

## Séminaire SIMPFRI

**Couplage entre écoulements, transferts thermiques et transformation lors du changement de phase d'un produit alimentaire liquide complexe – Application à la maîtrise de la texture**

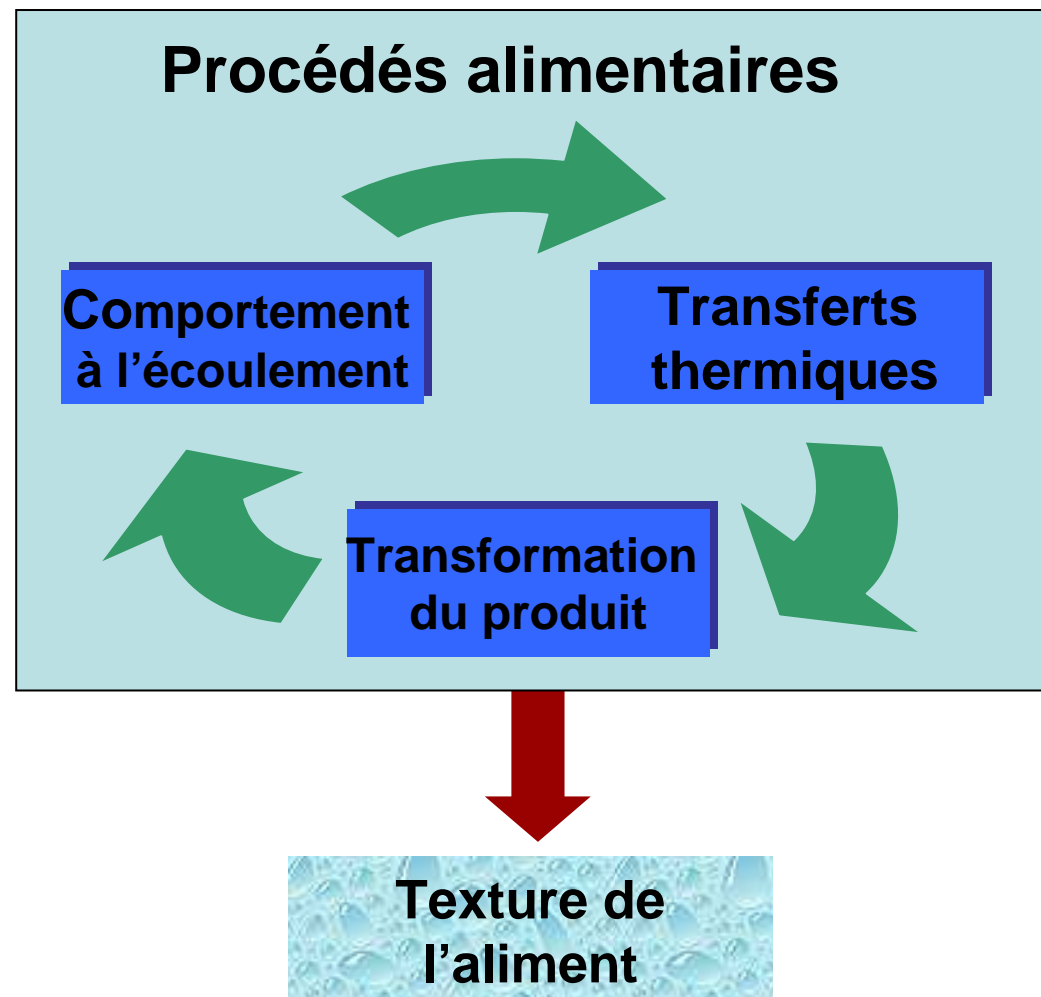
**Clermont Ferrand le 14 Mai 2007**

**Anis HADDAD AMAMOU – Hayat BENKHELIFA – Graciela ALVAREZ – Denis FLICK**



# Problématique

- Qualités organoleptiques d'un aliment (**texture**, saveur...) = f° (formulation, **procédés** et mode de conservation).





# Objectifs

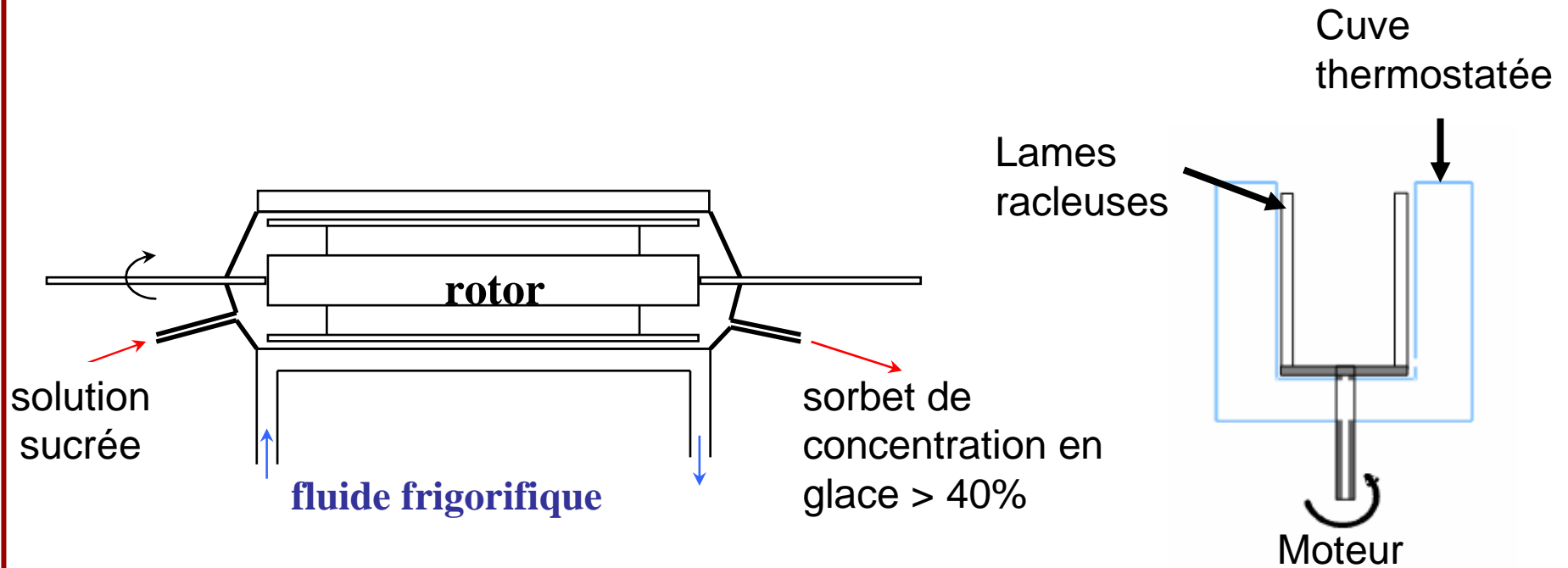
- **Compréhension de l'influence des variables du procédé sur la texture finale du produit.**
- **Cas de produits changeant de phase sous cisaillement lors d'un traitement thermique dans un échangeur de chaleur à surface raclée (ECSR).**

## **Exemple traité**

**Congélation de solutions sucrées dans un simulateur expérimental d'ECSR.**



# Principe de l'ECSR



Taille pilote (continu)

Taille laboratoire (Batch)

Suivi de l'évolution  
d'une tranche de  
produit



# Méthodologie

## Principe

**Combinaison de l'expérimentation, la modélisation et la simulation numérique.**

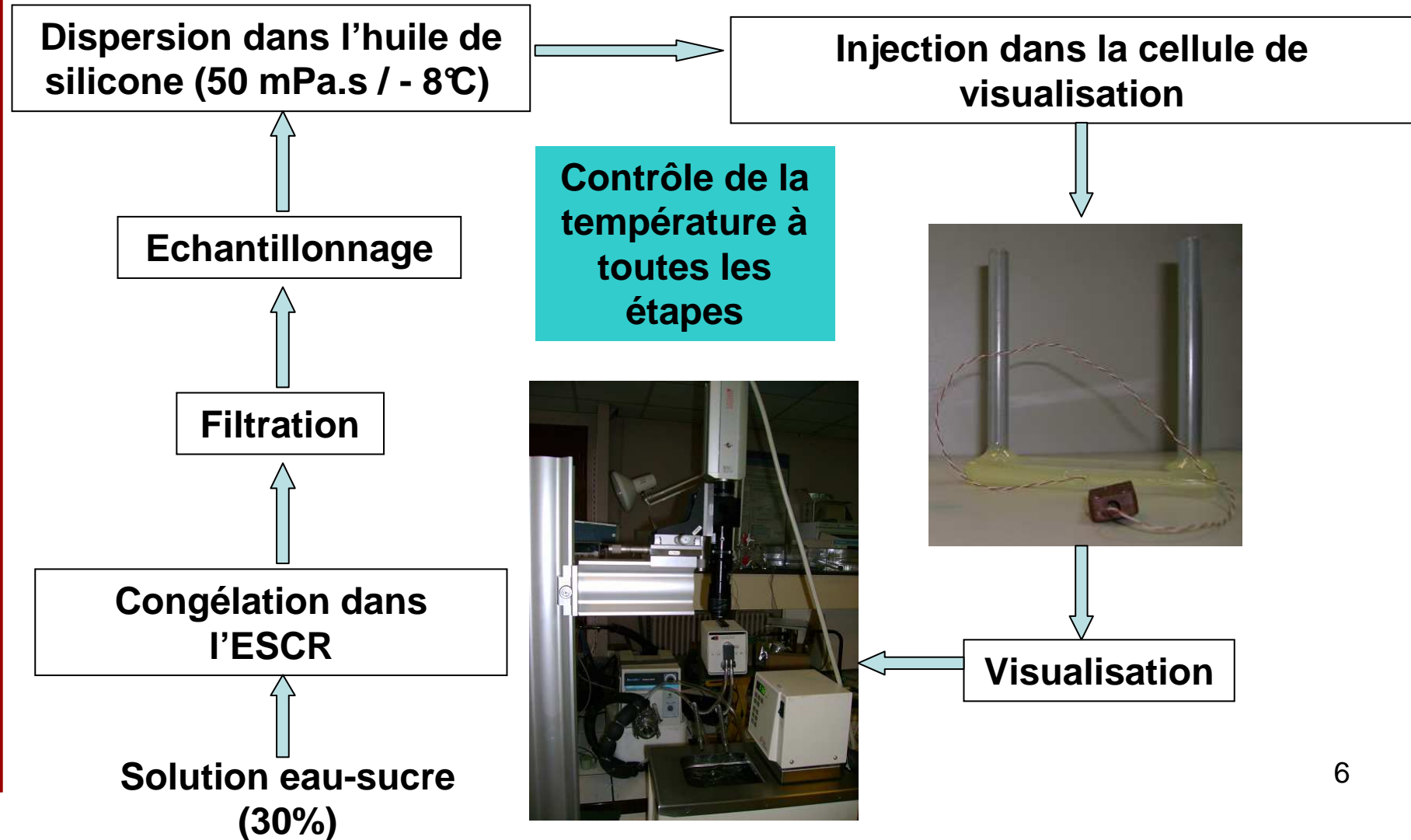
## 3 étapes

- **Caractérisation de la dispersion des tailles des cristaux (CSD) de la glace formée.**
- **Etude expérimentale du couplage des cinétiques de refroidissement, du cisaillement et de la transformation (formation et croissance des cristaux de glace et viscosité).**
- **Développement d'un modèle pour comprendre les mécanismes et permettre la simulation de l'évolution du produit.**



# Etape 1 : Détermination des tailles des cristaux

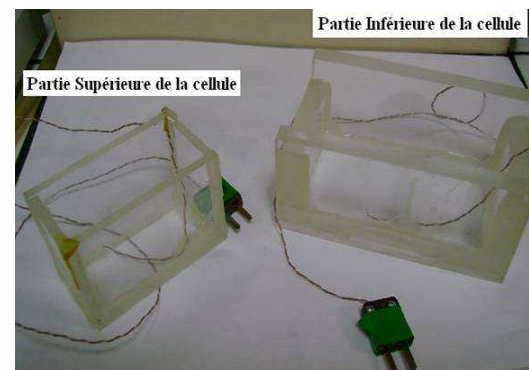
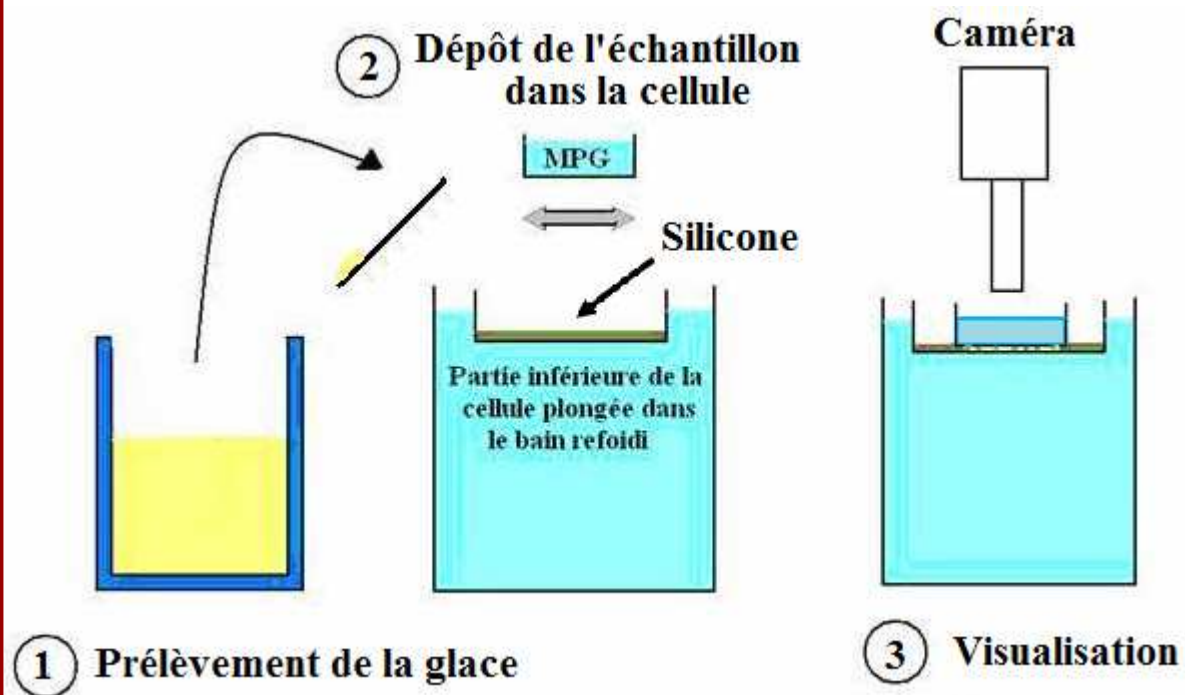
## Protocole expérimental 1





# Etape 1 : Détermination des tailles des cristaux

## Protocole expérimental 2

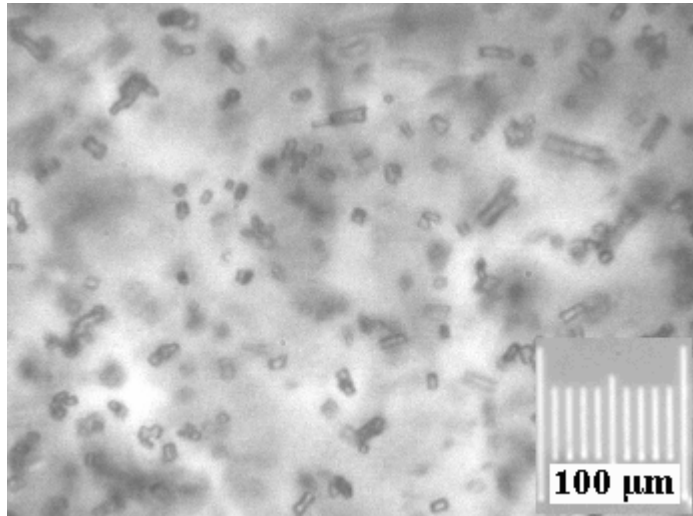


Cellule à écrasement des amas de glace

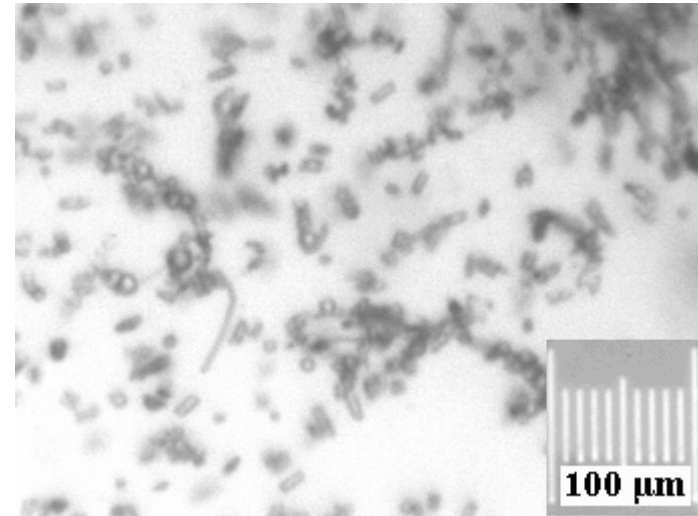


# Etape 1 : Résultats

➡ Cristaux de taille de 10 – 30  $\mu\text{m}$ .



**Cristaux visualisés dans le protocole 1**



**Cristaux visualisés dans le protocole 2**

- ➡ Résultats encourageants mais limités.
- ➡ limite de la filtration et non reproductibilité de la dispersion et de la visualisation.





# Etape 1 : Conclusions

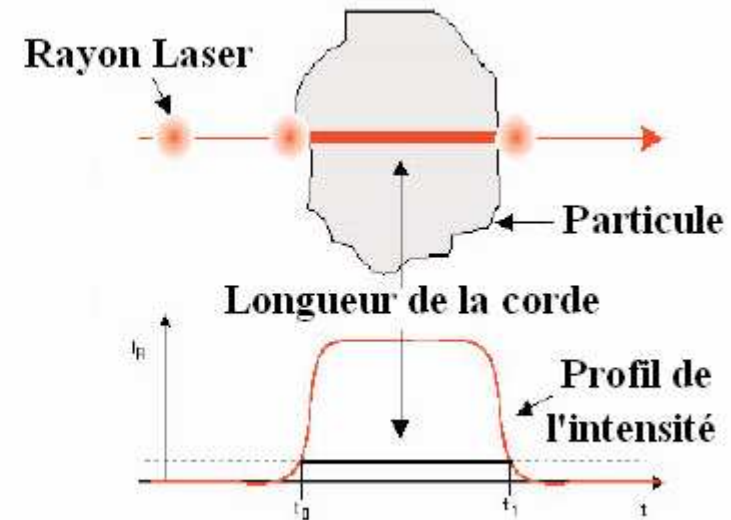
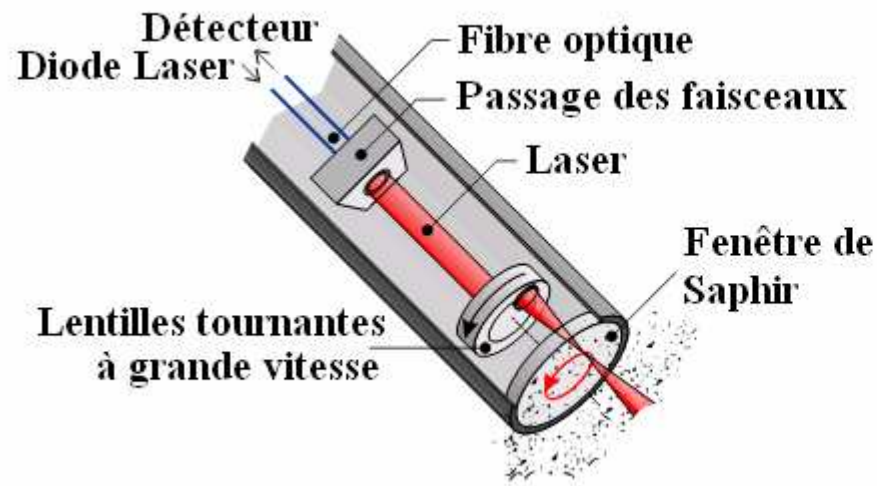
- ➔ Estimation de l'ordre de grandeur de la taille des cristaux à différents stades de la cristallisation.
- ➔ Information sur leur morphologie.
- ➔ Vérification de l'influence des paramètres opératoires sur la taille et la forme des cristaux.
- ➔ Technique qualitative (**non quantitative**).

## Perspectives

- ➔ Deuxième technique (prévue) : **Focused Beam Reflectance Measurement (FBRM)**.



# Etape 1 : FBRM



## ✚ Avantages

- Méthode en ligne.
- Adaptée à des concentrations élevées (~ 50%).

## ✚ Inconvénients

- Pas d'indication sur la morphologie des cristaux.
- Mesure de la taille des cordes et non pas des diamètres.



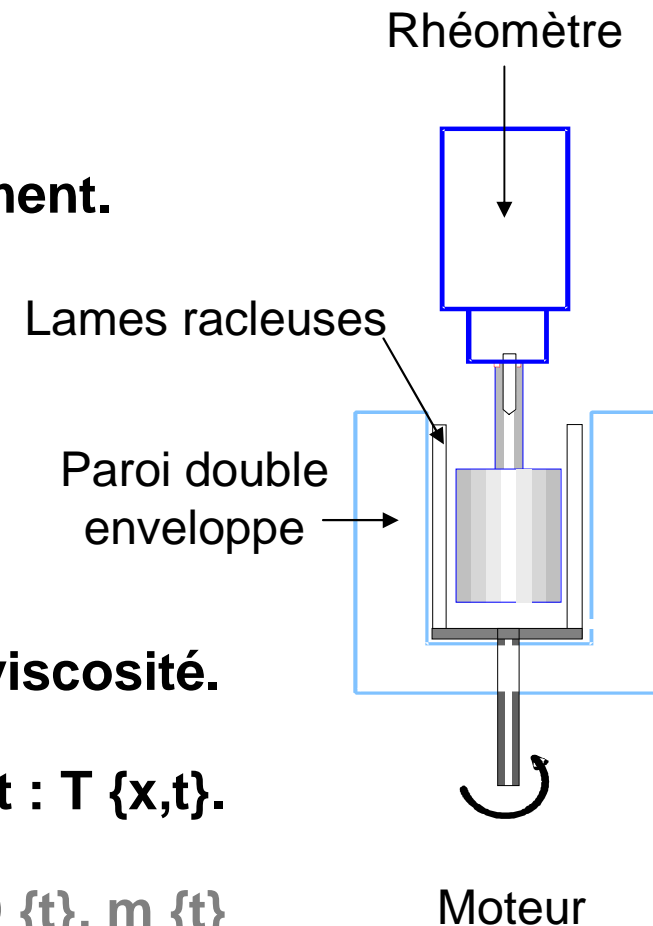
## Etape 2 : Etude des cinétiques

### ✚ Contrôles

- Vitesse de rotation, vitesse de cisaillement.
- Cinétiques de refroidissement

### ✚ Mesures in situ

- ➔ Evolution du couple : évolution de la viscosité.
- ➔ Evolution de la température du produit :  $T \{x,t\}$ .
- ➔ Evolution de la granulométrie :  $n \{t\}$ ,  $D \{t\}$ ,  $m \{t\}$





## Etape 2 : Etude des cinétiques

---

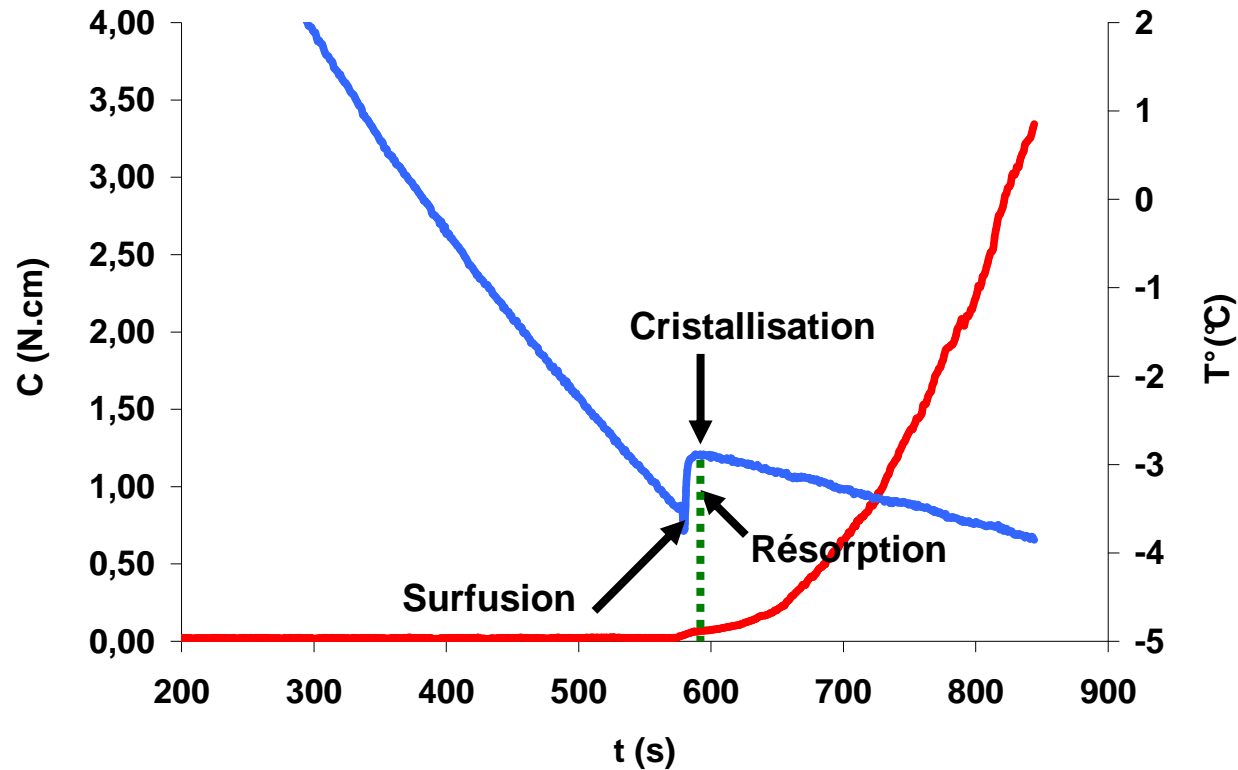
### + Mise au point des mesures :

- **Thermiques : homogénéité des températures**
- **Rhéologiques : calibration du nouveau rhéomètre, nouveaux mobiles, vérification du glissement**



## Etape 2 : Etude des cinétiques

Evolution du couple et de la température au cours de la cristallisation



— C (vitesse = 100 tr/min)  
— T (vitesse = 100 tr/min)