

La structure des aliments module leur cinétique de digestion et la biodisponibilité des nutriments



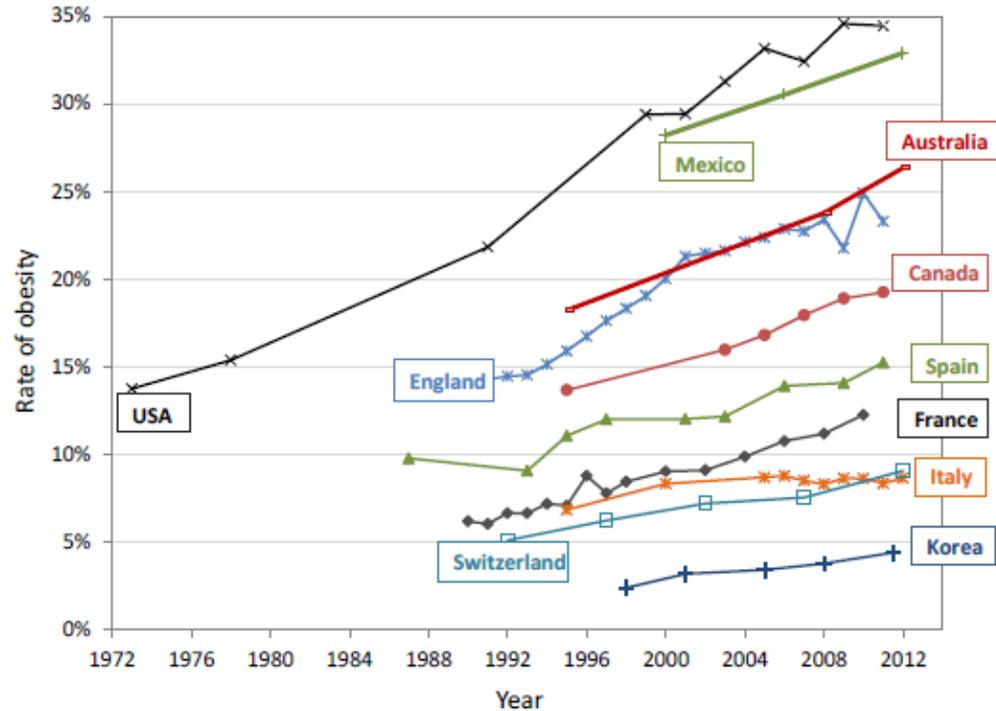
Didier DUPONT

didier.dupont@inra.fr

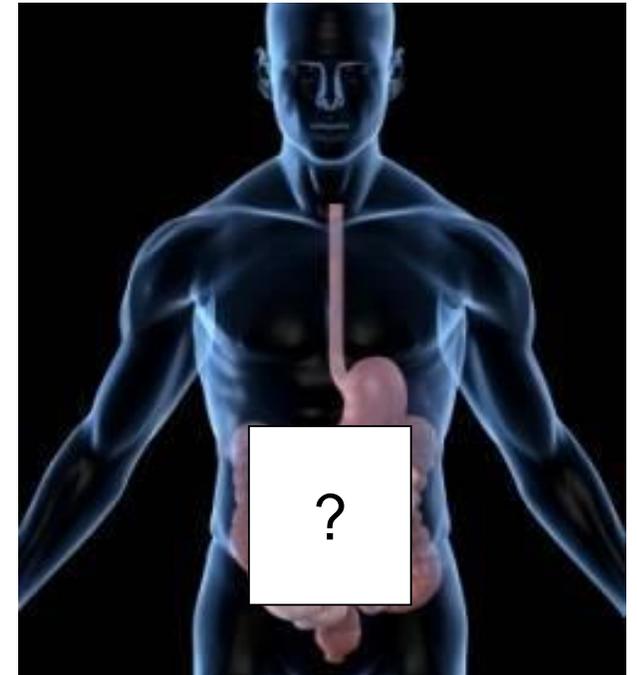


INRA, UMR STLO Rennes, France

Aliments et santé de l'homme: le rôle clé du processus digestif



Pathologies liées à l'alimentation ↑
⇒ Prévenir ces pathologies plutôt que les soigner



Tube digestif = interface entre l'aliment et l'hôte

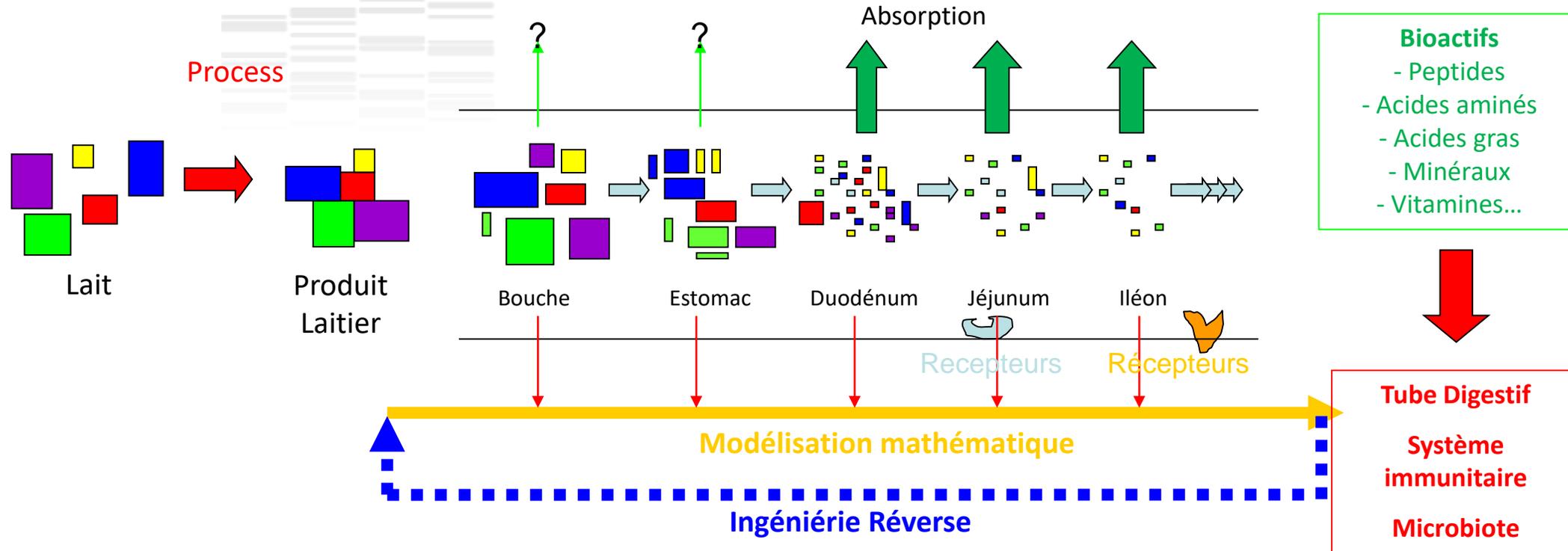
Digestion procure des nutriments à l'organisme et libère des constituants qui peuvent avoir un effet bénéfique ou délétère sur la santé de l'Homme

... mais les mécanismes de dégradation de l'aliment dans le tube digestif demeurent inconnus car le processus digestif a été longtemps considéré comme une boîte noire

Accroître nos connaissances sur la digestion des aliments pour étayer les relations aliment-santé

Nos objectifs

Adulte sain / Nouveau-né / Sénior

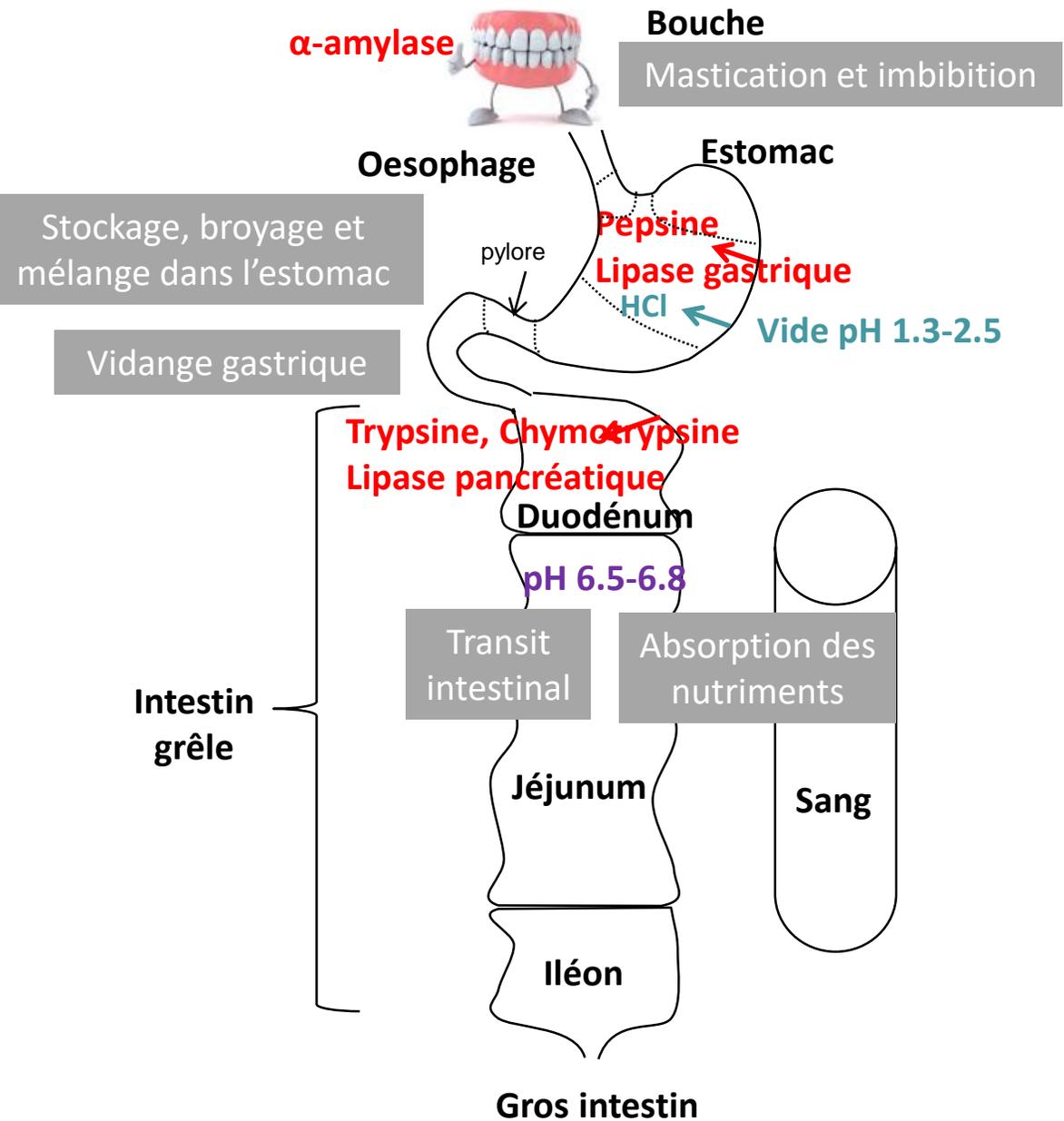


☞ Comprendre les mécanismes de dégradation des produits laitiers et des ovo-produits dans le tube digestif et identifier les composés bénéfiques/délétères libérés lors de la digestion

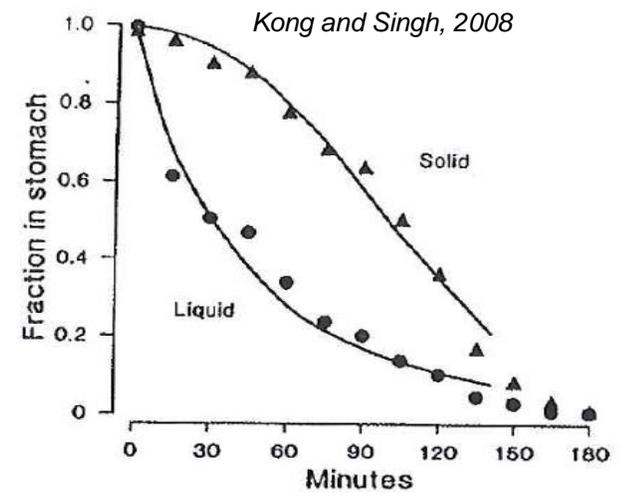
☞ Déterminer l'impact de la structure des produits laitiers et ovo-produits sur la biodisponibilité des nutriments

☞ Modéliser ces phénomènes pour développer une démarche d'ingénierie reverse et concevoir des aliments adaptés aux besoins nutritionnels de populations spécifiques

Le processus digestif



de Roger Lentle, Massey Univ. NZ



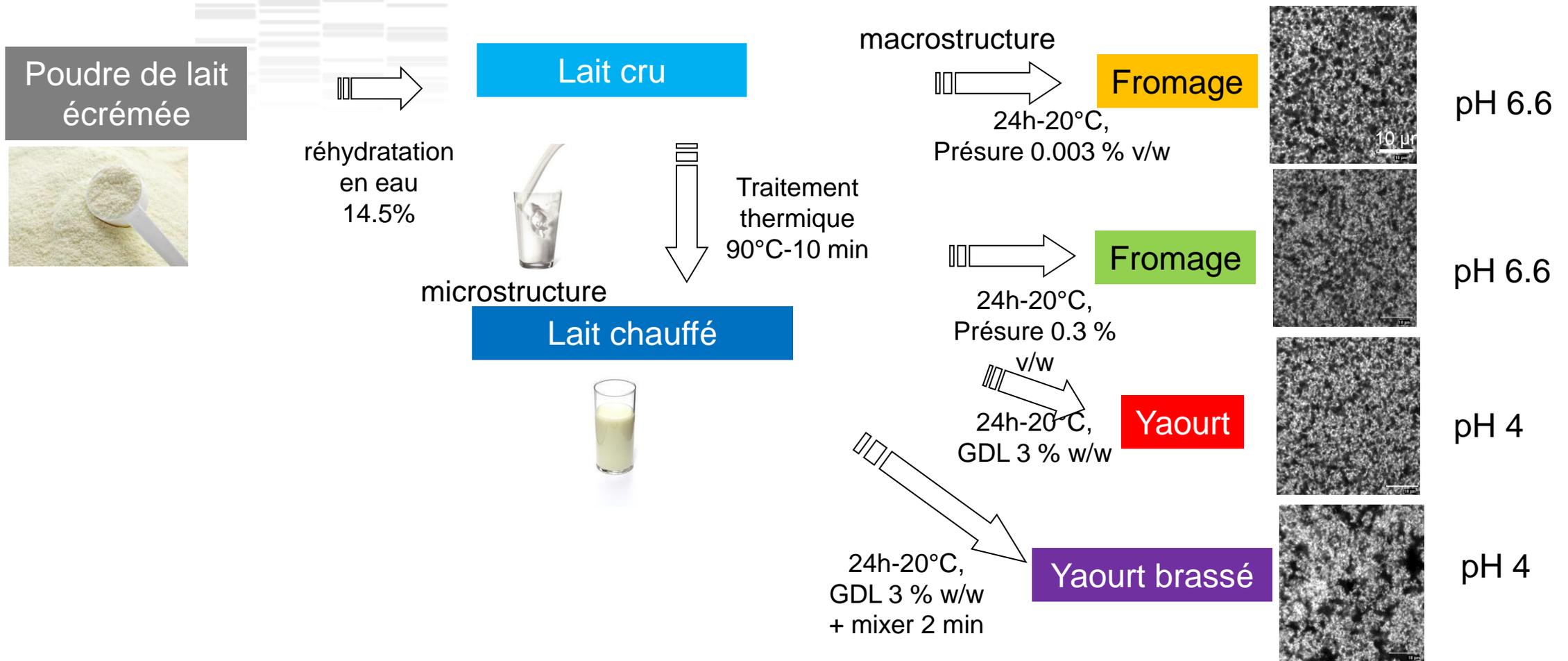
Phase gastrique = une étape complexe mais essentielle dans le processus digestif



Des produits laitiers de composition identique mais de structure différente présentent-ils les mêmes cinétiques de digestion?



Les matrices laitières étudiées



Matrices protéiques: 40 g/L caséines, 10 g/L protéines sériques, 95 g/L lactose et minéraux + marqueur non absorbable (Cr²⁺-EDTA) → Temps de ½ vidange gastrique

Le modèle animal: mini-porcs multi-canulés et cathétérisés

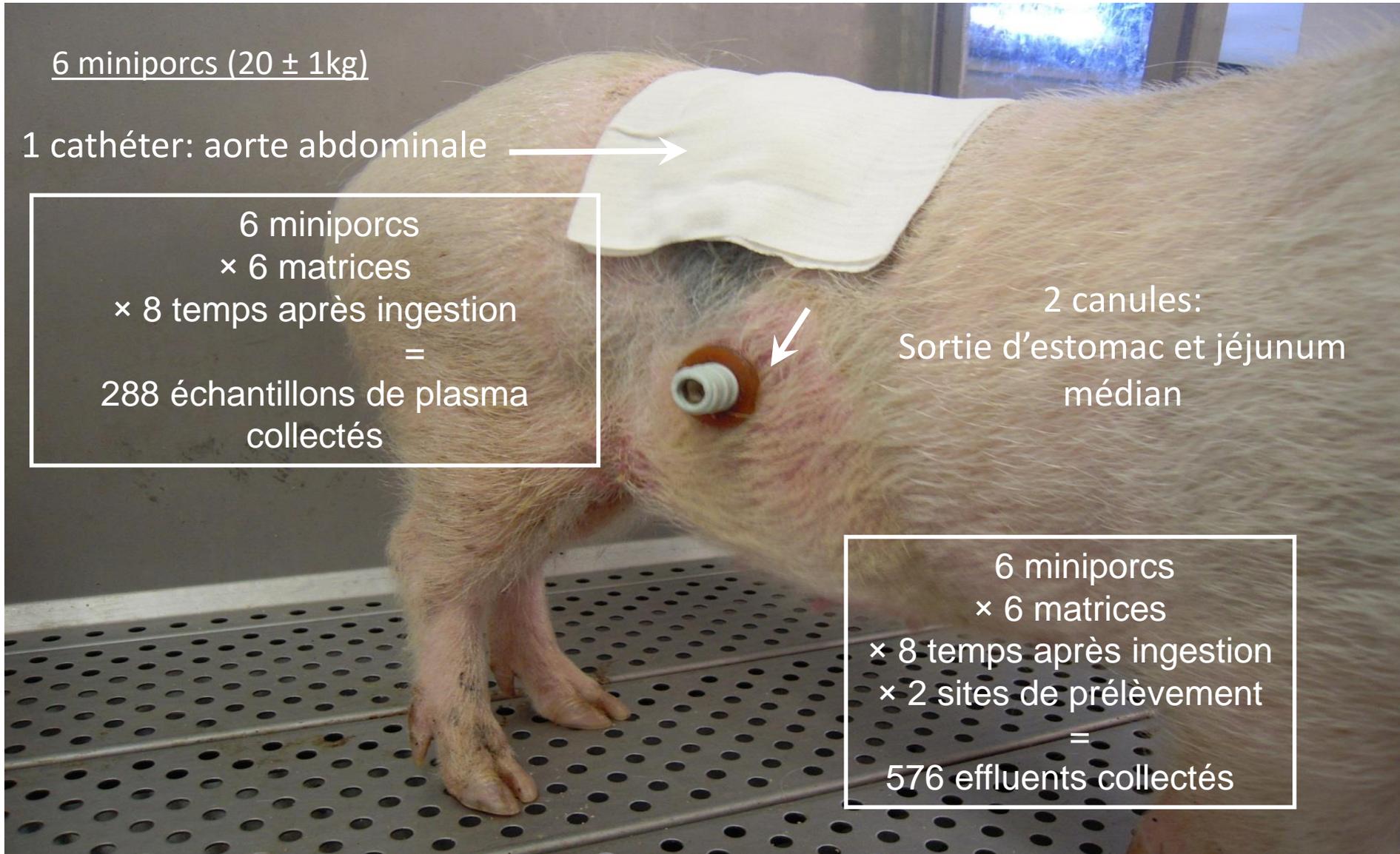
6 miniporcs ($20 \pm 1\text{kg}$)

1 cathéter: aorte abdominale

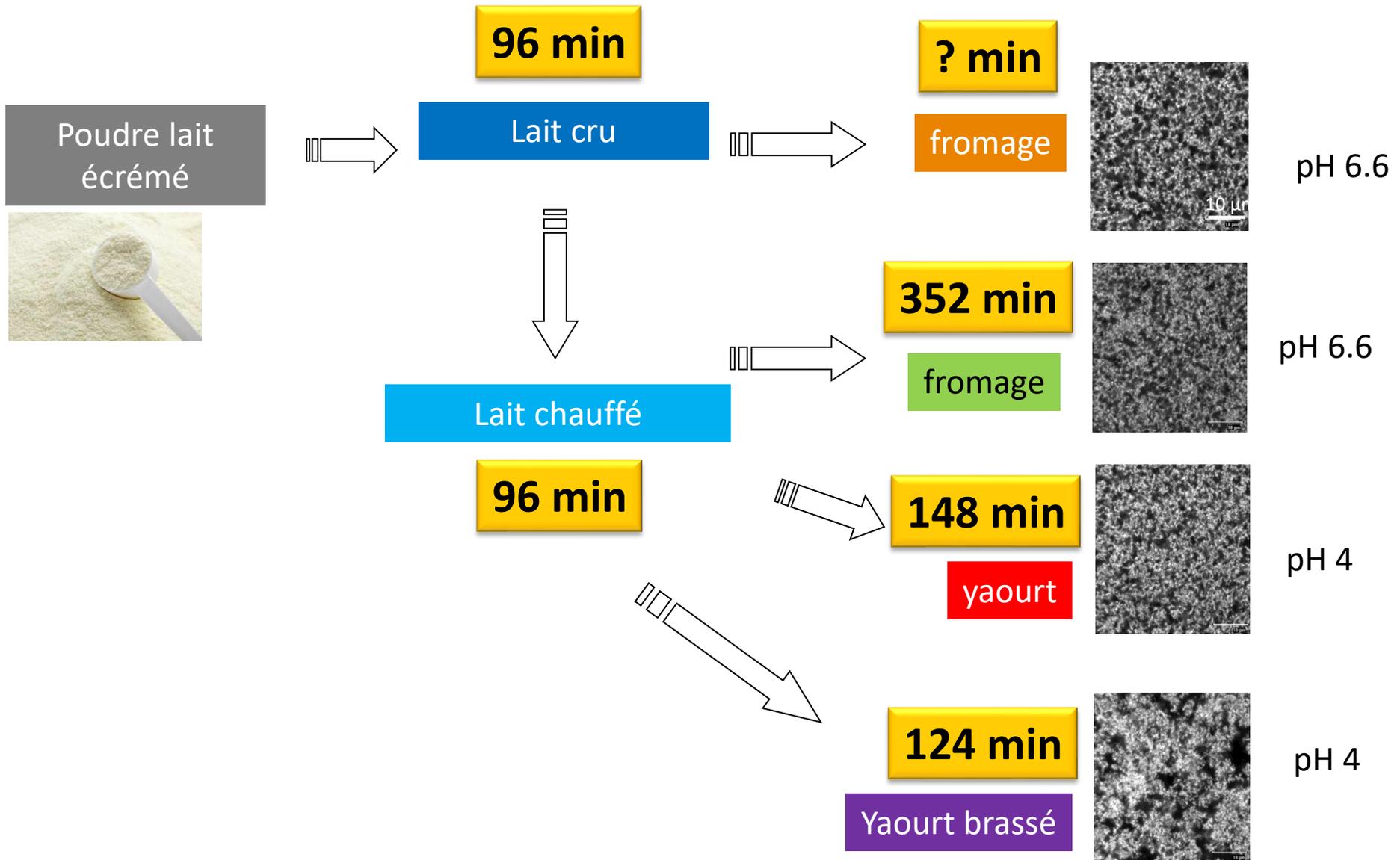
6 miniporcs
× 6 matrices
× 8 temps après ingestion
=
288 échantillons de plasma
collectés

2 canules:
Sortie d'estomac et jéjunum
médian

6 miniporcs
× 6 matrices
× 8 temps après ingestion
× 2 sites de prélèvement
=
576 effluents collectés

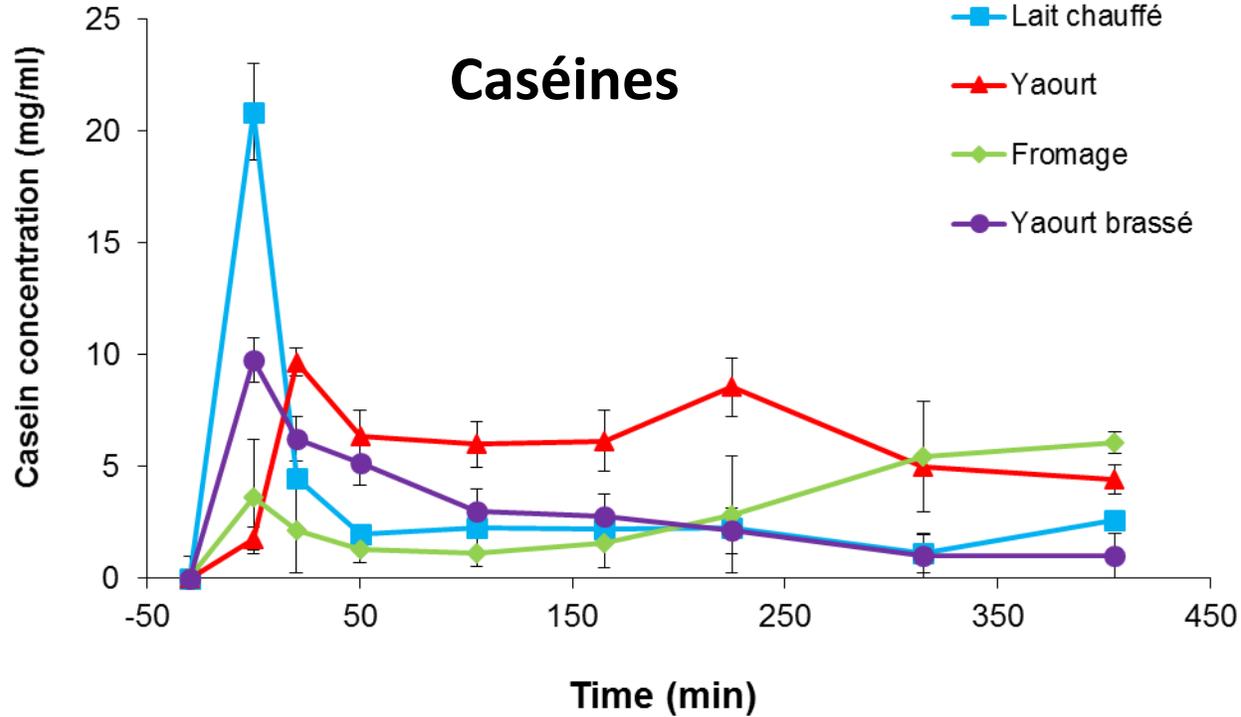


Impact de la structure sur le temps de ½ vidange gastrique



Concentration des protéines lactières dans le duodénum (ELISA)

Caséines

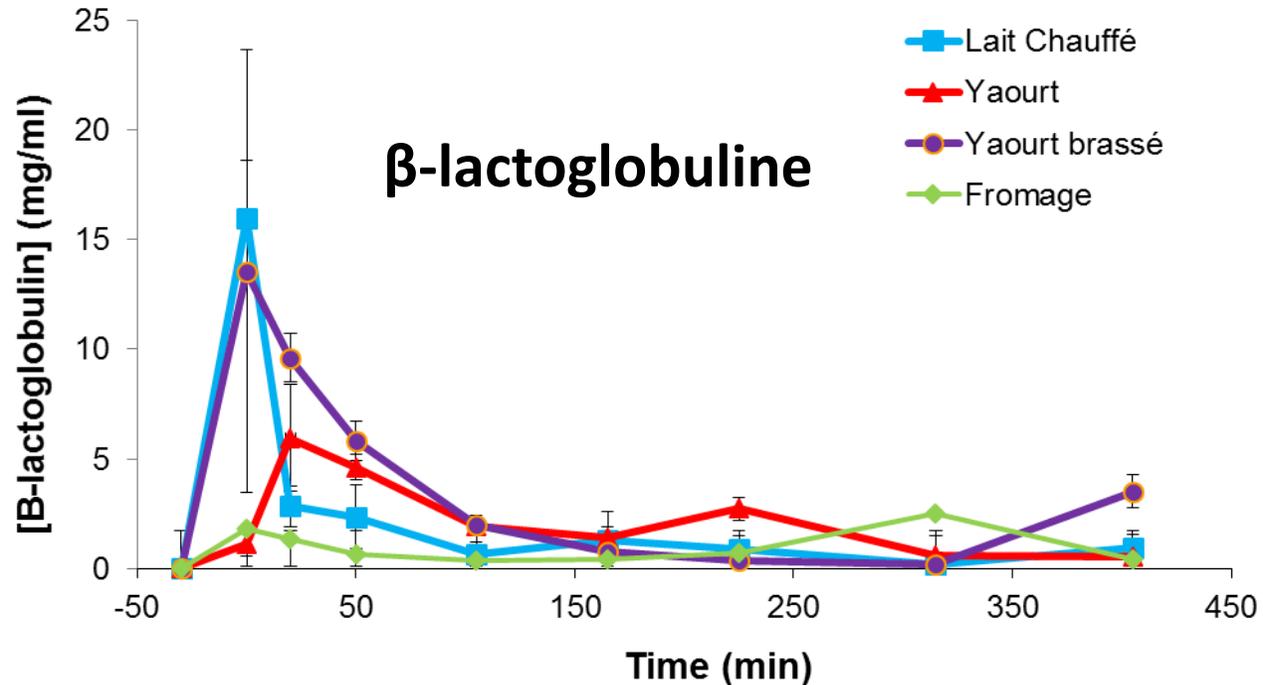


- Protéines présentes à l'état de traces dans le jéjunum
- Produits laitiers demeurent digestibles

Barbé et al. 2013, 2014
Food Chem

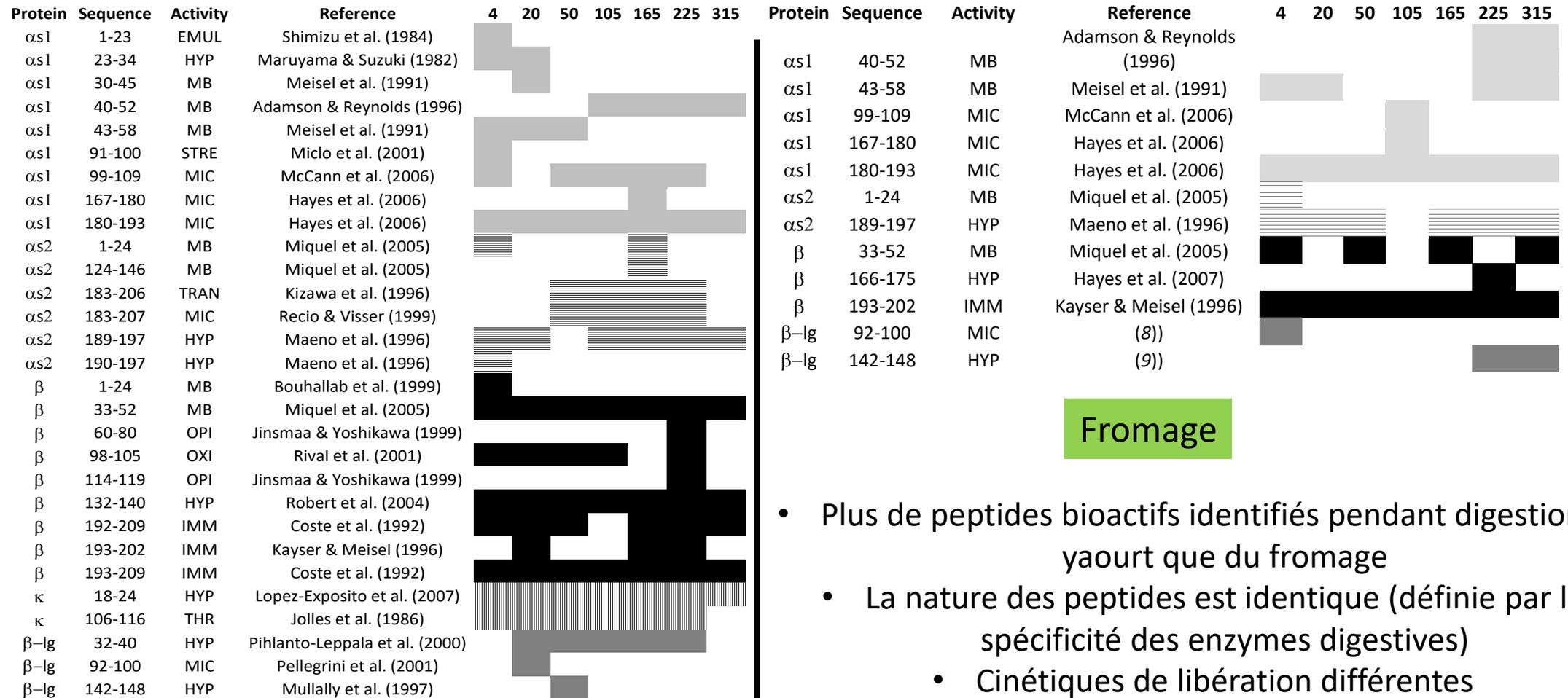
- Pic intense et précoce avec le lait/ réduit et retardé avec les autres matrices
- Comportement intermédiaire pour le yaourt brassé
- Faibles concentrations avec le fromage mais les caséines libérées tendent à augmenter avec le temps

β -lactoglobuline



Peptides bioactifs libérés pendant la digestion diffère d'une matrice à l'autre

Plus de 16,000 peptides identifiés dans le tube digestif des porcs



Yaourt

Fromage

- Plus de peptides bioactifs identifiés pendant digestion du yaourt que du fromage
- La nature des peptides est identique (définie par la spécificité des enzymes digestives)
 - Cinétiques de libération différentes

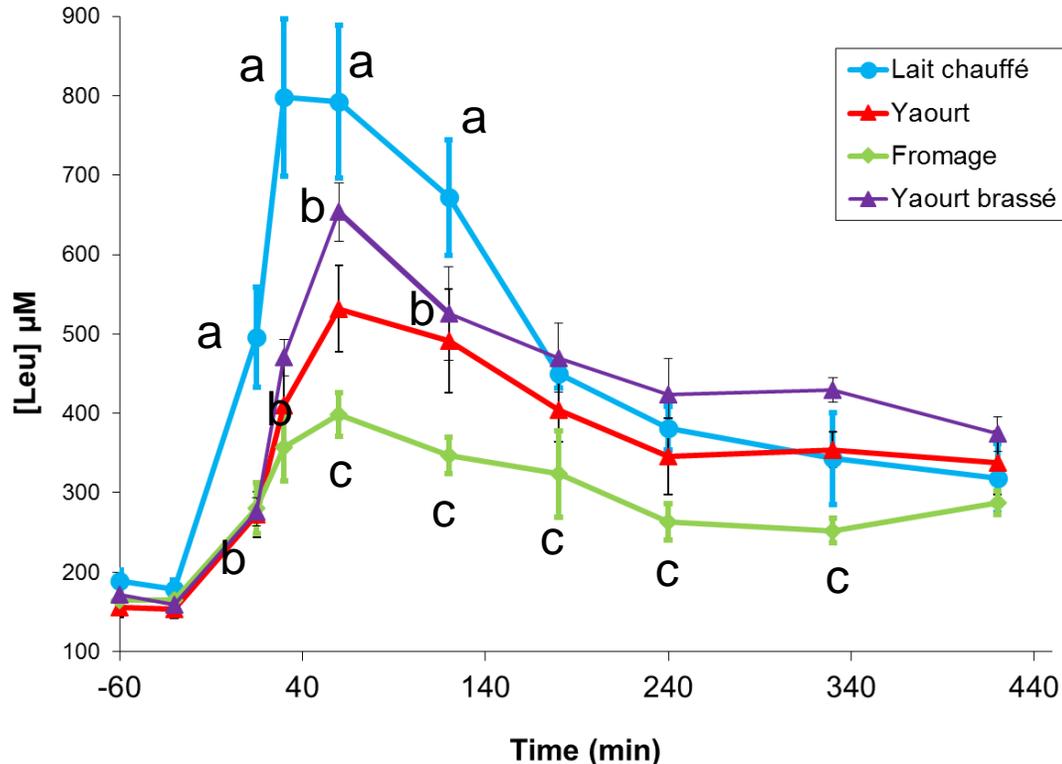
Barbé et al. 2014
Food Res Int

Mais identifier un peptide bioactif dans la lumière du tube ne signifie pas qu'il exerce une action biologique!

La structure de la matrice impacte la biodisponibilité des nutriments

Barbé *et al.* Food Chem 2013
Highly cited paper

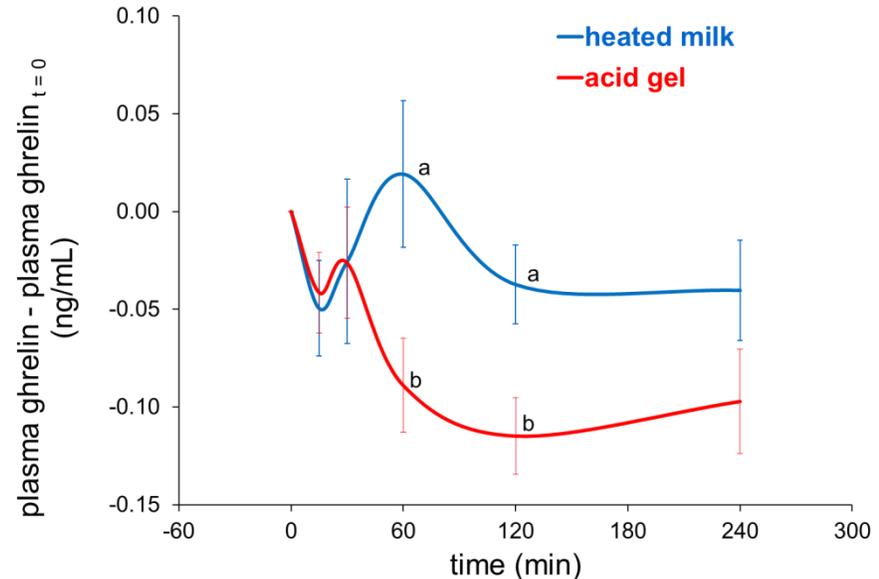
Effet sur l'absorption



Gélification: → transit des protéines retardé → absorption des AA retardée
 ↓ concentration maximale des AA dans le plasma

Effet potentiel sur la satiété

ghréline (hormone gastro-intestinale → stimulation de l'appétit)



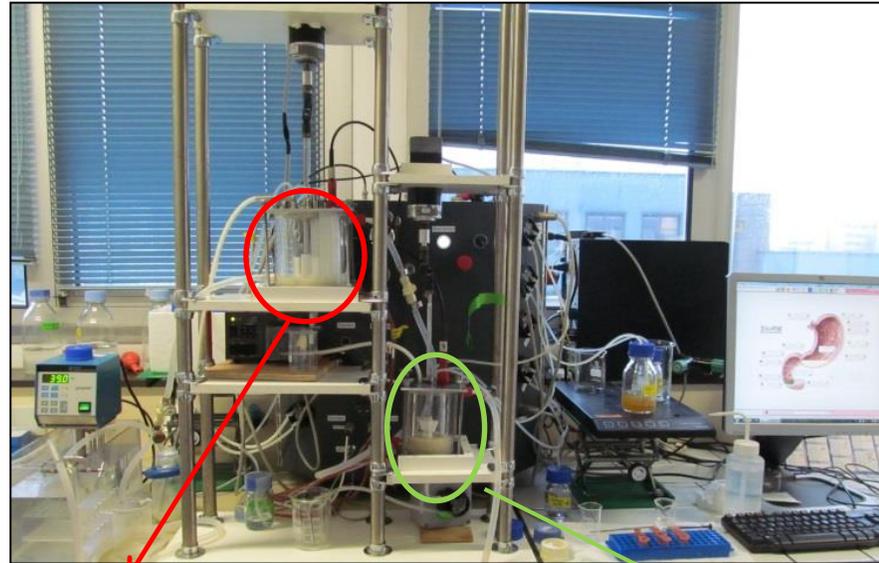
Gélification: ↓ concentration postprandiale ghréline =
 ↑ satiété ?

Cinétiques de protéolyse et biodisponibilité des acides aminés sont contrôlées par la vidange gastrique

Comportement différentiel du yaourt et du fromage en conditions gastriques

- ☞ Composition identique, propriétés rhéologiques et porosité du réseau similaires
- ☞ ≠ Temps de résidence dans l'estomac (Yaourt 148 min / Fromage 352 min)
 - ☞ Comment expliquer des différences? Digestion in vitro dynamique des 2 matrices

Ménard *et al.*
Food Chem 2014

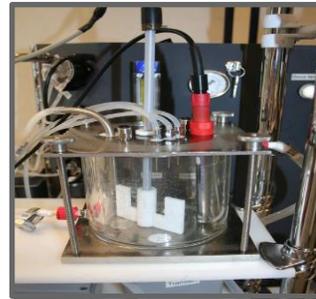


DIDGI®

Logiciel StoRM®

Estomac

- Pepsine
- Lipase gastrique
- Fluide gastrique simulé
- HCl



Vidange :
Modèle d'Elashoff

Intestin Grêle

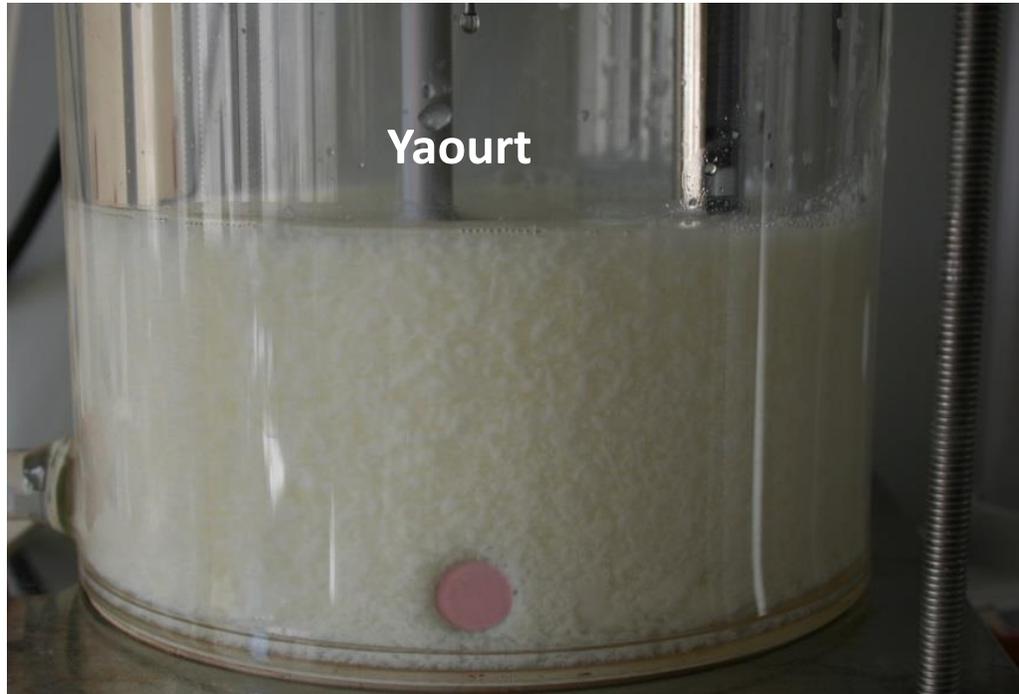
- Pancréatine
- Bile
- Fluide intestinal simulé
- NaHCO₃



Vidange :
Modèle d'Elashoff

Le yaourt et le fromage modèles ont des comportements différents dans l'estomac pendant une digestion dynamique *in vitro*

Barbé et al.
Food Chem. 2014



Formation d'un coagulum dense avec le fromage modèle → ralentit la vidange gastrique des caséines

La structure qu'adopte un aliment dans l'estomac est essentielle pour comprendre sa digestion



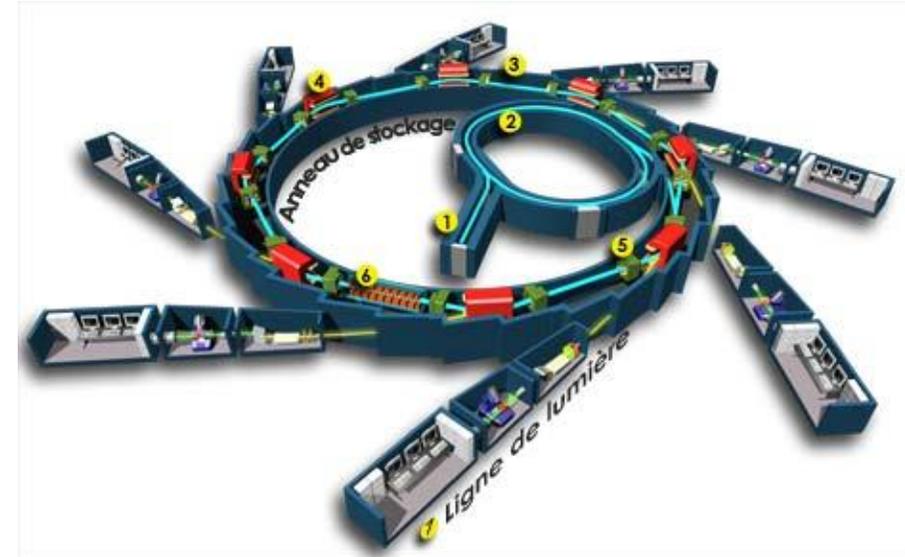
Comprendre les mécanismes de dégradation des particules de gels laitiers dans l'estomac

Soleil est un accélérateur de particules (électrons) qui produit une source de lumière extrêmement puissante, permettant l'exploration de matériels vivants ou inertes

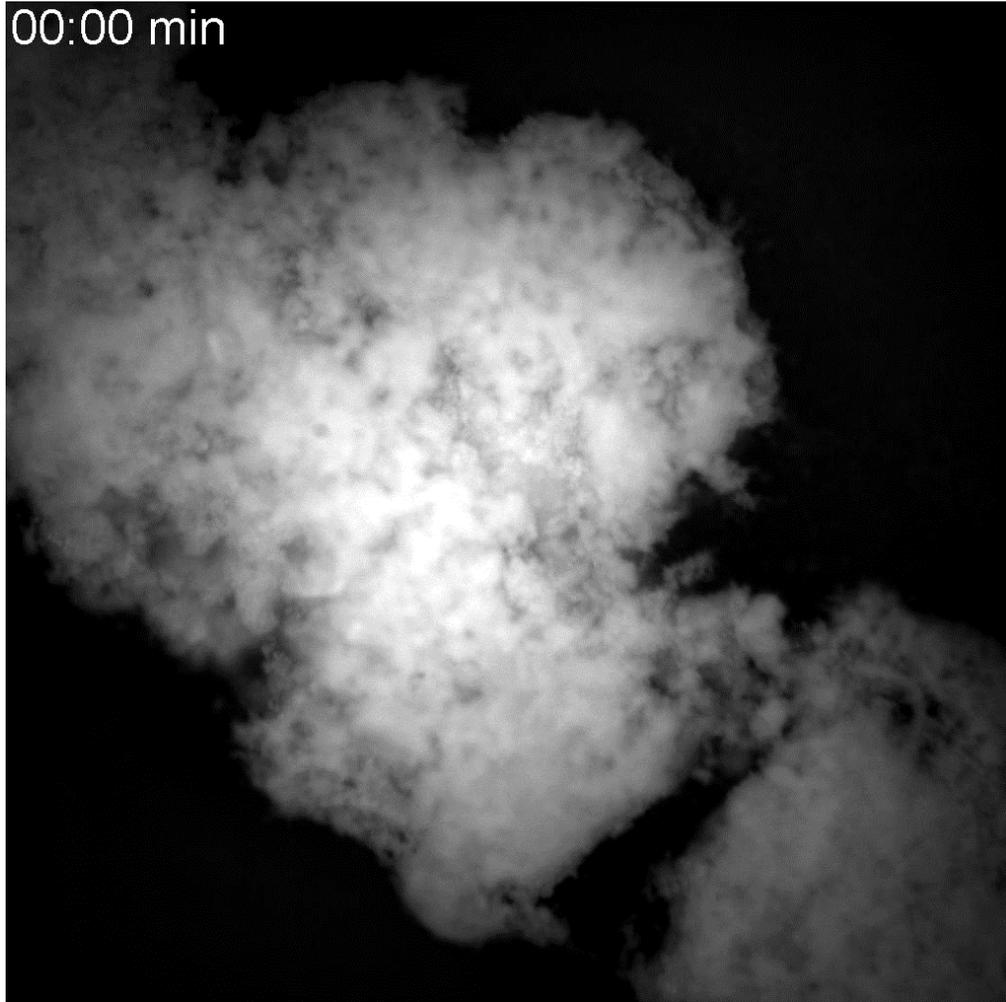


DISCO est un faisceau de lumière allant de l'UV au visible. La région spectrale est optimale entre 60 et 700 nm avec conservation de la polarisation naturelle de la lumière

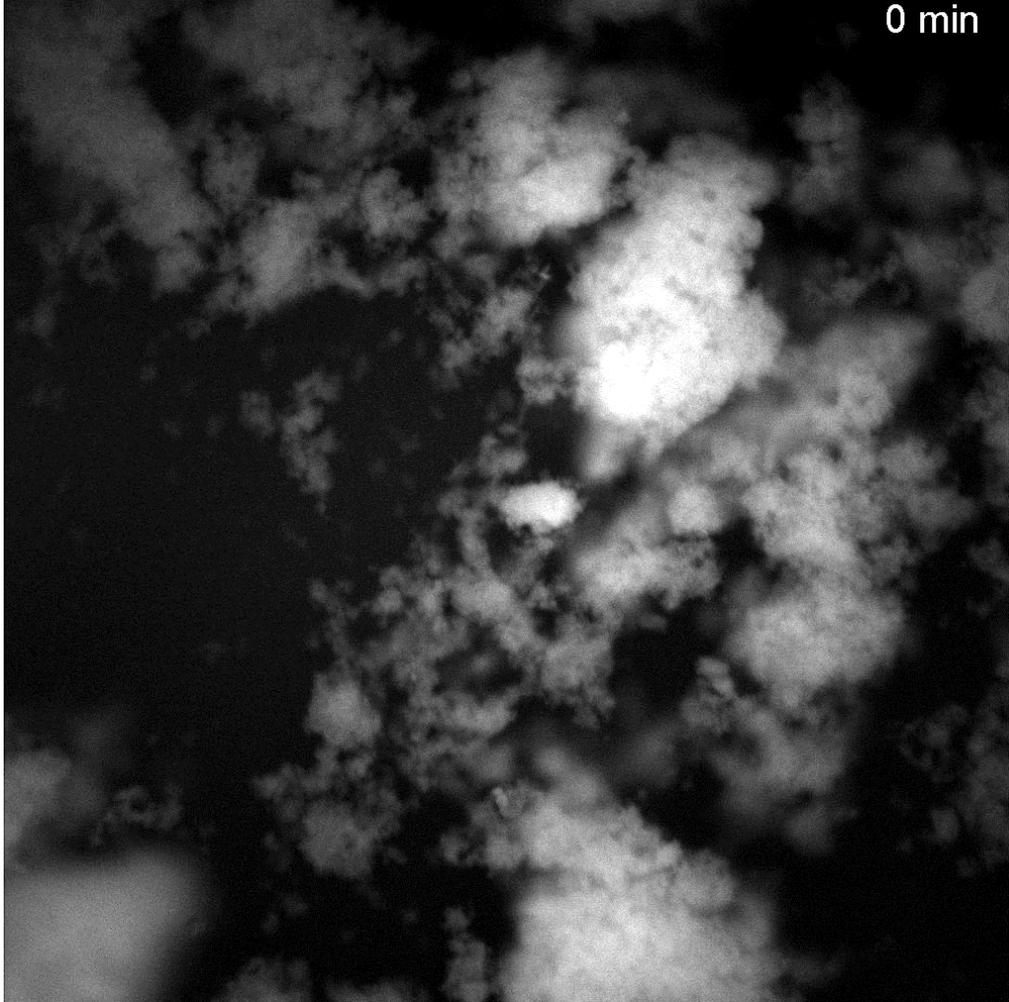
☞ Permet d'imager la fluorescence intrinsèque des protéines avec un microscope UV



Cinétiques de désintégration des particules de gel



Fromage



Yaourt

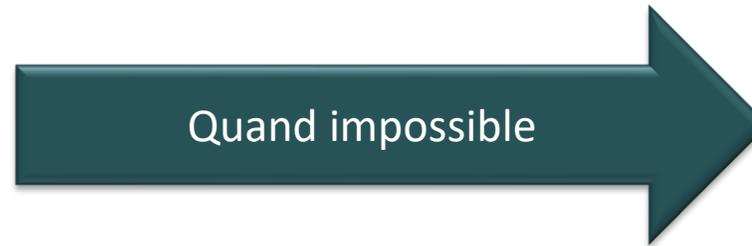


Effets des procédés technologiques sur la digestion du lait maternel





Recommandations de l'OMS: Allaitement exclusif jusqu'à 6 mois



- 👉 Le lait maternel présente des différences importantes de composition et de structure avec les formules infantiles de par les procédés qui sont appliqués lors de leur fabrication
- 👉 Ces différences se traduisent par des différences de comportement dans le tube digestif du nouveau-né:
 - Temps de demi-vidange du lait maternel 54 min, des formules 80 min
 - Cinétiques d'hydrolyse des lipides et protéines différentes



Etude *in vivo* chez le prématuré

ClinicalTrials.gov Identifier: NCT02112331

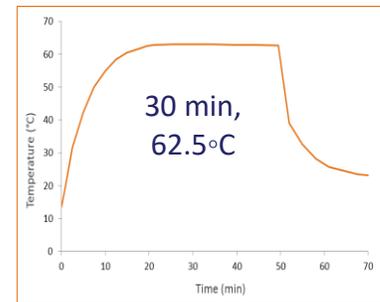
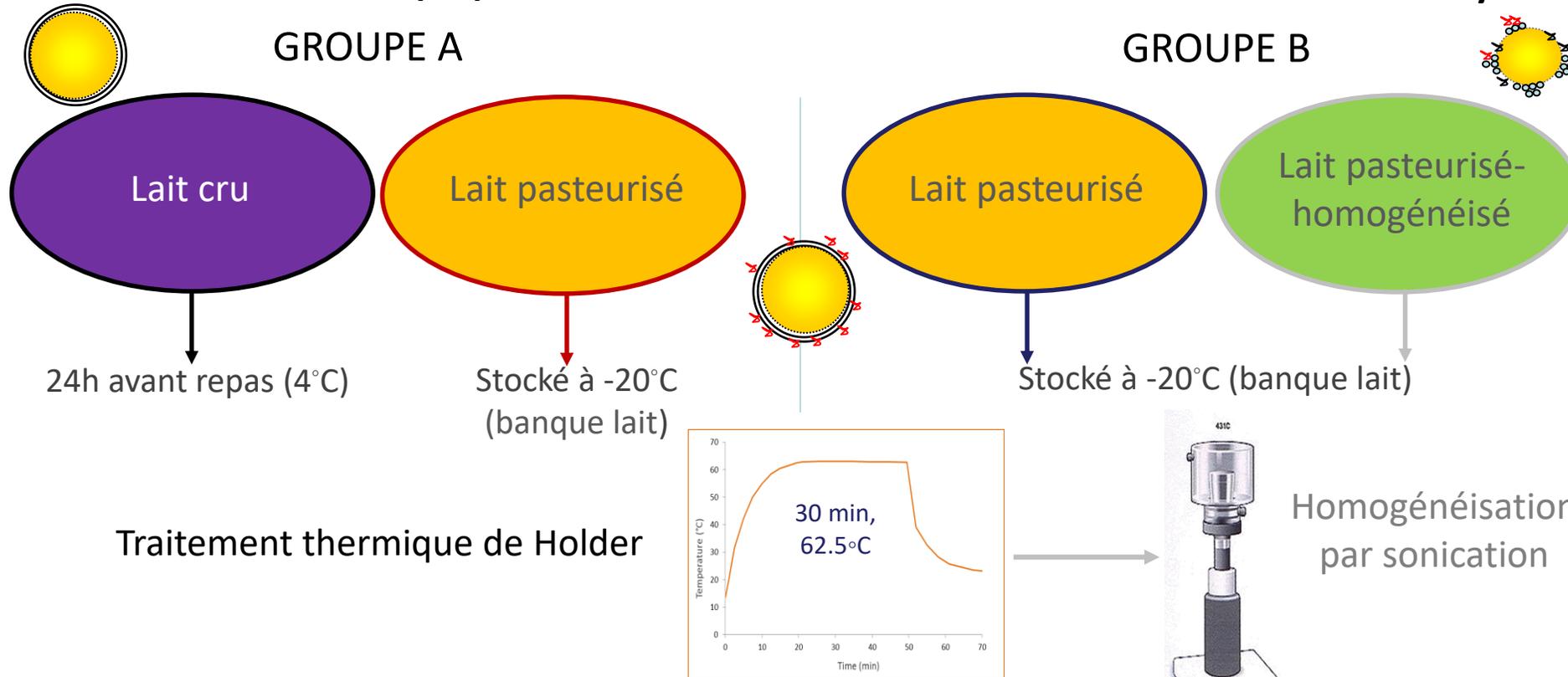
ARCHILACT

Prématurés hospitalisés
nourris toutes les 3h via une
sonde naso-gastrique

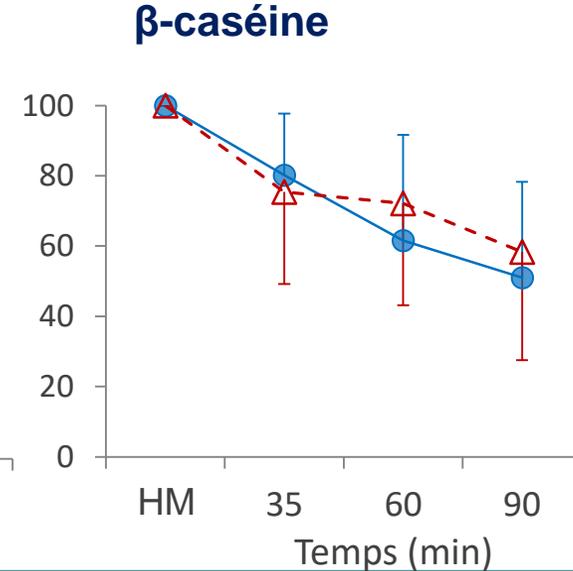
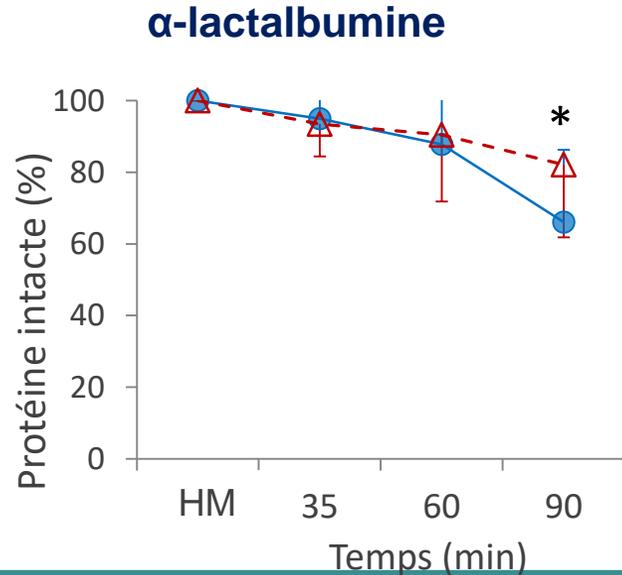
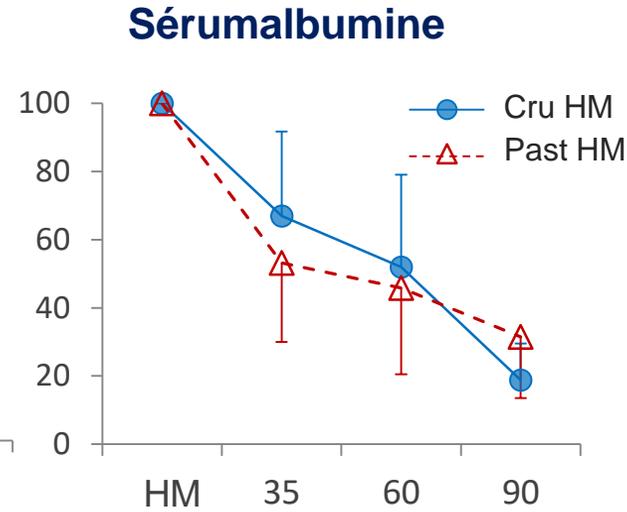
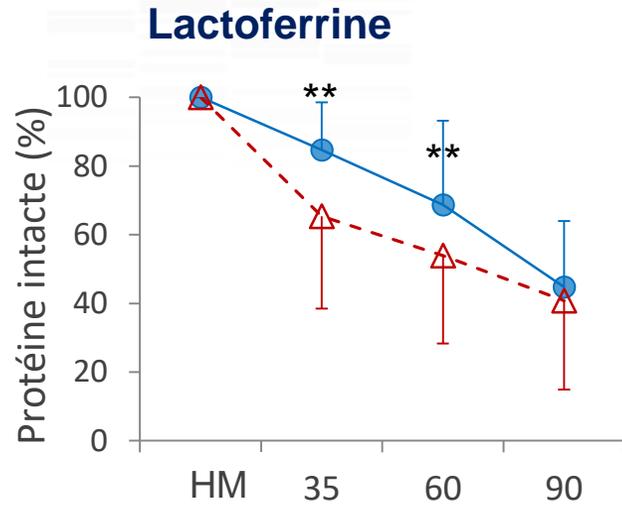
But: comparer des aliments de
composition similaire mais de
structure différente

Lait humain de leur **propre mère**

Lait humain d'une **donneuse anonyme**



La pasteurisation impacte la protéolyse gastrique de façon sélective

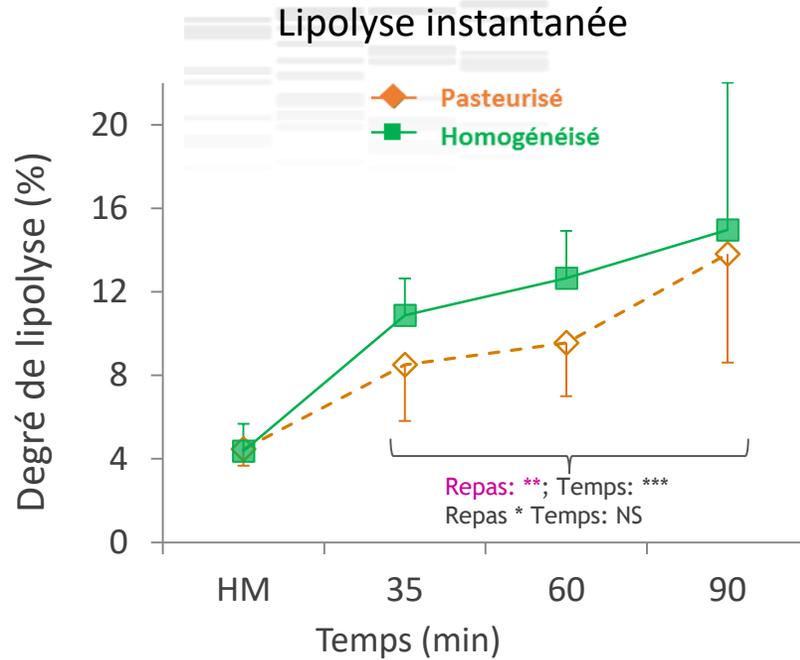


→ Hydrolyse plus rapide de la lactoferrine après pasteurisation

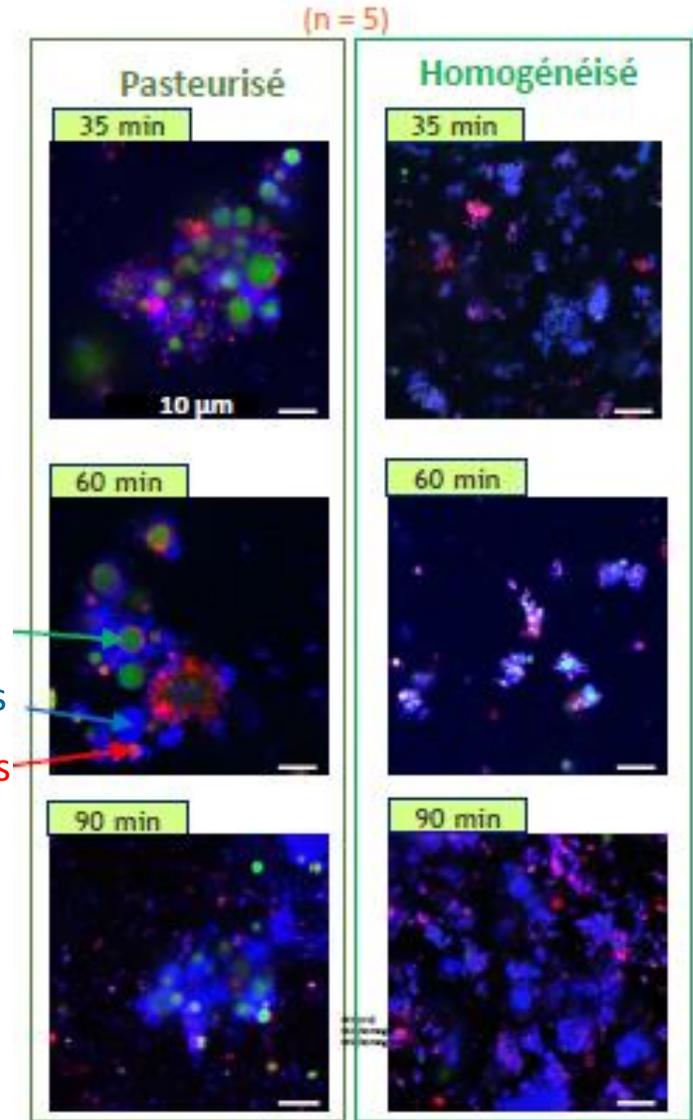
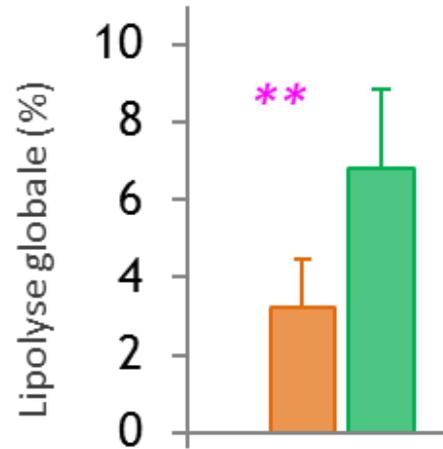
→ α -lactalbumine est la protéine la plus résistante à la digestion gastrique

Quel est l'impact sur les qualités protectives de la lactoferrine native?

Impact de l'homogénéisation sur la lipolyse gastrique



Bilan postprandial



Homogénéisation

↳ Structure modifiée → Surface spécifique augmentée



→ facilite l'adsorption de la lipase gastrique

(Bourlieu et al., Food Chem, 2015)



Effet du traitement thermique des formules infantiles sur la digestion des caséines



Effet du traitement thermique sur la résistance des caséines à la digestion chez l'enfant



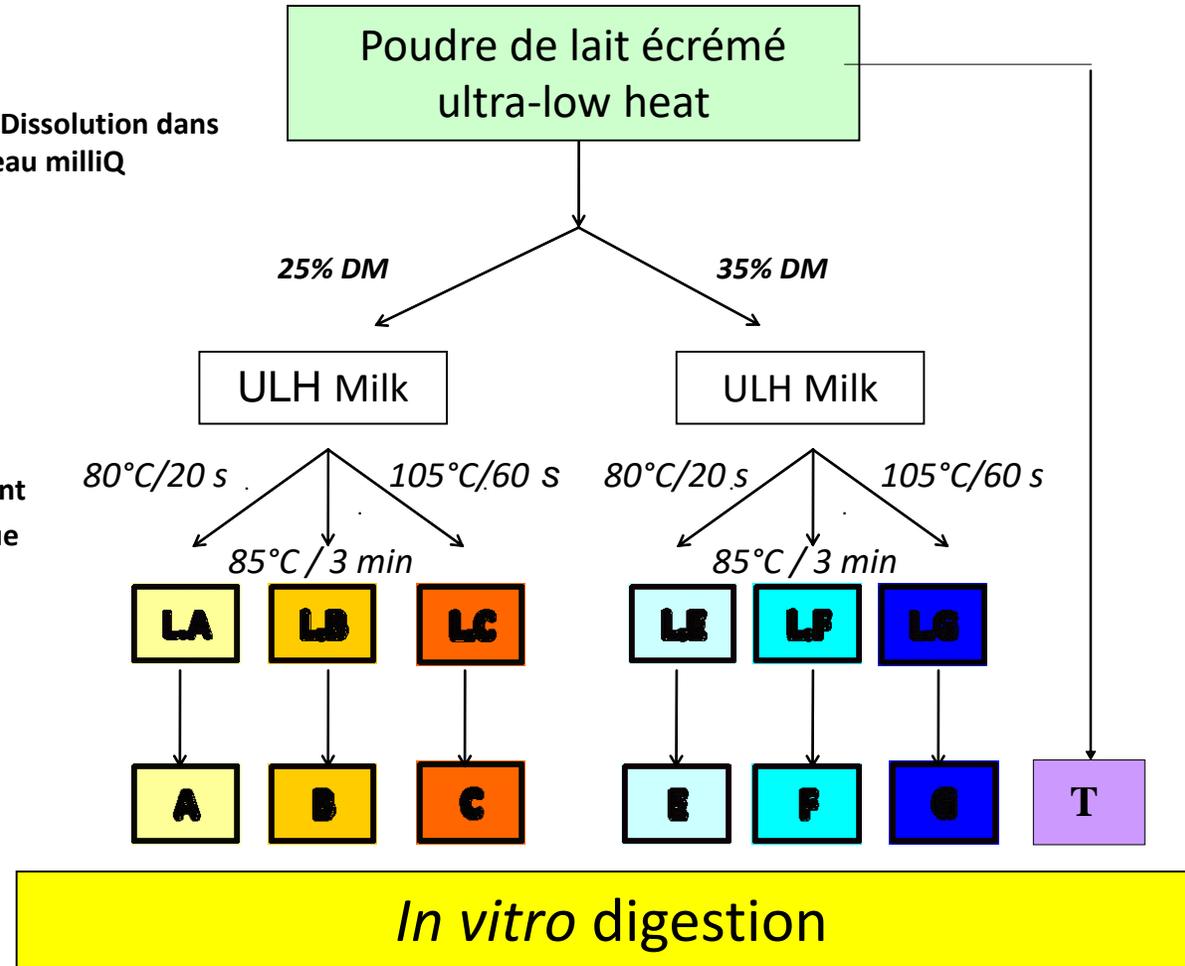
Step 1 : Dissolution dans eau milliQ



Step 2 : Traitement thermique

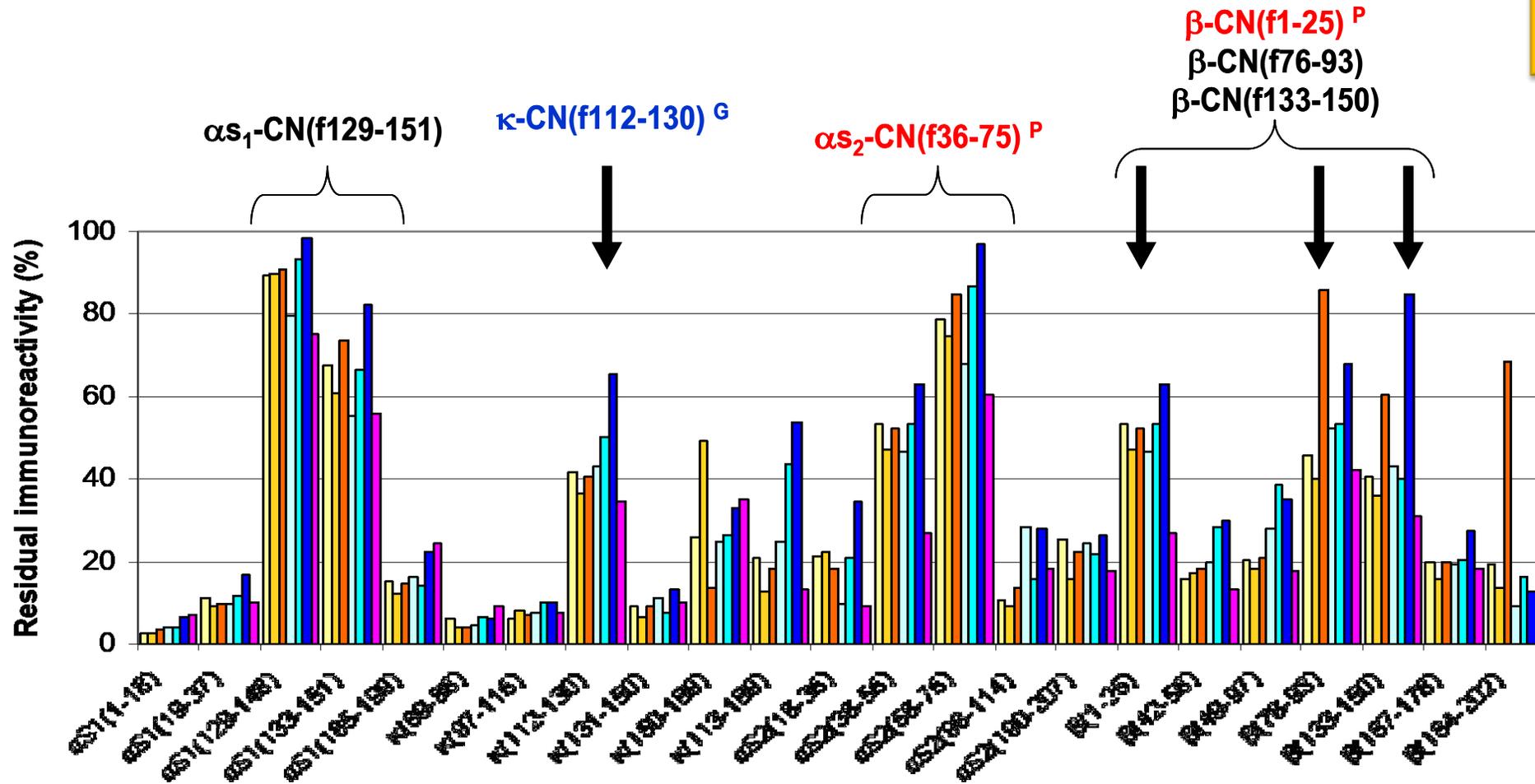


Step 3 : Séchage

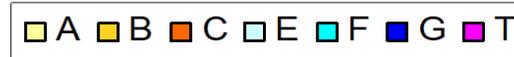


Identification des domaines résistants

Dupont et al.
2010a, b Mol
Nutr Food Res

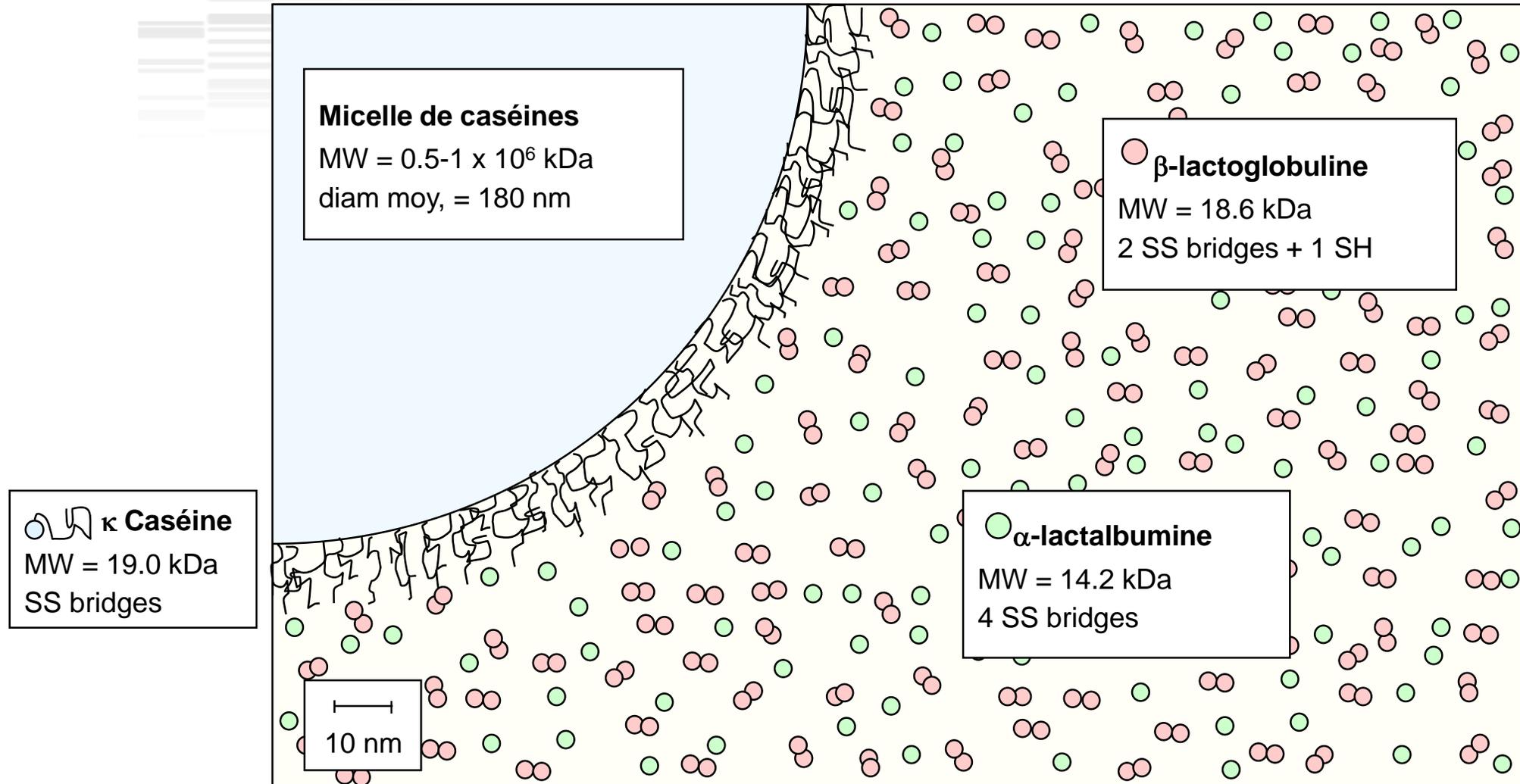


Factor	p value	Significance
T	0.00001	***
% DM	0.00555	**
T:%DM	0.03262	*



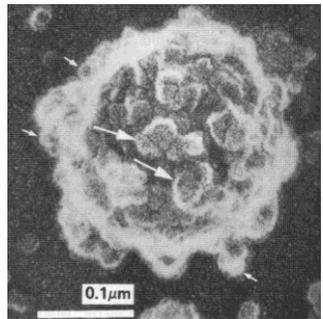
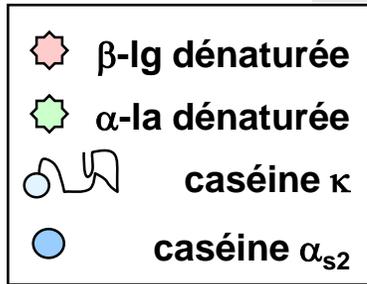
Augmenter l'intensité du traitement thermique utilisé lors de la fabrication de formules infantiles accroît la résistances des caséines à la digestion

Agrégation thermique des protéines sériques sur la micelle de caséines

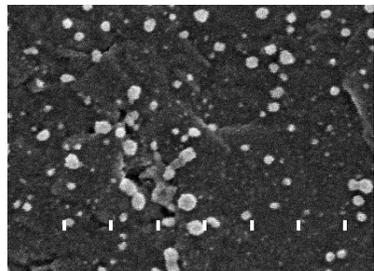


Représentation schématique de la situation dans le lait cru

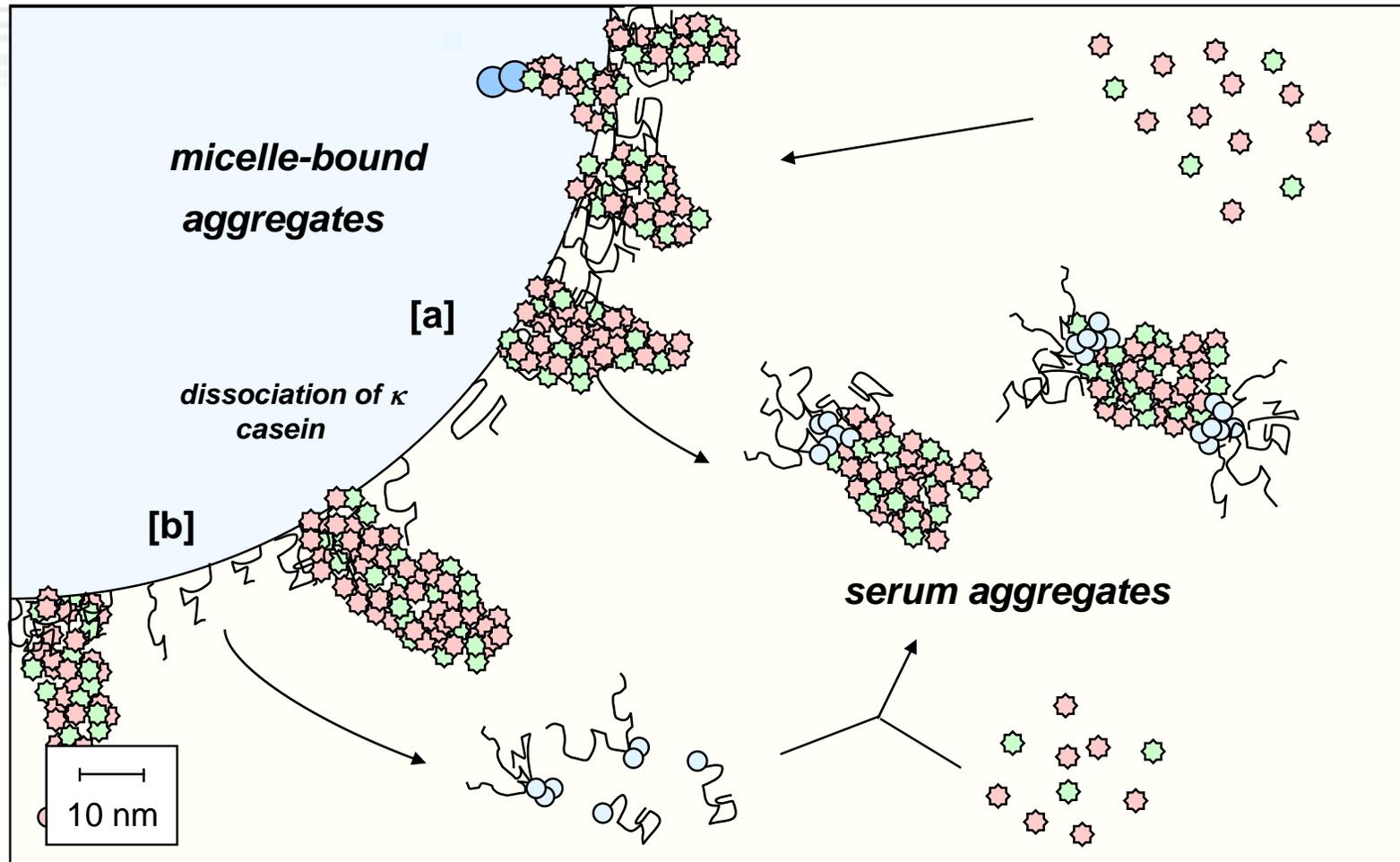
Agrégation thermique des protéines sériques sur la micelle de caséines



a (Harwalkar et al., 1989)



b (Rodriguez del Angel & Dalgleish, 2006)



Représentation schématique de la situation après traitement thermique

Conclusion

La structure des aliments aux différents niveaux d'échelle contrôle les cinétiques de digestion des protéines et lipides et la libération des nutriments et composés bioactifs dans la circulation sanguine

La vitesse de vidange gastrique va dépendre de la structure que l'aliment va adopter dans la cavité stomacale

Comprendre les mécanismes de dégradation des particules alimentaires dans l'estomac est critique pour contrôler la structure que va adopter l'aliment sans l'estomac

Etre capable de concevoir des structures alimentaires permettant de contrôler les cinétiques d'hydrolyse des macronutriments va permettre d'obtenir des aliments particulièrement adaptés à des populations spécifiques



L'équipe Bioactivité & Nutrition de l'UMR STLO à Rennes

Head

Didier DUPONT - Senior Scientist

Scientists

Rachel BOUTROU – Junior Scientist

Amélie DEGLAIRE – Lecturer

Juliane FLOURY – Lecturer

Catherine GUERIN - Lecturer

Joëlle LEONIL – Senior Scientist

Françoise NAU – Professor

Frédérique PEDRONO – Lecturer

Ashkan MADADLOU – Post-doc



PhD students

Lucie LORIEAU (2016-2019)

Linda LEROUX (2016-2019)

Manon HIOLLE (2016-2019)

Yohan REYNAUD (2016-2019)

Amira HALABI (2017-2020)

Technicians

Gwenaële HENRY

Yann LE GOUAR

Nathalie MONTHEAN

Engineers

Julien JARDIN

Olivia MENARD

Jordane OSSEMOND

Masters students



INFOGEST
International Conference
Granada, Spain
April 2019

We are pleased to announce the next
6th International Conference on Food Digestion



in Granada, Spain, 2-4 April 2019