

Offre de thèse :

Etude de l'impact couplé du procédé de congélation et des conditions de stockage sur la qualité de produits surgelés. Application aux matrices poreuses

1. Présentation de l'unité d'accueil

Irstea (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) qui conduit des recherches répondant aux enjeux posés par la question agro-environnementale dans les domaines de l'eau, des risques naturels, de l'aménagement du territoire et des écotechnologies. Pluridisciplinaires, tournées vers l'action et en appui aux politiques publiques, ses activités de recherche et d'expertise impliquent un partenariat fort avec les universités et les organismes de recherche français et européens, les acteurs économiques et les pouvoirs publics. Ces activités sont réparties en France dans 9 centres régionaux structurés autour de trois départements (Eaux, Territoires et Ecotechnologie), eux même organisés au travers de 12 thèmes de recherche. Au sein du thème de recherche Structures Procédés Ecoulements Energie (SPEE) du département Ecotechnologie, se trouve l'Unité de Recherche de Génie des Procédés frigorifiques située sur le site d'Antony (GPAN), qui propose cette thèse.

L'unité GPAN est actuellement composée de 21 permanents (dont 14 chercheurs et ingénieurs), 13 doctorants et 1 post doctorant. Elle développe des activités de recherche finalisée dans le domaine du froid à travers l'étude de la thermique et de l'énergétique mis en œuvre dans les industries (alimentaires, pharmaceutiques, climatisation, etc.) utilisant le froid ainsi que dans les chaînes logistiques associées. L'ensemble de ces activités associe modélisation, validation expérimentale et expertise à travers des projets de recherches engagés soit avec un partenariat industriel soit en répondant à un appel d'offre national ou international. L'unité comprend deux équipes:

- Equipe ENERFRI: Installations frigorifiques, optimisation énergétique et stockage d'énergie. Cette équipe développe des activités en rapport avec la thermique et l'énergétique des systèmes frigorifiques pour la conception d'équipements à impact environnemental réduit. Elle s'intéresse en particulier aux fluides frigoporteurs diphasique, à la brumisation des condenseurs, au stockage d'énergie,... Les objectifs sont de développer des systèmes pour une production du froid efficace et respectueuse de l'environnement.
- Equipe METFRI: Maîtrise des écoulements et des transferts dans la chaîne du froid et des procédés associés. Cette équipe aborde l'étude des écoulements et des transferts de chaleur et de matière dans les produits alimentaires et procédés frigorifiques mis en œuvre tout en tenant compte de l'impact des technologies sur la qualité et la sécurité des produits traités. Elle s'intéresse en particulier à la modélisation de la chaîne du froid, l'aérodynamique dans les équipements frigorifiques et à la cristallisation dans les produits surgelés.

Ce projet de thèse a été initié dans le cadre des activités de cette dernière équipe.

2. Problématique - Enjeux scientifiques et technologiques

L'industrie du surgelé est en constante évolution ces dernières décennies et se doit de préserver la viabilité économique du secteur en répondant aux attentes des consommateurs en matière de qualité sanitaire, organoleptique et nutritionnelle des produits. Un nouveau challenge est également de répondre aux défis sociétaux que sont la réduction du gaspillage alimentaire et l'accès de tous à une alimentation de qualité. Afin de répondre à ces enjeux majeurs, il est nécessaire de mettre en œuvre une chaîne du froid maîtrisée et constante depuis la production jusqu'à la consommation en passant par les étapes de transport et de stockage. En effet, les produits surgelés sont susceptibles de subir des modifications physiques pouvant altérer leur qualité tout au long de la chaîne du froid, notamment sous l'effet des fluctuations de température. Ces modifications sont essentiellement liées à la microstructure des produits qui est définie au départ au cours du procédé de congélation lors de la formation des cristaux de glace et qui évolue tout au long de la chaîne du froid, avec notamment les phénomènes de recristallisation (croissance de la taille des cristaux de glace) et de sublimation (déshydratation en surface et formation de givre). S'il est maintenant reconnu que la microstructure des produits alimentaires influence dans une large mesure leurs propriétés physiques, texturales et organoleptiques, mais aussi leur stabilité et donc leur durée de vie, les

mécanismes qui interviennent à l'échelle microscopique restent encore peu maîtrisés. La connaissance et la compréhension de la formation et de l'évolution de la microstructure des produits surgelés dans la chaîne du froid est un domaine qui nécessite encore de nombreuses recherches. La maîtrise de la qualité des produits constitue une problématique industrielle majeure dans le monde du surgelé. Il devient alors nécessaire d'apporter une meilleure connaissance des interactions procédé-microstructure-propriétés, notamment à l'aide d'outils robustes permettant une caractérisation fine des éléments constitutifs de cette microstructure.

L'équipe Metfri de l'Unité de Recherche Génie des Procédés Frigorifiques (GPAN) d'Irstea, en collaboration avec l'équipe SP2 de l'UMR 1145 Ingénierie Procédés Aliments (AgroParisTech/INRA) a développé ces dernières années des connaissances sur la congélation (précongélation de sorbets et crèmes glacées, congélation par immersion, congélation cryogénique) et le stockage des produits surgelés (formation de givre, recristallisation de l'eau) tant du point de vue expérimental que de la modélisation. La volonté de caractériser la structure interne des produits surgelés à l'échelle microscopique (cristaux de glace, alvéoles, cellules) a motivé l'utilisation de la microtomographie à rayons X (RX), en tant qu'outil original pour ce type d'application. L'originalité de la méthodologie adoptée dans ces travaux est liée à la mise au point d'une technique de caractérisation à la température de stockage (température négative) en couplant le microtomographe RX à une cellule de refroidissement. L'utilisation de la microtomographie RX ainsi que de la microscopie optique ont permis une meilleure caractérisation des phénomènes mis en jeu en cours de congélation et lors du stockage des produits. Les travaux de modélisation associés à l'échelle microscopique ont également permis de mieux faire le parallèle avec les évolutions observées à l'échelle macroscopique.

Toutefois, ces travaux comportent un certain nombre de limitations :

- la congélation et le stockage ont été étudiés en tant que deux maillons indépendants de la chaîne du froid. Or la microstructure développée en cours de stockage dépend aussi de son état initial qui est défini lors du procédé de cristallisation intervenant pendant la congélation du produit ;
- les travaux ont été exclusivement réalisés sur des produits réels, ce qui rend difficile la généralité des résultats obtenus et l'élargissement à d'autres types de produits ;
- la méthode de caractérisation de la microstructure à température négative (microtomographie RX) a permis d'accéder à de nouveaux résultats qui mériteraient d'être comparés à d'autres méthodes complémentaires telle que la cryomicroscopie électronique à balayage (cryoMEB) qui permet d'avoir accès à de plus basses résolutions mais seulement en surface.
- Les potentialités offertes par la microtomographie RX n'ont pas été entièrement exploitées. Il s'agit notamment de pouvoir accéder à des paramètres locaux difficilement mesurables expérimentalement et nécessaires à la modélisation des phénomènes mis en jeu, grâce aux images 3D.

3. Questions scientifiques posées positionnement et objectifs de la thèse

Suite aux limitations précitées, de nouveaux questionnements scientifiques se sont posés :

- Comment définir un aliment modèle qui soit représentatif d'un ensemble d'aliments subissant une congélation ? Sur quels critères doit-il être défini ? Quelles sont les étapes à caractériser pour extrapoler progressivement les résultats à un aliment réel ?
- Dans quelle mesure le procédé de congélation (température, coefficient de transfert) peut influencer sur le développement de la microstructure du produit surgelé au cours de son stockage ?
- Comment relier les évolutions du produit à l'échelle microscopique pour des conditions opératoires variées à des changements structuraux à l'échelle macroscopique ? Comment extraire des paramètres microscopiques à partir des mesures pour caractériser l'état macroscopique de l'aliment surgelé ?
- Dans quelle mesure, les résultats obtenus par la technique d'imagerie 3D par microtomographie à température négative se rapprochent de ceux visualisés au cryomicroscope électronique ?

La réponse à ces questions lèverait le verrou d'une meilleure compréhension des mécanismes mis en jeu à l'échelle du cristal ainsi que des propriétés techno-fonctionnelles induites sur le produit.

Cette thèse cherchera donc à répondre à ces questions scientifiques avec comme principal objectif l'étude de l'impact couplé de deux maillons de la chaîne du froid, la congélation et le stockage, sur la qualité d'un produit modèle surgelé. L'étude concernera les produits alimentaires poreux, peu étudiés à ce jour. Il s'agira de caractériser de façon expérimentale l'impact des paramètres de chacun des deux maillons sur la qualité finale du produit du point de vue de sa structure à l'échelle

macroscopique et microscopique. L'idée serait de partir d'un ou plusieurs produits modèles de complexité variée et croissante permettant de reproduire les caractéristiques et le comportement de produits alimentaires réels. Dans ce travail, deux méthodes de caractérisation de la microstructure du produit surgelé seront couplées : microtomographie RX et CryoMEB. Parallèlement au travail expérimental, un modèle à l'échelle des cristaux, alvéoles et cellules sera développé afin de représenter les phénomènes de changement de phase (nucléation, croissance et dissolution des cristaux) et de transferts d'eau et d'énergie à micro-échelle en tenant compte de la structure observée par microtomographie RX. Ce modèle servira à alimenter un modèle de milieu continu multiphasique pour représenter les transferts à l'échelle du produit en considérant sa géométrie réelle et tenant compte des conditions (vitesse, température) dans son environnement.

4. Organisation de la thèse

Cette thèse est proposée en collaboration avec l'Université de Grenoble Alpes et le Centre d'Etudes de la Neige de Grenoble qui mènent des recherches depuis plus d'une dizaine d'années sur la microtomographie à rayons X appliquée à la neige, notamment avec des compétences en analytique, en traitement d'images 3D et en modélisation multi-échelles. Cette collaboration se justifie par la complémentarité sur les compétences en microtomographie à rayons X et sur les aspects de modélisation de la cristallisation/recristallisation que l'équipe GPAN a développé pour des applications sur les produits alimentaires surgelés. Cette collaboration inclut deux laboratoires d'accueil, des séjours distribués entre les deux laboratoires et une convention de thèse entre les différentes structures.

Codirection de thèse : Hayat BENKHELIFA (ADR - MC AgroParisTech en convention d'accueil à GPAN, Irstea)

Codirection de thèse : Christian GEINDREAU (PU Université Grenoble Alpes – Laboratoire 3SR – UMR 5521, CNRS, UGA, G-INP)

Co-encadrement : Fatou Toutie NDOYE (IR – GPAN, Irstea)

Co-encadrement : Frédéric FLIN (CR – CEN, CNRM UMR 3589, Météo-France CNRS)

Date de démarrage de la thèse : Octobre 2018

Rémunération : 1874,41 € brut/mois

5. Profil recherché

Le candidat devra être diplômé d'un Master 2 recherche ou équivalent en Génie des Procédés, Sciences pour l'ingénieur ou Thermique avec de bonnes connaissances en phénomènes de transferts de matière et d'énergie. Des connaissances en Sciences des Aliments seront appréciées. Le candidat devra également avoir les compétences suivantes:

- Bonnes connaissances des approches expérimentales, connaissances en analyse d'image appréciées
- Connaissances en modélisation et simulation (notamment avec le logiciel Matlab)
- Capacité de rédaction de rapports, de communications et d'articles
- Bon niveau d'anglais

6. Contact

Candidature (CV et Lettre de motivation) à transmettre à:

Hayat Benkhelifa

et

Fatou Toutie NDOYE

hayat.benkhelifa@irstea.fr

fatou-toutie.ndoye@irstea.fr

Tel: + 33 1 40 96 62 27

Tel: + 33 1 40 96 61 61

Irstea - Unité de Recherche Génie des Procédés Frigorifiques (GPAN)

1 rue Pierre-Gilles de Gennes CS 10030 F-92761 Antony Cedex, France - www.irstea.fr