

Claudia Cogné – Résumé des travaux

Mes activités de recherche sont divisées en deux axes : (i) les procédés de congélation et (ii) les milieux particuliers.

I. Les Procédés de congélation

Etudier la cristallisation de l'eau de façon théorique et pratique permet de corréler les paramètres opératoires du procédé à la taille et à la morphologie des cristaux. Cette démarche est particulièrement utile pour l'intensification de procédés, l'extrapolation de procédés, ou la maîtrise des propriétés d'usage des produits formés. La synthèse de mes travaux peut se découper en deux grandes parties qui reflètent les deux mécanismes de la cristallisation :

(a) les travaux traitant de la **mise en œuvre de la congélation** pour différents types de produits (agro-alimentaires, pharmaceutiques, effluents industriels). Dans cette catégorie, différents procédés de congélation (congélation convective, congélation sous vide, congélation sur paroi froide) sont optimisés en vue de maîtriser la qualité finale du produit et/ou accélérer les cinétiques de congélation.

(b) les travaux traitant du **déclenchement de la nucléation** des cristaux. Les bénéfices apportés par les nouvelles technologies telles que les ultrasons, par l'intensification de procédé, ou l'optimisation de phases ont été abordés.

Bien que les problématiques soulevées par ces sujets soient différentes, dues à des domaines d'applications divers (agro-alimentaire, génie pharmaceutique, cosmétologique ou environnement), la démarche globale développée est restée la même. Elle consiste en trois étapes :

1. **Caractérisation des propriétés du produit** à congeler afin de connaître les limites du procédé et d'alimenter au mieux les modèles numériques. Des dispositifs expérimentaux ont été développés afin de déterminer les propriétés thermophysiques du produit étudié et les conditions d'équilibre liquide-solide. La complexité de certaines configurations (notamment les hautes pressions et les hautes températures générées par les ultrasons) n'a pas toujours permis de mesurer expérimentalement ces grandeurs ; le cas échéant, elles sont issues de la bibliographie et utilisées sans validation expérimentale.

2. **Modélisation des cinétiques de cristallisation** afin de maîtriser finement la conduite du procédé et de sécuriser le changement d'échelle. Cette étape repose sur l'analyse des différents phénomènes mis en jeu, leur mise en équation et la résolution du système. Les modèles développés sont ensuite validés pour certaines configurations à partir de valeurs expérimentales et/ou de données issues de la bibliographie. Enfin, l'étude paramétrique du modèle permet de définir les facteurs influents du procédé et de déterminer des tendances d'évolution.

3. **Observation de la structure du produit fini** afin de corréler les paramètres procédé à la qualité finale du produit. La taille cristalline et la morphologie des cristaux confèrent au produit final ses

futures qualités d'usage. L'analyse microscopique des produits congelés permet donc de déterminer les paramètres influents et d'étudier les mécanismes de croissance de la glace.

II. Les milieux particuliers

Dans le domaine des matériaux granulaires, mon activité s'est centrée sur la modélisation de matériaux fonctionnels et du comportement thermo-mécanique des milieux particuliers. Ce travail suppose la détermination des caractéristiques intrinsèques des produits élaborés mais aussi leur comportement sous sollicitations externes. Dans cette partie, je me suis focalisée sur les travaux numériques en utilisant des codes de calcul « maison ». Les données expérimentales, étape importante pour la validation des modèles, ont été fournies par les diverses collaborations ou des données bibliographiques.

(a) Comportement thermo-mécanique des milieux particuliers

L'approche des milieux discrets basée sur le caractère discontinu des systèmes multi-corps permet de mieux comprendre les phénomènes activés à l'échelle du grain et d'approcher la nature de l'interface de contact et son évolution au cours du temps. La thèse de V.D. Nguyen soutenue en 2009 s'est focalisée sur le comportement thermique de l'interface de contact soumise au cisaillement dynamique pour simuler l'échauffement de machines-outils. Ce travail sur l'introduction des transferts thermiques dans le code MULTICOR a conduit à une autre application concernant l'étude des écoulements et des phénomènes thermiques générés par frottement lors de la vidange de silos.

(b) Modélisation de matériaux fonctionnels

Concernant l'étude de matériaux fonctionnels à structure complexe, la forte anisotropie des matériaux générés n'a pas permis d'utiliser un des nombreux modèles analytiques de conductivité thermique issus de la littérature. Une modélisation tri-dimensionnelle tenant compte des répartitions et des interconnexions entre phases a donc été développée. Grâce à la méthode des éléments discrets, le modèle développé représente au plus près la géométrie complexe du milieu, en simulant un empilement aléatoire de billes sous contraintes. L'outil développé permet d'aider les élaborateurs dans le choix et le dimensionnement (taux, taille, forme, interconnexion, ...) des phases en présence.