

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



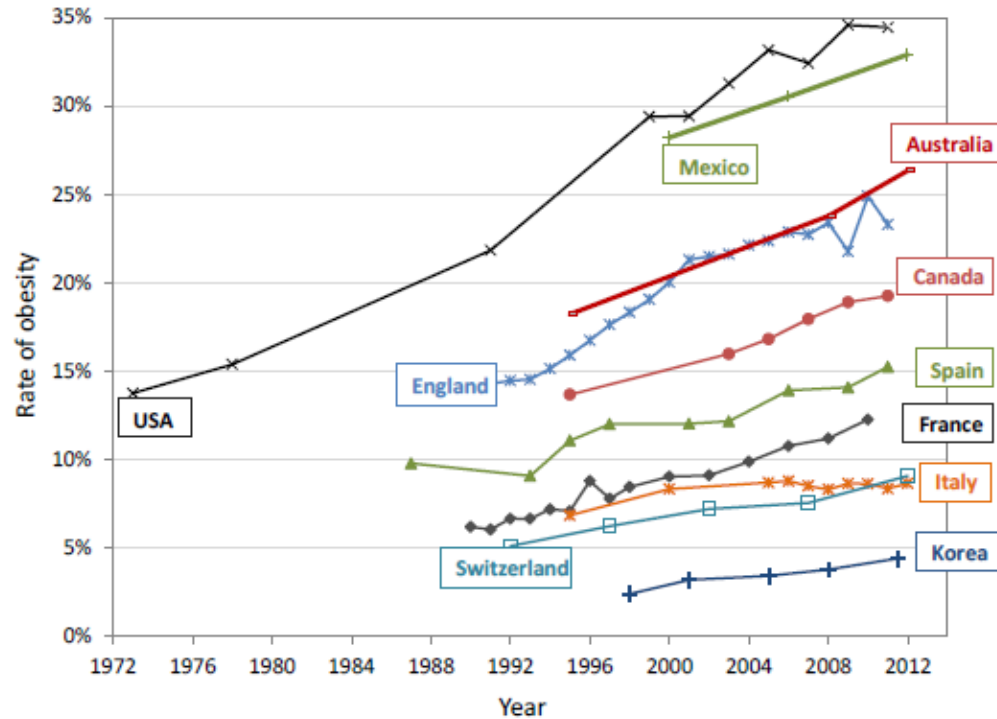
Didier DUPONT

didier.dupont@inra.fr



INRA, UMR STLO Rennes, France

Aliments et santé de l'homme: le role clef du processus digestif

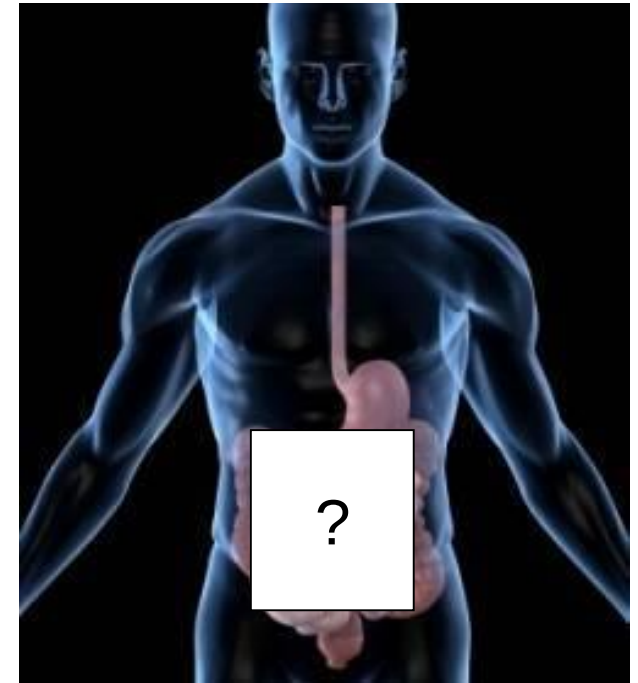


Pathologies liées à l'alimentation ↑
⇒ Prévenir ces pathologies plutôt que les soigner

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

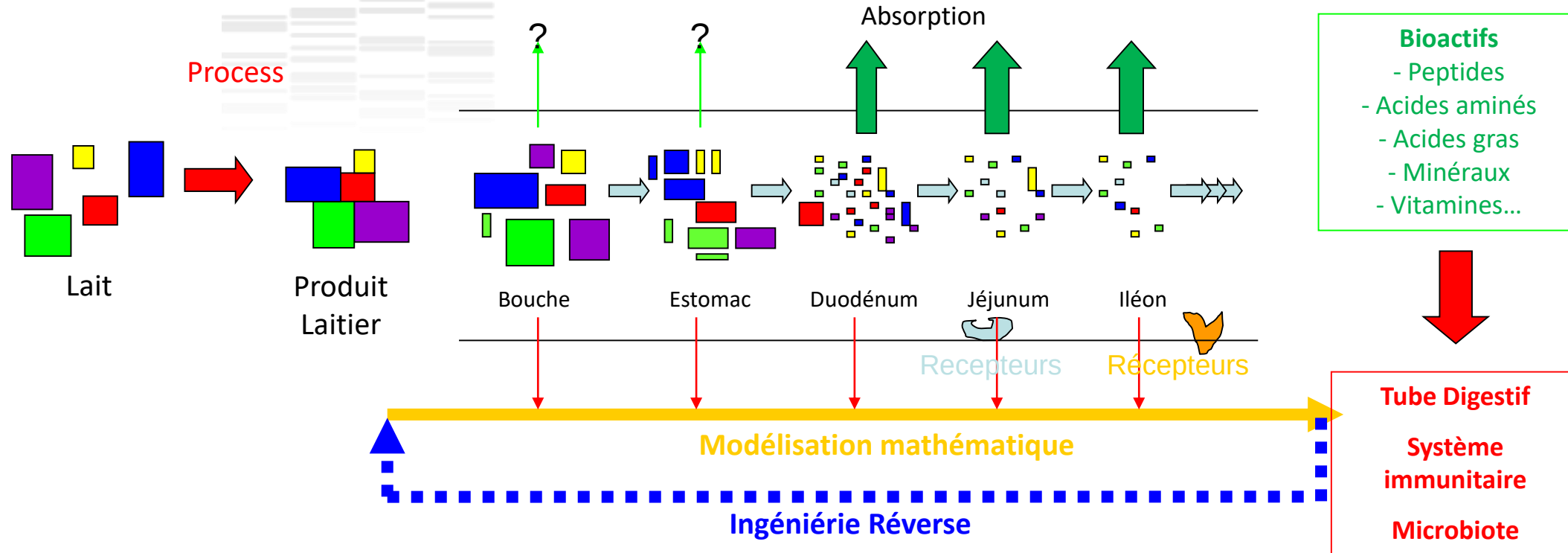
... mais les mécanismes de dégradation de l'aliment dans le tube digestif demeurent inconnus car le processus digestif a été longtemps considéré comme une boîte noire



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

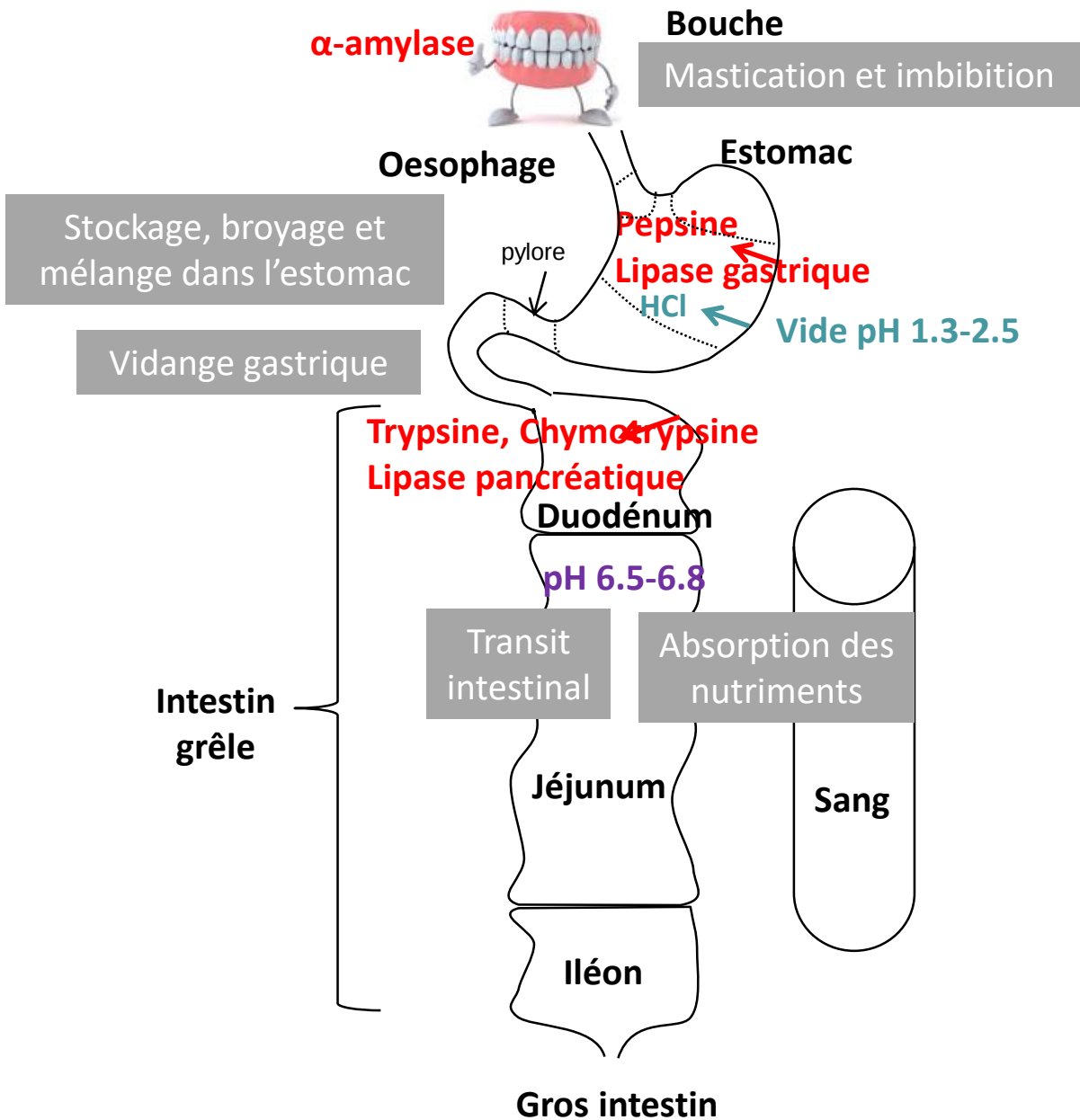
Nos objectifs

Adulte sain / Nouveau-né / Sénior

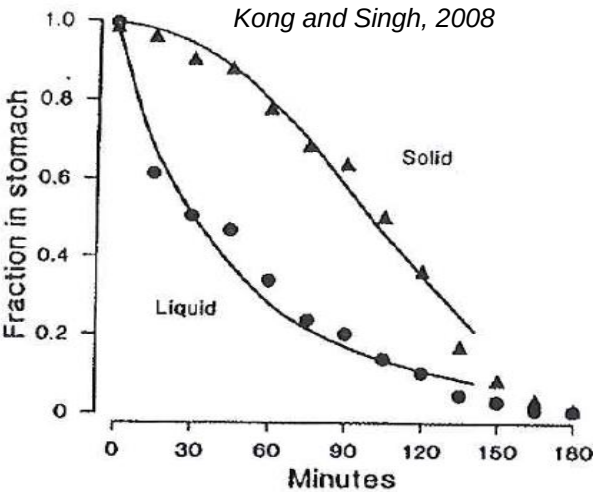


- ☞ Comprendre les mécanismes de dégradation des produits laitiers et des ovo-produits dans le tube digestif et identifier les composés bénéfiques/délétères libérés lors de la digestion
- ☞ Déterminer l'impact de la structure des produits laitiers et ovo-produits sur la biodisponibilité des nutriments
- ☞ 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

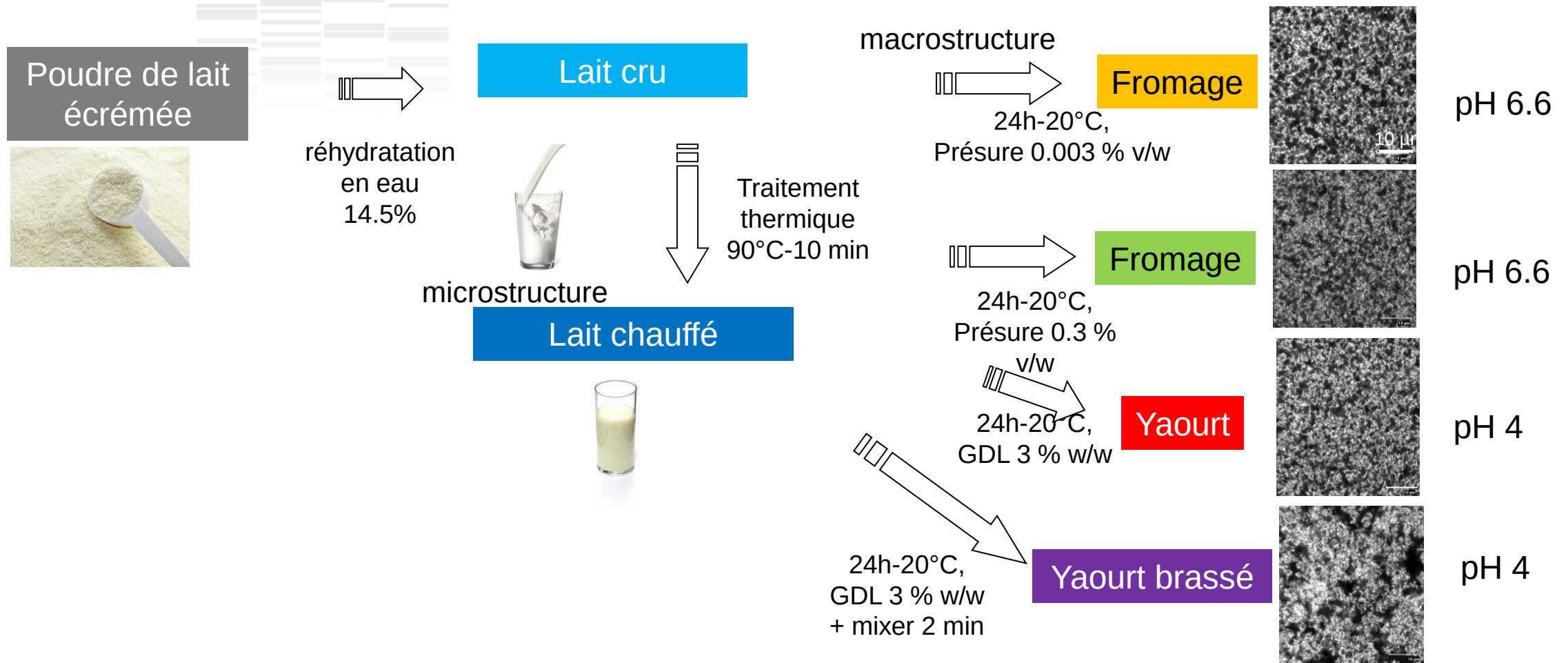


Phase gastrique = une étape complexe mais essentielle dans le processus digestif



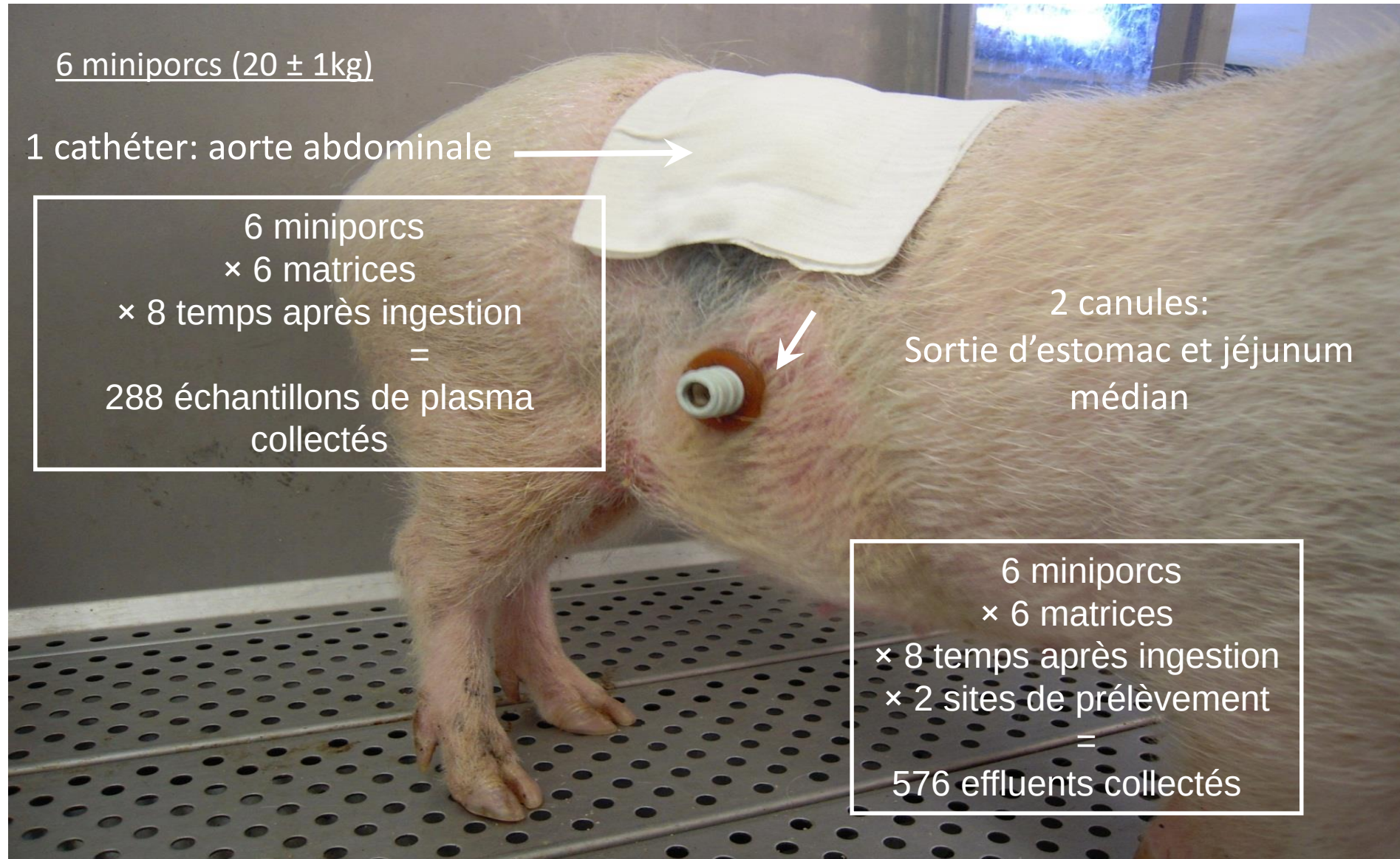
Des produits laitiers de composition identique mais de structure différente présentent-ils les mêmes cinétiques de digestion?

Les matrices laitières étudiées

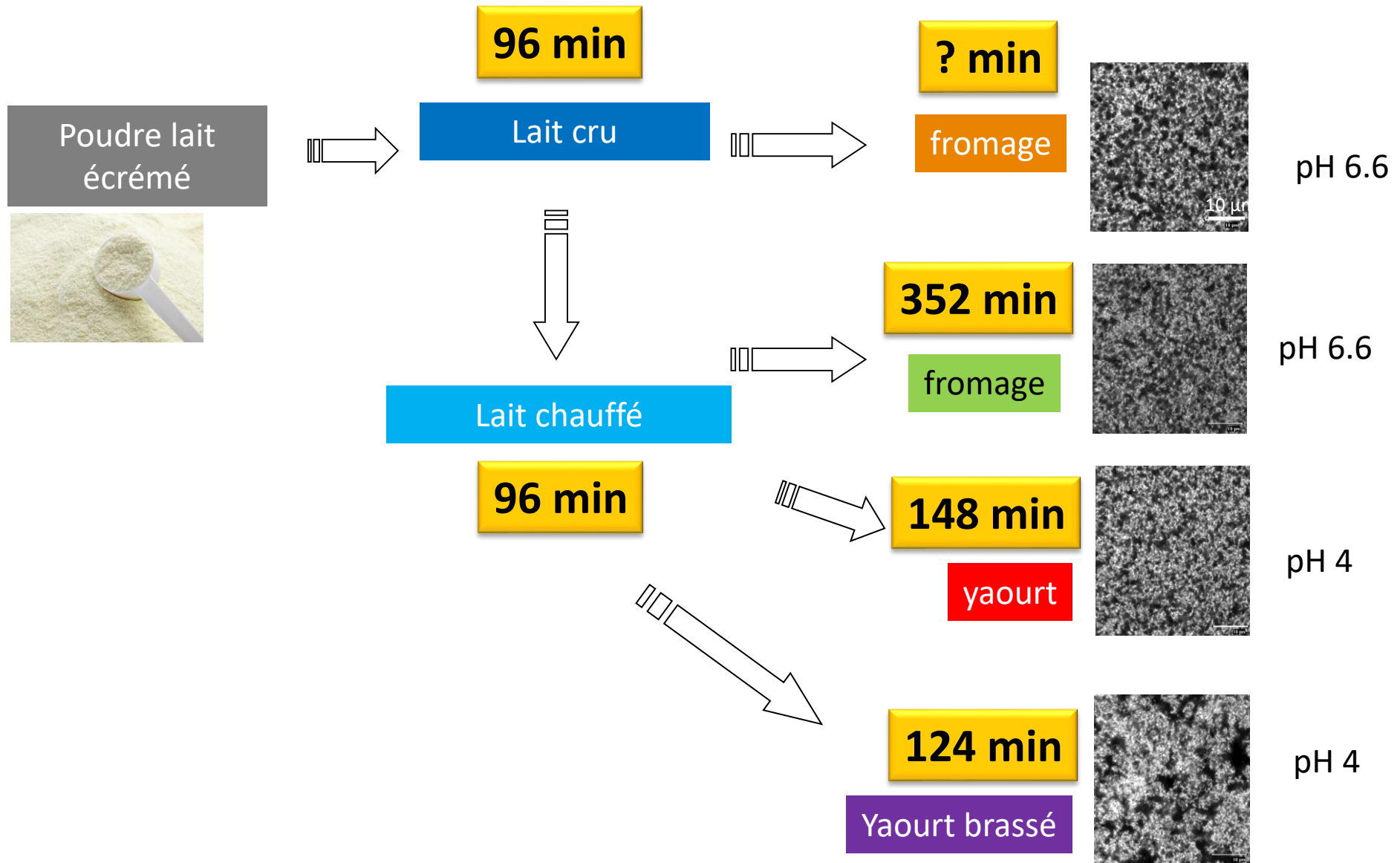


Matrices protéiques: 40 g/L caséines, 10 g/L protéines sériques, 95 g/L lactose et minéraux + marqueur non absorbable (Cr^{2+} -EDTA) → Temps de $\frac{1}{2}$ vidange gastrique

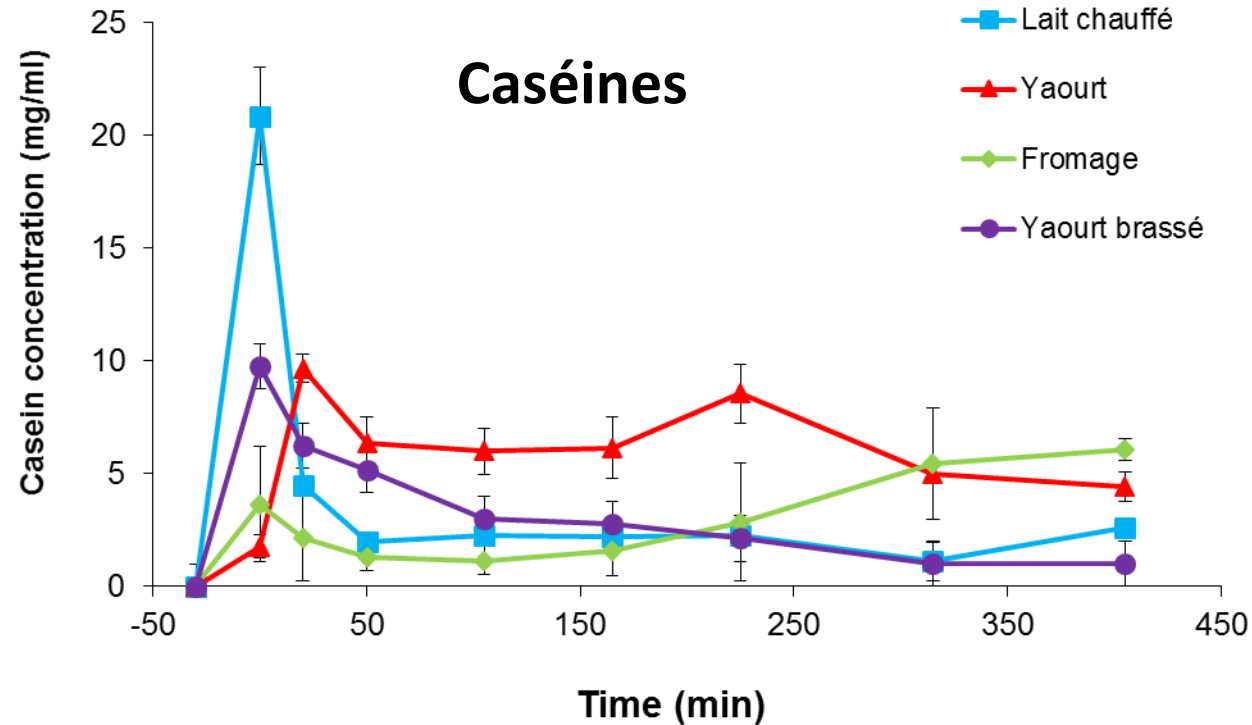
Le modèle animal: mini-porcs multi-canulés et cathétérisés



Impact de la structure sur le temps de ½ vidange gastrique



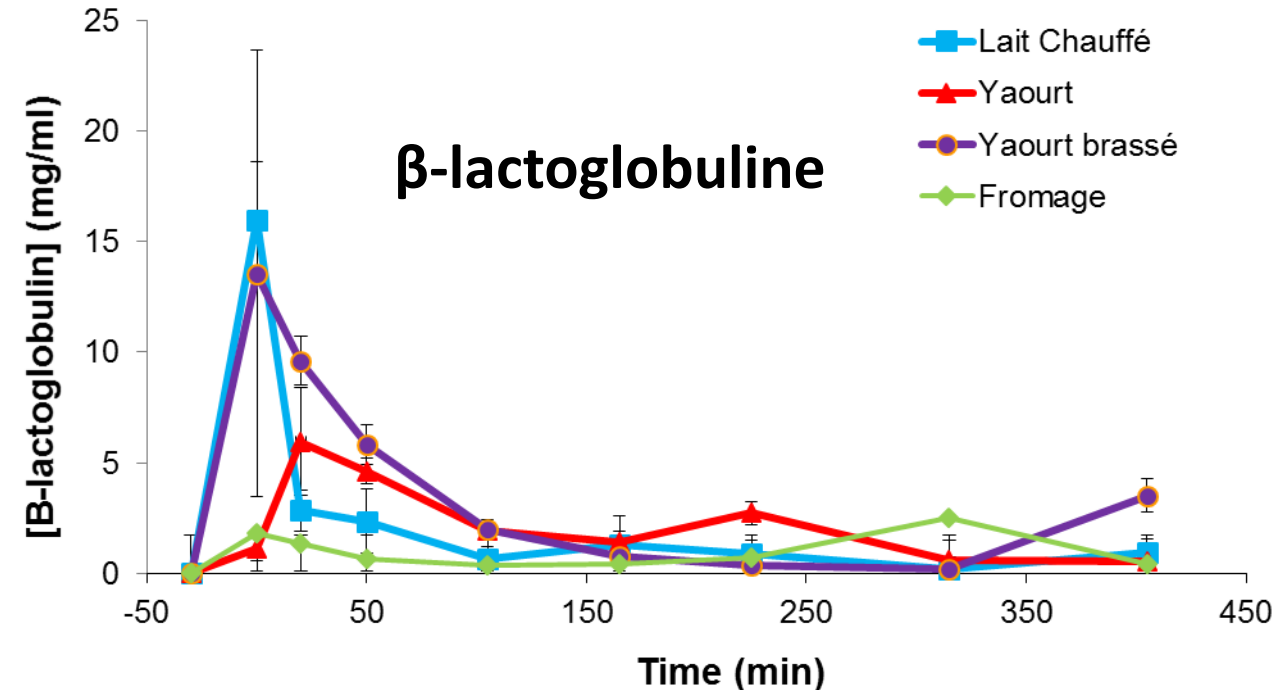
Concentration des protéines laitières dans le duodénum (ELISA)



- 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

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

Barbé et al. 2013, 2014
Food Chem



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

Protein	Sequence	Activity	Reference	4	20	50	105	165	225	315
αs1	1-23	EMUL	Shimizu et al. (1984)	■						
αs1	23-34	HYP	Maruyama & Suzuki (1982)	■	■					
αs1	30-45	MB	Meisel et al. (1991)		■					
αs1	40-52	MB	Adamson & Reynolds (1996)				■	■	■	■
αs1	43-58	MB	Meisel et al. (1991)	■	■	■				
αs1	91-100	STRE	Miclo et al. (2001)	■	■					
αs1	99-109	MIC	McCann et al. (2006)	■		■	■	■	■	
αs1	167-180	MIC	Hayes et al. (2006)				■	■	■	■
αs1	180-193	MIC	Hayes et al. (2006)	■	■	■	■	■	■	■
αs2	1-24	MB	Miquel et al. (2005)	■	■					
αs2	124-146	MB	Miquel et al. (2005)				■	■	■	■
αs2	183-206	TRAN	Kizawa et al. (1996)			■	■	■	■	■
αs2	183-207	MIC	Recio & Visser (1999)			■	■	■	■	■
αs2	189-197	HYP	Maeno et al. (1996)	■	■	■	■	■	■	■
αs2	190-197	HYP	Maeno et al. (1996)	■	■					
β	1-24	MB	Bouhallab et al. (1999)	■	■					
β	33-52	MB	Miquel et al. (2005)	■	■					
β	60-80	OPI	Jinsmaa & Yoshikawa (1999)				■	■	■	■
β	98-105	OXI	Rival et al. (2001)	■	■	■				
β	114-119	OPI	Jinsmaa & Yoshikawa (1999)				■	■	■	■
β	132-140	HYP	Robert et al. (2004)	■	■	■	■	■	■	■
β	192-209	IMM	Coste et al. (1992)	■	■		■	■	■	■
β	193-202	IMM	Kayser & Meisel (1996)	■	■		■	■	■	■
β	193-209	IMM	Coste et al. (1992)	■	■		■	■	■	■
κ	18-24	HYP	Lopez-Exposito et al. (2007)	■	■	■	■	■	■	■
κ	106-116	THR	Jolles et al. (1986)	■	■	■	■	■	■	■
β-lg	32-40	HYP	Pihlanto-Leppala et al. (2000)			■	■	■	■	■
β-lg	92-100	MIC	Pellegrini et al. (2001)			■				
β-lg	142-148	HYP	Mullally et al. (1997)				■			

Protein	Sequence	Activity	Reference	4	20	50	105	165	225	315
αs1	40-52	MB	Adamson & Reynolds (1996)							■
αs1	43-58	MB	Meisel et al. (1991)	■	■					■
αs1	99-109	MIC	McCann et al. (2006)				■	■		
αs1	167-180	MIC	Hayes et al. (2006)				■	■	■	■
αs1	180-193	MIC	Hayes et al. (2006)	■	■	■	■	■	■	■
αs2	1-24	MB	Miquel et al. (2005)	■	■					
αs2	189-197	HYP	Maeno et al. (1996)	■	■					
β	33-52	MB	Miquel et al. (2005)	■	■					
β	166-175	HYP	Hayes et al. (2007)				■	■	■	■
β	193-202	IMM	Kayser & Meisel (1996)				■	■	■	■
β-lg	92-100	MIC	(8)	■	■					
β-lg	142-148	HYP	(9)							■

Fromage

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

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

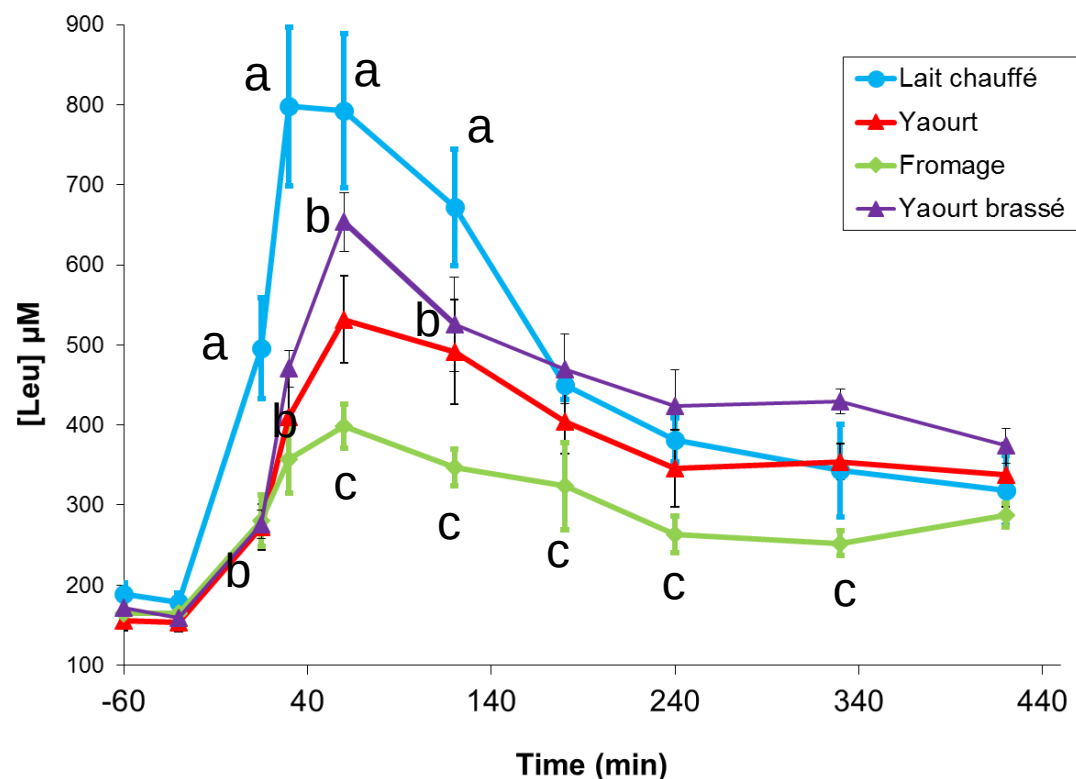
Barbé et al. 2014
Food Res Int

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

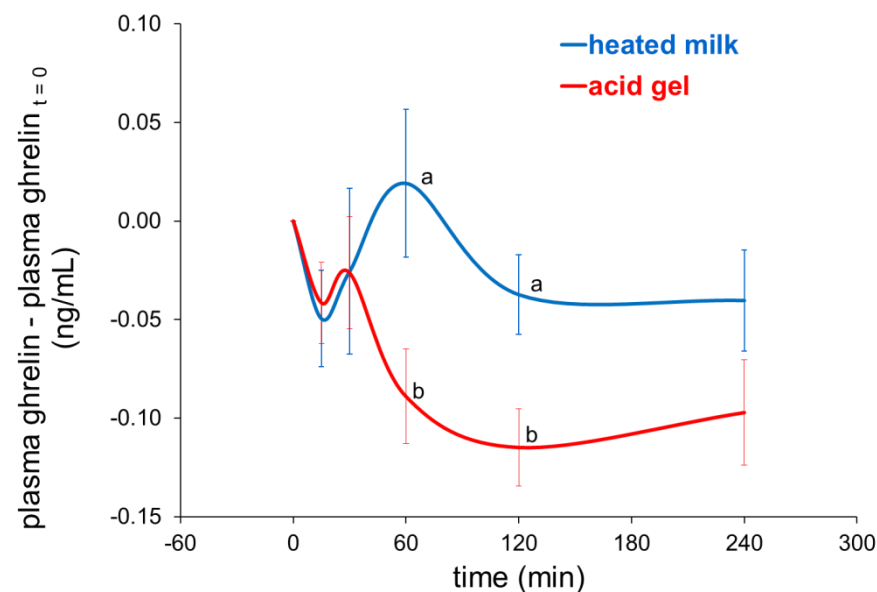
Effet sur l'absorption



Gélification: $\rightarrow$ transit des protéines retardé $\rightarrow$ absorption des AA retardée
 $\searrow$ concentration maximale des AA dans le plasma

Effet potentiel sur la satiété

ghréline (hormone gastro-intestinale $\rightarrow$ stimulation de l'appétit)



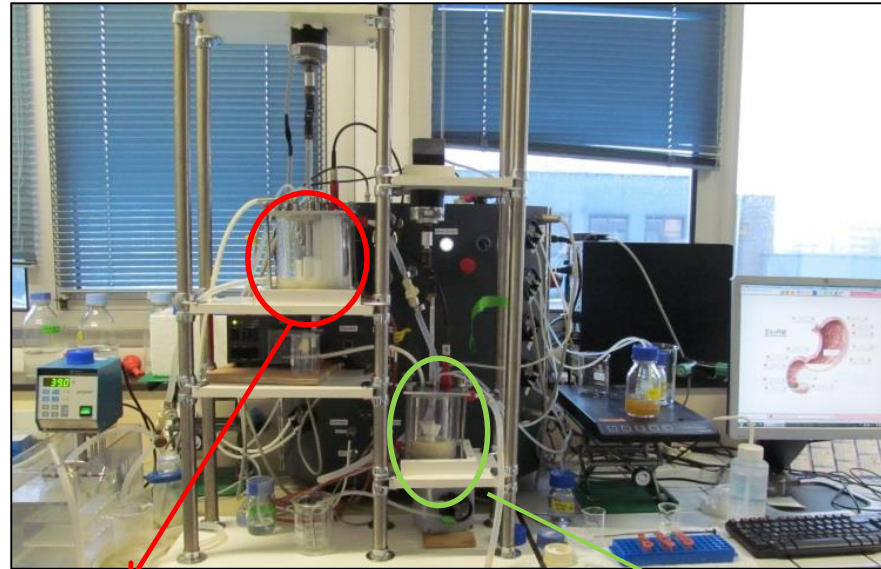
Gélification: $\searrow$ concentration postprandiale ghréline =
 $\nearrow$ satiété ?

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

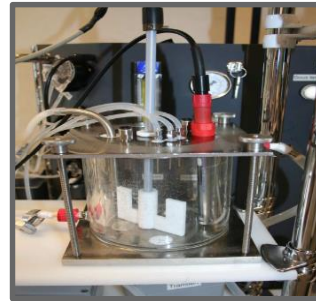
**Ménard *et al.*
Food Chem 2014**



DIDGI®

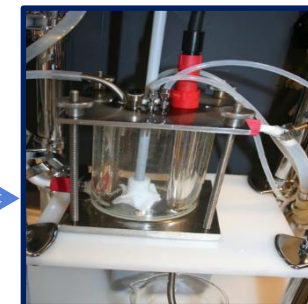
Logiciel StoRM®

Estomac



- Pepsine
- Lipase gastrique
- Fluide gastrique simulé
- HCl

Intestin Grêle



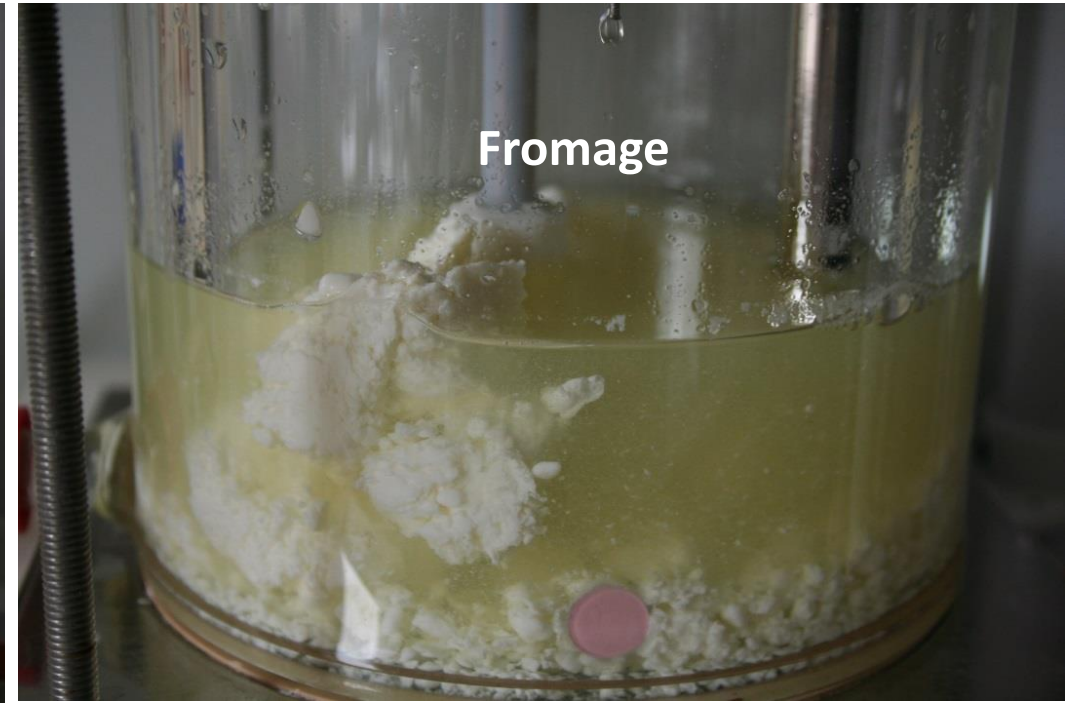
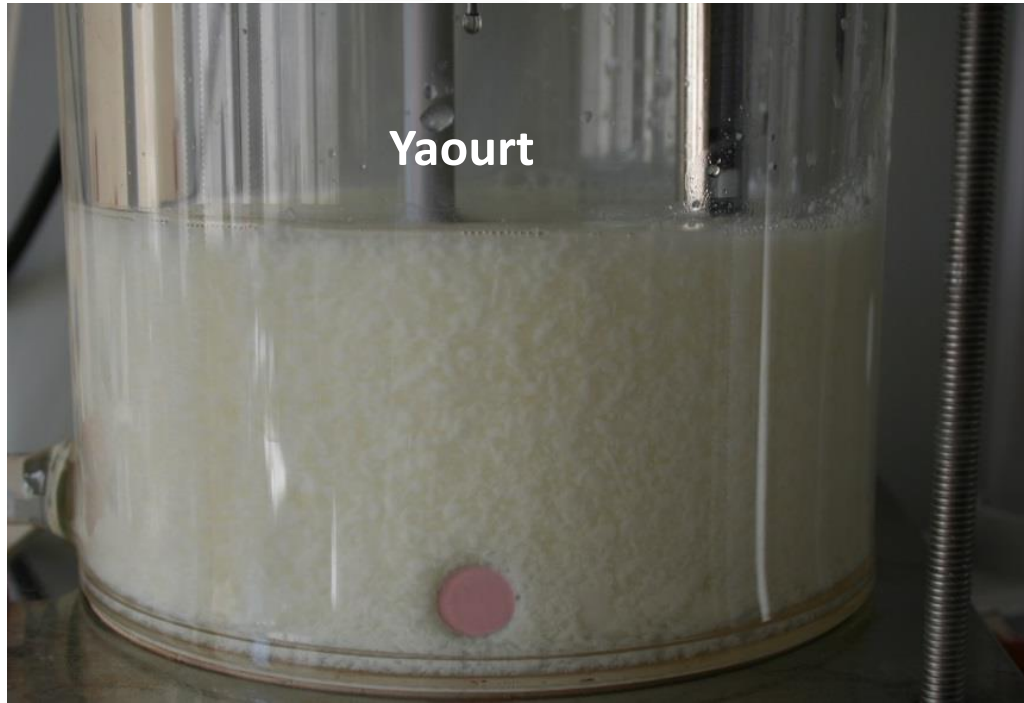
- Pancréatine
- Bile
- Fluide intestinal simulé
- NaHCO₃

Vidange :
Modèle d'Elashoff

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



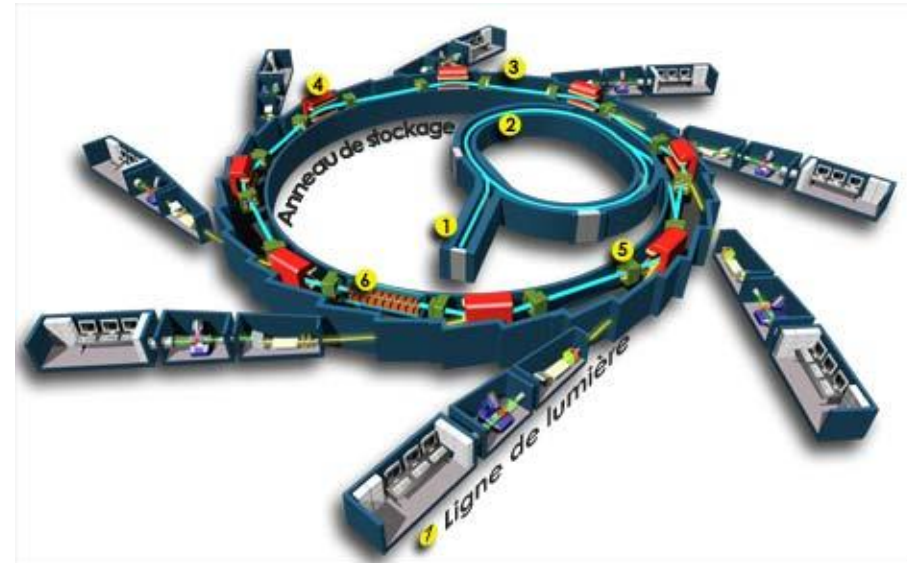
Comprendre les mécanismes de dégradation des particules de gels laitiers dans l'estomac

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



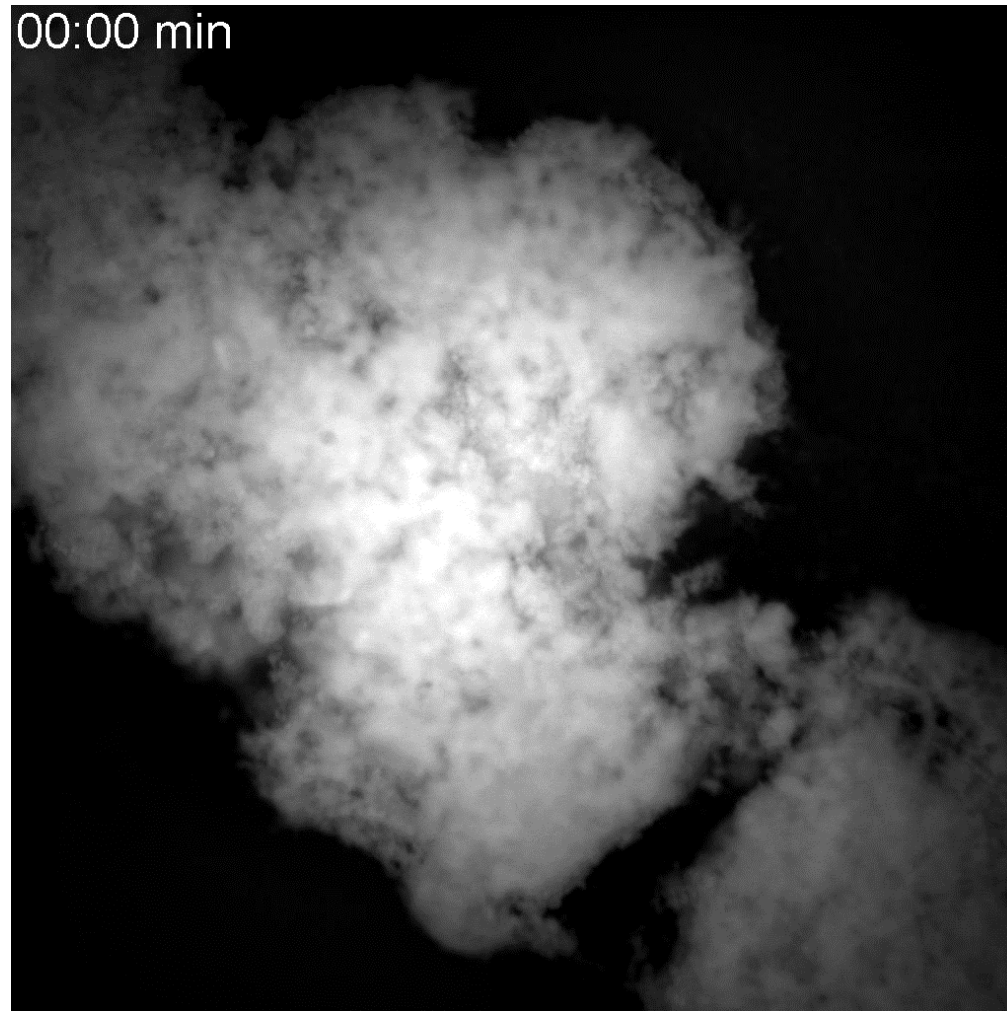
DISCO est un faisceau de lumière allant de l'UV au visible. La région spectrale est optimale entre 60 et 700 nm avec conservation de la polarisation naturelle de la lumière

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

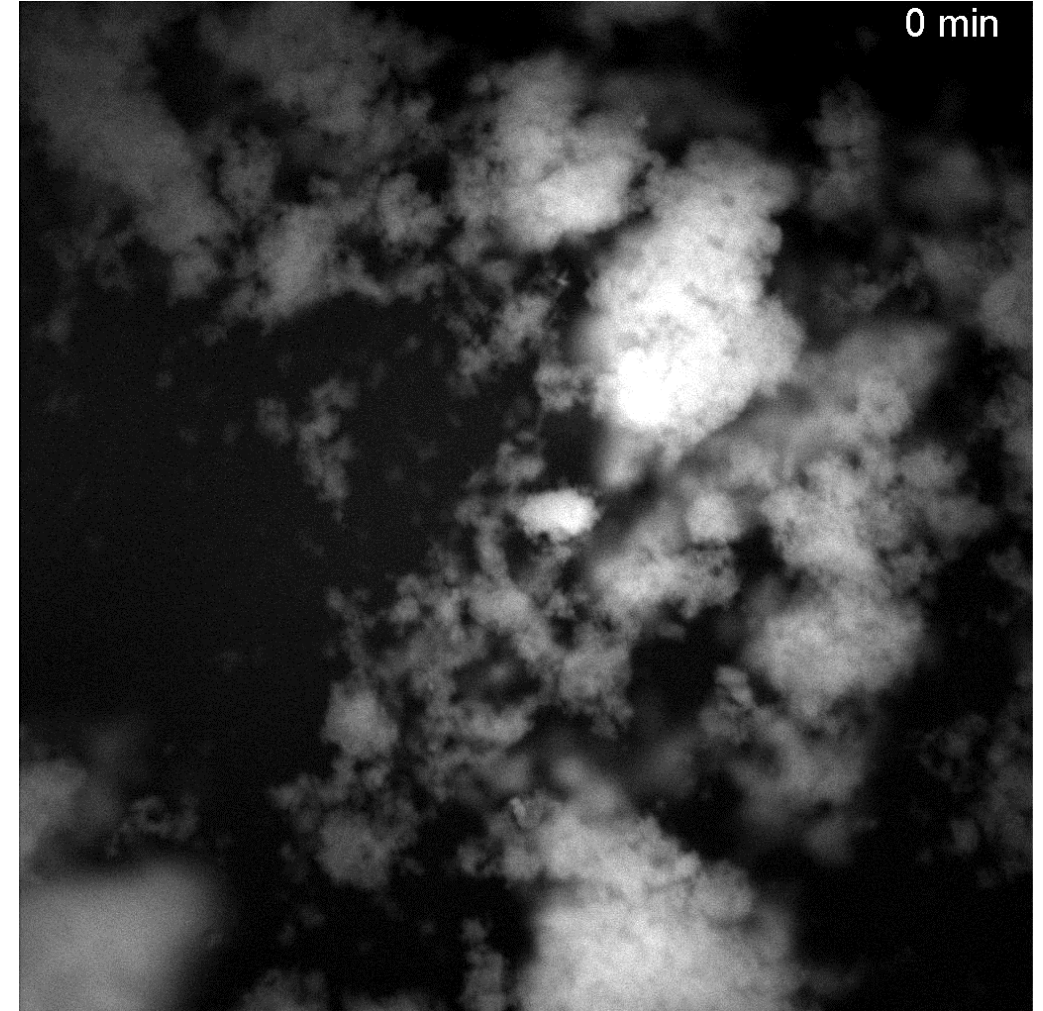


Cinétiques de désintégration des particules de gel

Floury et al.
Food Chem. 2017



Fromage



Yaourt



Effets des procédés technologiques sur la digestion du lait maternel





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



Quand impossible



- 👉 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

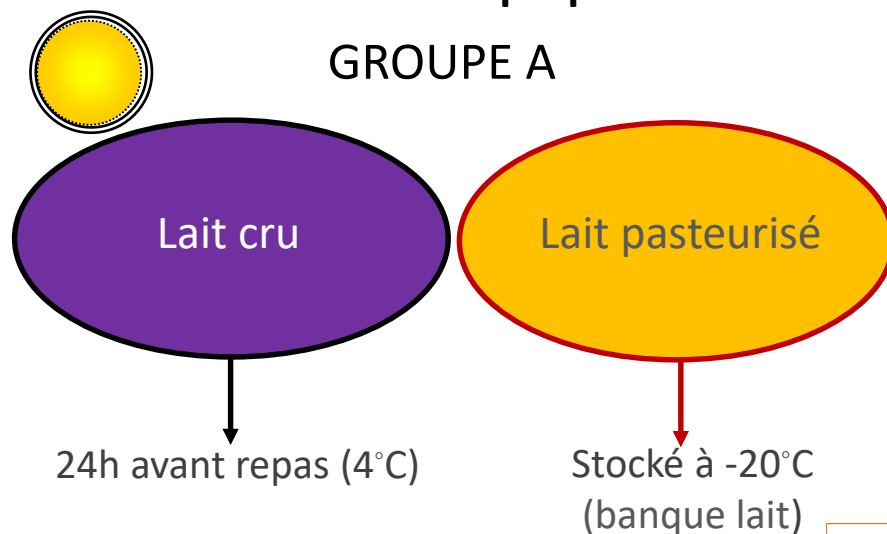


Prématurés hospitalisés
nourris toutes les 3h via une
sonde naso-gastrique

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

Lait humain de leur **propre mère**

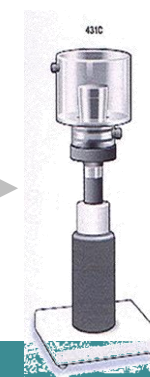
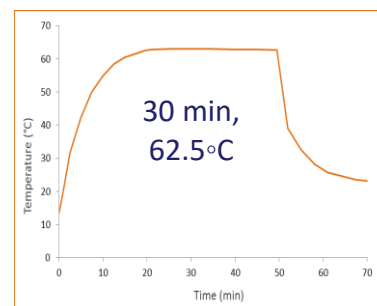
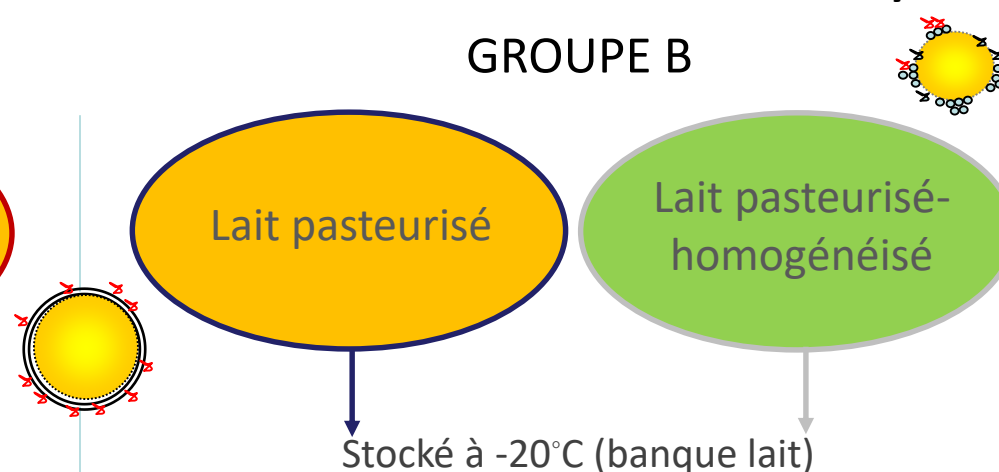
GROUPE A



Traitement thermique de Holder

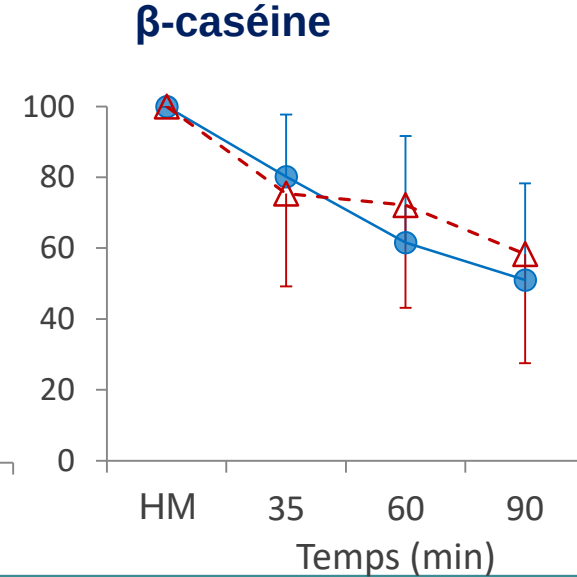
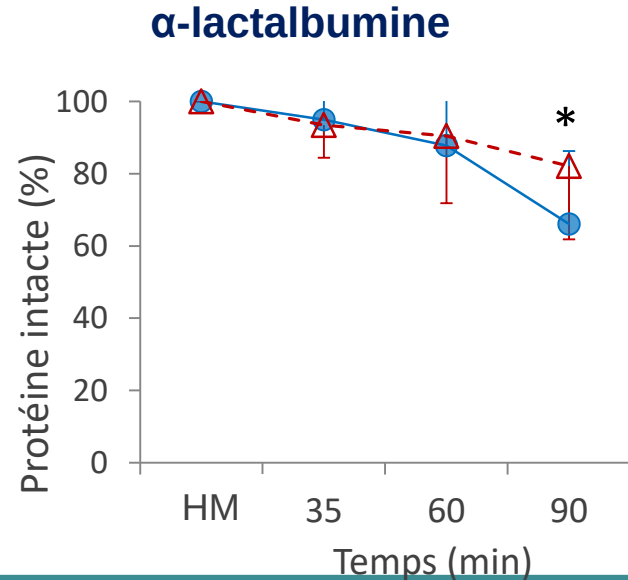
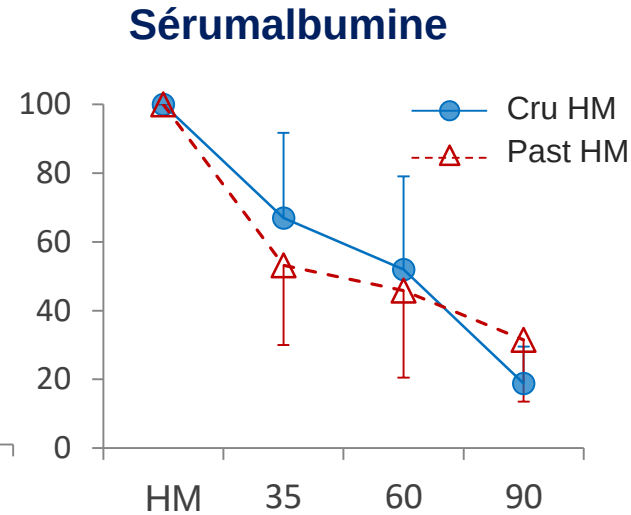
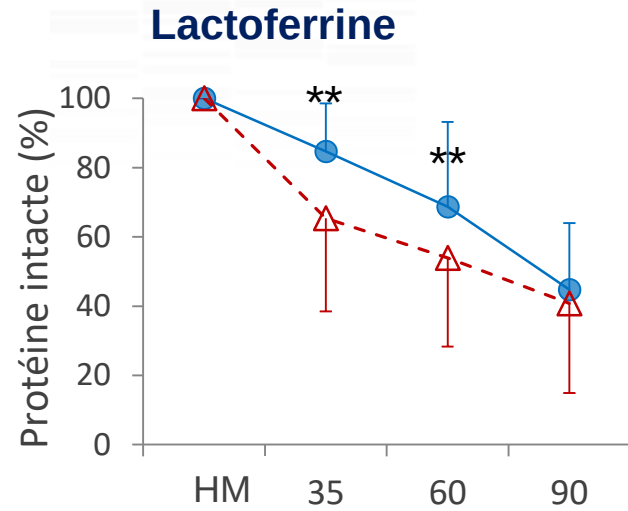
Lait humain d'une **donneuse anonyme**

GROUPE B



Homogénéisation
par sonication

La pasteurisation impacte la protéolyse gastrique de façon sélective

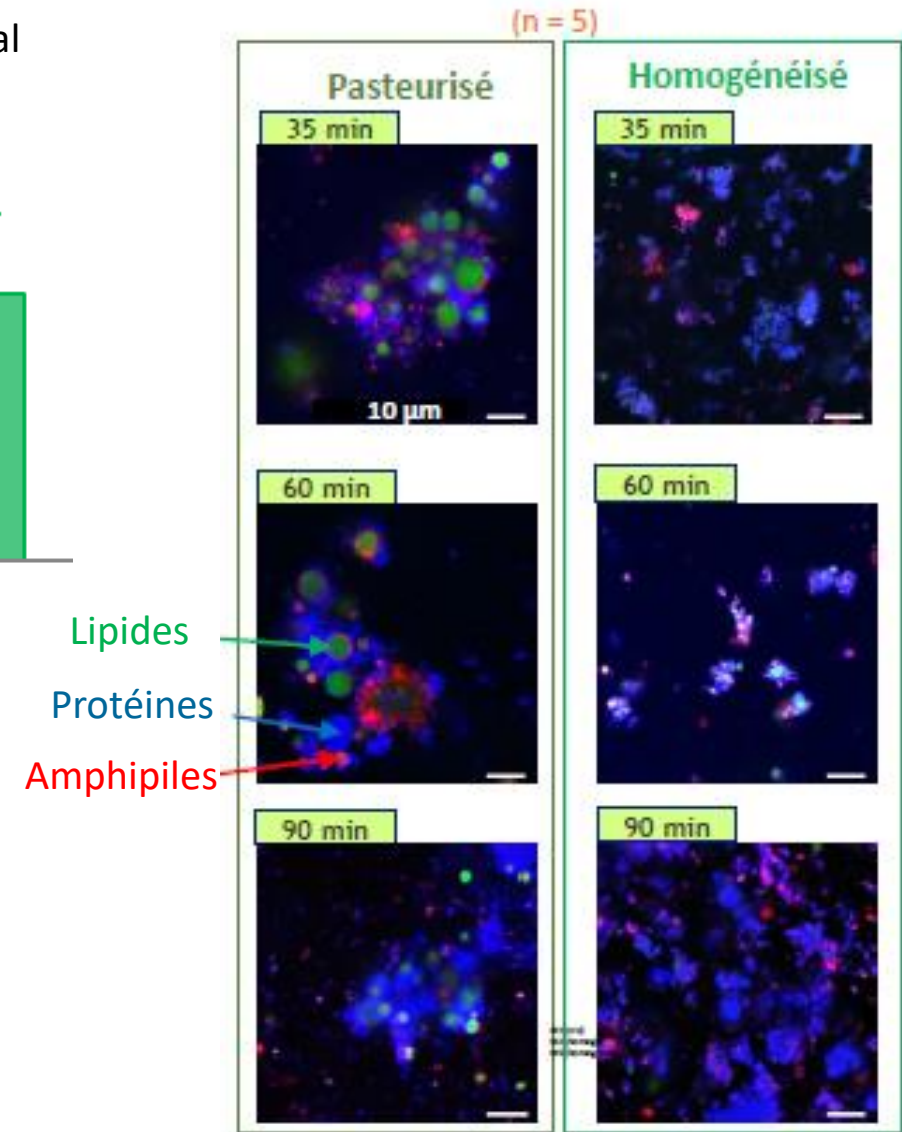
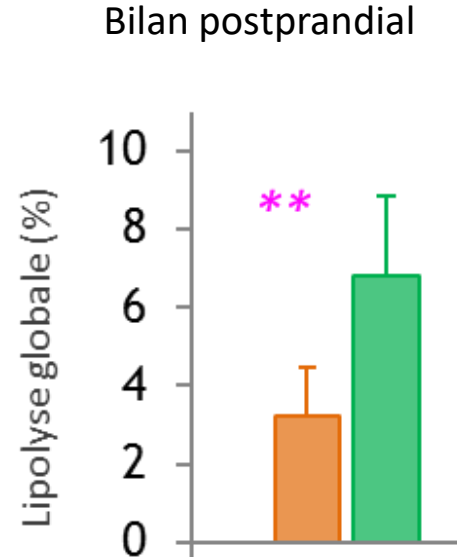
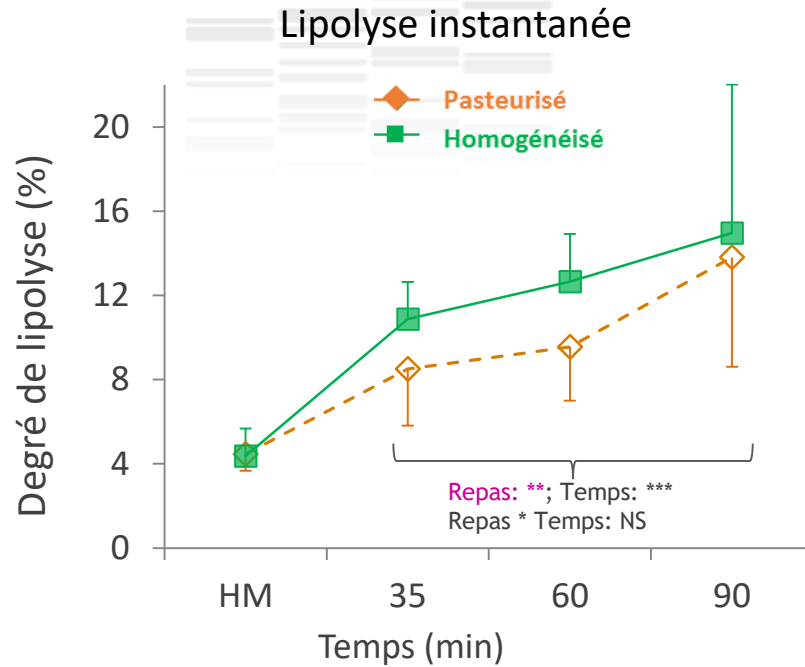


→ Hydrolyse plus rapide de la lactoferrine après pasteurisation

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

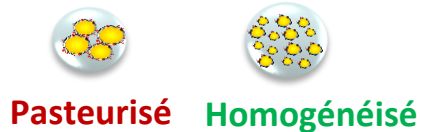
Quel est l'impact sur les qualités protectives de la lactoferrine native?

Impact de l'homogénéisation sur la lipolyse gastrique



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



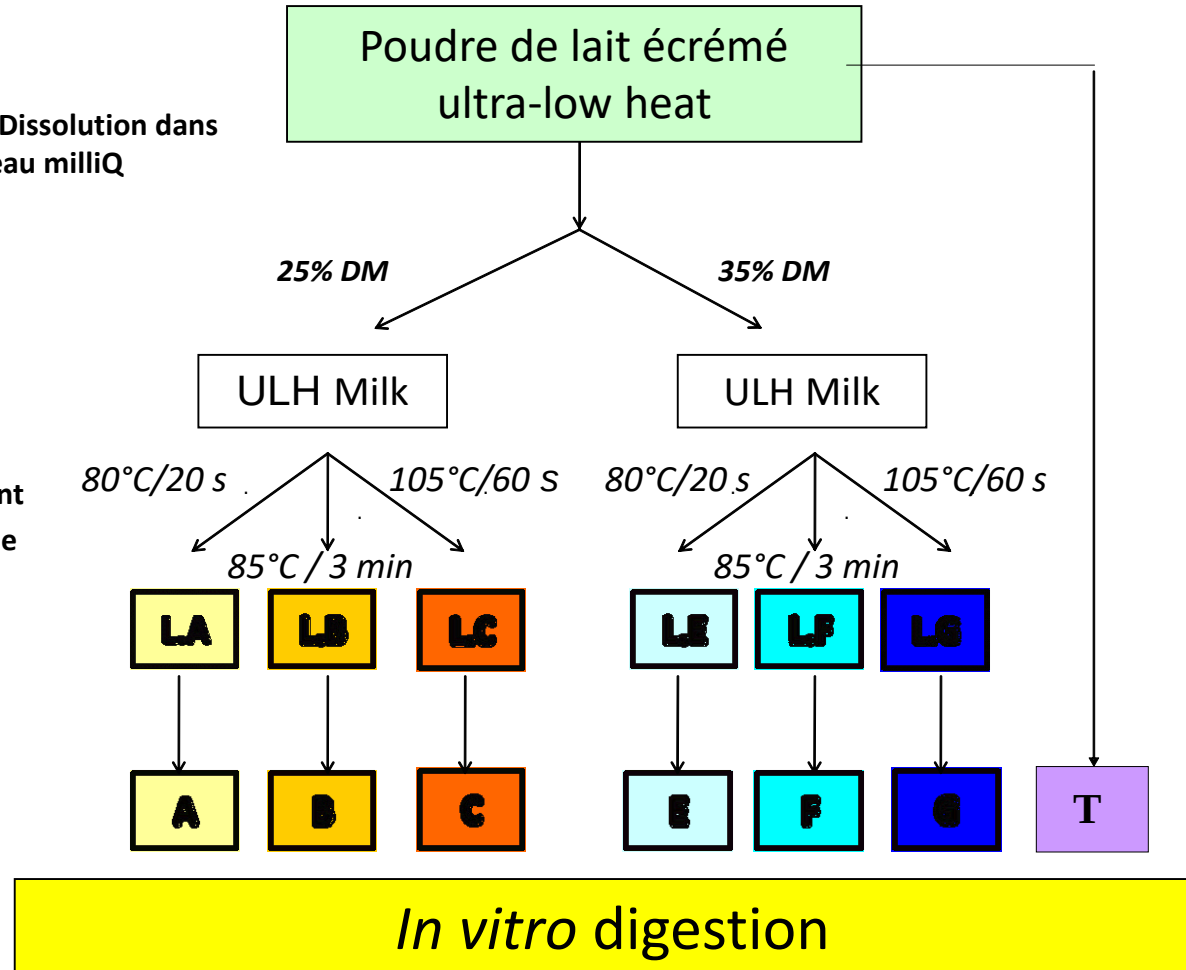
Step 1 : Dissolution dans eau milliQ



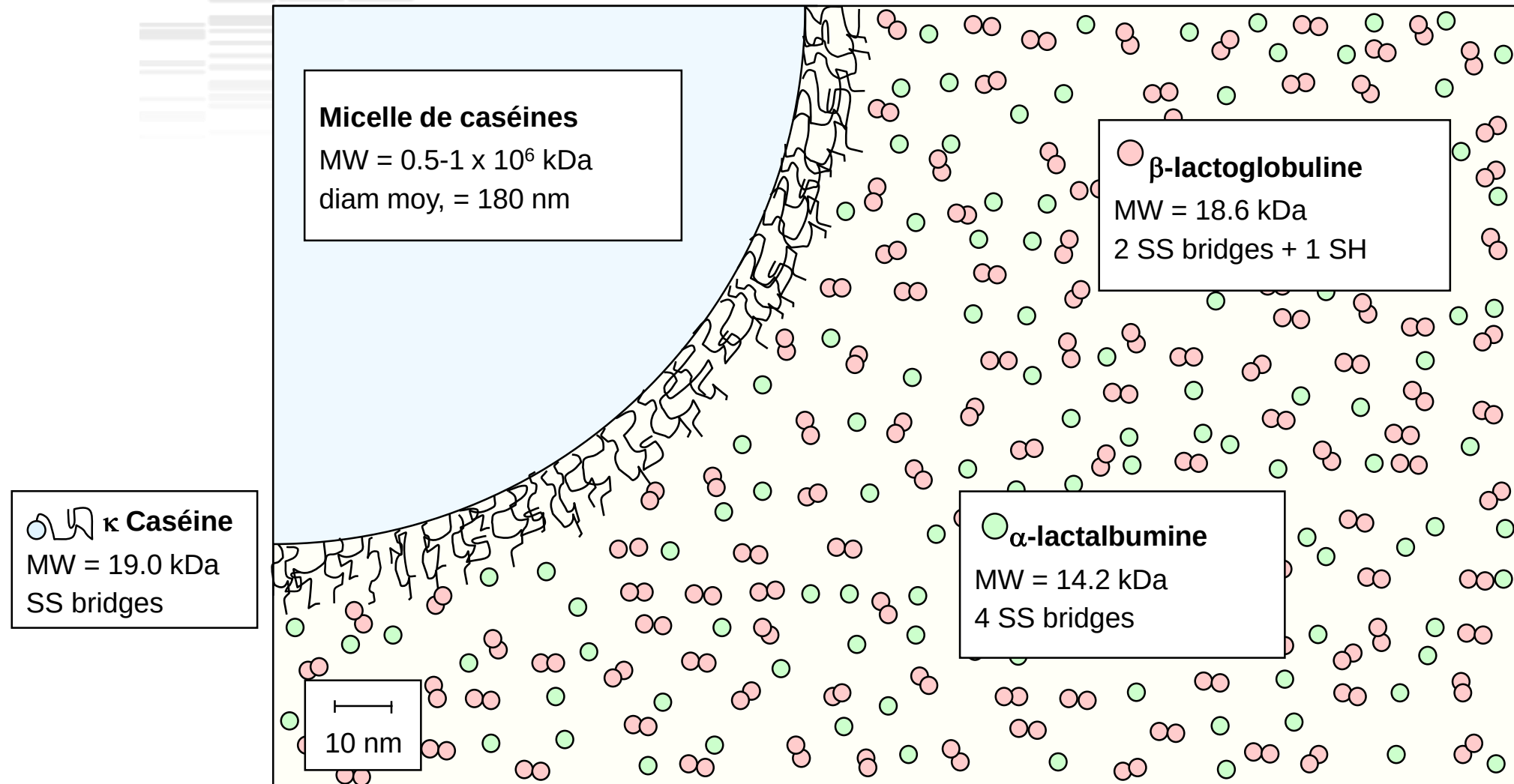
Step 2 :
Traitement
thermique



Step 3 :
Séchage

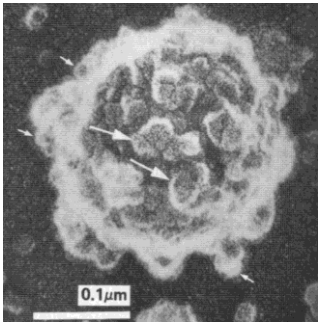
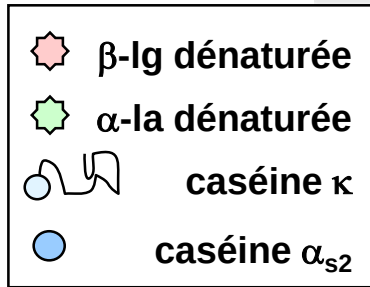


Agrégation thermique des protéines sériques sur la micelle de caséines

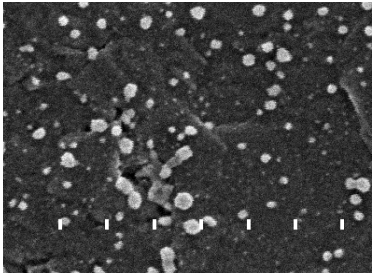


Représentation schématique de la situation dans le lait cru

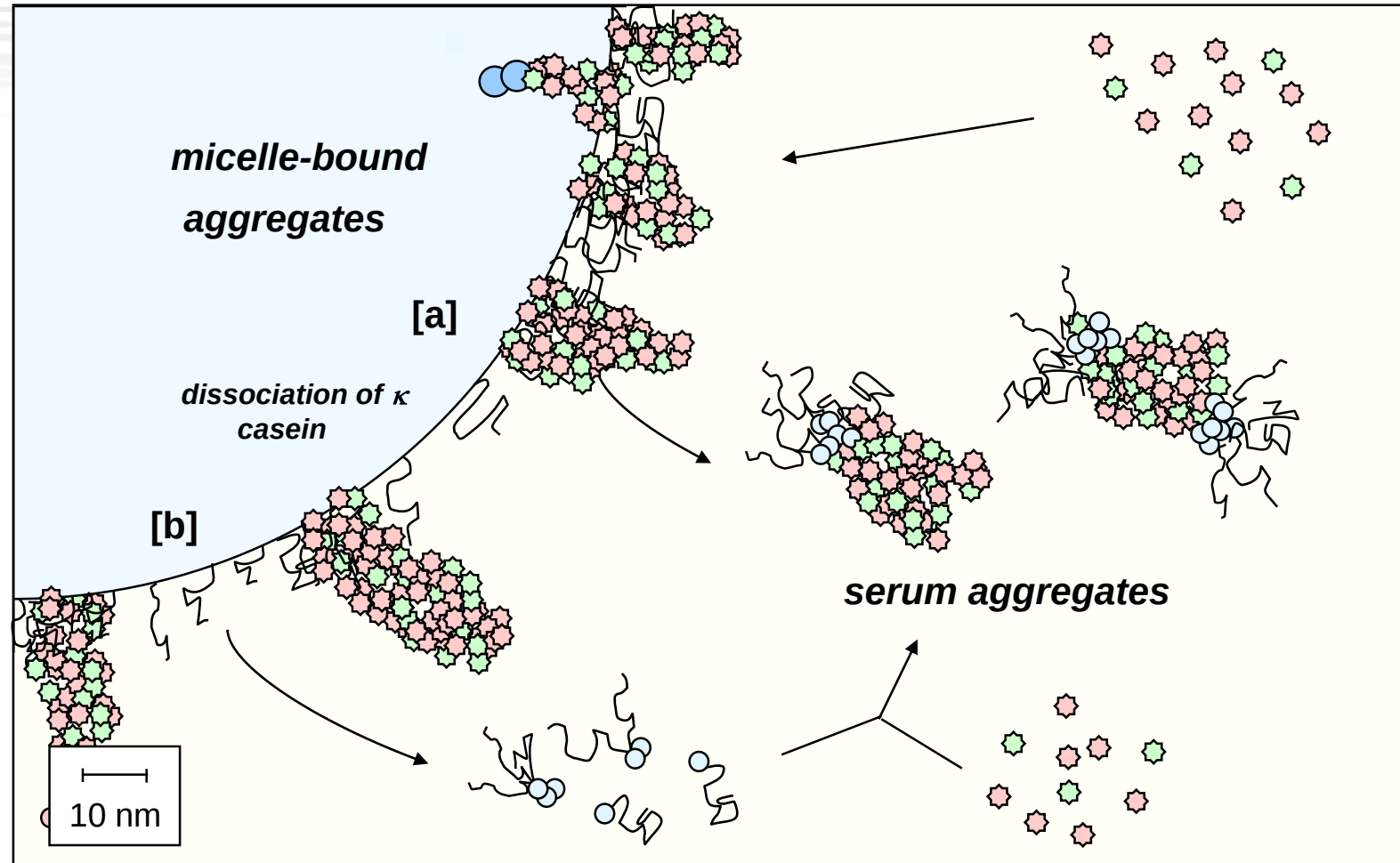
Agrégation thermique des protéines sériques sur la micelle de caséines



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 HIOLE (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