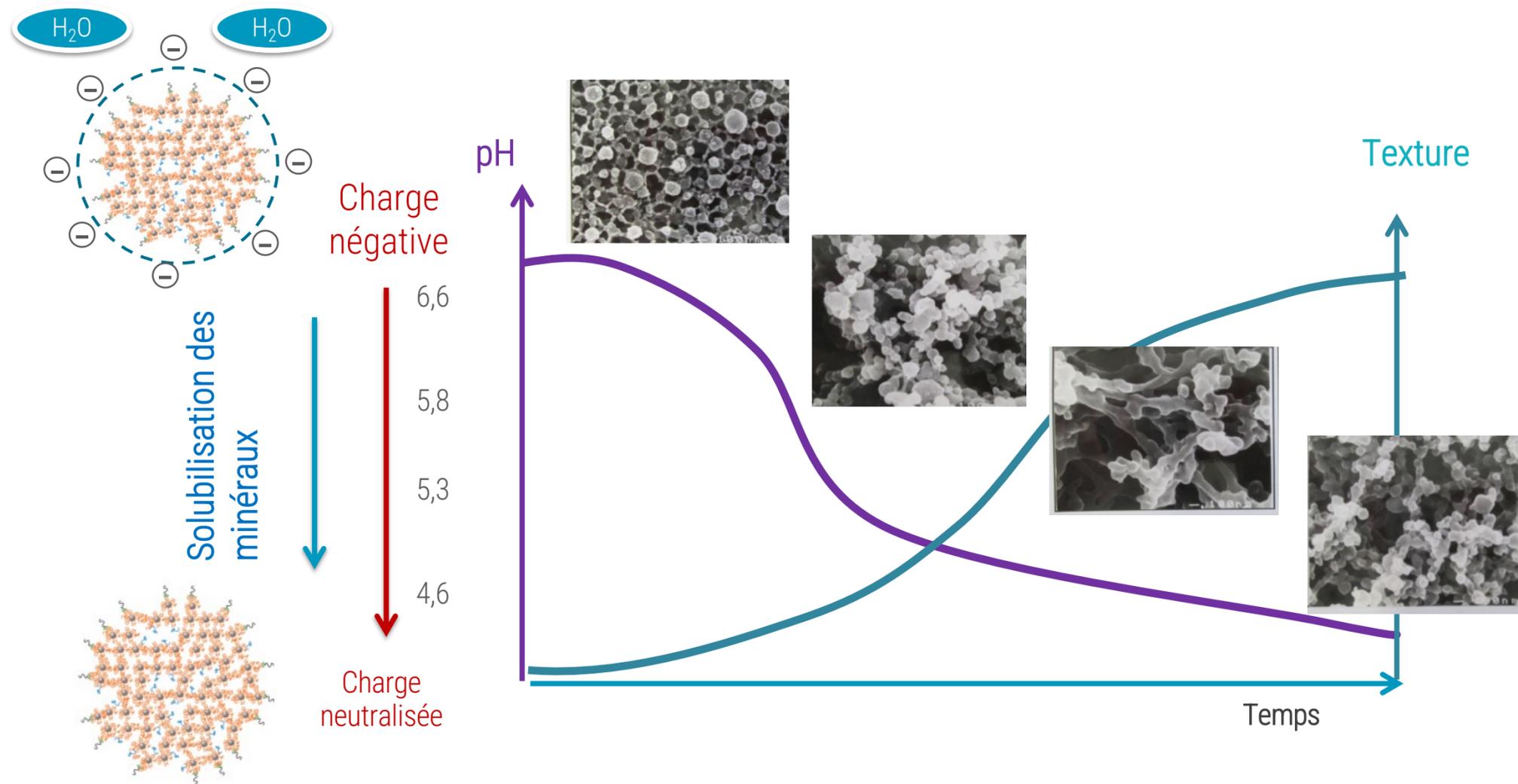
Propriétés technofonctionnelles du lait de chamelle ([Lajnaf et al., 2017](#))

Emulsions

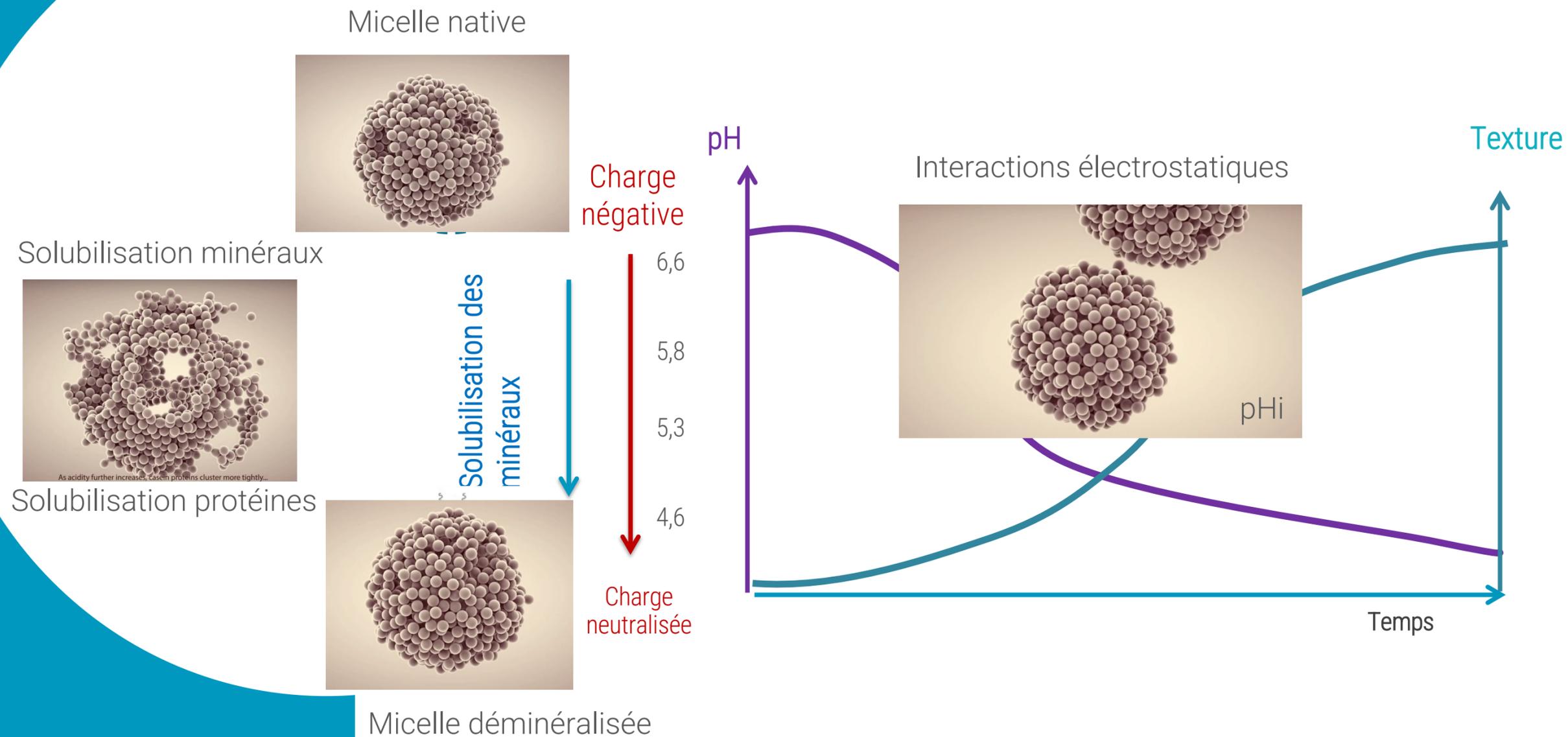
- ➔ Le lait de chamelle est **plus émulsifiant** que le lait de vache quelle que soit la température du traitement, cependant, la stabilité des émulsions préparées par le lait de vache non traité est plus importante.

Les propriétés émulsifiantes du lait de chamelle et de ses fractions protéiques : étude physico-chimique et biochimique ([Ellouze, 2019](#))

# 4-Propriétés gélifiantes - Acidification



# 4-Propriétés gélifiantes - Acidification



## Interactions électrostatiques

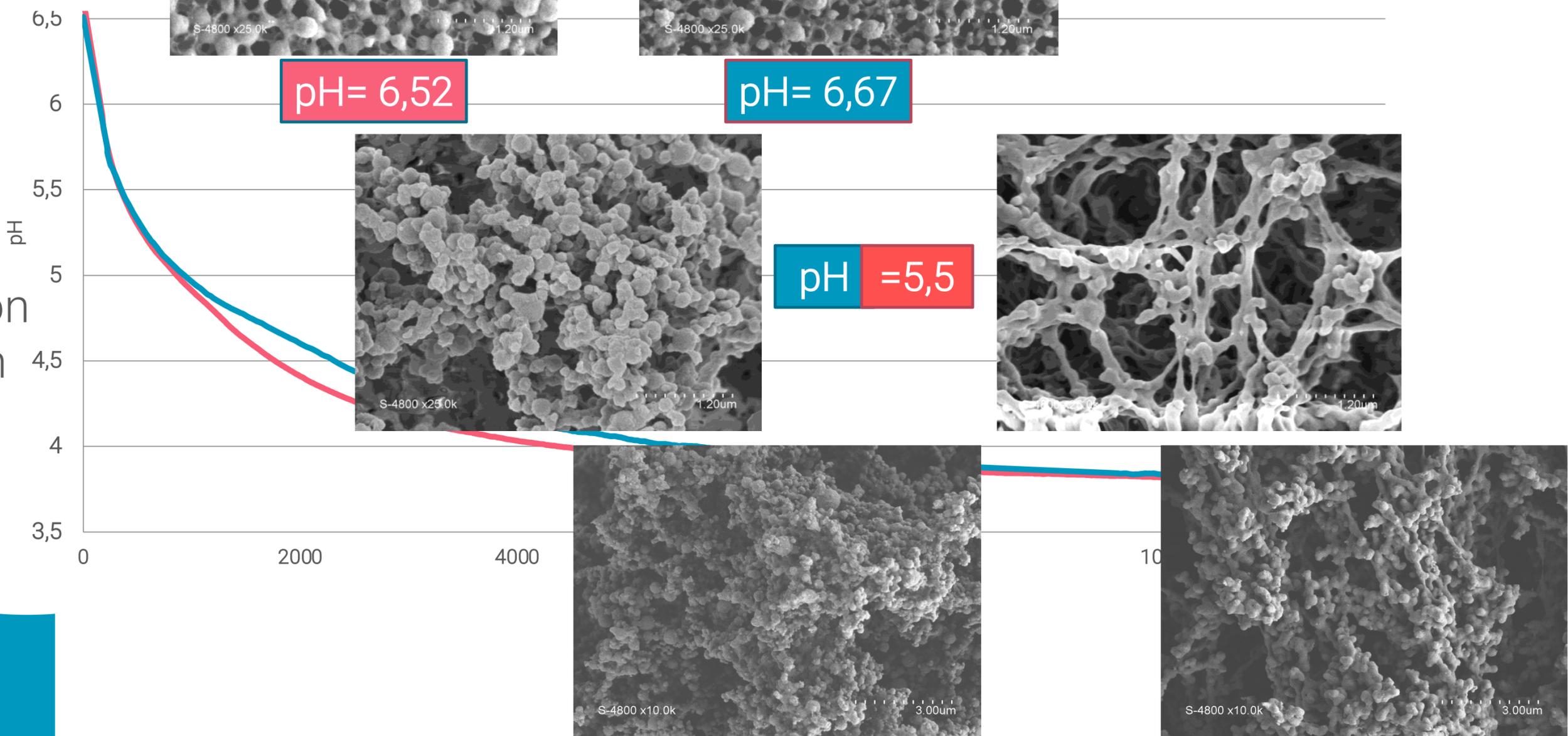
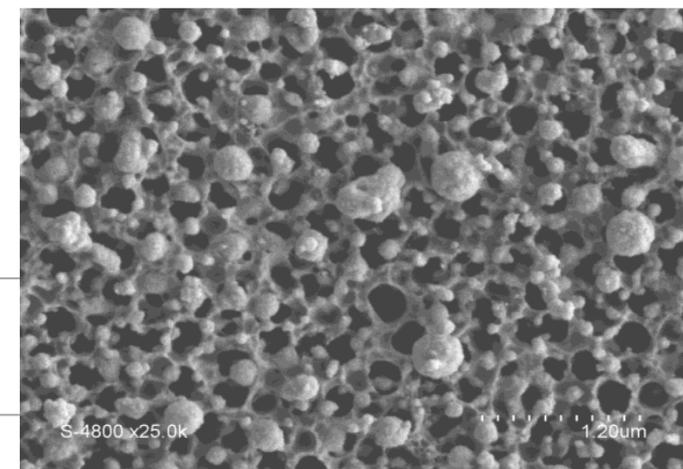
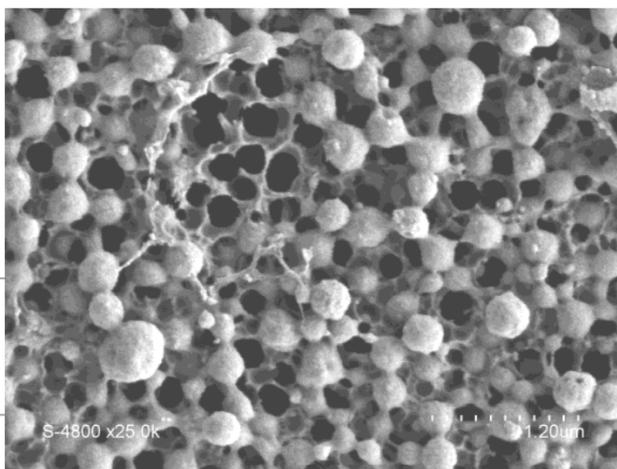


Interactions faible énergie  
Gel acide déminéralisé, mou  
-> Yaourts et laits fermentés



# 4-Propriétés gélifiantes - Acidification

Cinétiques d'acidification obtenues pour le lait camelin écrémé et le lait bovin écrémé, GDL (2,25%, p/V), 45°C.



Absence de fusion des micelles cameline lors de l'acidification -> Agrégation

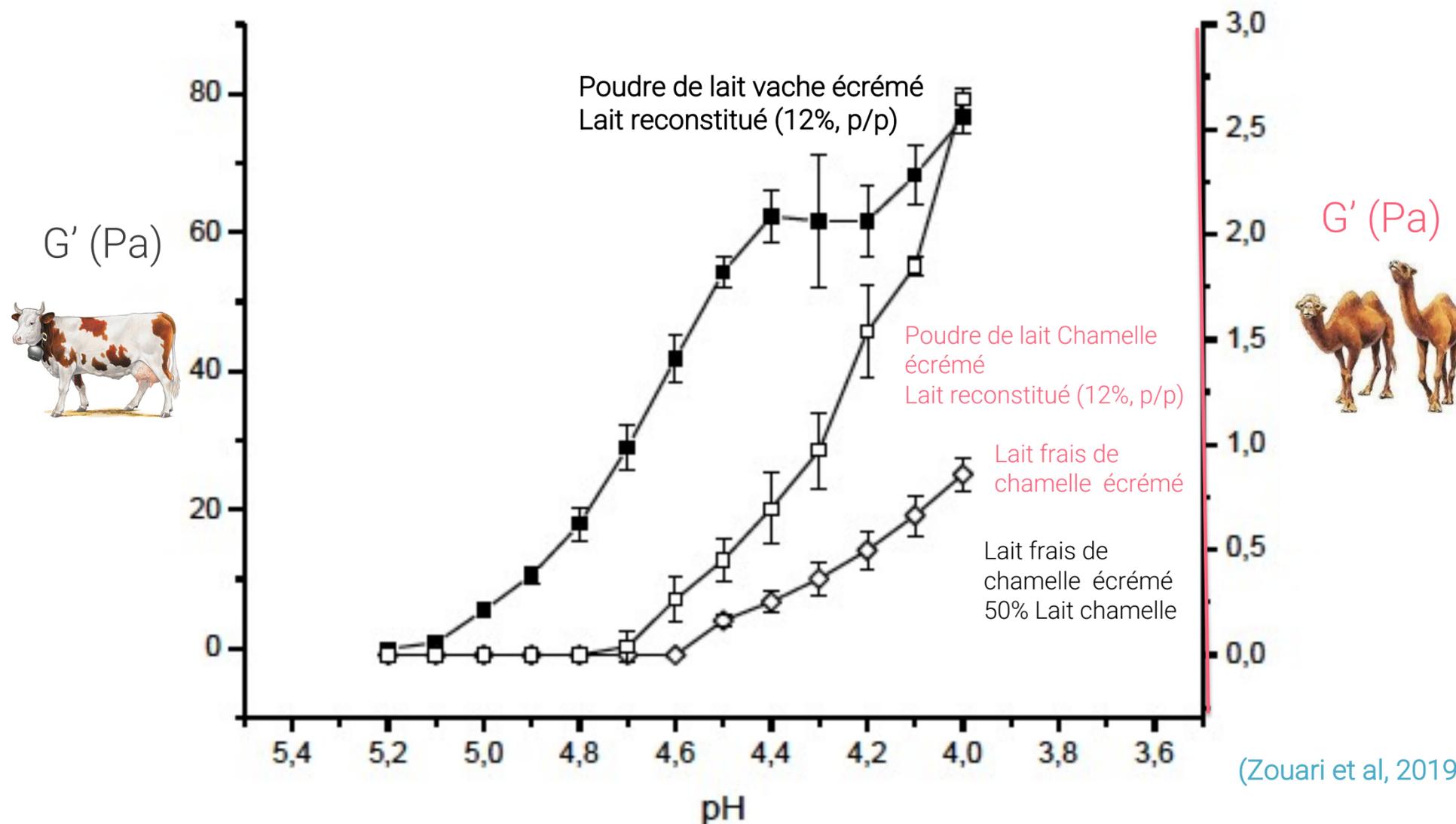
pH= 4,46

pH= 4,9

# 4-Propriétés gélifiantes - Acidification

Cinétiques d'acidification obtenues pour le lait camelin écrémé et le lait bovin écrémé, GDL (2,25%, p/V), 45°C.

- Faible aptitude à la coagulation acide du lait de chamelle
- Pas d'amélioration avec mélange 50% chamelle/bovin
- Légère amélioration avec la poudre de lait écrémé



(Zouari et al, 2019)

	Lait camelin écrémé	Lait bovin écrémé	Lait 50 / 50
<b>G' au point de gel (Pa)</b>	<b>0,208 ±0,004</b>	<b>0,36 ±0,02</b>	<b>0,27 ± 0,04</b>
<b>G' après 3 heures de gélification (Pa)</b>	<b>&lt; 1,5</b>	<b>40,7 ±10,1</b>	<b>&lt; 1,5</b>

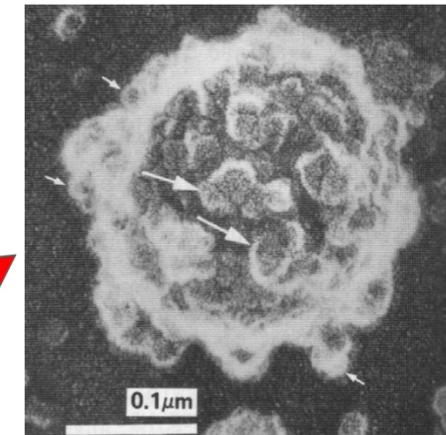
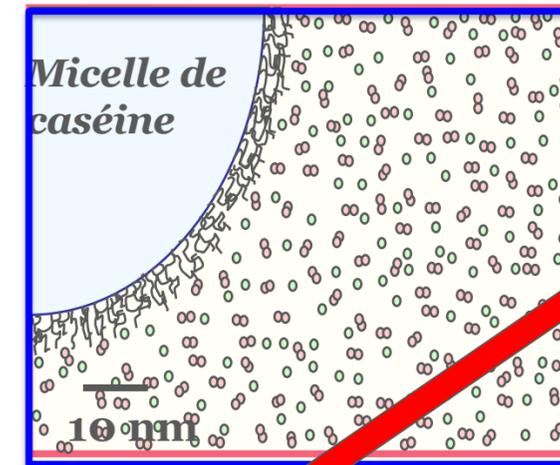
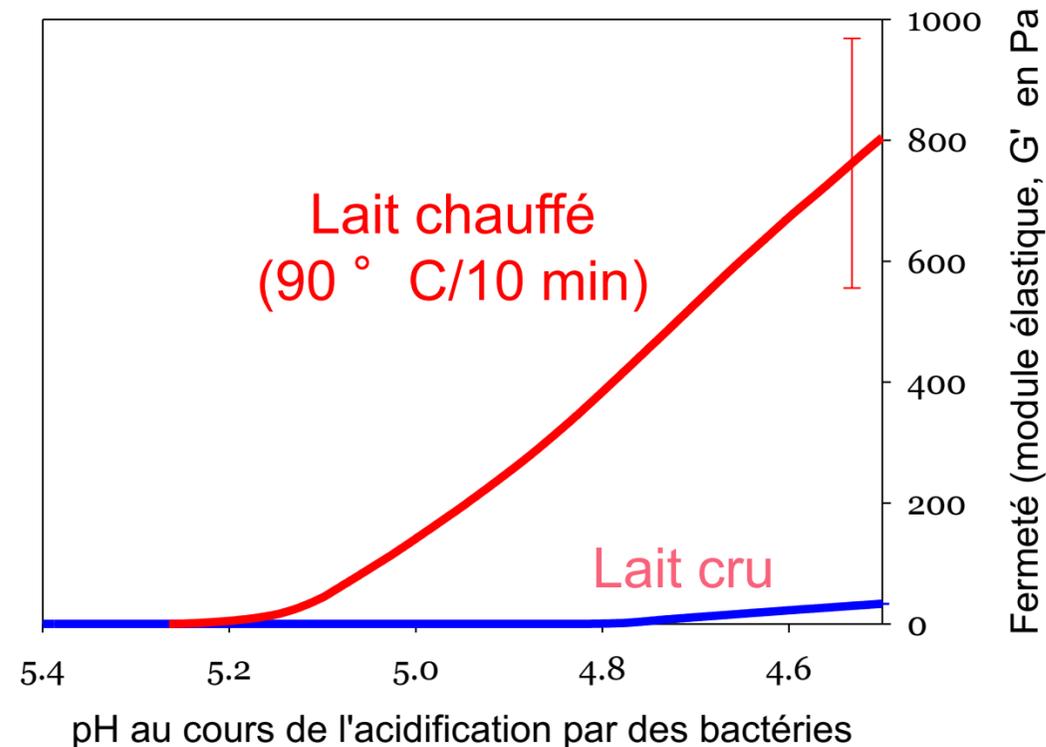
➔ Fermentation du lactose en acide lactique plus longue (facteur 5 d'après Attia et al. 2001).  
 Capacité tampon du lait camelin ? Présence de facteurs d'inhibition ?  
 Fermeté des gels acides camelins est 35 fois plus faible qu'avec du lait de vache

# 4-Propriétés gélifiantes - Acidification

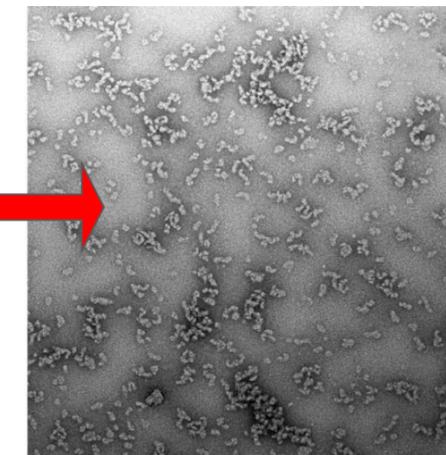
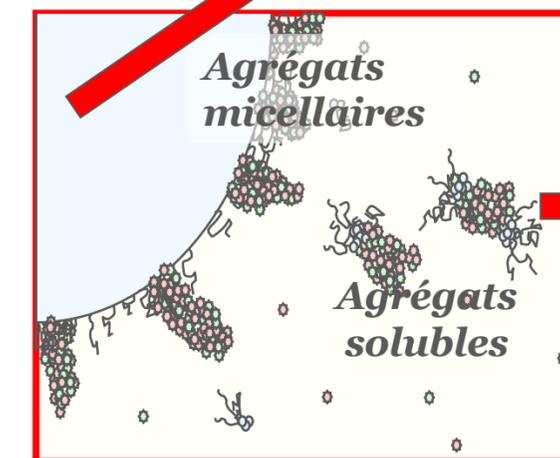
Impact du traitement thermique sur le renforcement de la fermeté des gels acides

- Absence de  $\beta$ -Lg cameline, impact sur la formation d'agrégats solubles
- A vérifier : l'aptitude des agrégats d' $\alpha$ -Lactalbumine à ponter les micelles de caséines

Lait bovin



Micelle de lait chauffé

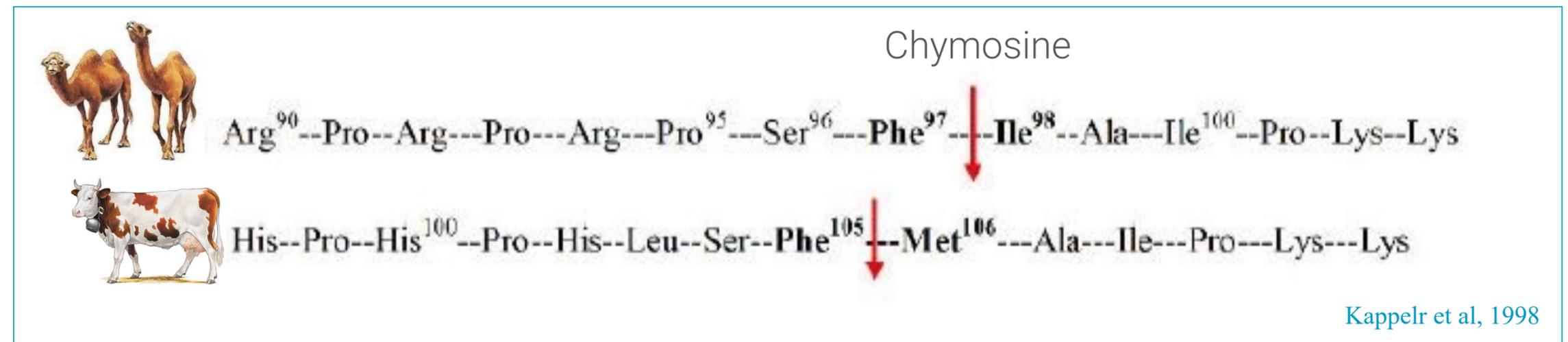
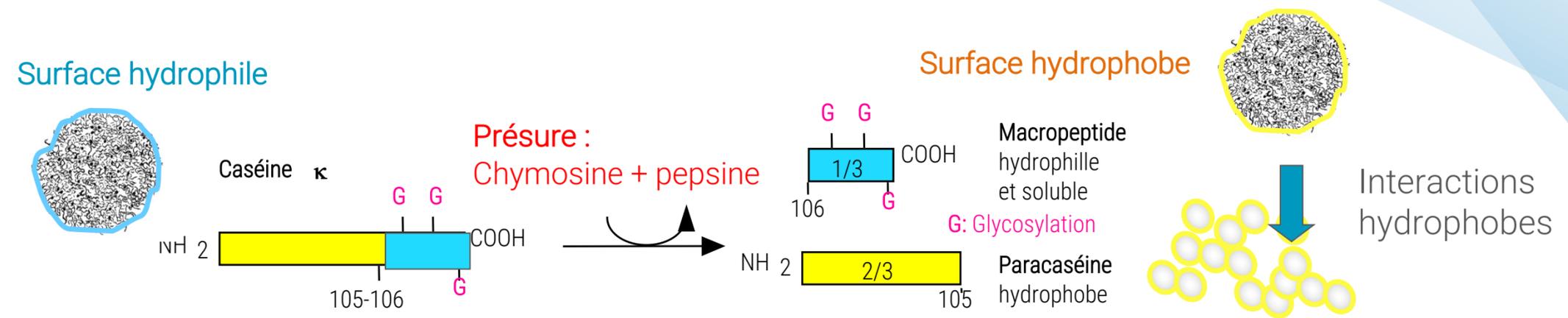


Agrégats solubles :  
Nanoparticules protéiques  
Diamètre environ 100 nm,  
Charge de surface -17 mV,  
Point isoélectrique à 5,2

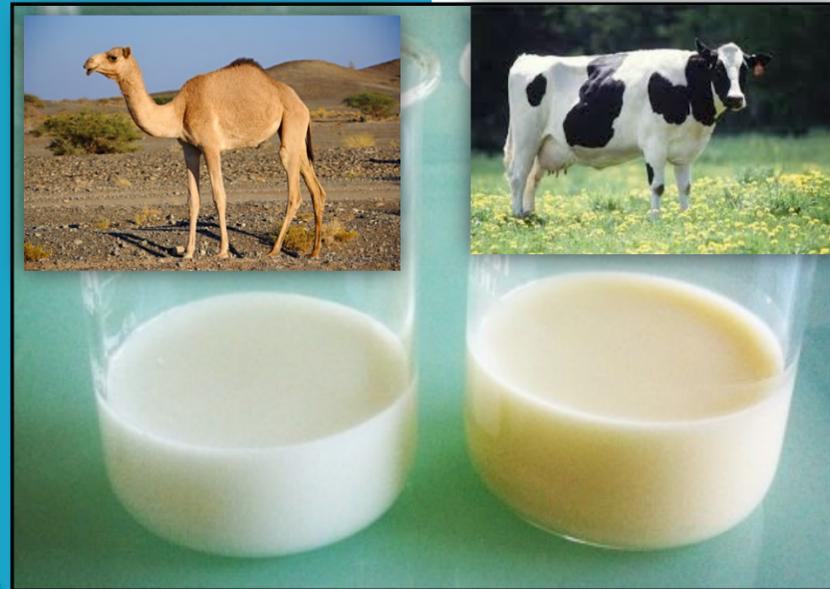
➔ Gélification du lait traité thermiquement (90°C/10 min) a lieu **plus rapidement** et à un **pH plus haut**, formant un gel **beaucoup plus ferme** du à la formation d'agrégats par la dénaturation des protéines solubles

# 4-Propriétés gélifiantes – Coagulation présure pour la fabrication de fromages

- Coagulation du lait de chamelle plus facile avec la pepsine (Wanghoh 1993)
- Coagule moins bien que le lait bovin
- Taux de caséine  $\kappa$  plus faible et micelles plus grosses
- Coagule mieux avec protéases gastriques (Boudjenah-Haroun et al, 2012)



- **Coagulation fromagère est réalisable** dans des conditions satisfaisantes avec la présure cameline malgré une faible concentration en caséine  $\kappa$ , mais des optimisations sont à réaliser
- **L'enrichissement des laits avec du calcium** améliore la fermeté du gel présure (bovins comme camelins) et diminue le temps de gélification. L'ajout de phosphate provoque l'effet inverse



- Conservation prolongée du lait cru
- Composition nutritionnellement intéressante et effets préventif santé
- Thermosensibilité à travailler car rend difficile les traitements UHT : couplage de technologies ?
- Bon pouvoir moussant mais une stabilité de la mousse à renforcer : renforcement des interactions, rôle des protéines aux interfaces
- Propriétés de gélification, acide comme présure, dans des conditions précises, mais les gels obtenus restent fragiles. Solutions pour les renforcer, rôle des minéraux ?
- Propriétés techno-fonctionnelles intéressantes – Valorisation des fractions protéiques intéressantes – Fort potentiel nutritionnel et technologique

# Propriétés technofonctionnelles des protéines du lait de chamelle

