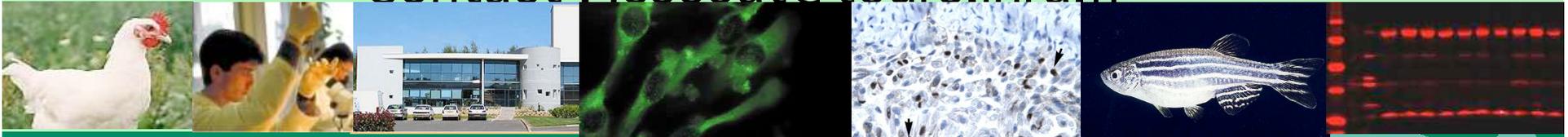


# Modélisation mathématique de l'intestin grêle : un progrès nécessaire en nutrition animale et humaine

INRA : d\_partements PHASE, ALIMH et MIA

Universit\_ Fran\_ois Rabelais - LMPT

Contact : [lescoat@tours.inra.fr](mailto:lescoat@tours.inra.fr)



ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA

# Problématique et Objectifs

- Les phénomènes digestifs sont :
  - Majeurs pour les performances de l'animal
  - Partagés par différentes espèces
  - Modélisés de façon insatisfaisante
- Les objectifs en découlant sont :
  - D'encourager une approche physiologique comparée
  - D'obtenir un modèle de simulation générique utilisant des méthodes mathématiques adéquates

# Mode opératoire : échanges en biologie et mathématiques

- Réunions
  - multidisciplinaires (mathématiciens et biologistes)
  - multiespèces (monogastriques, ruminants, humains)
- Modalités d'échanges :
  - biologistes : quelles questions traiter ?
  - mathématiciens : comment modéliser ?

# Plan

- **La diversité et la complexité du tube digestif**
- Une activité mécanique intense le long du tube digestif
- Dégradations intenses le long du tube digestif
- Absorptions le long du tube digestif
- Des modèles à modifier
- Une approche pas à pas :  
Un premier modèle avec des hypothèses simples

# La digestion : un ensemble de phénomènes simultanés

constituants alimentaires

nutriments

**DIGESTION**

Rejets

phénomènes  
mécaniques

absorption

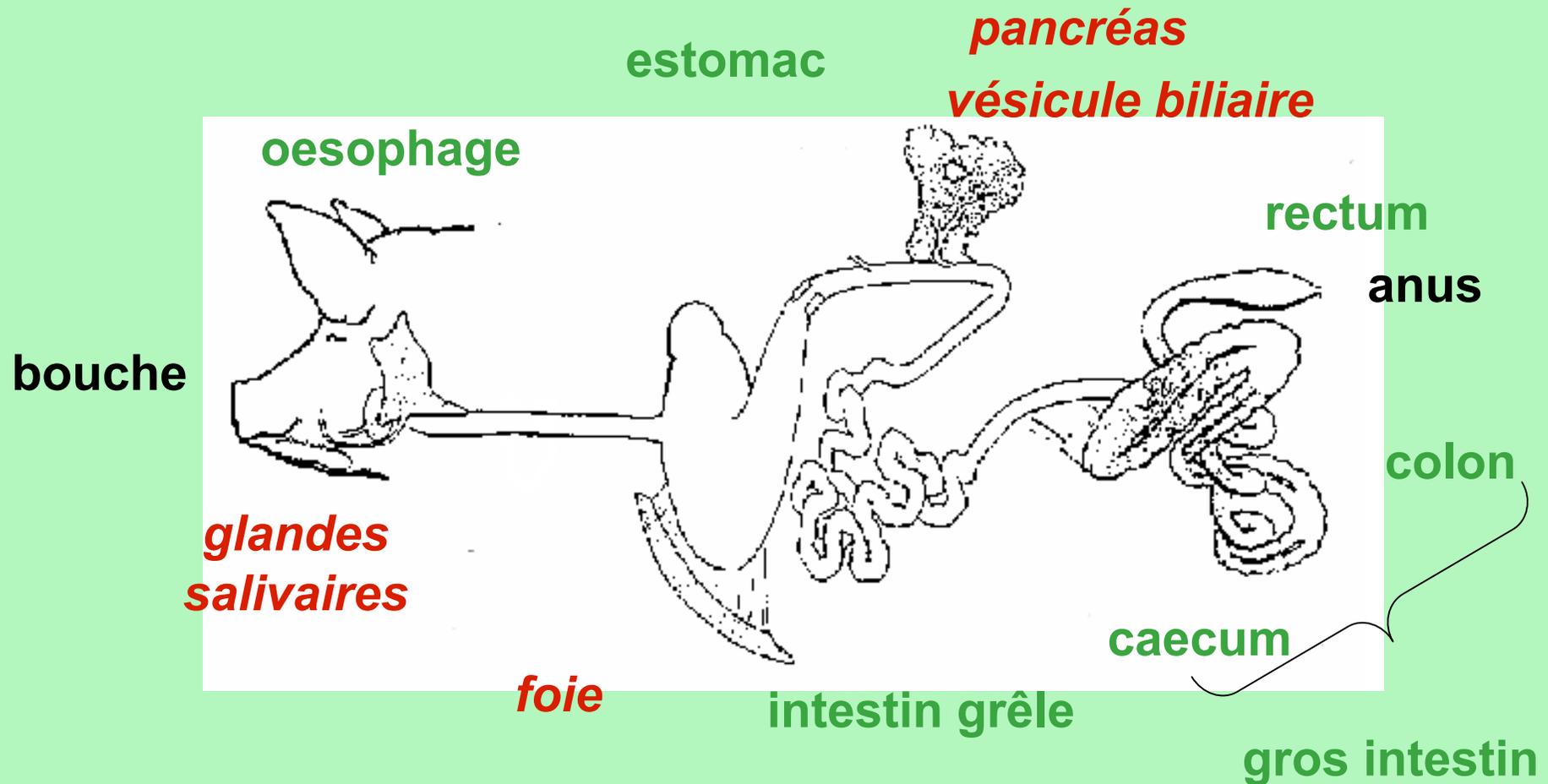
phénomènes chimiques

hydrolyses enzymatiques

phénomènes microbiens

hydrolyses enzymatiques  
fermentations

# Systeme digestif : un ensemble complexe

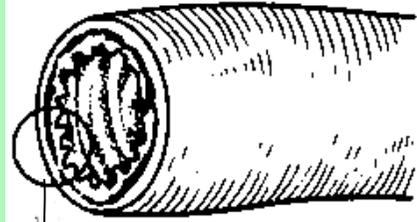


Organes du tractus

*Organes et glandes annexes*

# Anatomie de l'intestin grêle

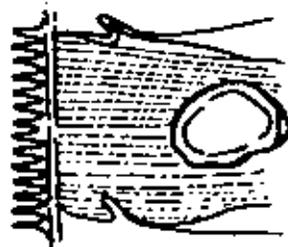
accroissement de la surface fonctionnelle de la muqueuse intestinale : une approche multi-échelle



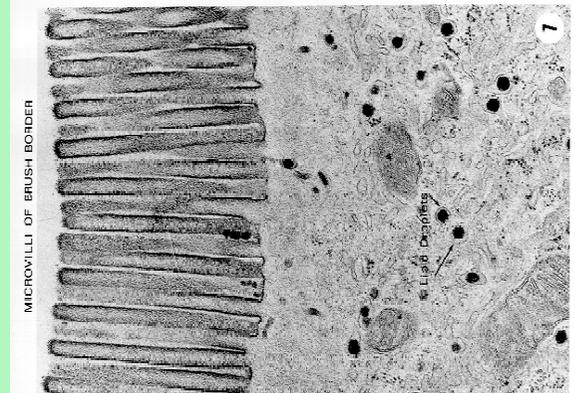
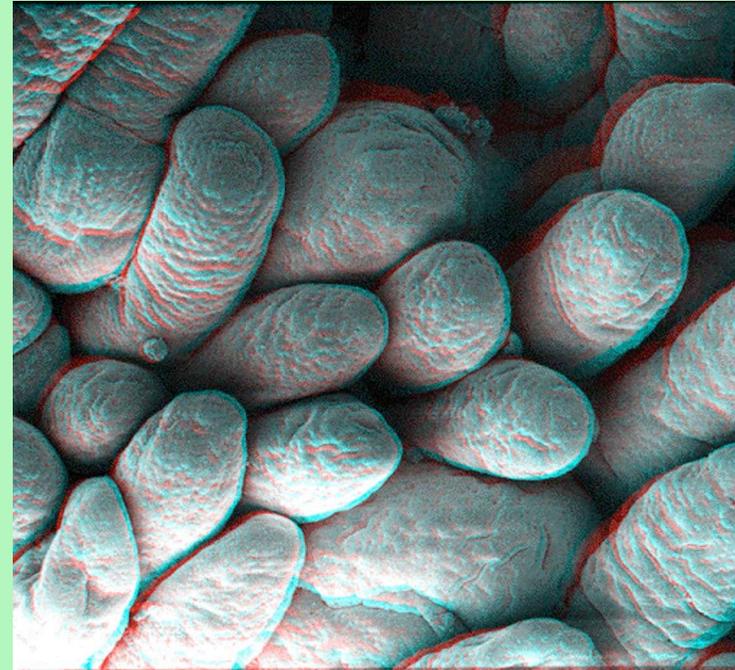
replis  
circulaires



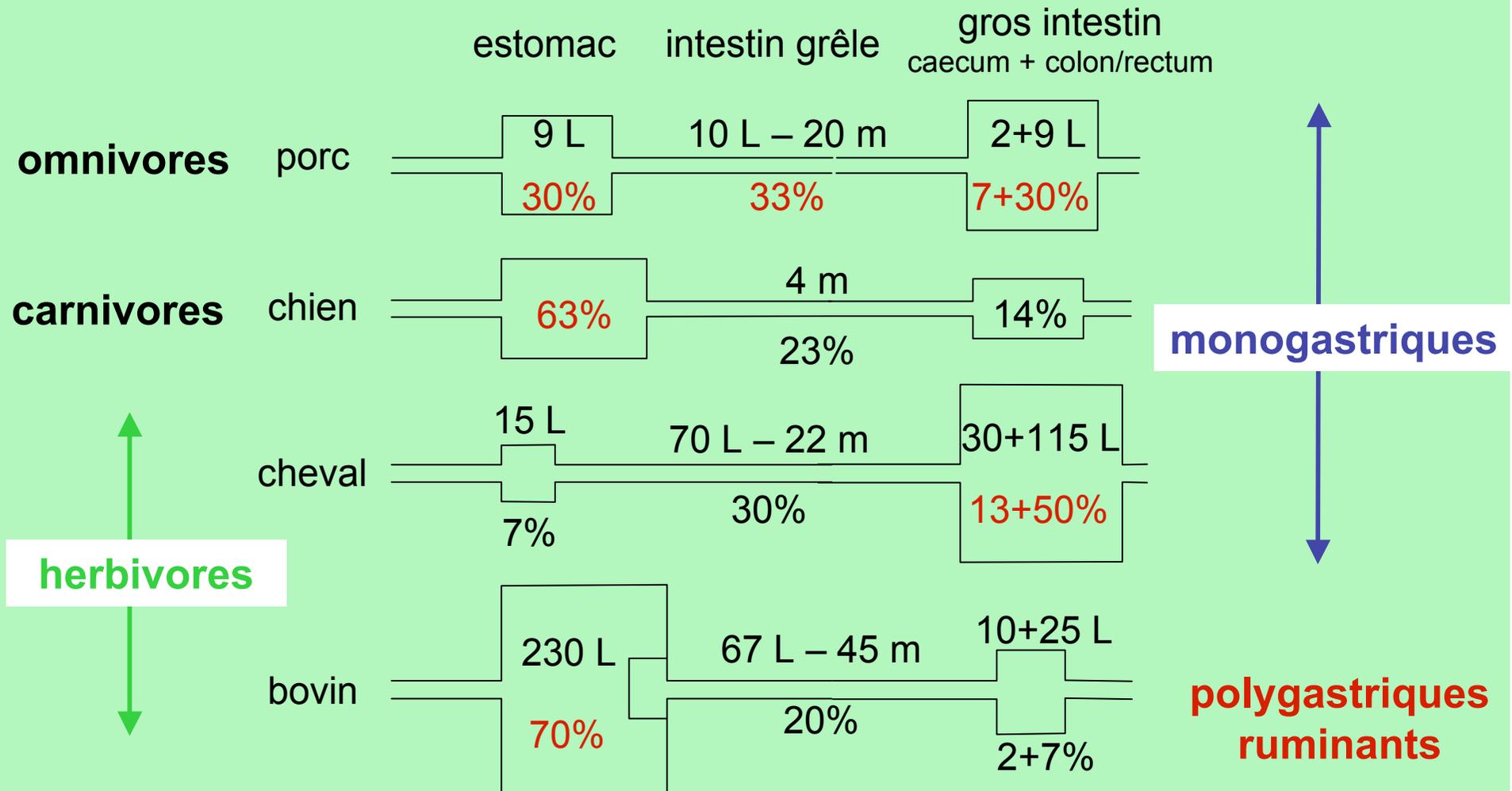
**villosités**



**microvillosités**  
de la membrane  
des entérocytes



# Volumes et proportions relatives des segments digestifs des animaux



# Plan

- La diversité et la complexité du tube digestif
- **Une activité mécanique intense le long du tube digestif**
- Dégradations intenses le long du tube digestif
- Absorptions le long du tube digestif
- Des modèles à modifier
- Une approche pas à pas :  
Un premier modèle avec des hypothèses simples

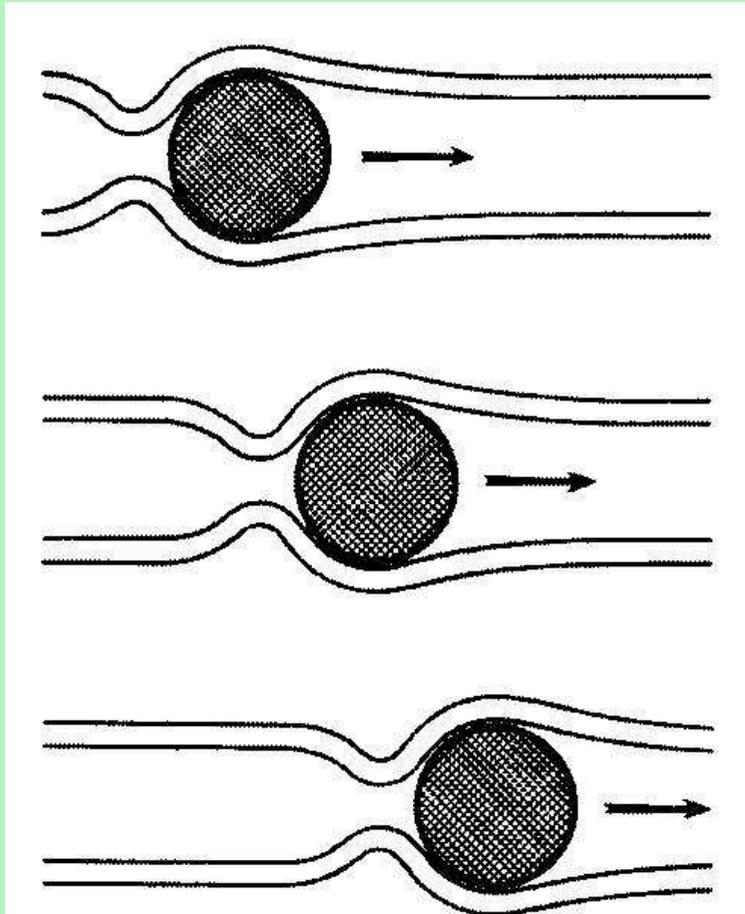
# Les mouvements péristaltiques

Communs à tous les organes digestifs

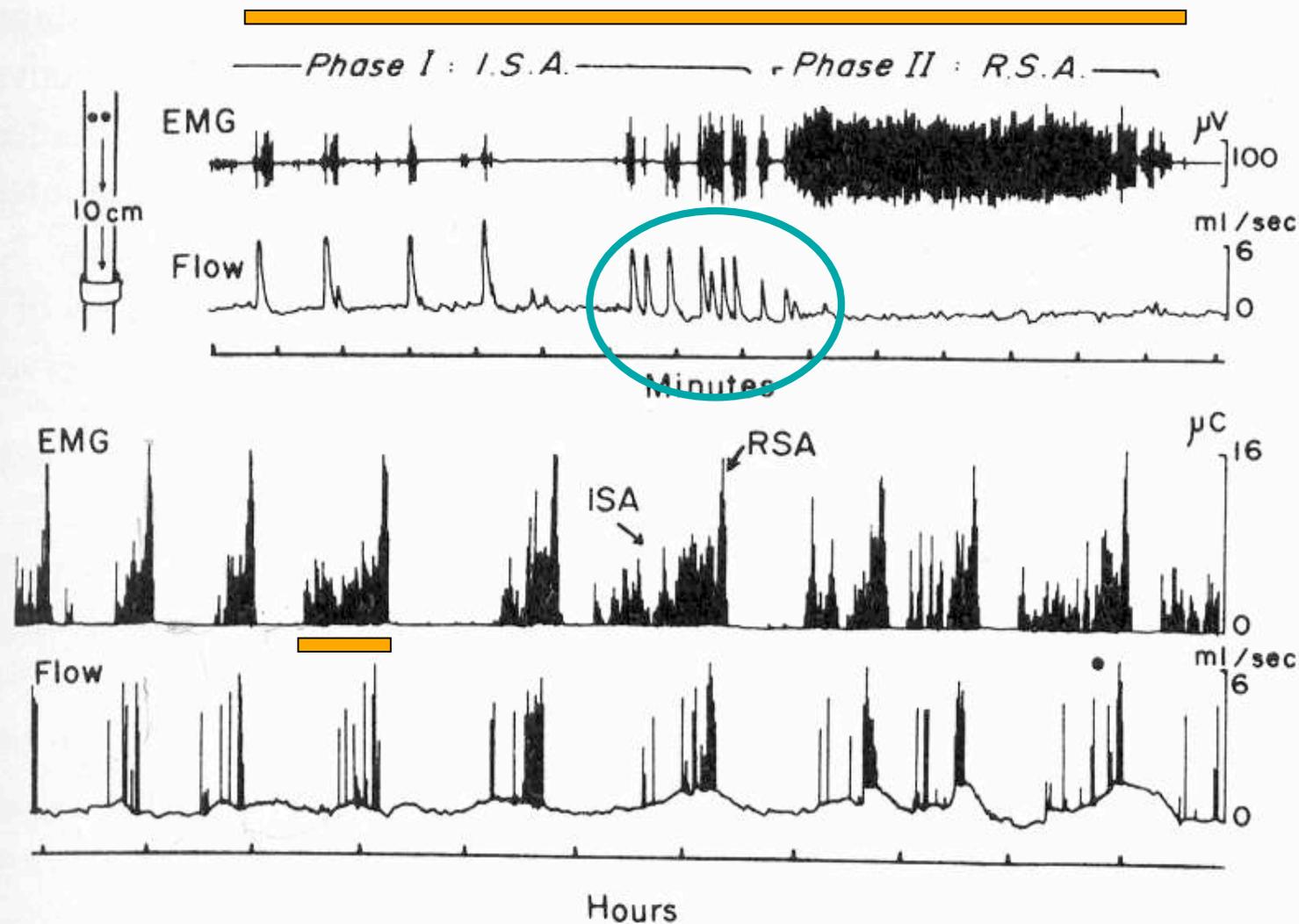


*du grec*  
*peri : autour*  
*stalicos : qui resserre*

onde de  
contraction des  
fibres circulaires  
en arrière du bol



relachement des  
fibres musculaires  
situées en avant



**Figure 5** Flow of digesta and electrical activity of the jejunum in sheep. Direct record (upper panel) shows that passage of digesta occurred during the ISA phase before RSA. Integrated record (lower panel) demonstrates that the intestinal flow of digesta was intermittent and related to the cyclic presence of MMC. 80% of flow occurred during the last third of the ISA phase<sup>17</sup>

## Fréquence, durée et vitesse de propagation des CMM : Différences entre espèces

---

	CMM jéjunum			
	Période (min)	Durée (min)	Vitesse (cm/min)	<i>Repos</i> (min)
Mouton	88 ± 16	46 ± 6	18 ± 6	42
Chèvre	79 ± 14	39 ± 5	19 ± 4	40
Vache	57 ± 10	44 ± 7	19 ± 3	13

---

## Fréquence et distance de propagation des CMM Effets du niveau alimentaire

	Duodénum (n/j)	Jéjunum (n/j)	Iléon (n/j)
Jeûne	15.2	15.2	<3
Normal	19.6	22.7	13.6
Suralimenté	16.8	28.0	10.1

# Plan

- La diversité et la complexité du tube digestif
- Une activité mécanique intense le long du tube digestif
- **Dégradations intenses le long du tube digestif**
- Absorptions le long du tube digestif
- Des modèles à modifier
- Une approche pas à pas :  
Un premier modèle avec des hypothèses simples

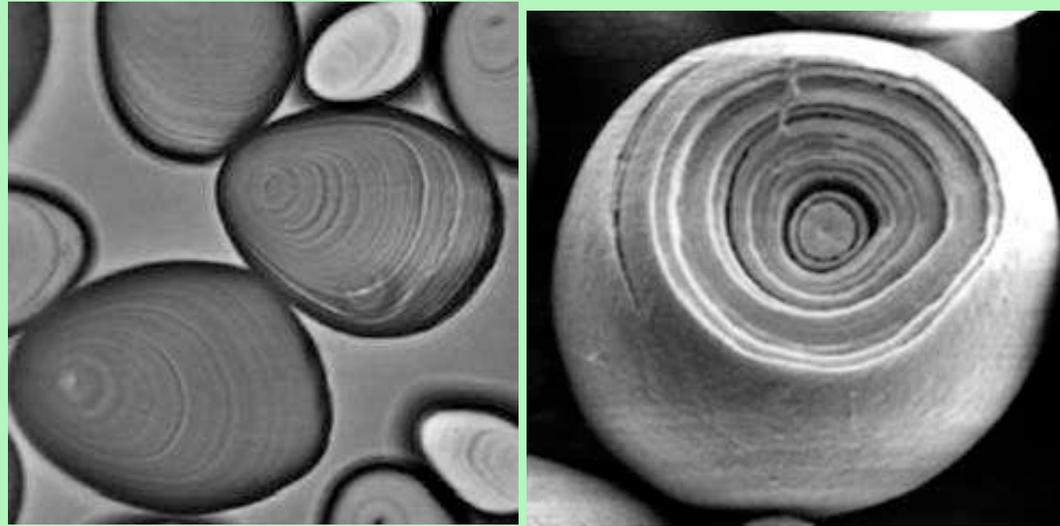
# Origines et rôle des principales sécrétions digestives chez le porc (1)

origine	enzymes	autres composants	rôles
glandes salivaires	$\alpha$ -amylase ( ou ptyaline)	eau ions mucus	imbibition lubrification
paroi de l'estomac	pepsine (chymosine)	HCl mucus	↓ pH → action pepsine protection épithélium
foie via vésicule biliaire		bile	neutralisation chyme émulsification lipides
pancréas exocrine	amylase lipase trypsine chymotrypsine peptidases		

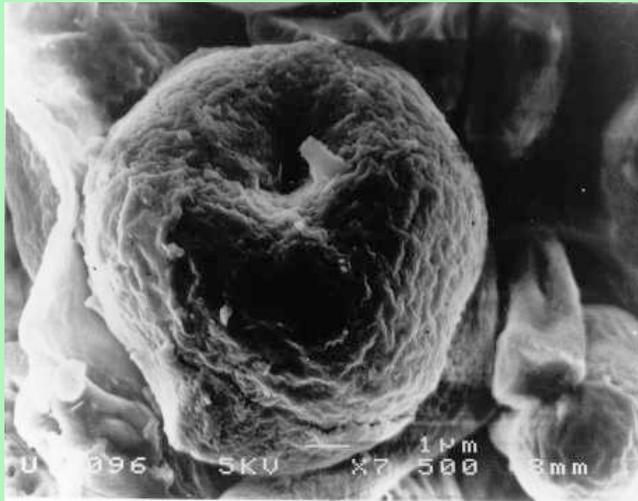
# Origines et rôle des principales sécrétions digestives chez le porc (2)

<b>origine</b>	<b>enzymes</b>	<b>autres composants</b>	<b>rôles</b>
<b>paroi intestin grêle</b>	<b>maltase isomaltase saccharase lactase lipase dipeptidases peptidases (DPP4)</b>	<b>mucus  desquamations cellulaires</b>	<b>lubrification  protection épithélium</b>

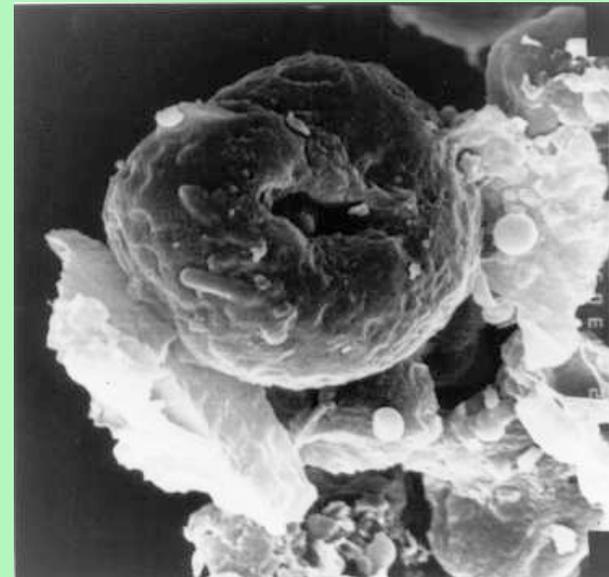
**Granules d'amidon de  
pomme de terre  
(microscopie optique)**



**Granule d'amidon après passage dans l'intestin grêle**

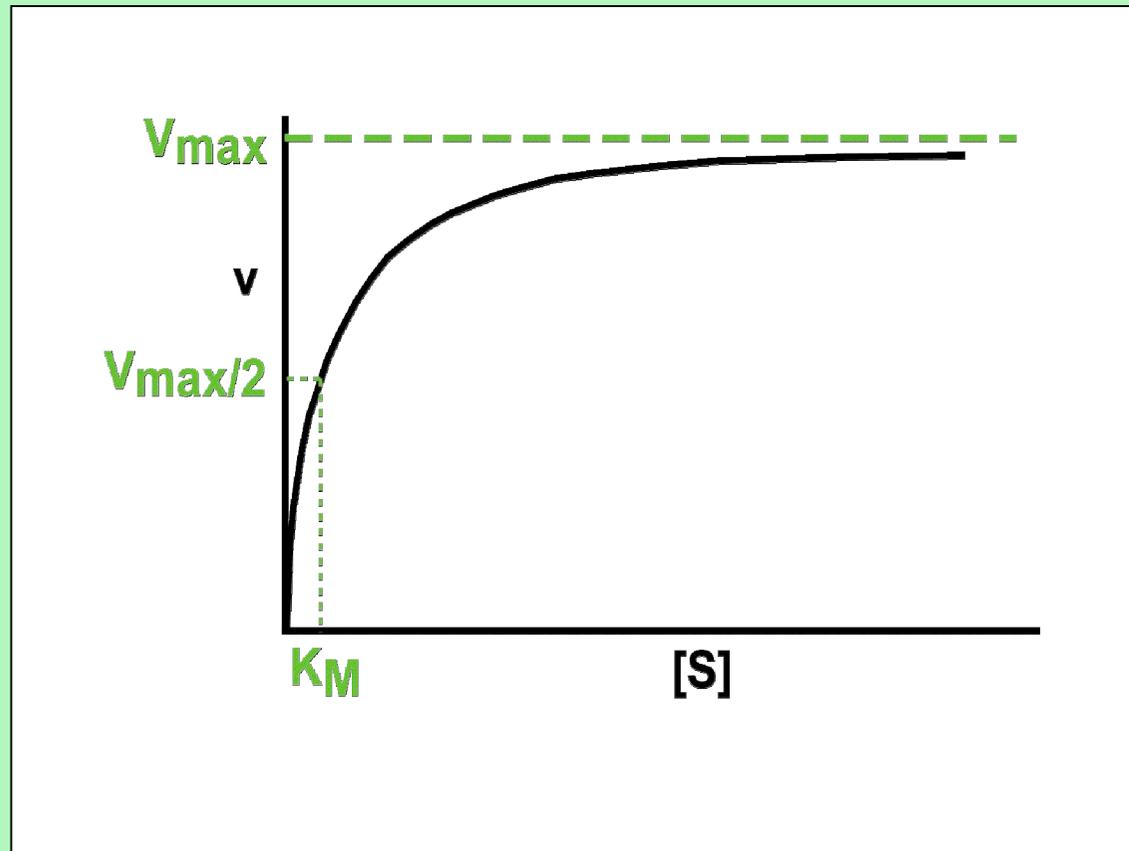


**humain**

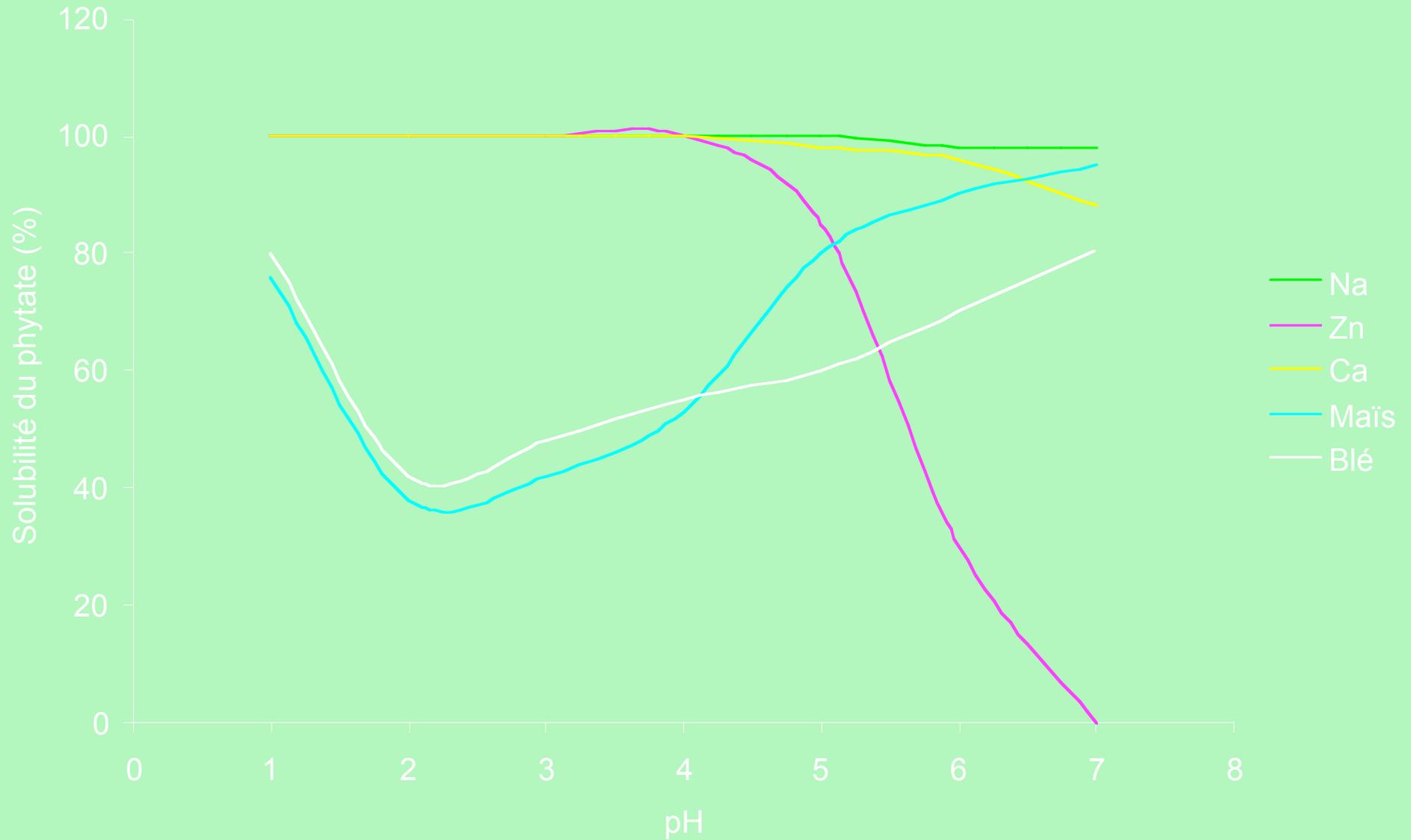


**porcin**

# D\_gradation SI enzyme fonctionnelle

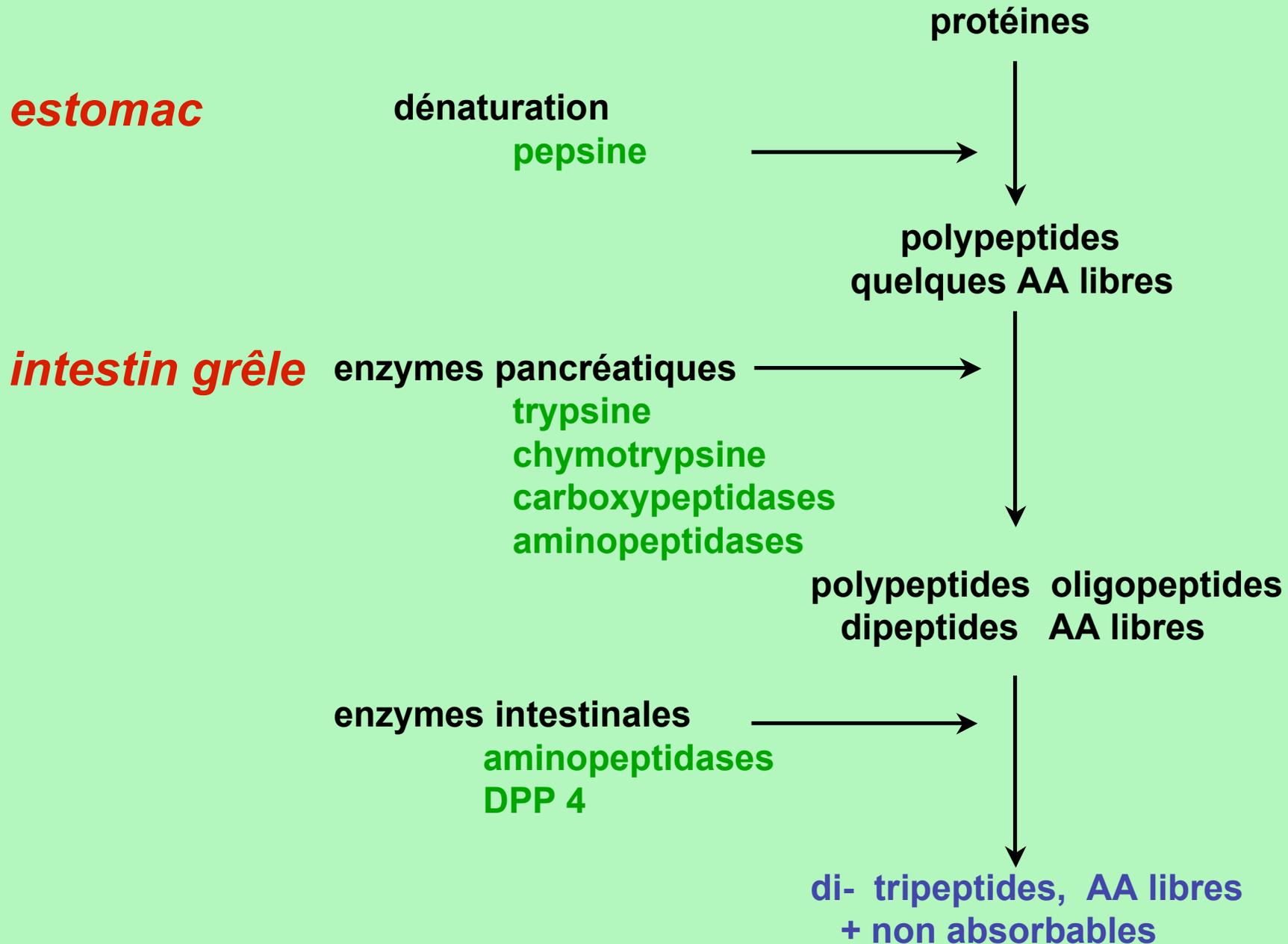


# D\_gradation SI substrat disponible



Tiré de Scheuermann et al., 1989

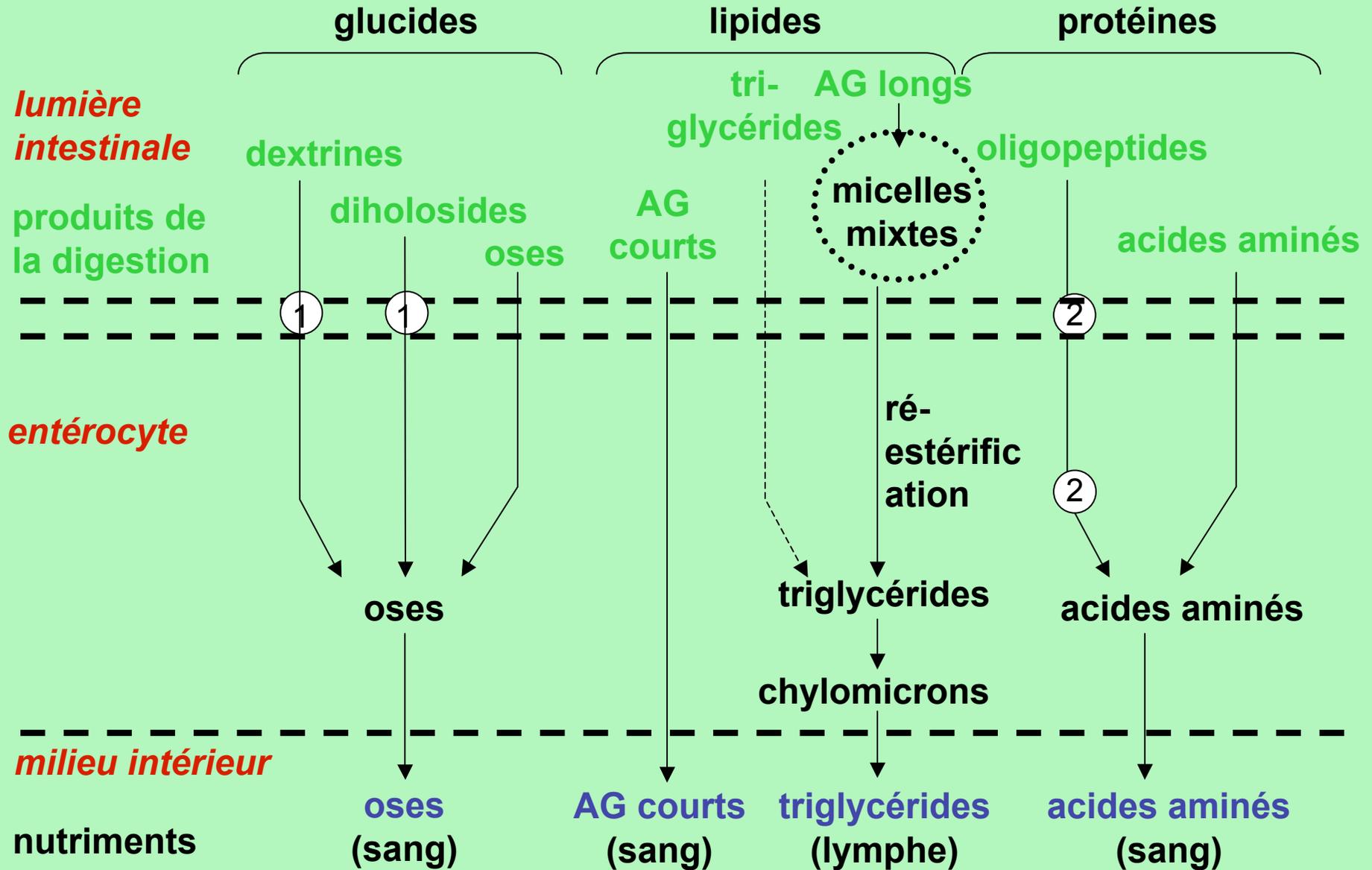
# Hydrolyse des protéines



# Plan

- La diversité et la complexité du tube digestif
- Une activité mécanique intense le long du tube digestif
- Dégradations intenses le long du tube digestif
- **Absorptions le long du tube digestif**
- Des modèles à modifier
- Une approche pas à pas :  
Un premier modèle avec des hypothèses simples

# Absorption des nutriments

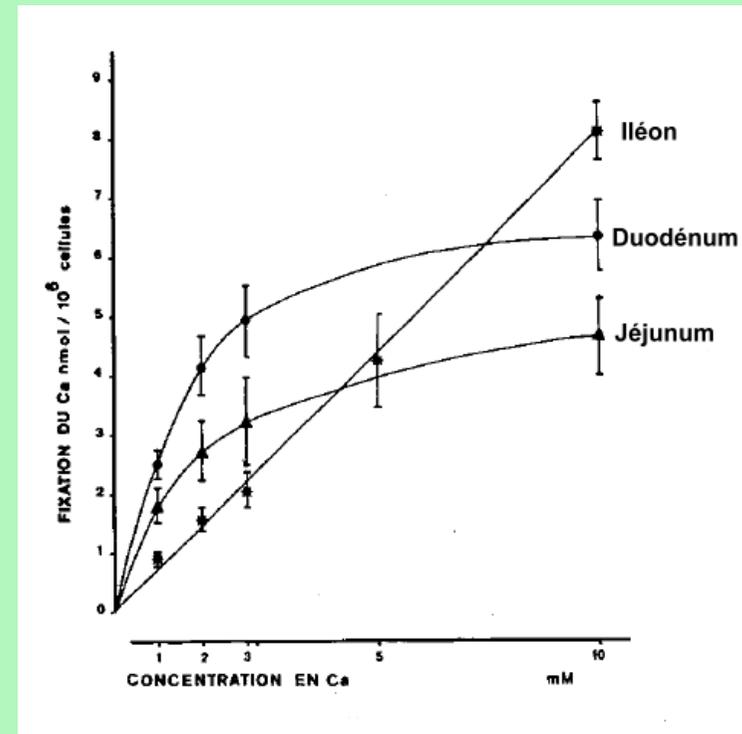
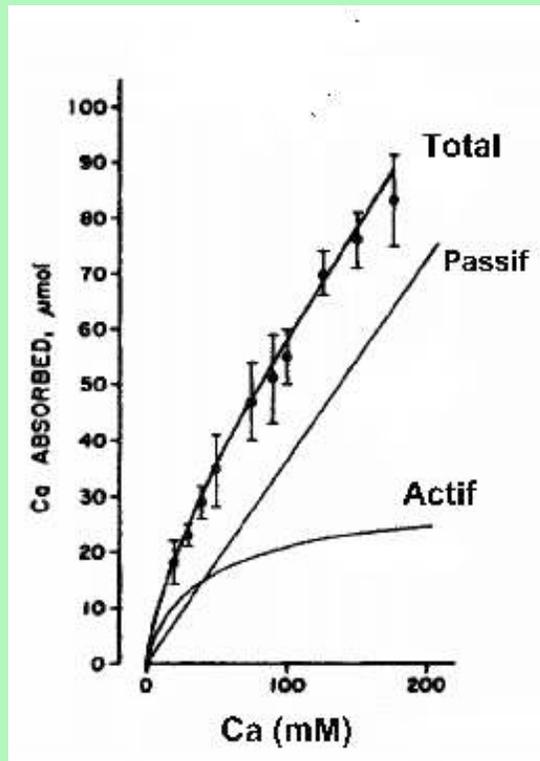


① glucidases membranaires

② di et tri peptidases membranaires et cytoplasmiques

Exemple : L'absorption du Ca est la somme de deux mécanismes :

1. Flux paracellulaire, passif, non saturable
2. Flux transcellulaire, passif ou actif, saturable



Adapté de : Pansu et al., 1984

# Bilan de l'absorption le long du tube digestif

**porc**

**ruminant**

**Rumen réseau**

**AGV**

**NH<sub>3</sub>** en excès

**Feuillet**

eau, minéraux,  
vit hydrosolubles

**Intestin grêle**

**glucose**

**AG courts**

**AG longs**

vit liposolubles

**AA**

eau, minéraux,  
vit hydrosolubles

**id porc avec des particularités**

- glucose en faible quantité
- AG alimentaires remaniés et microbiens
- AA alimentaires et microbiens

**Gros intestin**

**AGV** en faible quantité

eau, minéraux,  
vit hydrosolubles

**AGV**

**NH<sub>3</sub>** en excès

eau, minéraux,  
vit hydrosolubles

# Plan

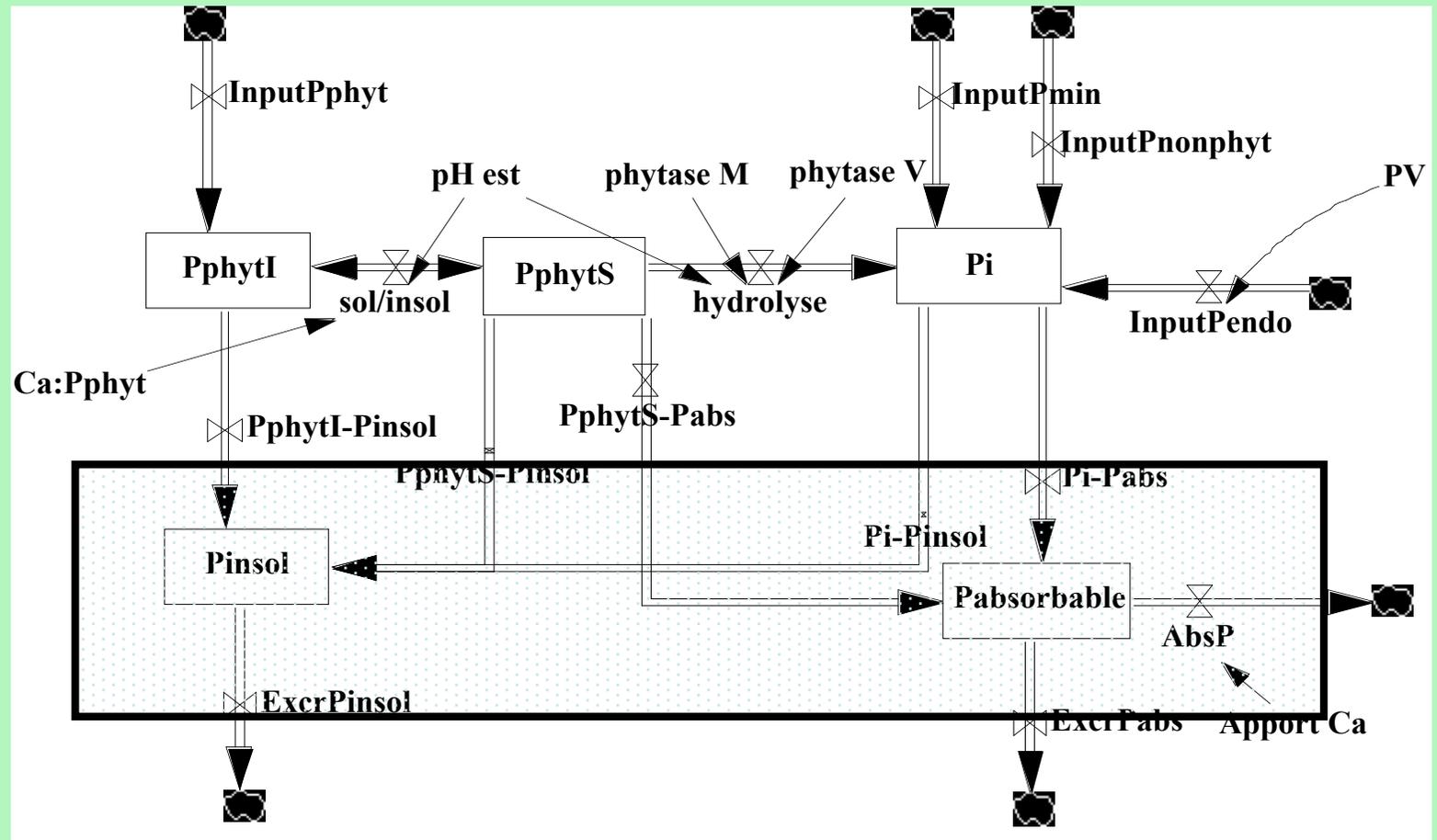
- La diversité et la complexité du tube digestif
- Une activité mécanique intense le long du tube digestif
- Dégradations intenses le long du tube digestif
- Absorptions le long du tube digestif
- **Des modèles à modifier**
- Une approche pas à pas :  
Un premier modèle avec des hypothèses simples

# Modélisation comparée Porc / Volaille



Estomac

Intestin  
grêle



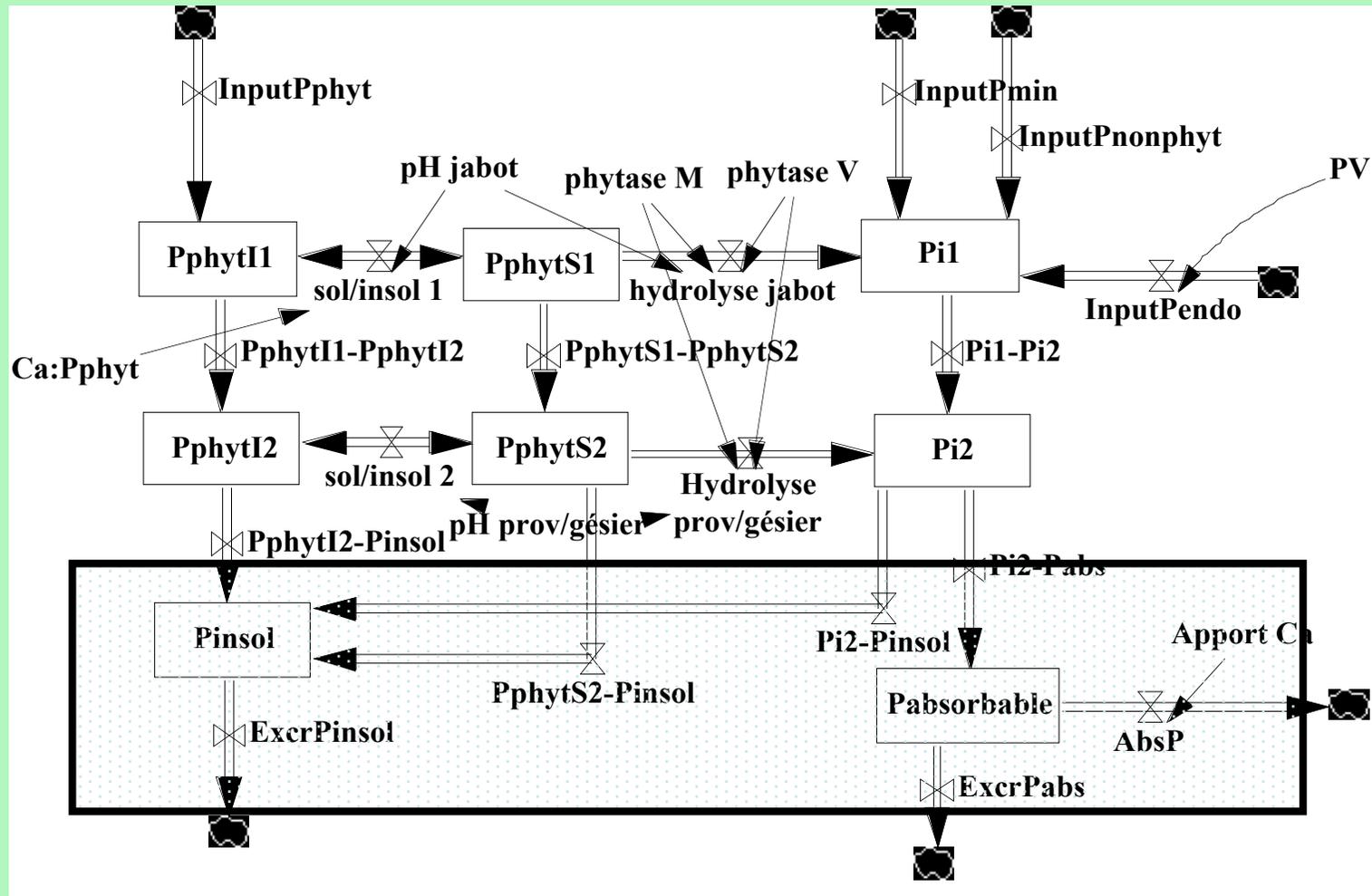
# Modélisation comparée Porc / Volaille



Jabot

Proventricule / gésier

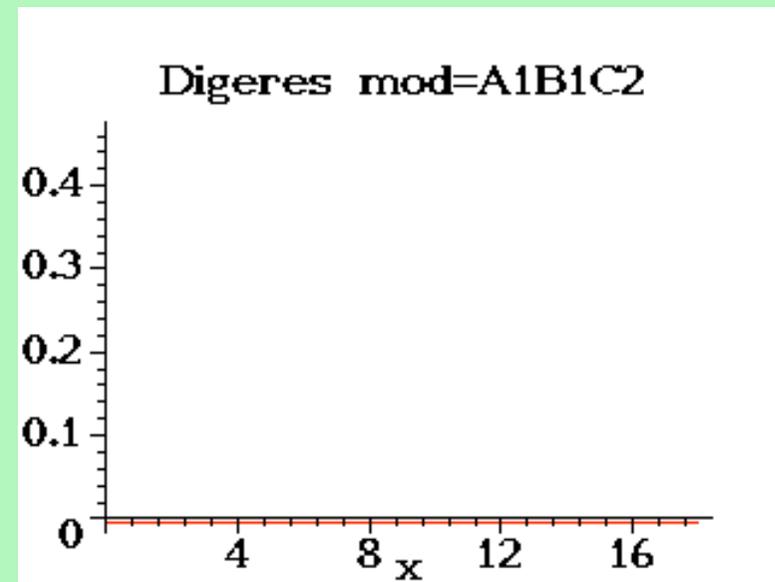
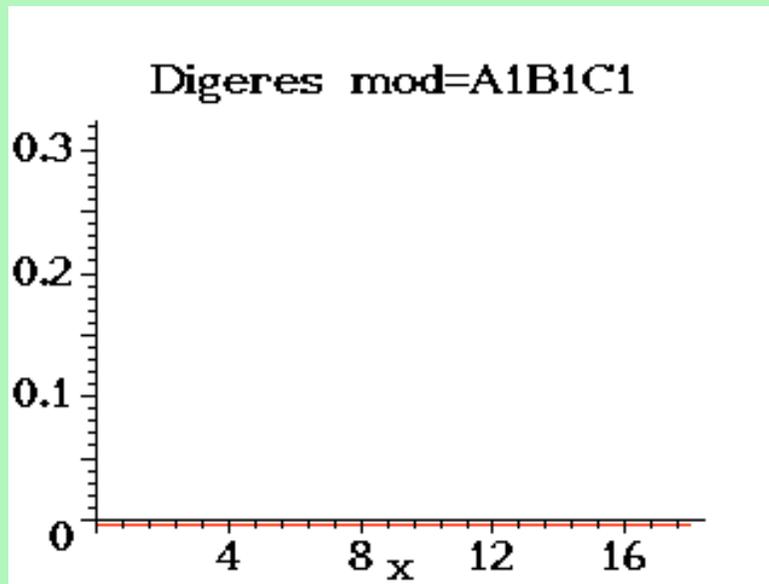
Intestin grêle



# Plan

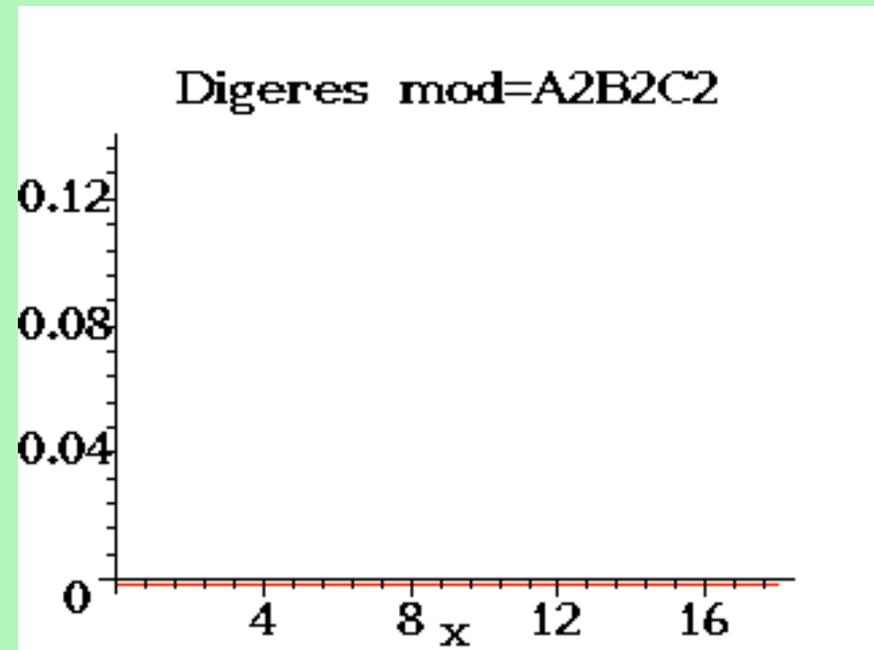
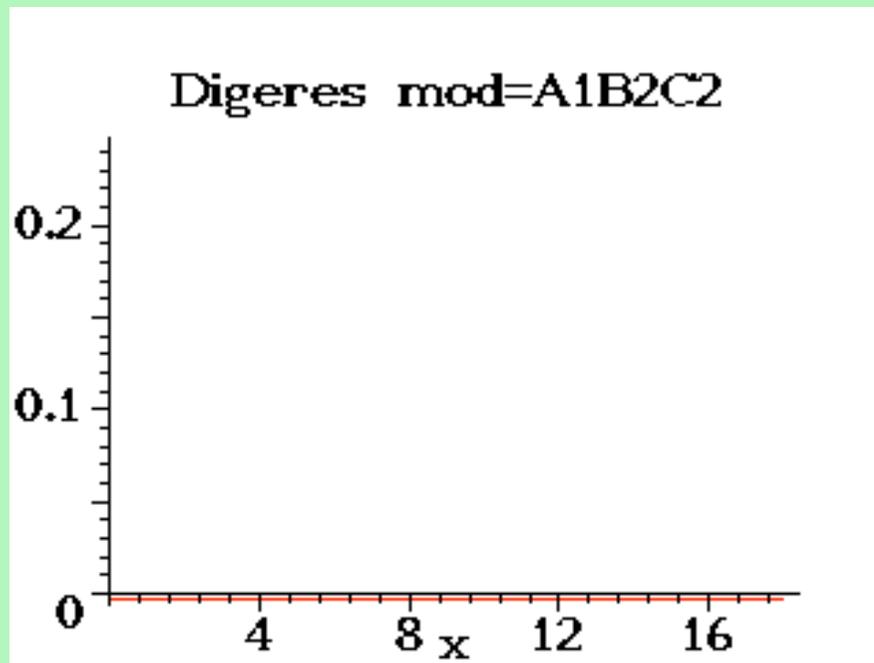
- La diversité et la complexité du tube digestif
- Une activité mécanique intense le long du tube digestif
- Dégradations intenses le long du tube digestif
- Absorptions le long du tube digestif
- Des modèles à modifier
- **Une approche pas à pas :**  
**Un premier modèle avec des hypothèses simples**

# Devenir de la fraction digérée (1)



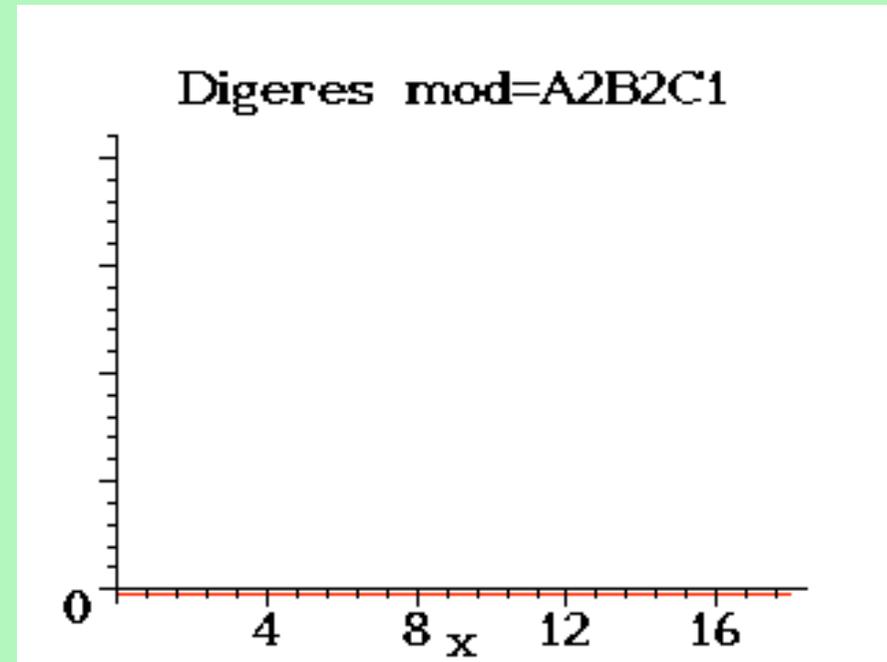
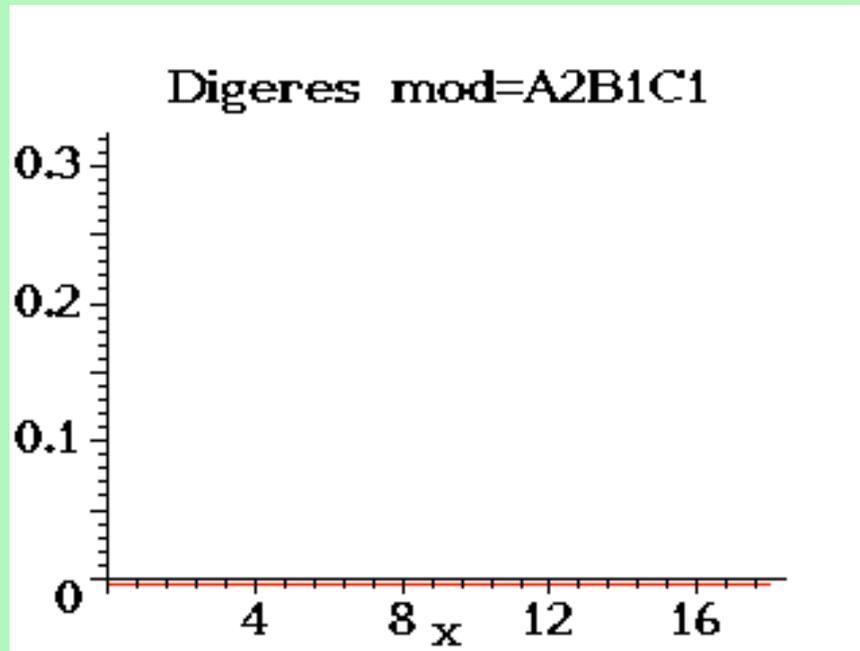
Inactivation de l'enzyme : C1 : 75 %/h C2 : 25%/h

# Devenir de la fraction digérée (2)



Localisation de l'absorption :  
A1 : tout l'intestin A2 : la moitié

# Devenir de la fraction digérée (3)



pH optimal :  
A1 : 5 A2 : 7,5

Merci à Lucile Montagne

(Agrocampus, Rennes)

Et

Marie-Pierre Létourneau-Montminy

(INRA)

