

# Prix « Médailles d'argent-Dufrenoy »

Thèse : Contribution à l'optimisation de la cuisson de produits panifiés

Etude du phénomène de rupture d'un film de pâte à pain

**Spécialité** : Statistiques/Modélisation en écologie, géosciences, agronomie et alimentation

UR OPAALE-EQUIPE IRMFood

**Par Kossigan Bernard DEDEY**

Dir. de thèse : Tiphaine LUCAS

Co-dir. de thèse : David GRENIER

*Paris, le 20/09/2023*

# ➤ Le pain dans l'alimentation humaine

## Quelques chiffres

- Plus de **39 000 boulangeries** en France en 2023
- **89%** de la population française considère le pain comme **aliment incontournable**, et **19%** comme un **aliment du futur**

## Propriété d'aération (texture)

- Quantité d'air
- Répartition, uniformité et taille des cellules de la mie

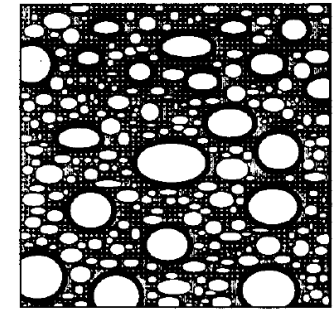
**20% ont pour critère d'achat principal la texture**

Observatoire de la franchise

(<https://www.observatoiredefracnchise.fr/dossier-thematique/chiffres-marche-boulangerie.htm>)



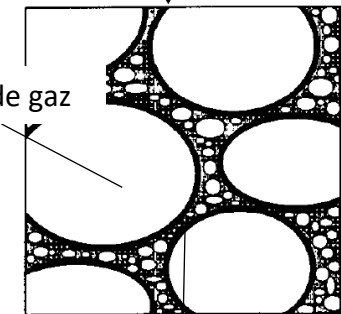
**Pétrissage**  
Formation du réseau de gluten  
introduction de bulles



Mousse  
fermée  
viscoélastique

**Fermentation**

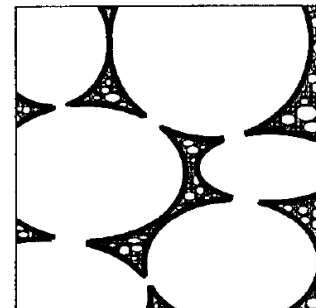
Production de CO<sub>2</sub>  
Augmentation de la contrainte en extension



Mousse  
ouverte  
Solide

**Cuisson**

Gélatinisation de l'amidon  
Dénaturation du gluten  
Rupture du film de pâte  
Perte gazeuse



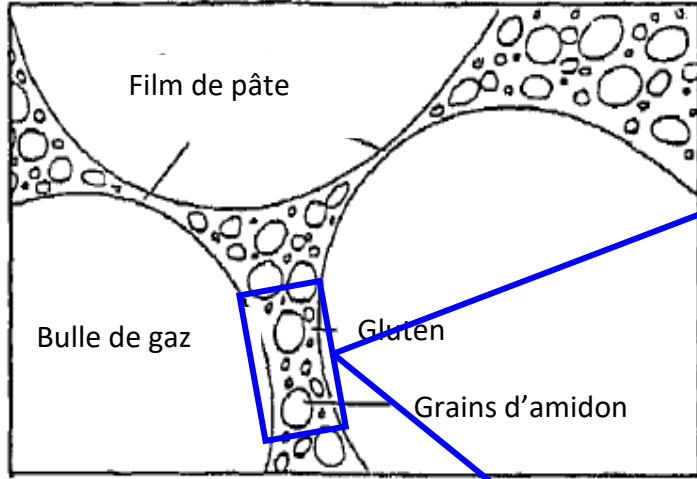
Gan et al (1994)

INRAE

Contribution à l'optimisation de la cuisson de produits panifiés : étude du phénomène de rupture d'un film de pâte à pain

20/09/2023 / Médailles d'argent-Dufrenoy/ DEDEY Kossigan Bernard

# ➤ Contexte de la thèse



Gan et al (1994)

## Fermentation

Épaisseur : 240  $\mu\text{m}$

Vitesse de déformation :  $10^{-4} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

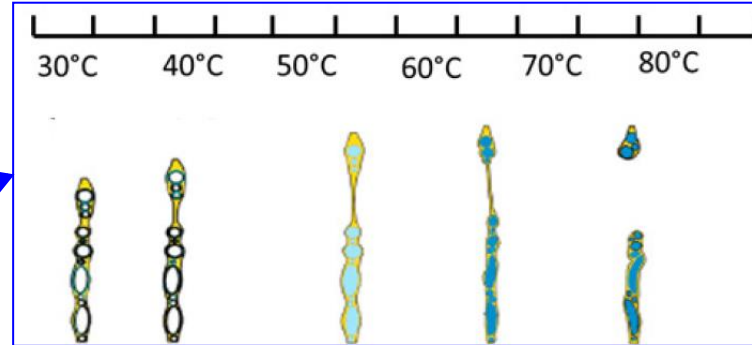
## Cuisson

Épaisseur : 15-30  $\mu\text{m}$

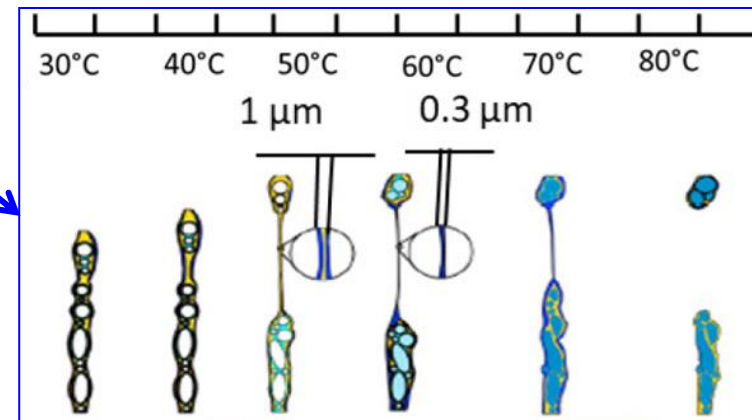
Vitesse de déformation :  $10^{-3} - 10^{-2} \text{ s}^{-1}$

Babin et al (2006) Turbin-Orger et al (2015) Dobraszczyk et al (2017)

## Sans lamelle liquide



## Avec lamelle liquide



Grenier et al (2021)

- Rôle du **gluten** (strain hardening)  
→ Pilote l'extensibilité en début de cuisson

Vliet et al (1992) (Gan et al (1994) Sroan et al (2009)

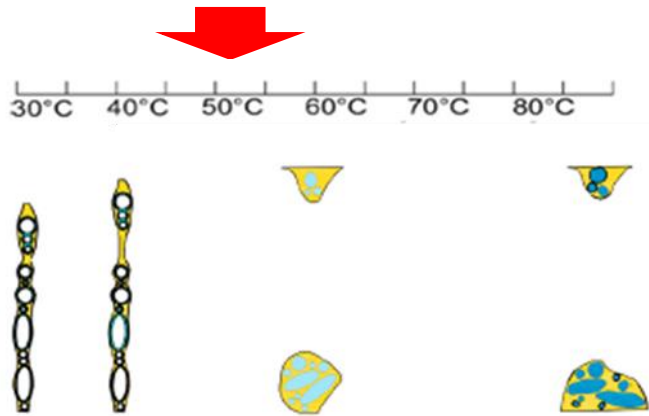
- Element secondaire de stabilisation du film : **lamelle liquide**

MacRitchie et al (1976) Gan et al (1994) Sroan et al (2009)

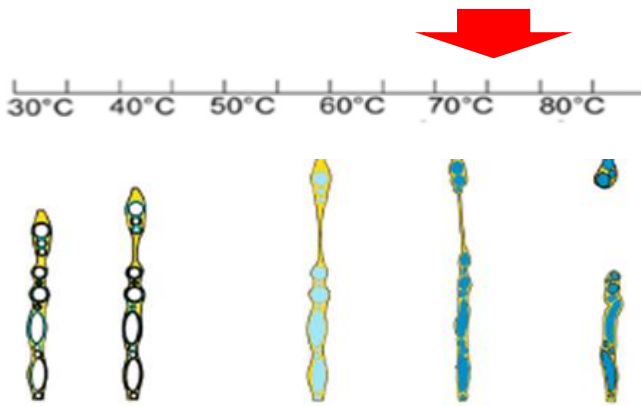
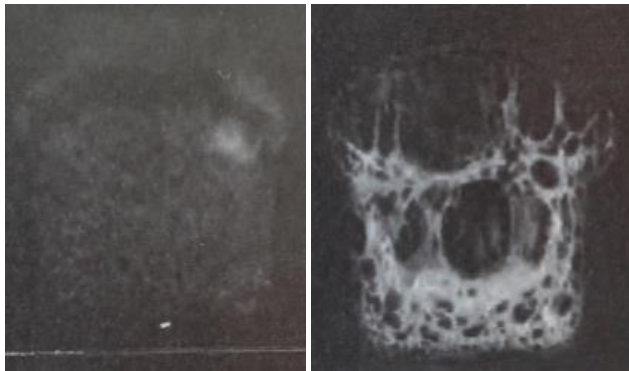
- Rôle des **grains d'amidon (70% de la farine)**  
→ figent la structure du pain en fin de cuisson

Lelievre et al (1987) Mohammed et al (2013)

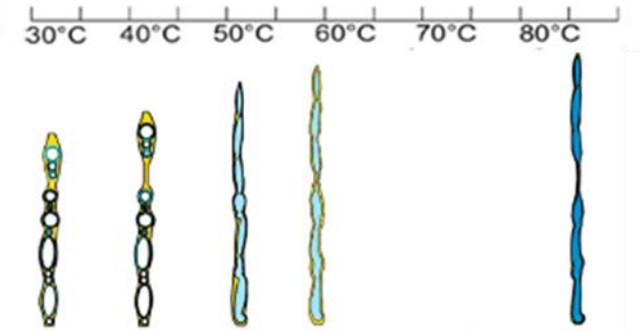
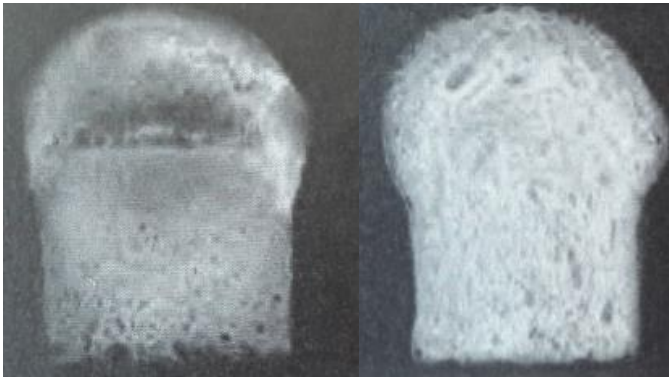
# ➤ Contexte de la thèse



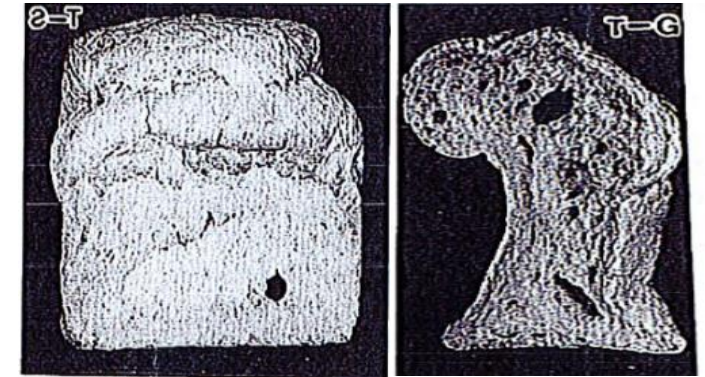
**Rupture précoce**



**Rupture optimale**



**Absence de rupture**



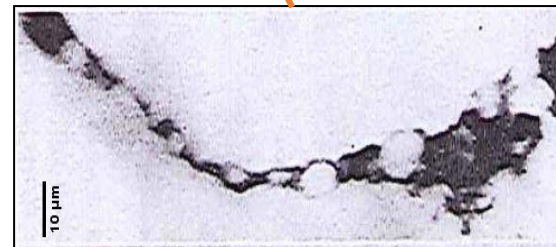
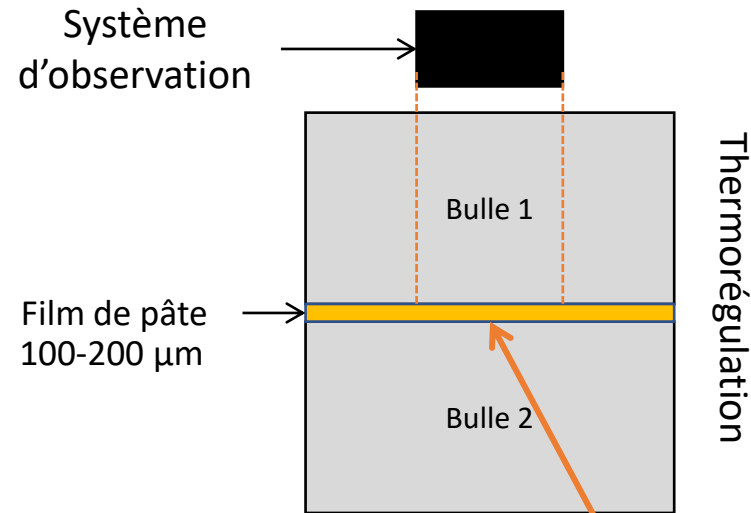
# ➤ Objectifs de la thèse

## Approche expérimentale

- ✓ Observer la rupture
- ✓ Observer les constituants  
Film liquide?

## Approche modélisation

- ✓ Analyser les champs de contrainte
- ➔ Localiser les zones probables de rupture



Sandstedt (1961)

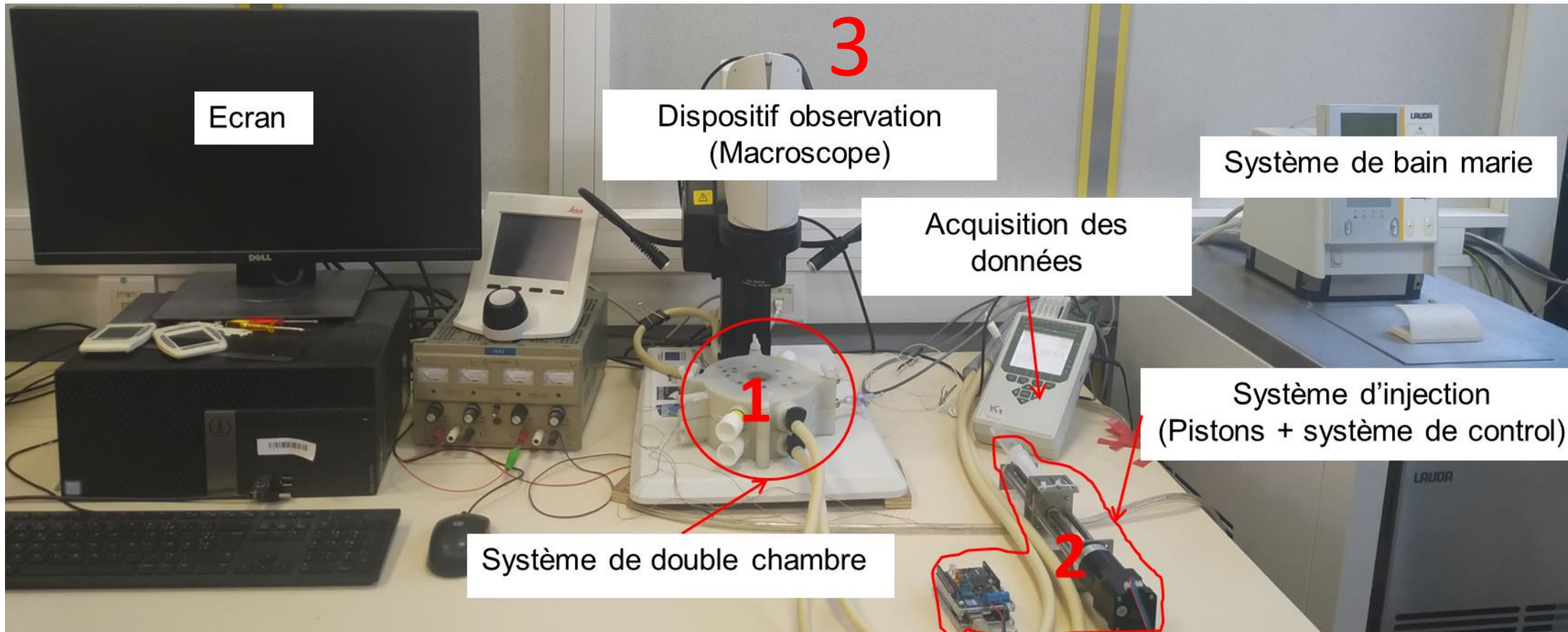
## Un film de pâte en cuisson

- Dimension du film et mode de sollicitation (extension biaxiale)
- Ambiance gazeuse
  - Composition
  - Température
- Faibles vitesses de déformation  $10^{-4} - 10^{-3} s^{-1}$
  
- Un grain d'amidon
- Un film de gluten
- L'interaction gluten/amidon
- Pas de lamelle liquide

# ➤ Observation de la rupture d'un film de pâte

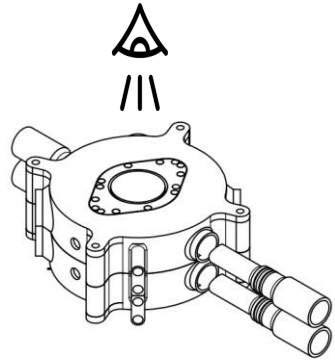


# ➤ Dispositif

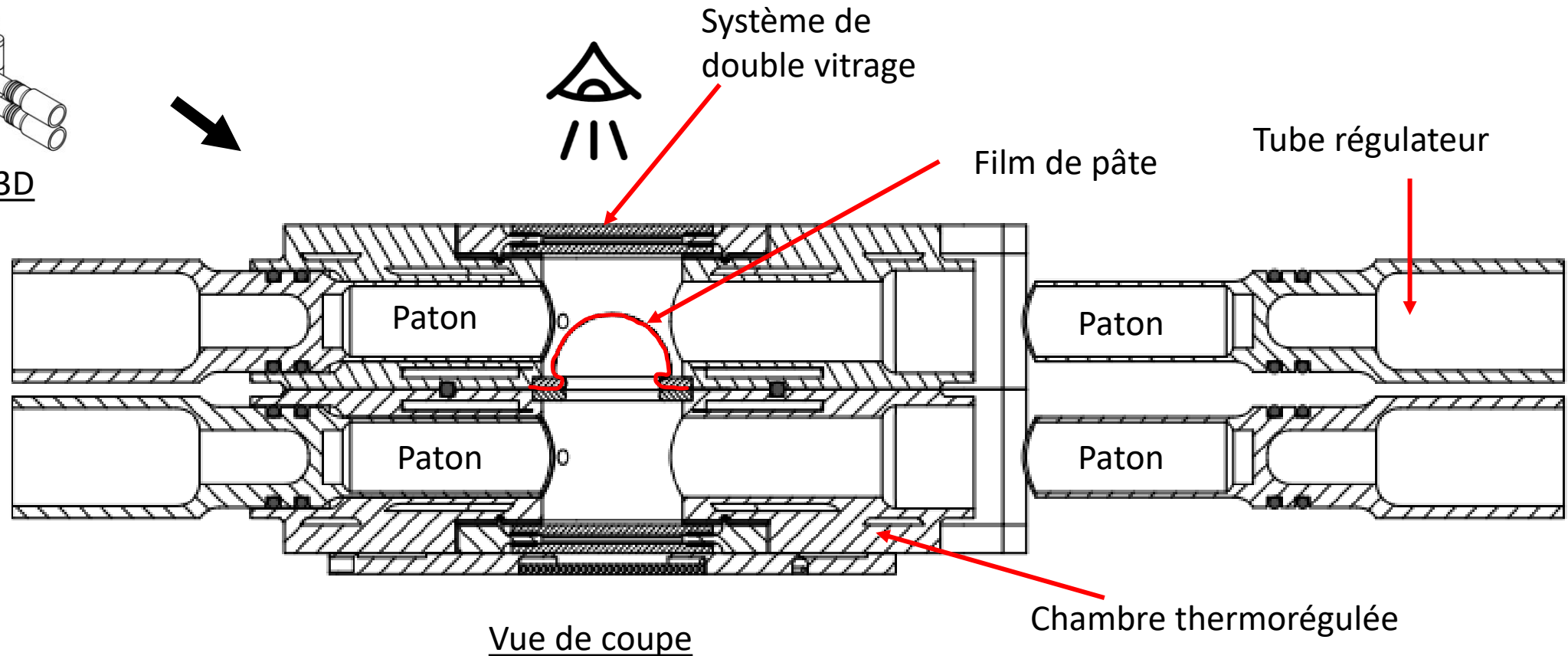


- Etanchéité ✓
- Ambiance gazeuse autour du film ✓
- Faibles vitesses de déformation (fermentation et cuisson) ✓
- Vitesses de déformation constantes ✓

# ➤ Dispositif-système de double chambre



Dessin CAO 3D



Vue de coupe

Dedey, K. B., Grenier, D., Blondel, L., Diascorn, Y., Morel, M. H., & Lucas, T. (2023). Observation of the microstructure of a bi-extended hydrated dough and hydrated gluten under large strain and extremely low strain-rates: Results of an initial study. *Journal of Cereal Science*, 110, 103629.



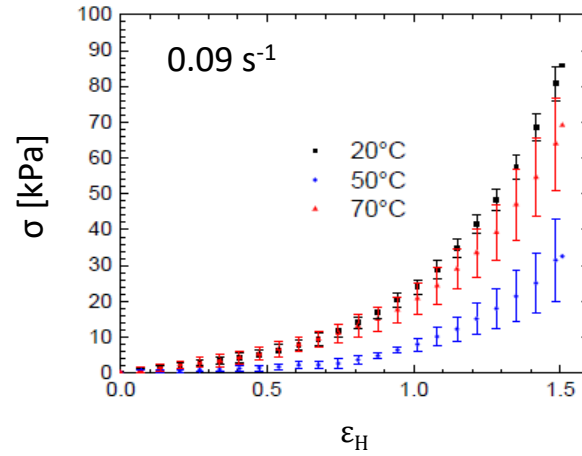
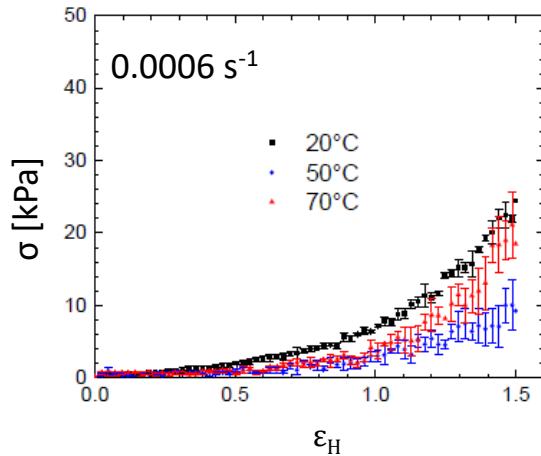
# ➤ Quelques résultats

## ✓ Un film de pâte est-il résistant en cuisson ?

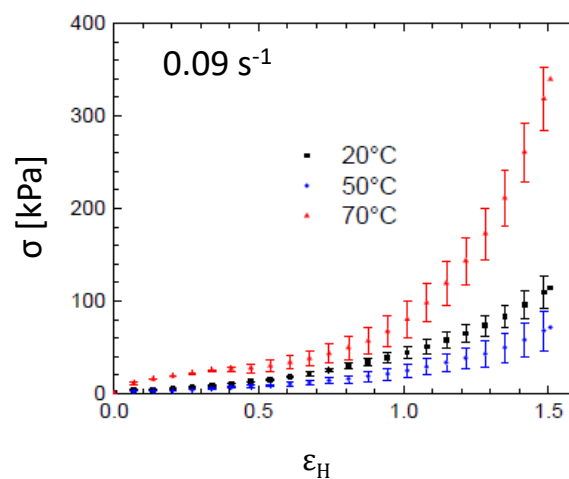
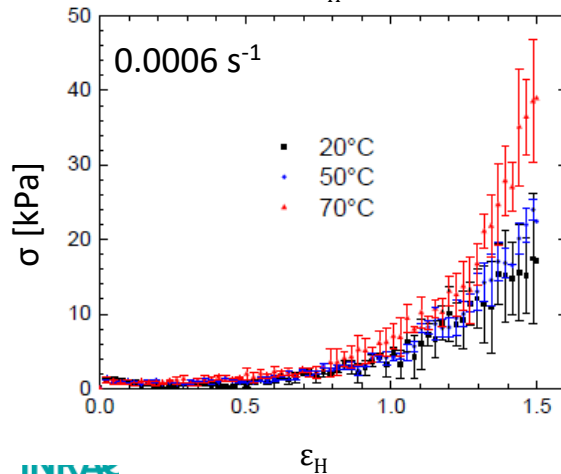
Début de cuisson

Milieu-Fin de cuisson

Gluten



Pâte

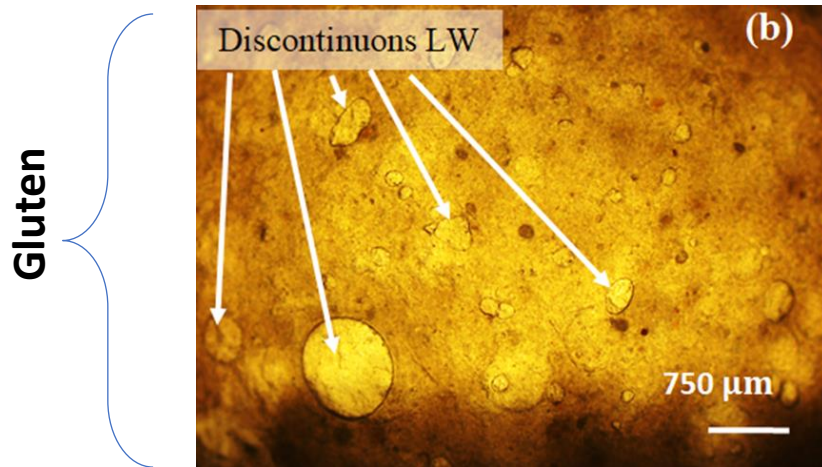


■ **Début de cuisson:** le comportement en extension est piloté par le **gluten**

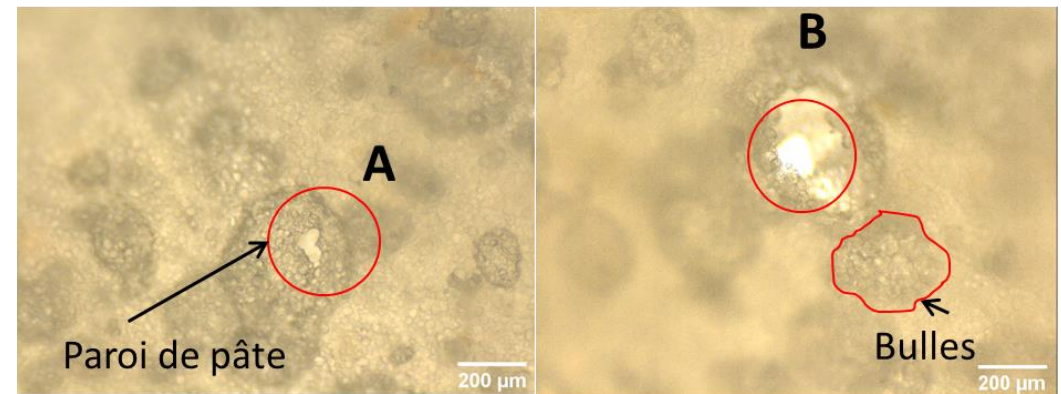
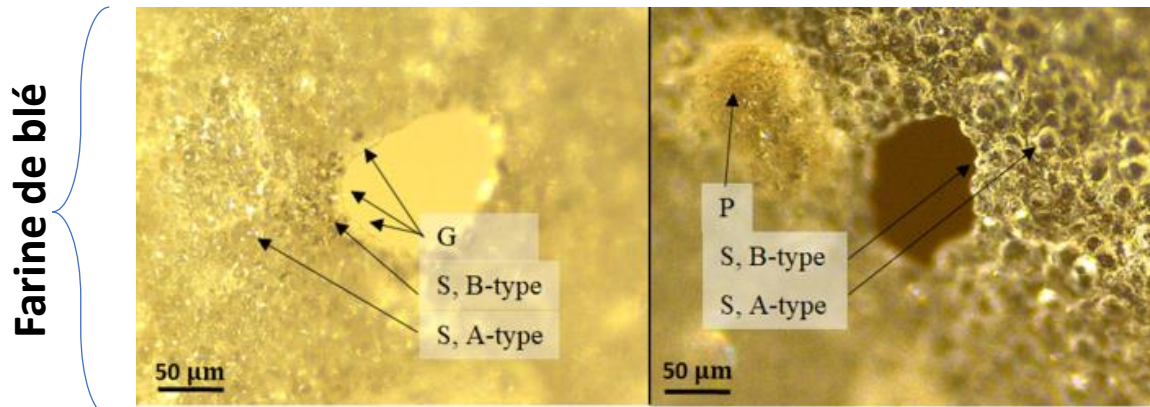
■ **Milieu-Fin de cuisson:** le comportement en extension est piloté par les **grains d'amidon**

# ➤ Quelques résultats

- ✓ Où le film de pâte se casse-t-il et comment les constituants évoluent-ils en cuisson ?



- Observation d'une phase liquide discontinue à la surface du gluten
- Observation des constituants (grains d'amidon)
- Deux niveaux de rupture

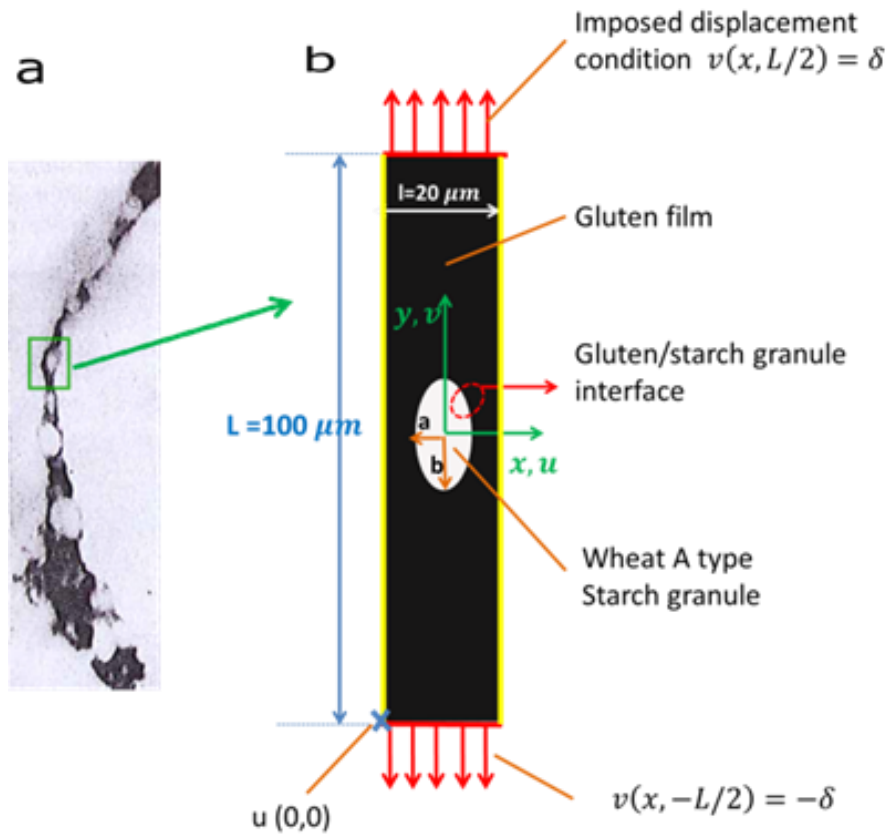


# ➤ Sur le plan modélisation

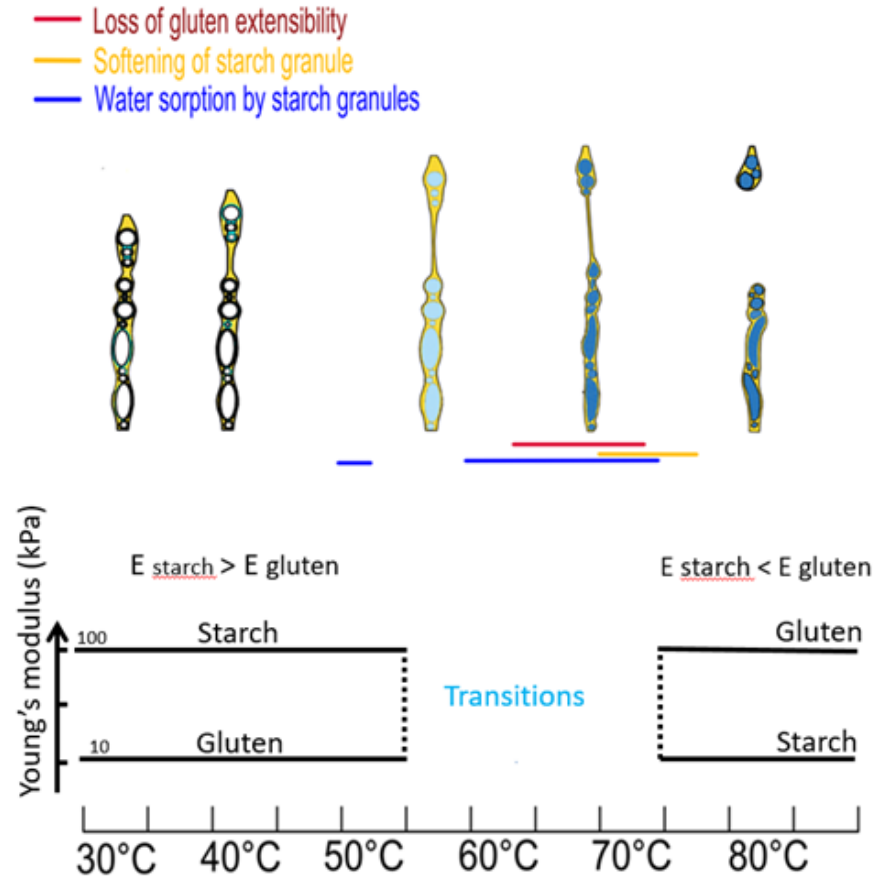


# ➤ Modèle

## ✓ Géométrie et conditions aux limites



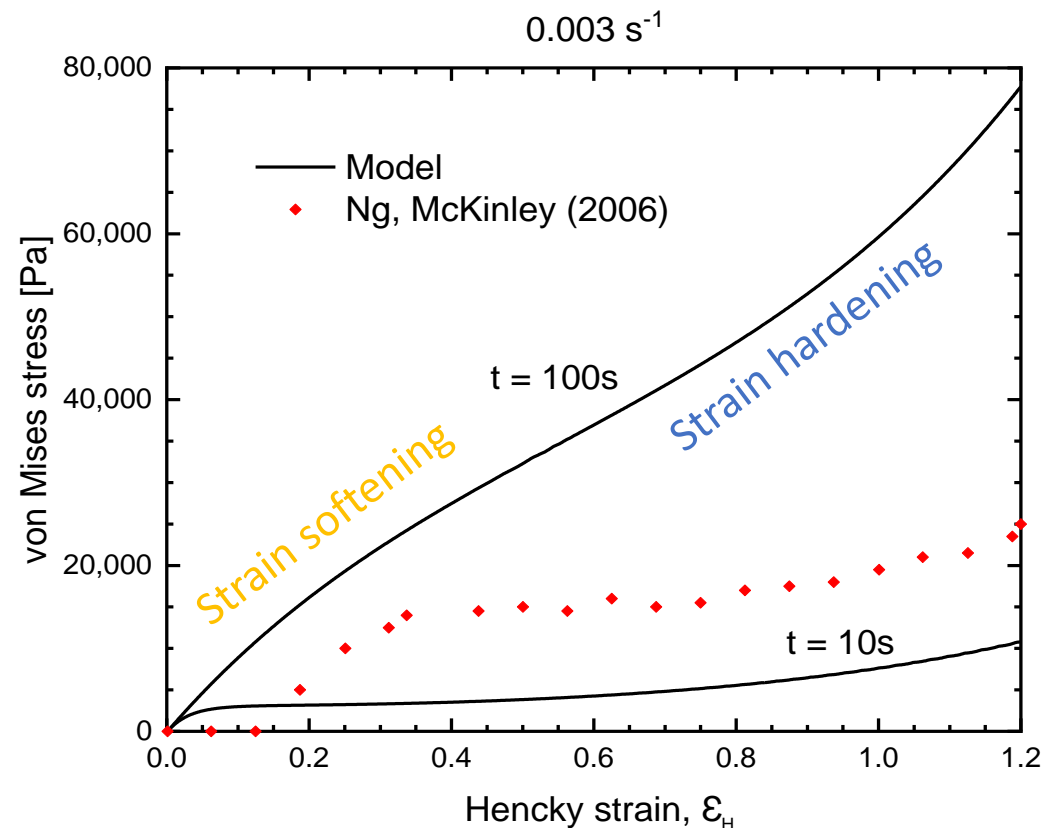
## ✓ Propriétés des constituants du film de pâte



Dedey, K. B., Grenier, D., & Lucas, T. (2021). Mathematical modelling of uniaxial extension of a heterogeneous gas cell wall in bread dough: Stress fields and stress concentration analysis relating to the proving and baking steps. *Journal of Food Engineering*, 308, 110669.

# ➤ Quelques résultats

- ✓ Validation du cadre théorique sur du gluten en configuration de début de cuisson



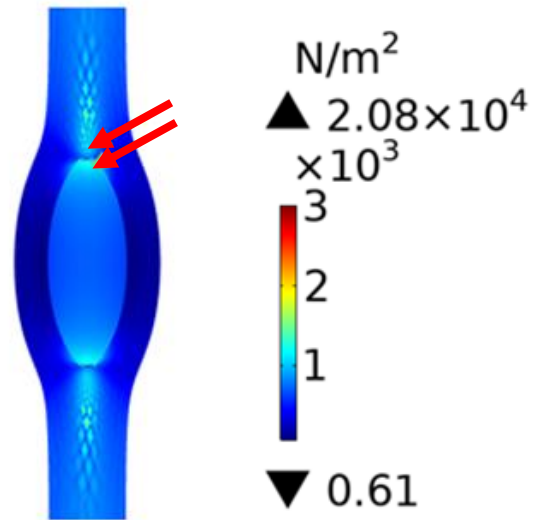
- Strain softening puis strain hardening ( $0.003 \text{ s}^{-1}$ )
- Besoin de données expérimentales en températures élevées

# ➤ Quelques résultats

- ✓ Peut-on prévoir la rupture en cuisson ?

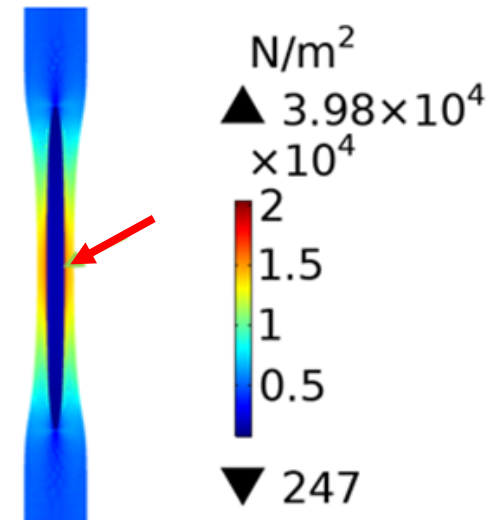
Debut de cuisson

Cas d'interaction  
cohésive entre  
l'amidon et le gluten



- ✓ Film susceptible de se rompre aux extrémités des grains d'amidon

Milieu – Fin de cuisson

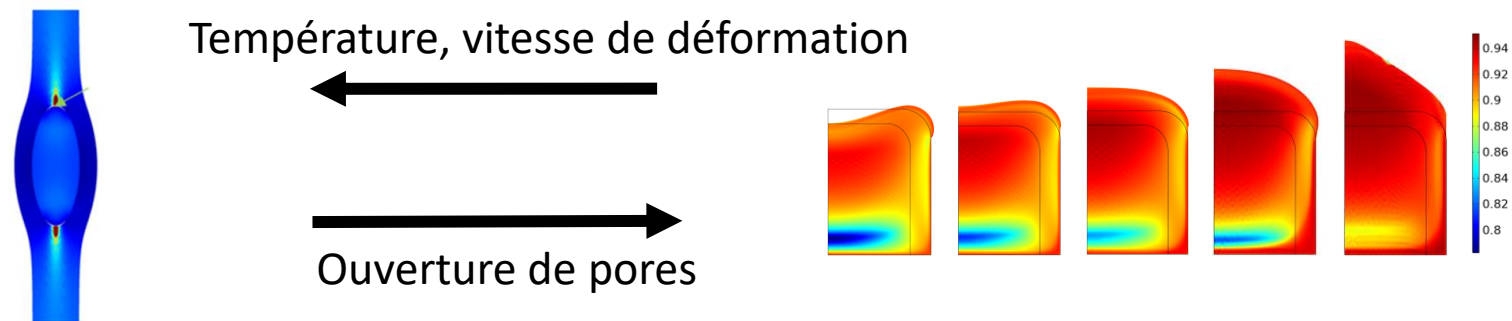


- ✓ Film susceptible de se rompre sur les faces des grains d'amidon

# ➤ Conclusion & Perspectives



- Mettre en évidence le rôle du gluten et de l'amidon dans la rupture du film
  - Lien entre texture du pain et propriétés des constituants
  - Une piste pour la production de pains sans gluten (ayant même texture que le pain complet)
- **Manque de données mécaniques aux différentes températures** (grain d'amidon, gluten...) → Post doc en cours
- Coupler ce modèle à un modèle de cuisson: **ouverture des pores dans le modèle de cuisson ?**





# ➤ Remerciements

**Académie d'Agriculture de France**  
**Mme Anne-Marie HATTENBERGER, Membre correspondant de l'AAF**  
**Gérard CUVELIER : Académicien référent de l'AAF**

## **Direction de thèse**

Dir. de thèse Tiphaine Lucas

Co-dir. de thèse : David GRENIER

Laurent BLONDEL, Ingénieur d'étude

Yves DIASCORN, Ingénieur d'étude

**Financement : Université de Rennes 1 & INRAe**



**INRAe**

Contribution à l'optimisation de la cuisson de produits panifiés : étude du phénomène de rupture d'un film de pâte à pain

20/09/2023 / Médailles d'argent-Dufrenoy/ DEDEY Kossigan Bernard

# ➤ Situation professionnelle actuelle

Ingénieur projet R&D

SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) | Unité Matériaux et Transformation (UMET) - INSTITUTE  
CENTRALE LILLE- CNRS - UMR 8207

Mission : Développement de modèles de pyrolyse sur des matériaux composites à base de polypropylène  
intumescent utilisé comme plaques protectrices de batteries de voitures électriques



INRAE

Contribution à l'optimisation de la cuisson de produits panifiés : étude du phénomène de rupture d'un film de pâte à pain

20/09/2023 / Médailles d'argent-Dufrenoy/ DEDEY Kossigan Bernard

# Merci pour votre attention !!!



**INRAE**

Contribution à l'optimisation de la cuisson de produits panifiés : étude du phénomène de rupture d'un film de pâte à pain

20/09/2023 / Médailles d'argent-Dufrenoy/ DEDEY Kossigan Bernard