

# Comprendre et utiliser la structure des aliments

pour améliorer leurs qualités nutritionnelles et sensorielles

► Mardi 13 mai 2014



# La structure des matrices laitières module les cinétiques d'hydrolyse des protéines et la biodisponibilité des acides aminés

**Dupont D.**<sup>1</sup>, Ménard O.<sup>1</sup>, Le Feunteun S.<sup>2</sup>, Laroche B.<sup>3</sup>, Rémond D.<sup>4</sup>

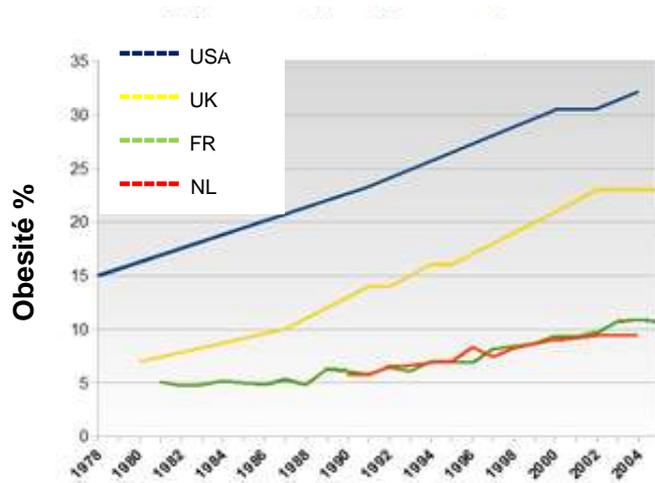
1 INRA Agrocampus Ouest – UMR STLO, Rennes

2 INRA AgroParisTech – UMR GMPA, Grignon

3 INRA – UR MIA, Jouy-en-Josas

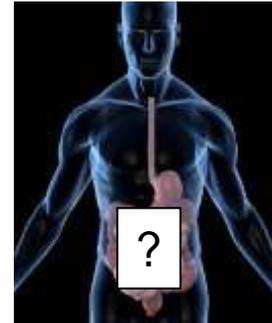
4 INRA UNH, Clermont-Ferrand

# Contexte scientifique



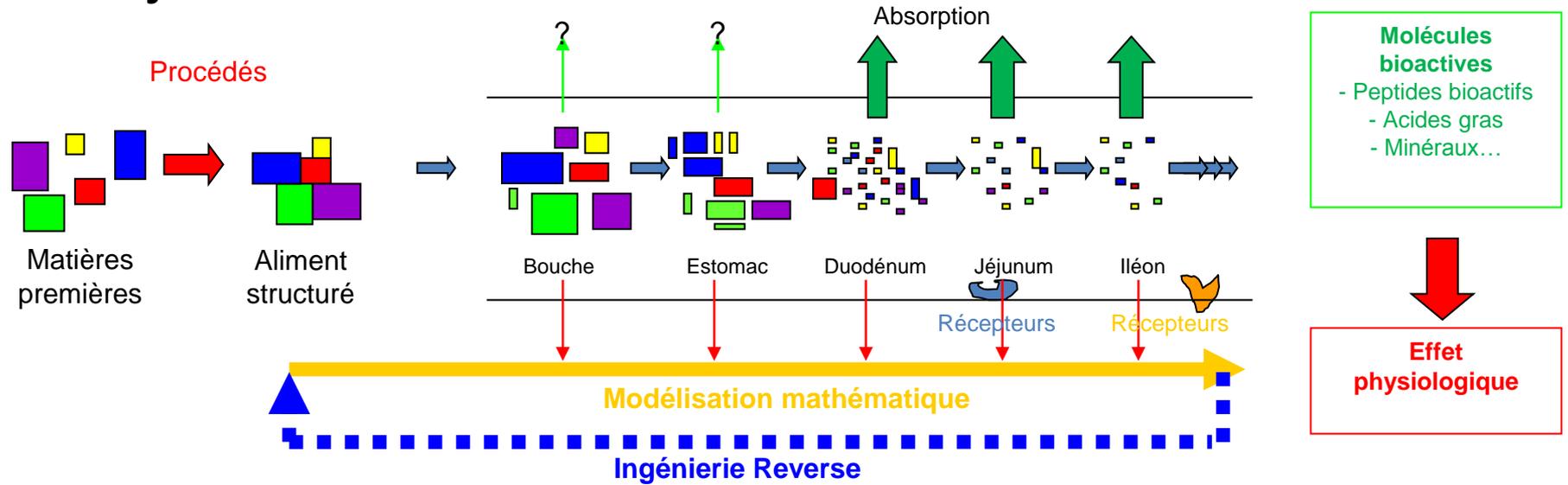
Pathologies liées à l'alimentation ↑  
↳ Prévenir leur développement plutôt que d'avoir à les guérir

Tube digestif = interface entre l'aliment et le corps humain  
Digestion délivre des molécules pouvant avoir un effet bénéfique ou délétère sur la santé de l'homme



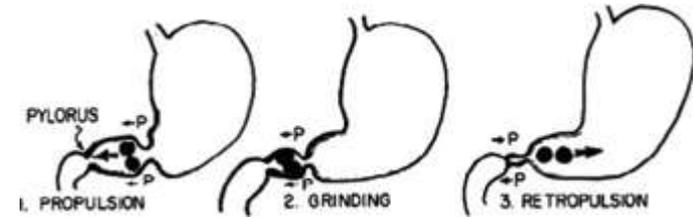
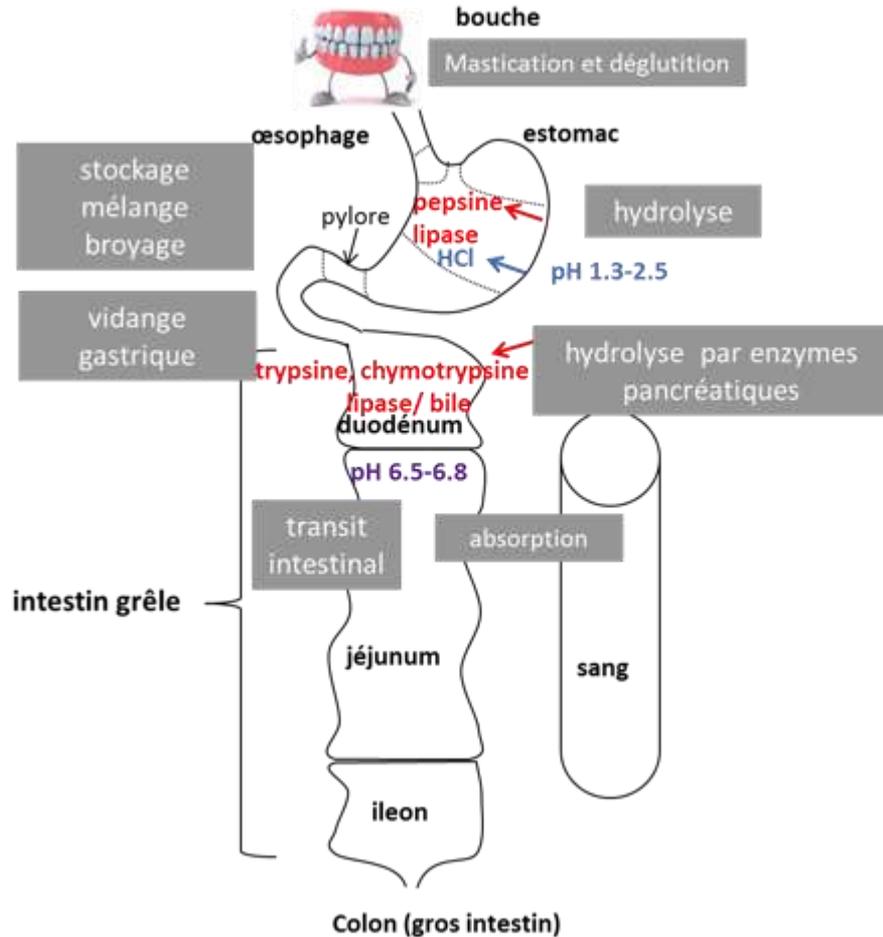
**Connaître les mécanismes de déconstruction de l'aliment dans le tube digestif nous permettra d'étayer l'impact de l'aliment sur la santé de l'homme**

# Nos objectifs

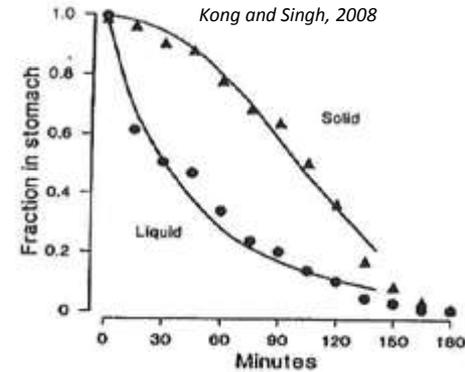


- ☞ Comprendre les mécanismes de déconstruction de l'aliment et de ses constituants dans le tube digestif et identifier les molécules bénéfiques libérées au cours de la digestion
- ☞ Déterminer l'impact de la structure de l'aliment sur ses mécanismes de déconstruction
- ☞ Modéliser ces phénomènes pour développer une démarche d'ingénierie reverse

# Le processus digestif



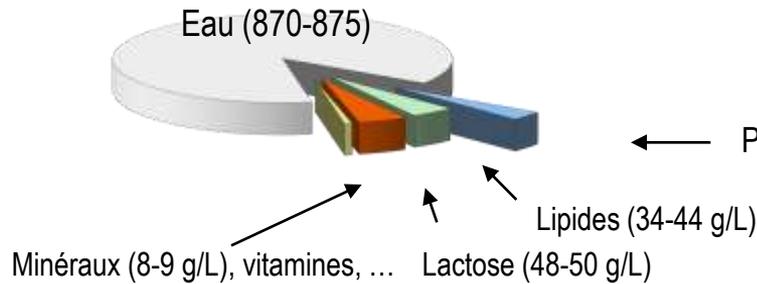
Kong and Singh, 2008



Kong and Singh, 2008

→ Quelles sont les étapes-clé qui régulent la biodisponibilité des nutriments?

# Le Lait



Caséines (80%)  
 $\alpha_{S1}$ ,  $\alpha_{S2}$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$

Protéines (32-35 g/L)

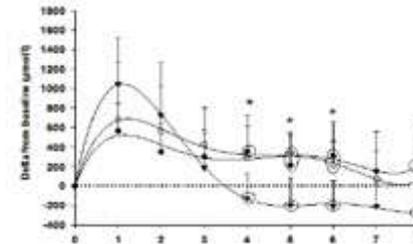
Protéines sériques (20%)  
 $\alpha$ -la,  $\beta$ -lg

Les caséines et protéines sériques sont:

- Opposées au niveau structural (globulaire/flexible)
- Métabolisées différemment (rapides/lentes)
- Très digestibles (>95%)
- Excellentes sources d'acides aminés indispensables
- Le lait peut-être transformé en de multiples produits de composition similaire mais de structure différente (liquides, gels, solides)



Total amino acid



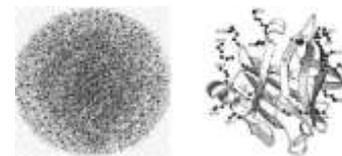
• whey protein  
• casein  
• Total milk protein

# La structure des produits laitiers modifie-t-elle leur digestion?

**Comprendre et modéliser la digestion de matrices laitières chez le mini-porc en fonction de leur structure à différents niveaux d'échelle**

Impact sur:

- 1) Le transit et la protéolyse dans le tube digestif ?
- 2) La libération de peptides bioactifs dans la lumière du tube digestif ?
- 3) Le flux d'acides aminés dans le compartiment sanguin ?



Protéines laitières  
(caséines,  $\beta$ -lactoglobuline)



peptides



Acides aminés

# Stratégie expérimentale

Modélisation dynamique du transit et de l'absorption des protéines lactières

6 matrices lactières de composition identique mais de structure différente



Digestion *in vivo* par 6 mini-porcs



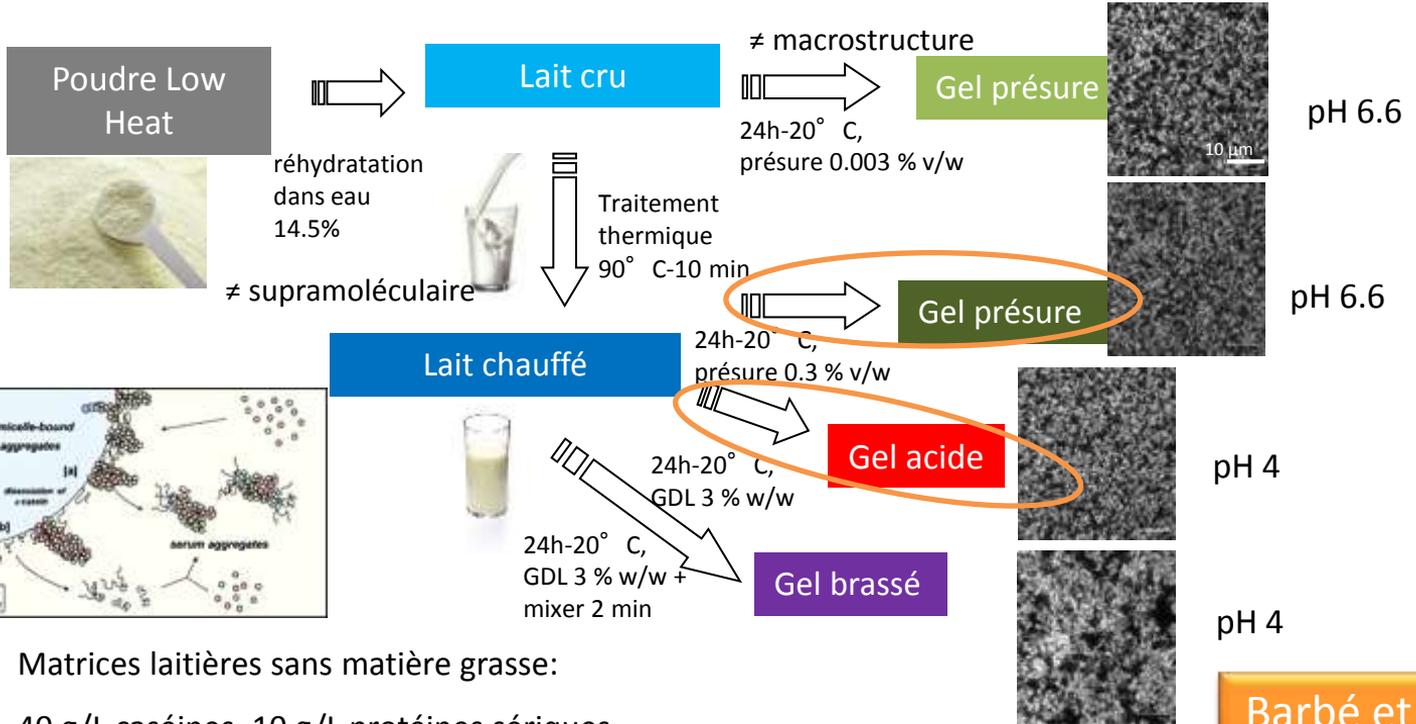
Identification des produits de la digestion des protéines (duodénum et jéjunum) + acides aminés (plasma)



Effet de la structure des matrices lactières sur les cinétiques de digestion des protéines (vidange gastrique, hydrolyse et absorption)



# Les matrices laitières



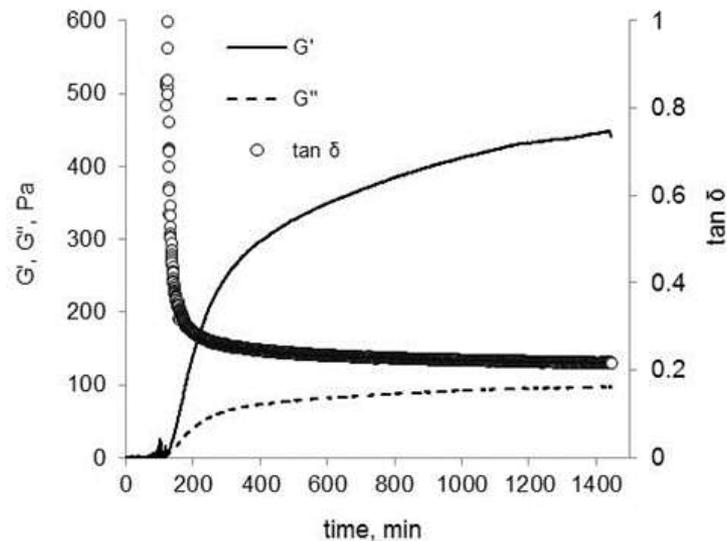
Matrices laitières sans matière grasse:

40 g/L caséines, 10 g/L protéines sériques,  
95 g/L lactose et minéraux

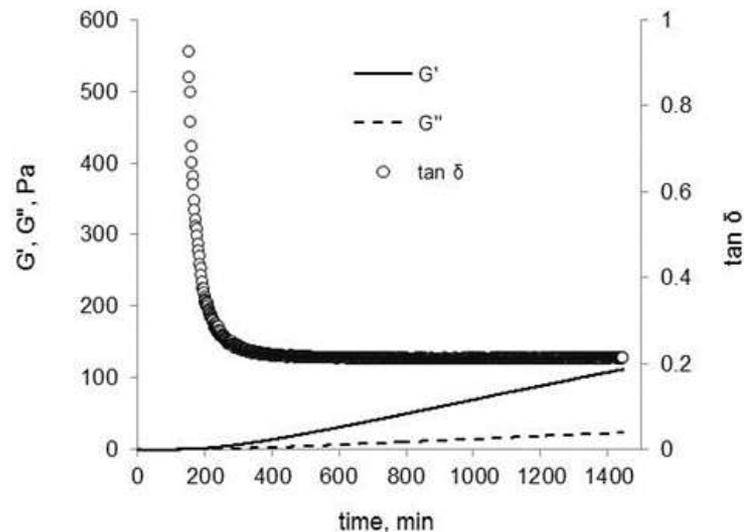
+ marqueur (Cr<sup>2+</sup>-EDTA) → Temps de résidence moyen dans l'estomac

Barbé et al.  
Food Chem.  
2013

## Propriétés rhéologiques des gels acide et présure



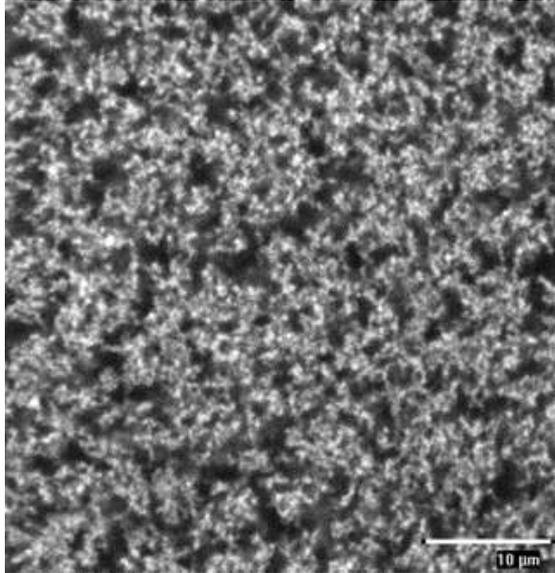
Gel acide



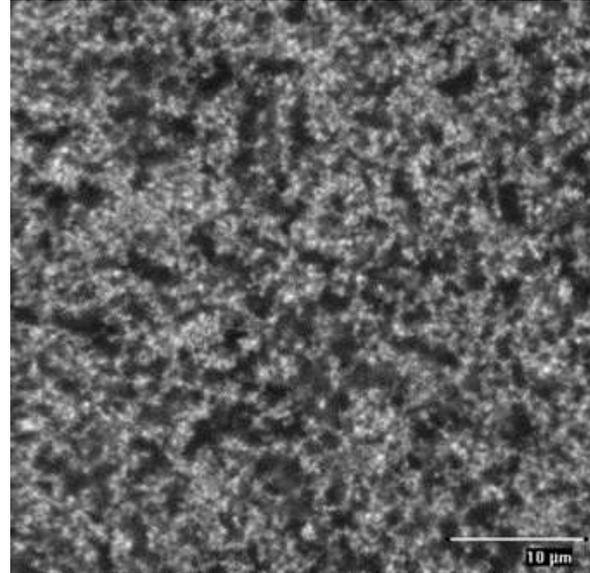
Gel présure

Elasticité et viscosité des deux gels dans les mêmes gammes de valeur

## Microstructure des gels acide et présure



Gel acide



Gel présure

Diamètre moyen des pores identique: 0.8 μm

# Mini-porcs multi-canulés

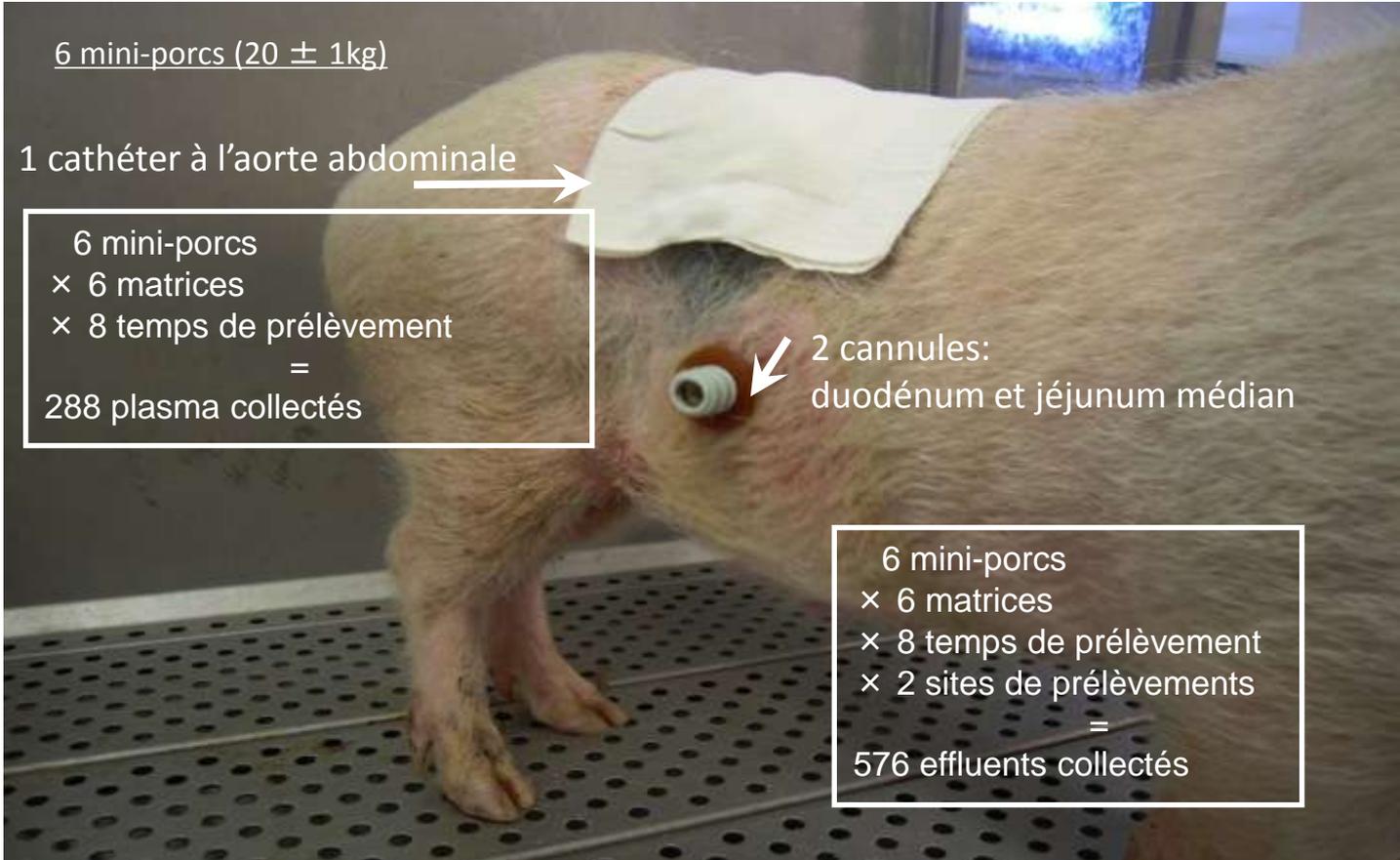
6 mini-porcs (20 ± 1kg)

1 cathéter à l'aorte abdominale

6 mini-porcs  
× 6 matrices  
× 8 temps de prélèvement  
=  
288 plasma collectés

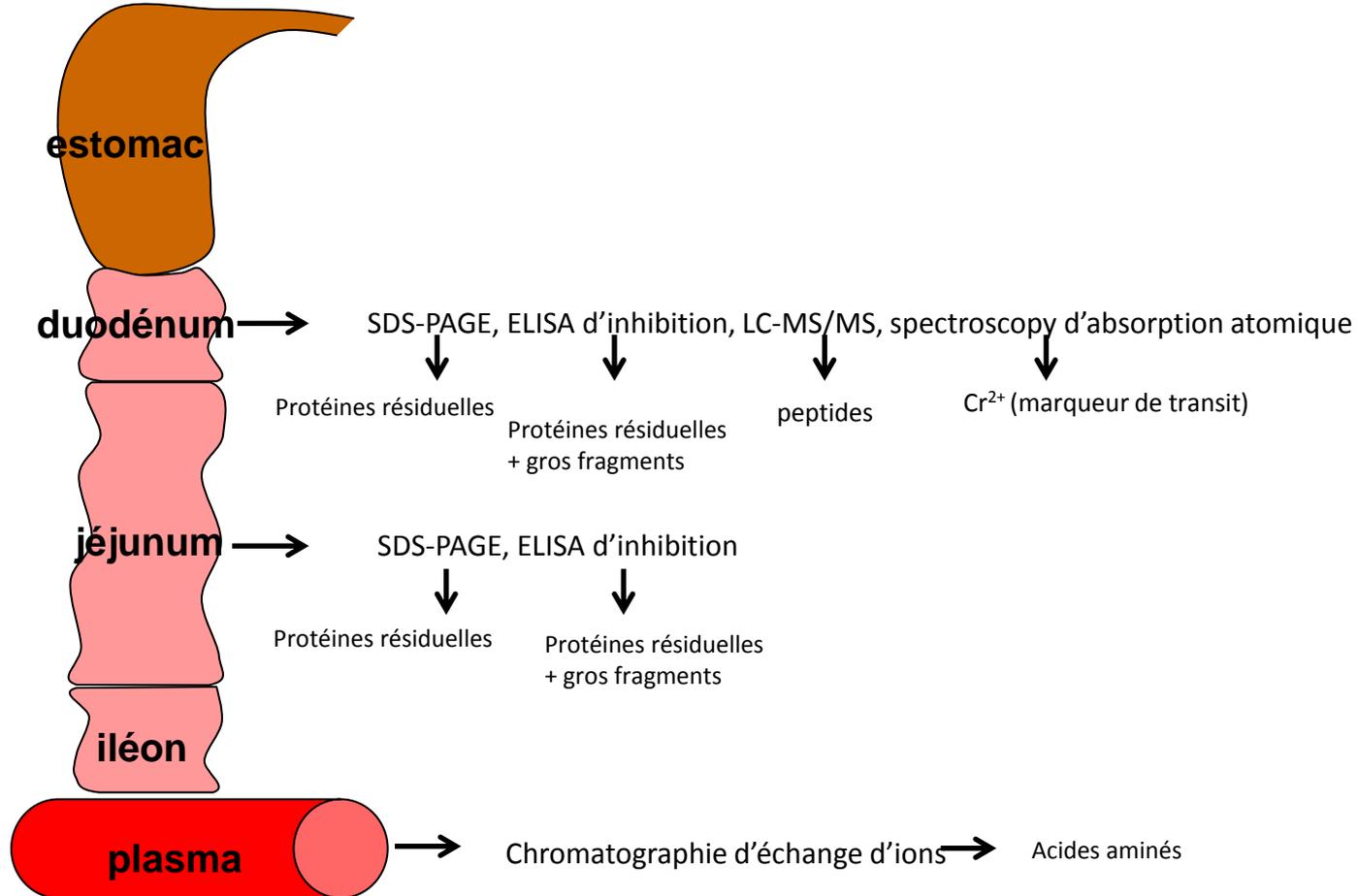
2 canules:  
duodénum et jéjunum médian

6 mini-porcs  
× 6 matrices  
× 8 temps de prélèvement  
× 2 sites de prélèvements  
=  
576 effluents collectés



# Analyses biologiques

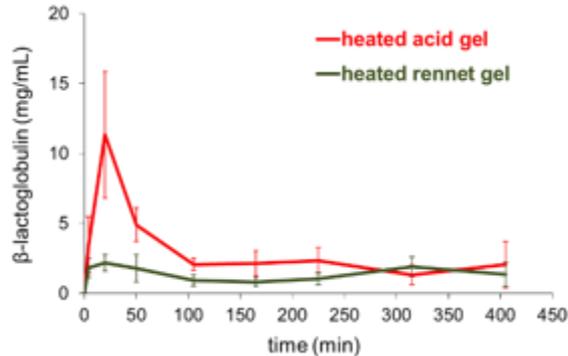
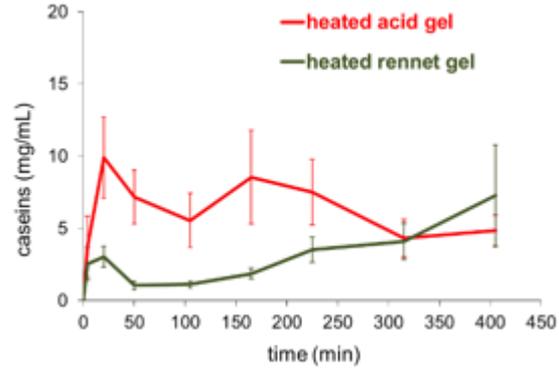
---



# Effet du mode de gélification sur la protéolyse



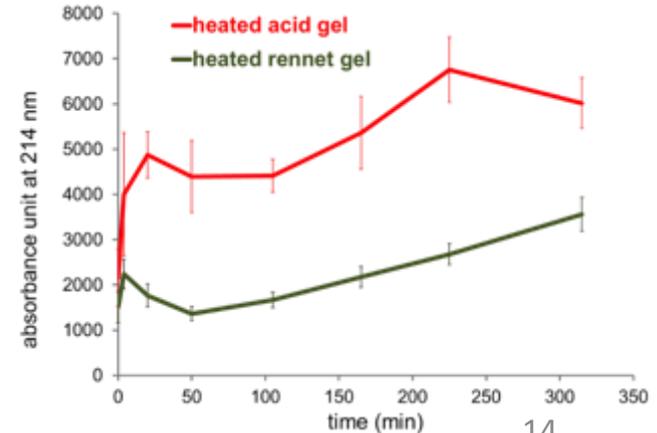
## Protéines résiduelles en sortie d'estomac



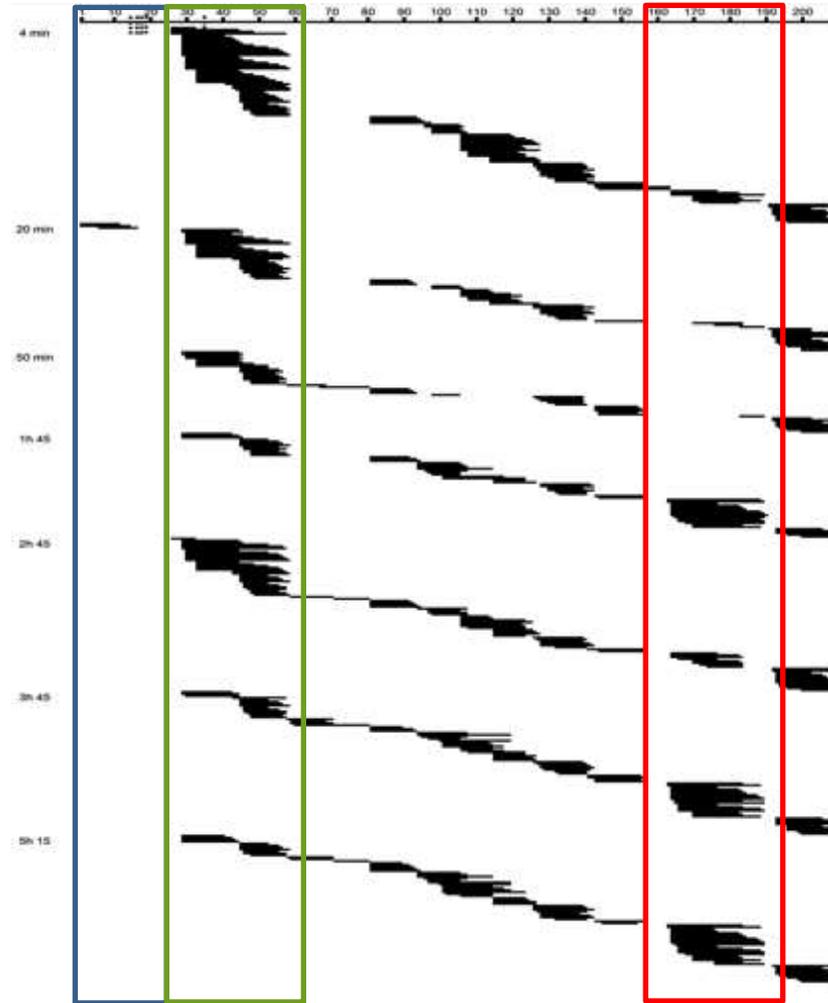
## Peptides dans la lumière du tube

	nombre total de peptides identifiés
<b>Gel acide</b>	<b>4349</b>
<b>Gel présure</b>	<b>1443</b>

absorbance à 214 nm → concentration des peptides



# Peptides issus de la caséine $\beta$ identifiés dans le duodénum lors de la digestion



Barbé et al.  
Food Res.  
Int. 2014

# Des peptides bioactifs sont libérés au cours de la digestion de gels laitiers

Protein	Sequence	Activity	Reference	4	20	50	105	165	225	315
$\alpha$ s1	1-23	EMUL	Shimizu et al. (1984)	■						
$\alpha$ s1	23-34	HYP	Maruyama & Suzuki (1982)	■	■					
$\alpha$ s1	30-45	MB	Meisel et al. (1991)		■					
$\alpha$ s1	40-52	MB	Adamson & Reynolds (1996)				■	■	■	■
$\alpha$ s1	43-58	MB	Meisel et al. (1991)	■	■					
$\alpha$ s1	91-100	STRE	Miclo et al. (2001)		■					
$\alpha$ s1	99-109	MIC	McCann et al. (2006)	■		■	■	■	■	
$\alpha$ s1	167-180	MIC	Hayes et al. (2006)			■	■	■	■	
$\alpha$ s1	180-193	MIC	Hayes et al. (2006)	■	■	■	■	■	■	■
$\alpha$ s2	1-24	MB	Miquel et al. (2005)	■	■					
$\alpha$ s2	124-146	MB	Miquel et al. (2005)				■	■	■	■
$\alpha$ s2	183-206	TRAN	Kizawa et al. (1996)			■	■	■	■	■
$\alpha$ s2	183-207	MIC	Recio & Visser (1999)	■	■	■	■	■	■	■
$\alpha$ s2	189-197	HYP	Maeno et al. (1996)	■	■					
$\alpha$ s2	190-197	HYP	Maeno et al. (1996)	■	■					
$\beta$	1-24	MB	Bouhallab et al. (1999)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	33-52	MB	Miquel et al. (2005)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	60-80	OPI	Jinsmaa & Yoshikawa (1999)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	98-105	OXI	Rival et al. (2001)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	114-119	OPI	Jinsmaa & Yoshikawa (1999)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	132-140	HYP	Robert et al. (2004)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	192-209	IMM	Coste et al. (1992)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	193-202	IMM	Kayser & Meisel (1996)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$	193-209	IMM	Coste et al. (1992)	■	■	■	■	■	■	■
$\kappa$	18-24	HYP	Lopez-Exposito et al. (2007)	■	■	■	■	■	■	■
$\kappa$	106-116	THR	Jolles et al. (1986)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$ -lg	32-40	HYP	Pihlanto-Leppala et al. (2000)		■	■	■	■	■	■
$\beta$ -lg	92-100	MIC	Pellegrini et al. (2001)		■	■	■	■	■	■
$\beta$ -lg	142-148	HYP	Mullally et al. (1997)		■	■	■	■	■	■

Gel acide

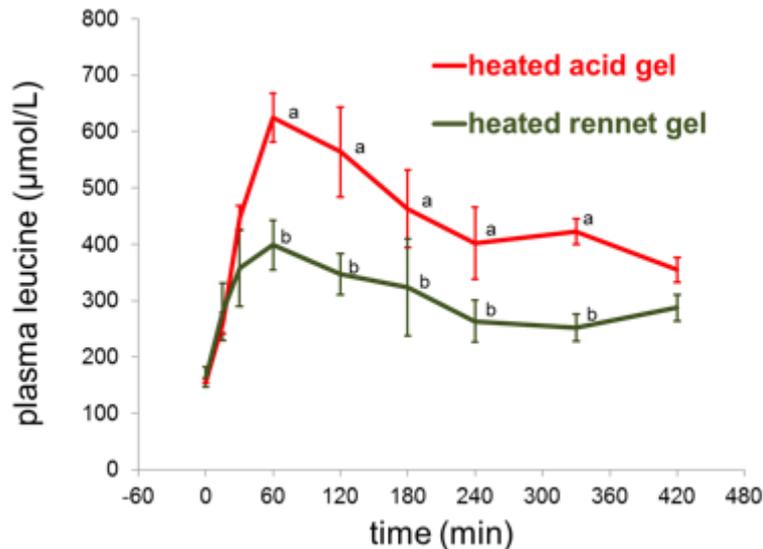
Protein	Sequence	Activity	Reference	4	20	50	105	165	225	315
$\alpha$ s1	40-52	MB	Adamson & Reynolds (1996)						■	■
$\alpha$ s1	43-58	MB	Meisel et al. (1991)		■					■
$\alpha$ s1	99-109	MIC	McCann et al. (2006)				■			
$\alpha$ s1	167-180	MIC	Hayes et al. (2006)				■	■	■	■
$\alpha$ s1	180-193	MIC	Hayes et al. (2006)	■	■	■	■	■	■	■
$\alpha$ s2	1-24	MB	Miquel et al. (2005)	■	■					
$\alpha$ s2	189-197	HYP	Maeno et al. (1996)	■	■					
$\beta$	33-52	MB	Miquel et al. (2005)	■	■					
$\beta$	166-175	HYP	Hayes et al. (2007)						■	■
$\beta$	193-202	IMM	Kayser & Meisel (1996)	■	■	■	■	■	■	■
$\beta$ -lg	92-100	MIC	(8)		■					
$\beta$ -lg	142-148	HYP	(9)							■

Gel présure

- Plus de peptides bioactifs identifiés avec le gel acide
- Nature des peptides identique (définie par la spécificité des enzymes digestives)
- Cinétiques de libération différentes

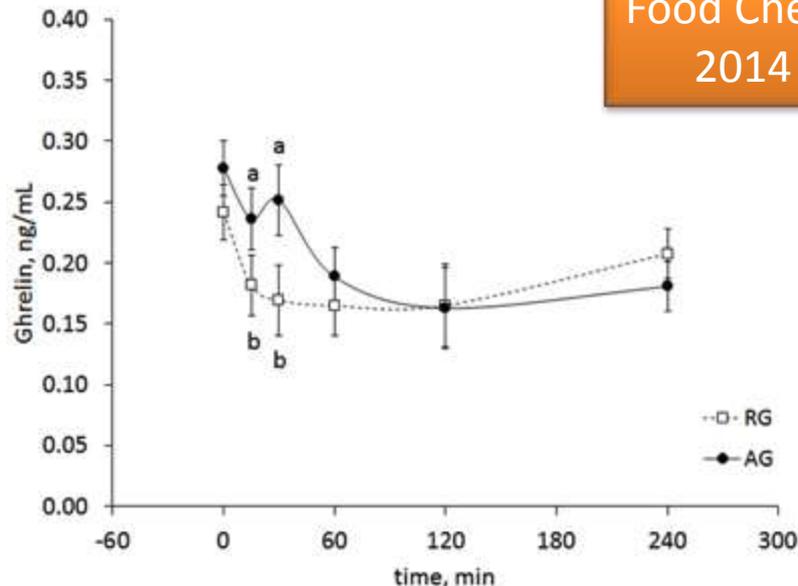
# Effet du mode de gélification sur la biodisponibilité des aa et la production d'hormones

## Cinétiques de mise à disposition des aa



## Concentration de ghréline

Barbé et al.  
Food Chem.  
2014

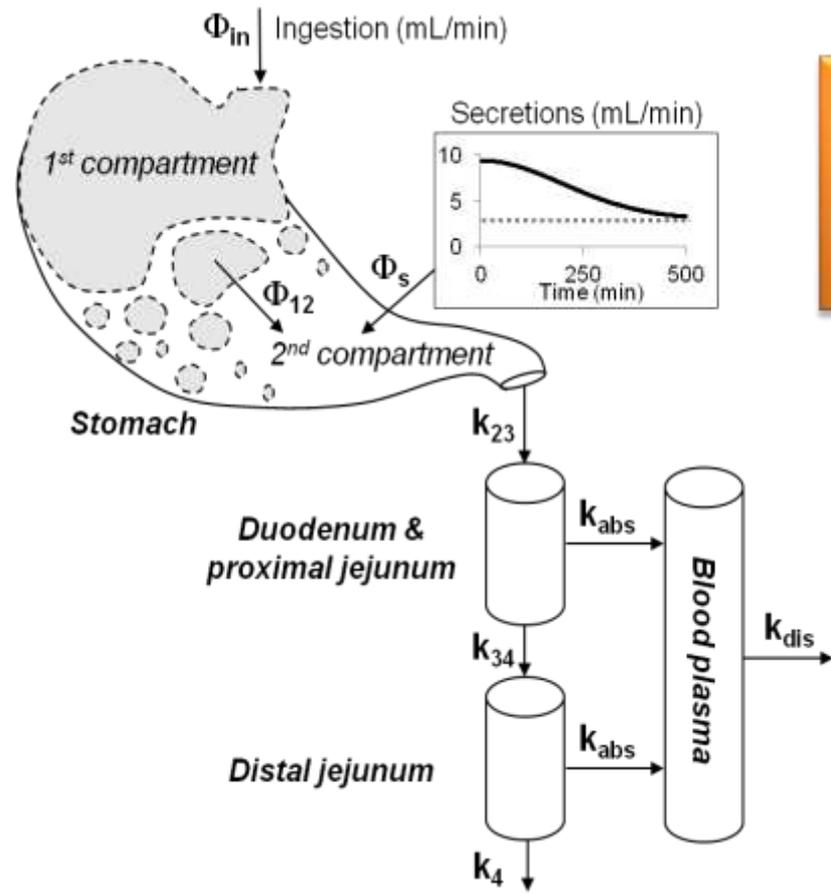
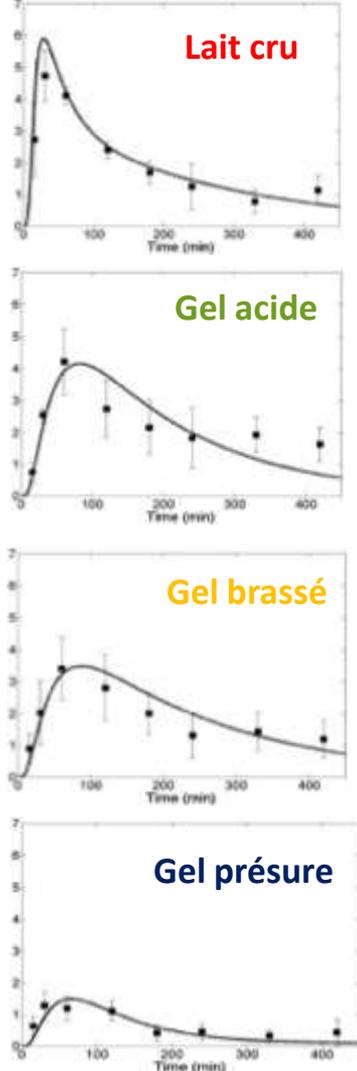


La structure des gels laitiers régule la mise à disposition des nutriments

Les gels présure provoquent une diminution de la production de ghréline → satiétogène?

# Modèle mathématique de transit et d'absorption

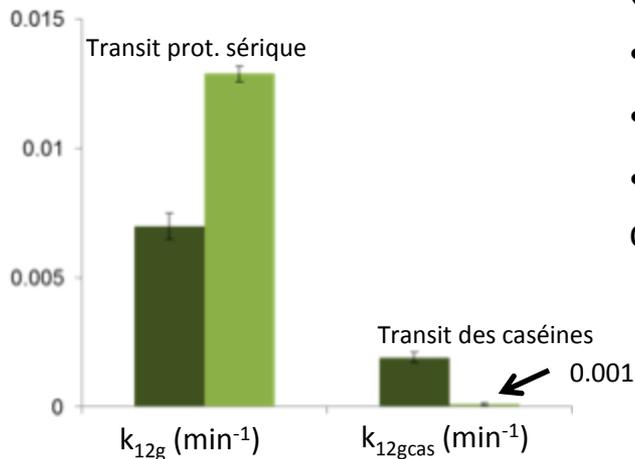
Le Feunteun  
et al. Food  
Bioprocess  
Tech 2014



Comprendre le comportement des matrices au cours de la digestion

# Modèle mathématique de transit et d'absorption

## Constantes de vitesse du transit dans l'estomac pour le gel présure

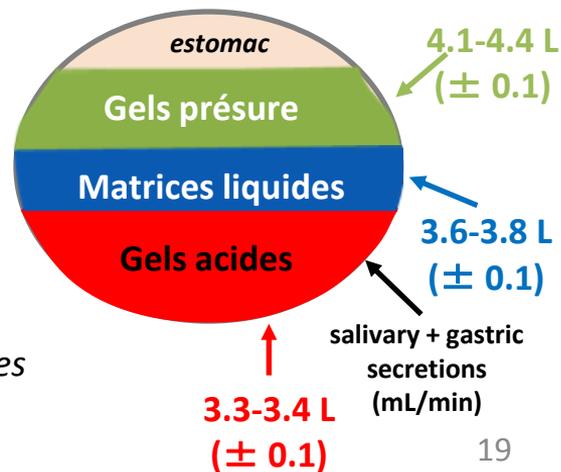
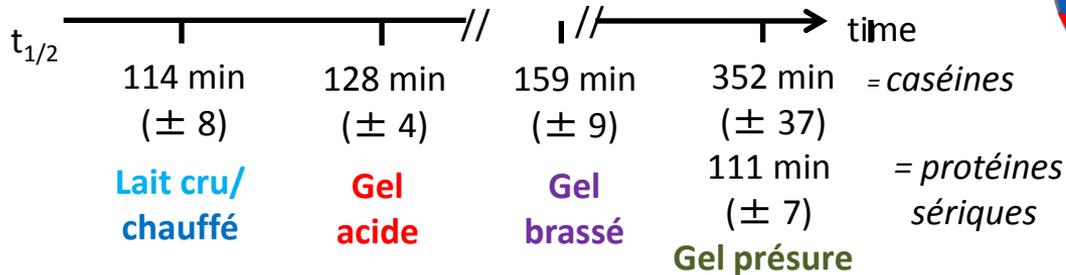


### GEL PRESURE:

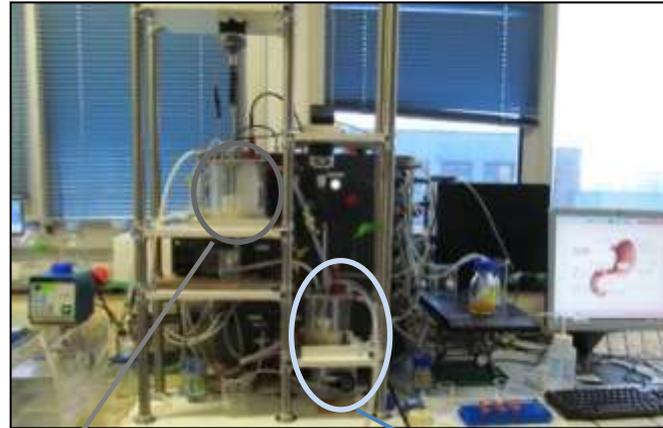
- Formation d'un coagulum dense de caséines dans l'estomac
- Importante synérèse du gel et expulsion de lactosérum
- Protéines sériques sont évacuées rapidement, le coagulum de caséines est vidangé lentement

## Sécrétions salivaires et gastriques cumulées sur 12h:

### $t_{1/2}$ (temps de ½ vidange gastrique)



# Comportement des gels acide et présure dans l'estomac au cours d'une digestion *in vitro* en conditions dynamiques



Digesteur gastro-intestinal DIDGI®

Logiciel StoRM®

**Estomac**

**Intestin grêle**

Fluides gastriques

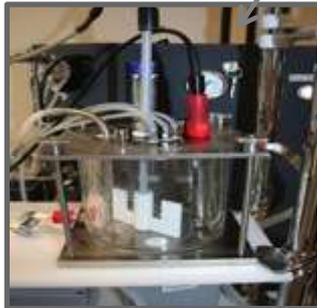
- pepsine
- lipase
- fluide gastrique simulé
- HCl

Fluides intestinaux:

- pancréatine
- bile
- fluide intestinal simulé
- NaHCO<sub>3</sub>

Vidange :  
Modélisation  
(Elashoff)

Vidange :  
Modélisation  
(Elashoff)



# Comportement des gels acide et présure dans l'estomac au cours d'une digestion *in vitro* en conditions dynamiques

Gel acide

Gel présure

Formation d'un coagulum dense avec le gel présure et intense synérèse → ralentissement de la vidange des caséines

## Conclusion et perspectives

La structure des matrices laitières à différents niveaux d'échelle module la digestion, les cinétiques d'hydrolyse des protéines et de mise à disposition des acides aminés

↳ levier pour concevoir des aliments dédiés à des sous-populations spécifiques (personnes âgées, sportif, nourrisson, personne en surpoids...)

La phase gastrique est une étape-clef de la digestion; le comportement des aliments en phase gastrique conditionne le processus digestif

Nécessité de développer des travaux plus fondamentaux pour comprendre ce comportement aux différents niveaux d'échelle

projet « GELSinSTOMACH »

# Improving health properties of food by sharing our knowledge on the digestive process

COST Action FA1005

Dr. Didier DUPONT, Senior Scientist, INRA, France

**INFOGEST**



**June 2011 – May 2015**



Tech Univ Denmark Univ Aarhus Univ Copenhagen MTT Univ Oulu Univ Eastern Finland  
 Norwegian Univ Life Sci Chalmers Univ Tech VTT Nofima Riga Stradin Univ Univ Ljubljana  
 NIZO TNO Lund Univ Univ Zagreb



**Canada**

Wageningen UR Anabio  
 Teagasc Univ Reading James Hutton Inst  
 Univ College Cork Univ Birmingham Univ Manchester  
 Cent Rech Lippmann Univ Greenwich Univ Nottingham  
 Univ Ghent Agroscope Posieux  
 Inst Food Res Agrocampus Ouest  
 Leatherhead Food Res ACW  
 FIBL Univ Sevilla  
 Univ Greifswald Univ Valencia  
 IRD Max Rubner-Institut  
 INRA CNRS Univ Basque Country  
 AgroParisTech Univ Murcia CTCPA  
 CSIC Univ Granada  
 NIH Ricardo Jorge  
 Univ Alto Douro



Laval Univ  
 Univ Guelph  
 Czech Univ Prague  
 Inst Chem Technol  
 KTU Food Inst  
 Lithuanian Univ HS  
 Gdansk Univ Tech  
 Maize Res Inst  
 NGO  
 Polish Academy of Sci  
 Univ Belgrade  
 Univ Novi Sad  
 Aristote Univ Thessaloniki  
 Centr Food Res Inst  
 Ben Gurion Univ  
 Technion

**New Zealand**

ITQB Milan State Univ  
 FEM CNR  
 Univ Milan Univ Naples

Ege Univ  
 Michigan State Univ  
 Pom Med Univ

CONICET  
 Univ Buenos Aires

**Australia**  
 Deakin Univ  
 Univ Queensland

**Albania**  
 Agric Univ Tirana

**Montenegro**

Riddett Inst  
 Plant Food Res

**USA**



305 scientists - 110 institutes – 34 countries

# Industry involvement

☞ ~ 40 European food companies are involved in INFOGEST



☞ The network is now open to industry partners



**INFOGEST**  
International Conference  
Naples, Italy  
March 2015

We are pleased to announce the next  
**4<sup>th</sup> International Conference on Food Digestion**  
organized by the  
**COST Action FA1005 INFOGEST**



**in Naples, 17-19 March 2015**