



HAL
open science

Mécanismes de formation de l'interface au cours du procédé de séchage : approche multiéchelles appliquée aux poudres laitières

Cécile Le Floch-Fouéré, Luca Lanotte, Françoise Boissel, Romain Jeantet

► To cite this version:

Cécile Le Floch-Fouéré, Luca Lanotte, Françoise Boissel, Romain Jeantet. Mécanismes de formation de l'interface au cours du procédé de séchage : approche multiéchelles appliquée aux poudres laitières. journée scientifique "science des aliments et valorisation des bio-produits", Institut National de Recherche Agronomique (INRA). UMR UMR INRA / AgroCampus Rennes : Science et Technologie du Lait et de l'uf (1253)., Apr 2019, Rennes, France. hal-02114760

HAL Id: hal-02114760

<https://hal.science/hal-02114760>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mécanismes de formation de l'interface au cours du procédé de séchage : approche multi-échelles appliquée aux poudres lactières

Cécile Le Floch-Fouéré, Luca Lanotte, Françoise Boissel, Romain Jeantet

INRA, UMR1253, F-35000 Rennes, France

Agrocampus Ouest, UMR1253

Les poudres de lait : un marché en pleine croissance



- ~**12 million tonnes** produites / an
- **20%** de la production mondiale de lait
- **Part croissante** du marché due à la mondialisation

Poudres de lait

- Poudre de lait entier
- Poudre de lait écrémé



60% du commerce du lait à l'échelle mondiale en volume

Poudres à teneur élevée en protéines

- Concentré de protéines de lait
- Concentré de protéines de lactosérum / Isolats
- Micelles de caséines



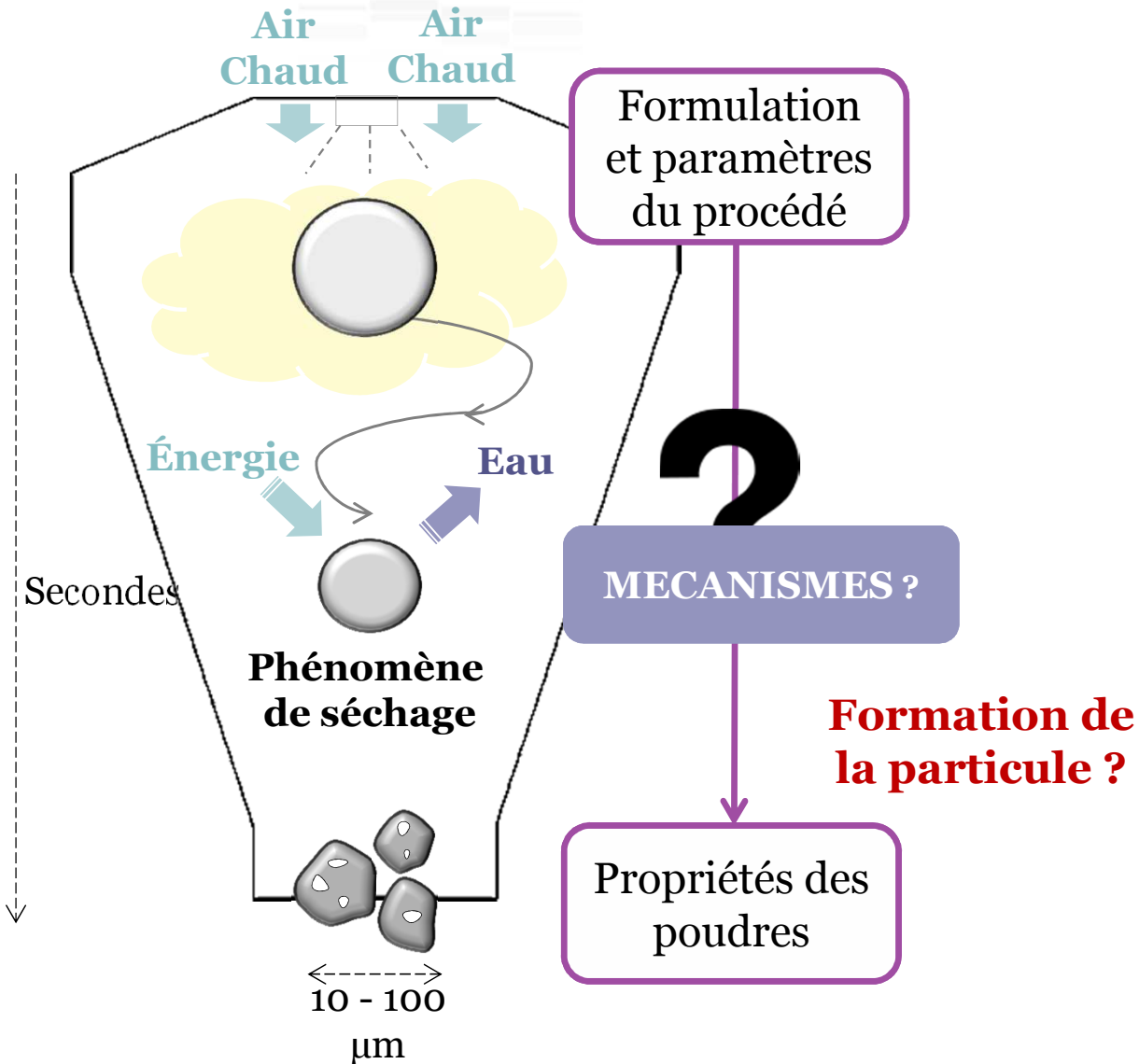
Depuis 1990

Formulation Infantile



Depuis 2005

Qualité de la poudre de lait : quels enjeux ?



LIMITES à l'échelle industrielle:

- *Cinétiques rapides de séchage*
- *Hétérogénéité des échantillons*
- *Complexité du process*
- *Complexité des formules*
- *Coûts des essais industriels*

Question principale de recherche

Quels sont les mécanismes impliqués dans la transformation de la goutte en grain de poudre?



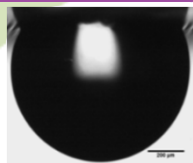
**Approche
multi-échelles
du processus de
séchage**

Approche multi-échelles du processus de séchage

➤ Dans quelle mesure la formation des particules est affectée par le type de protéines et les **paramètres de séchage** ?

➤ Quel est l'impact potentiel des **propriétés mécaniques** des protéines sur les propriétés physiques des particules ?

Dynamique de séchage



Goutte pendante

Protéines du lait

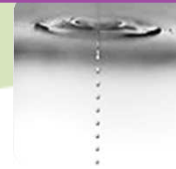
- ✓ Seules ou en mélange
- ✓ $C = 100 \text{ g.L}^{-1}$

Formation de la peau



Goutte confinée

Propriétés des particules



Gouttes mono-disperses

Qualité industrielle



Pulvérisation de gouttes

Intégration des connaissances

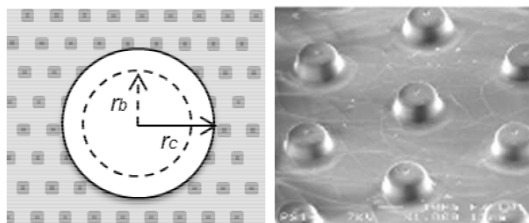
➤ Quel est l'impact de la morphologie des particules sur les **fonctionnalités des poudres** ?

➤ Quels sont les **mécanismes** physicochimiques impliqués dans la **transition goutte particule** ?

Approche goutte pendante

Suivi de la distorsion de la goutte in-situ et en temps réel

Taille des gouttes : 1 mm

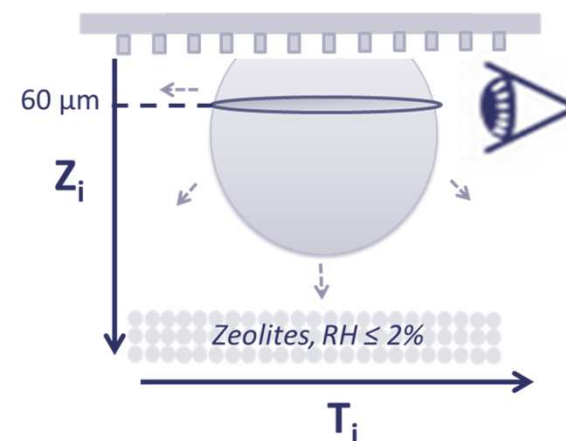


Collaboration IPR

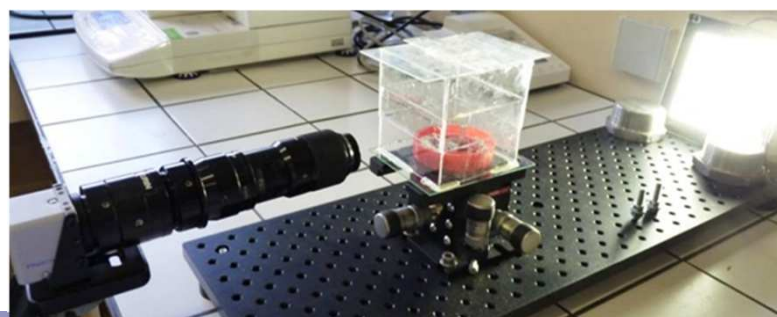
**Micro-balance
Cinétiques de
séchage**



**Microscopie
confocale
Structure interne**



**Caméra rapide
Structure externe**



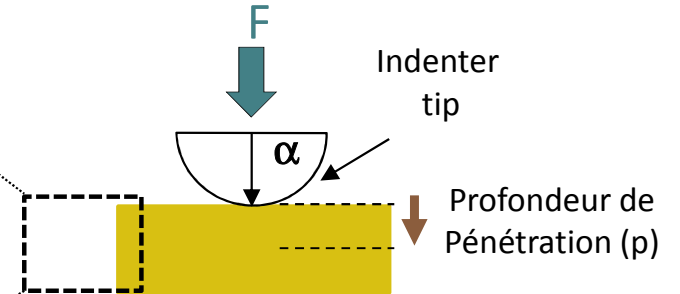
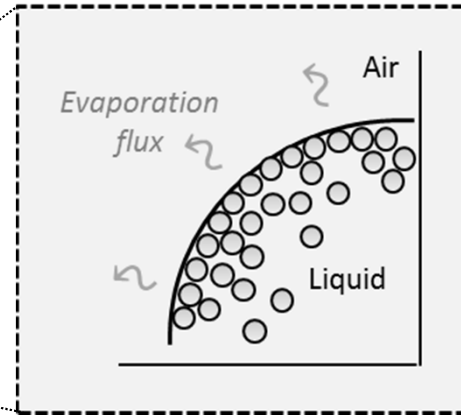
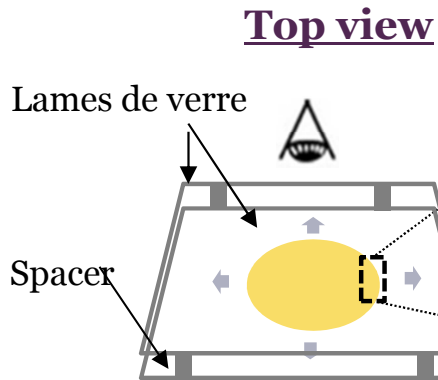
Approche goutte confinée

Formation de la peau et propriétés mécaniques

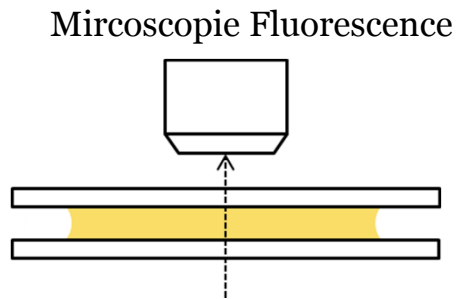
Goutte confinée Formation de la peau

Propriétés spécifiques de la couche de protéines

Micro-indentation Propriétés Mécaniques

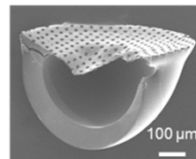


Profil view

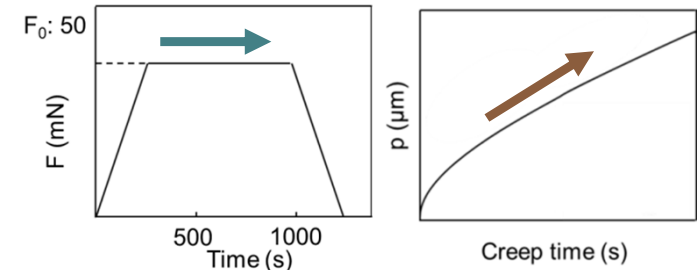
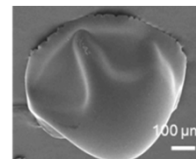


Morphologie de la particule

Particule de WPI



Particule de NPC



- Conditions expérimentales**
- Température: 20°C
 - Humidité Relative : 40%

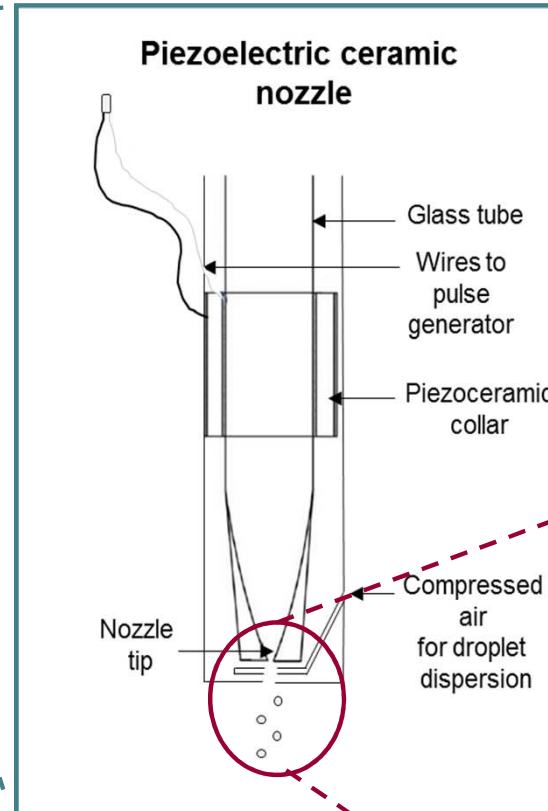
Approche gouttes mono-disperses

Production de gouttelettes homogènes en conditions contrôlées



MDS-D Mark II,
Dong-Concept New Material Technology Co.

Drying Technol 32 (2014) 1540-1551



Conditions expérimentales:

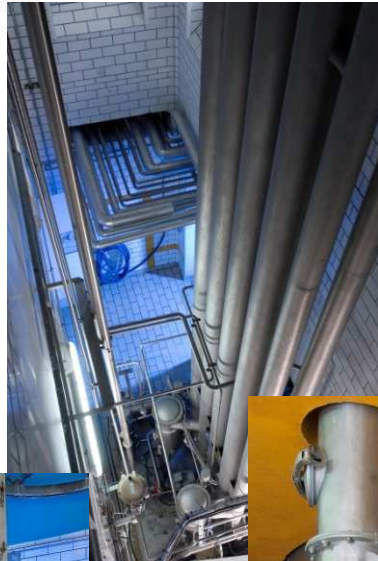
- Ø buse : 100-200 μm
- T int : 193 °C
- T ext : 108 °C
- 20g/h de poudre



- Gouttes uniformes
- Même trajectoire
- ➔ **Mêmes conditions de séchage (T°C, tps de séjour)**
- ➔ **Echantillons homogènes**

Approche pulvérisation

Validation des résultats obtenus à l'échelle industrielle



Intégration des connaissances

- ✓ **Validation** à l'échelle industrielle
- ✓ **Optimisation** des formulations
- ✓ **Contrôle** de la qualité du produit

Conditions expérimentales:

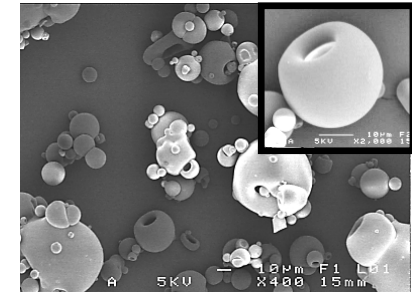
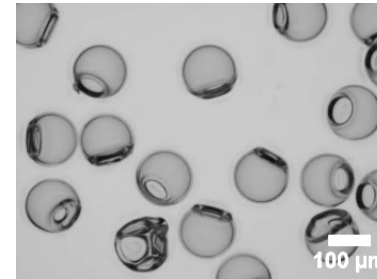
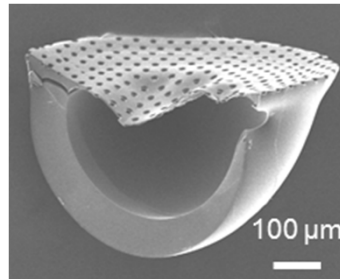
- Ø gouttes : 10-500 μm
- T int : 210 °C
- 30-80 kg/h de poudre

Signature spécifique des protéines

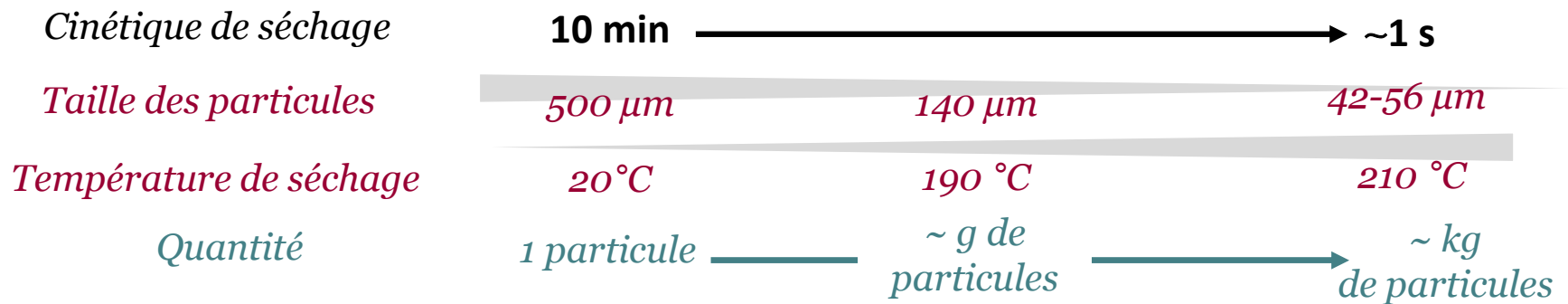
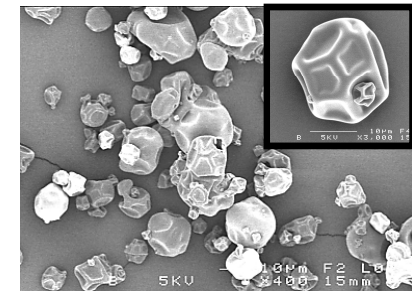
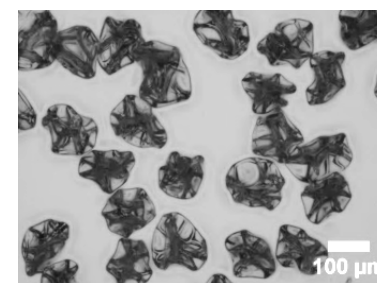
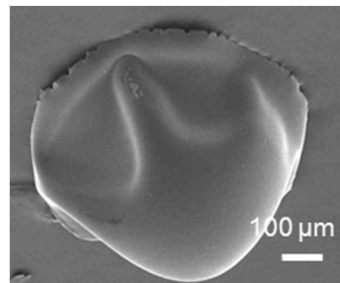
Langmuir **29** (2013) 15606 - 15613
Drying Technol **32** (2014) 1540 - 1551



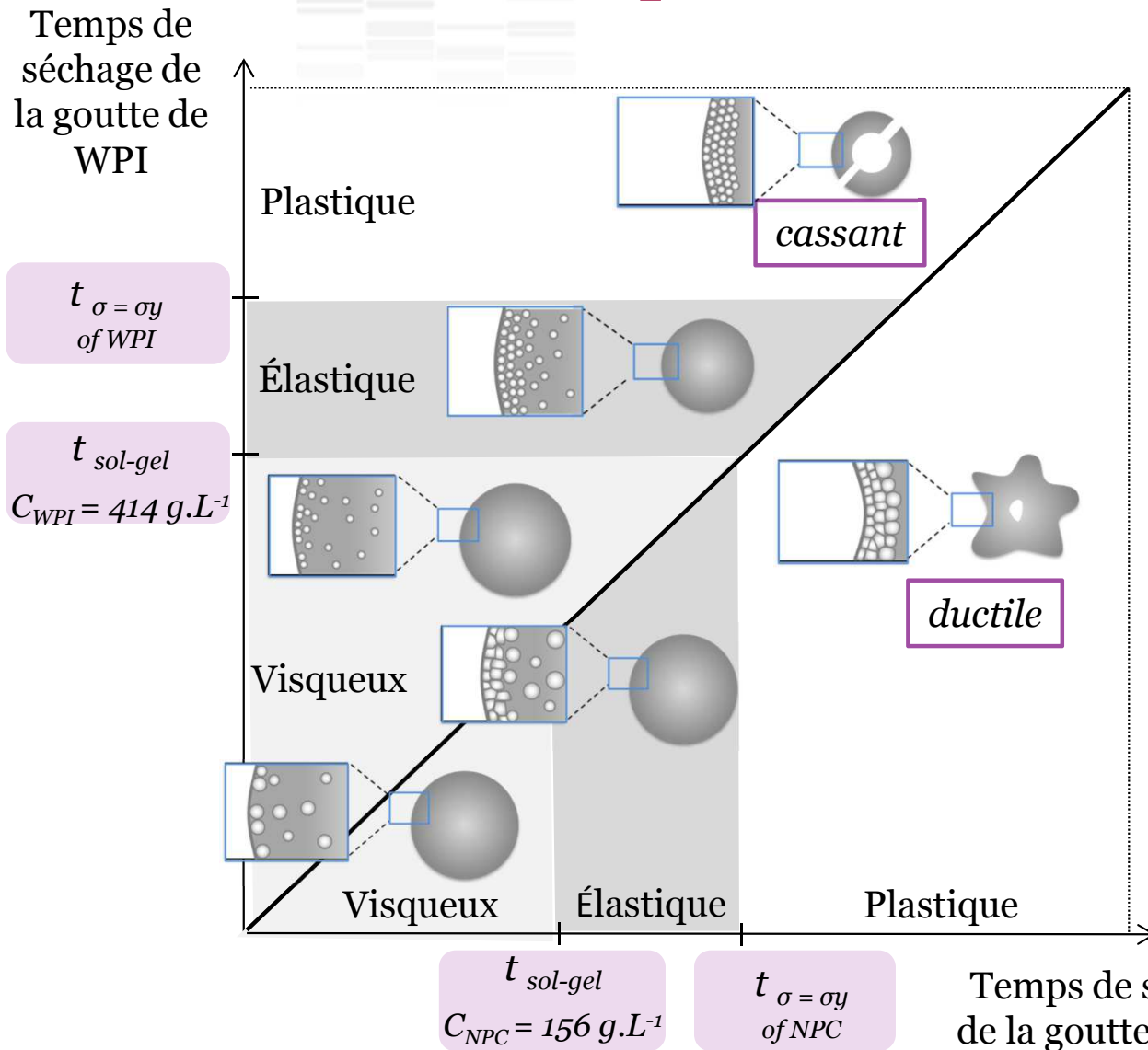
Isolats de protéines sériques (WPI)



Micelles de Caséines (NPC)



Mécanisme potentiel de formation de la peau



- ❑ Le flux d'évaporation concentre les protéines à l'interface
- ❑ A une concentration critique ($t_{sol-gel}$), la surface devient élastique (plus rapide pour NPC)

- Interaction entre protéines



- Propriétés internes de la peau



- Réponses au stress interne différentes

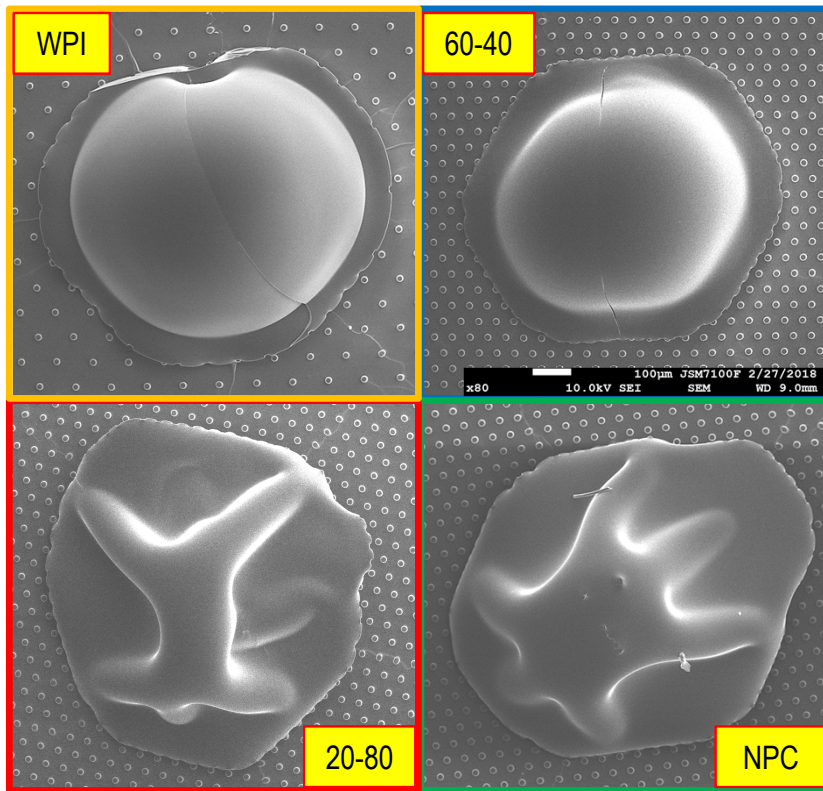
NPC : déformation irréversible
WPI : fracture

Food Hydrocolloids 48 (2015) 8 - 16

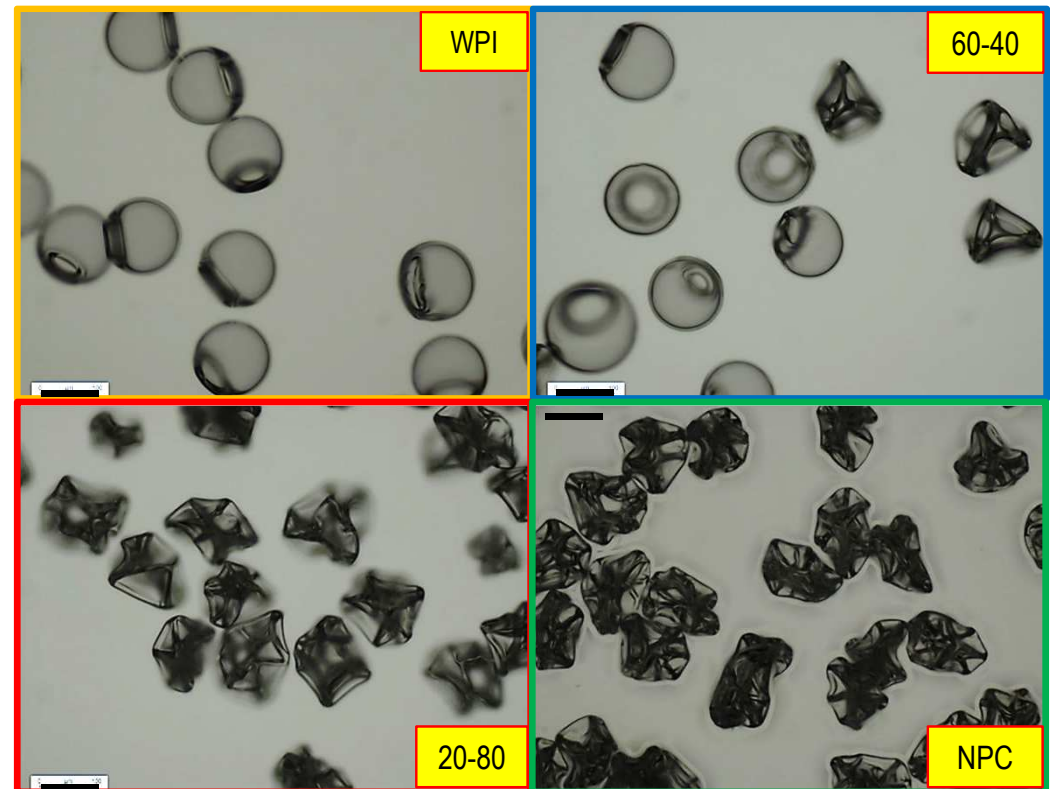
Food Hydrocolloids 52 (2016) 161 -166

Signature des protéines : cas des mélanges

Gouttes pendantes
(Microscopie électronique)



Gouttes mono-disperses
(Microscopie optique)



La protéine majoritaire du mélange gouverne la transition et la forme finale de la particule

Signature des protéines : cas des mélanges

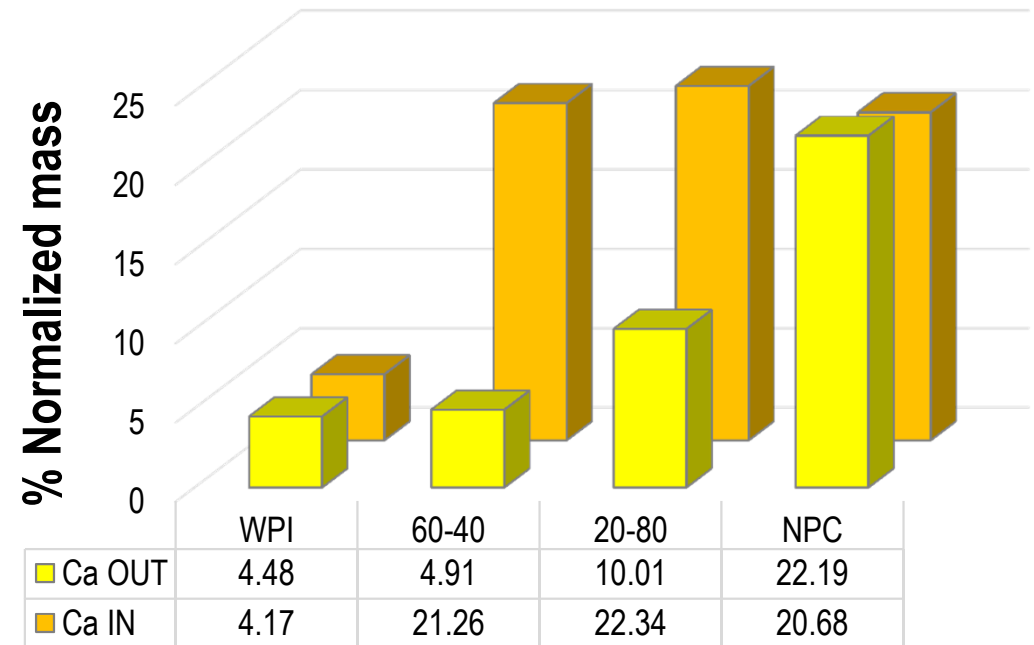
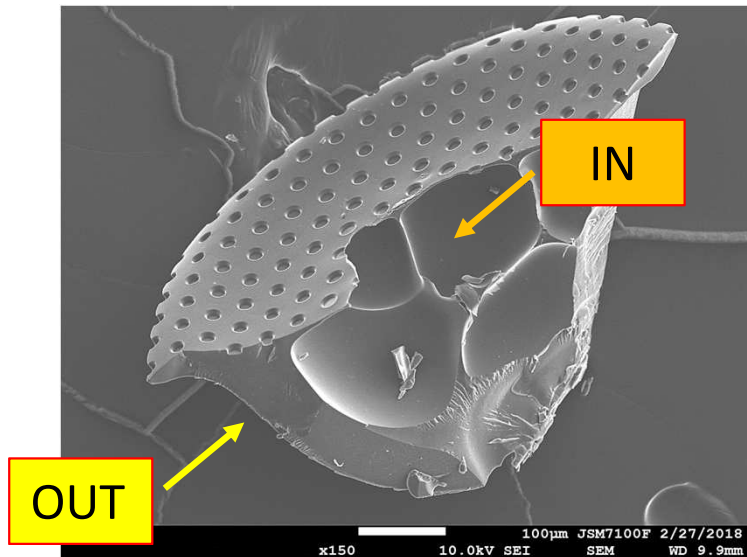
La composition de la peau est-elle représentative de celle du bulk ?

Signature de NPC

Calcium (Ca)



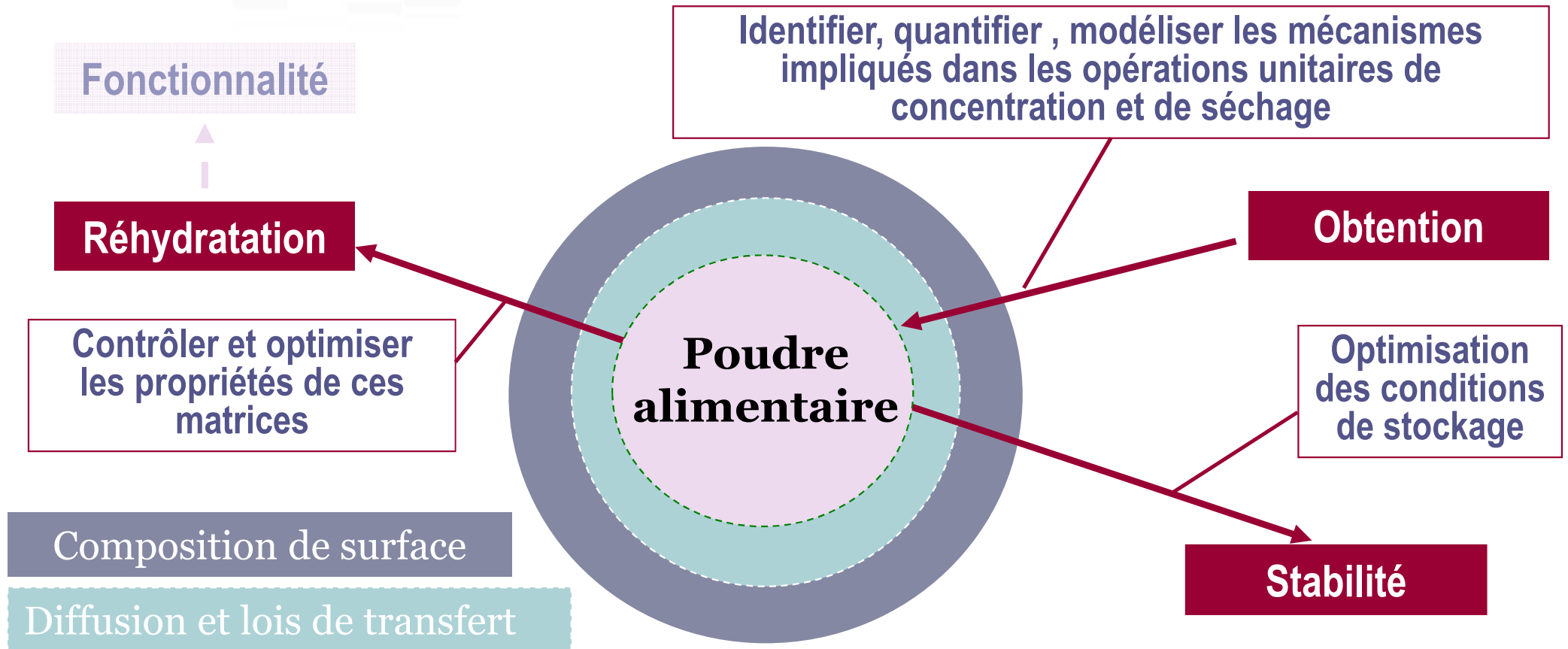
Analyse Élémentaire
(Microscopie, sondes EDS)



Sur-représentation du WPI au niveau de la partie externe de la peau dans les mélanges

Colloids and Surfaces A 553 (2018) 20 -27

Conclusion générale



Qualité des poudres, Interactions Procédés \leftrightarrow Produits
Prédiction des performances de procédés innovants de concentration - séchage

Perspectives

**Maîtrise des procédés pour obtenir des objets (moléculaires, matrices)
aux structures et propriétés contrôlées**



Mobiliser des outils conceptuels de la physicochimie des interfaces et de la physique de la matière molle

Transitions de phase et transition d'état

Approche multi-échelles

Modélisation / simulation

Miniaturisation des procédés

Merci pour votre attention