

FICHE DE RECUEIL DES FAITS MARQUANTS DEPARTEMENTS/CENTRES

(Renseigner une fiche par fait marquant.

Les départements/centres peuvent choisir de faire la synthèse de plusieurs FM en une seule fiche si pertinent)

Année concernée : 2021 (Publication ou réalisation de 2021)

Fiche envoyée par : *TRANSFORM / Centre de Versailles et Centre d'Antony*

Priorité attribuée au FM (à renseigner par le CD/PC) :

Titre du fait marquant : Imagerie 3D d'aliments surgelés par microtomographie à rayon X sur la ligne ANATOMIX SOLEIL

Catégorie: **Projet / Partenariat et Innovation**

Contact (adresse mail) : hayat.benkhelifa@inrae.fr

Unité : UMR SayFood / Unité FRISE

Adresse mail DU catherine.bonazzi@inrae.fr / anthony.delahaye@inrae.fr

Département : TRANSFORM

Centre INRAE : Versailles / Antony

OS ou OP INRAE 2030 (cf. classification proposée en annexe) : **OP 2.4. Infrastructures de recherche**

Metaprogramme (si adapté) :

Mots-clés (rubrique libre) : Aliments surgelés ; Microtomographie à rayons X au synchrotron ; Produits poreux ; Microstructure

Résumé (10 à 15 lignes max. à rédiger sous une forme exportable dans le Rapport Annuel.)

Alors qu'ils représentent une partie significative des produits alimentaires surgelés, peu d'études portent sur les mécanismes intervenant à l'échelle microscopique lors de la congélation des produits poreux comme les mousses, le pain ou les pâtisseries. Dans le cadre d'un travail de thèse co-dirigé par des équipes de l'INRAE, de l'Université Paris-Saclay, d'AgroParisTech (UR FRISE et UMR SayFood), de l'Université Grenoble Alpes, du CNRS et de Météo France (UMR CNRM et UMR 3SR), ces mécanismes ont été étudiés par microtomographie à rayons X sur la ligne ANATOMIX au synchrotron SOLEIL. L'effet des conditions de congélation et de stockage sur la microstructure de ces produits a été étudié. Les mesures ont pu être effectuées sur le produit à l'état congelé grâce à l'utilisation d'une cellule thermostatée initialement mise au point pour caractériser la structure de la neige (Calonne *et al.*, 2014). La microstructure du produit (pores/matrice/cristaux de glace) a pu être visualisée en 3D à une échelle suffisamment résolue et analysée quantitativement, grâce à une méthode de traitement d'images robuste. Les phénomènes mis en jeu lors de la congélation et du stockage de ces produits ont pu être caractérisés. Le protocole d'analyse et la méthode de traitement mis au point pourront être étendus par la suite à l'étude de la microstructure d'autres produits congelés.

(400 mots/ 2700 caractères max. pour l'ensemble des 4 rubriques ci-dessous)

Contexte et enjeux : La microstructure des produits alimentaires surgelés influence dans une large mesure leurs propriétés physiques, texturales et organoleptiques, mais aussi leur stabilité et donc leur durée de vie. Cependant, les mécanismes qui interviennent à l'échelle microscopique restent encore peu maîtrisés. Dans la littérature, les produits poreux congelés sont assez peu traités alors qu'ils représentent une partie significative des produits alimentaires subissant une congélation comme les mousses, le pain ou encore les pâtisseries. Leur grande porosité (>50%) les rend plus difficiles à étudier, notamment du fait des transferts d'eau couplés à des transferts de chaleur à l'interface pore-matrice (phénomène d'évapo-condensation).

Résultats : Pour cette étude, un produit poreux modèle de formulation simple et de fabrication maîtrisée a été développé (matériel modèle de type génoise, *Bousquières 2017*).

Des séries de mesures sur la ligne de lumière ANATOMIX au synchrotron SOLEIL par microtomographie à rayons X (appel à projets AP26 2020) ont alors permis de réaliser de l'imagerie 3D à haute résolution (taille du voxel 0,65 µm) de plus d'une cinquantaine d'échantillons de génoise avant et après congélation et pour différentes conditions de stockage au laboratoire.

Un exemple est donné pour une congélation rapide (17 °C/min) et lente (0,3 °C/min). La visualisation en 3D permet notamment une appréciation de la forme et de la localisation des cristaux de glace.

Lors de la congélation rapide, la glace (en gris foncé sur les coupes horizontales) est uniformément répartie au sein de la matrice de la génoise, aucune couche de glace ne s'est formée à l'interface matrice/pore, l'eau ne semble pas avoir eu le temps de migrer vers les pores, mais des cristaux isolés apparaissent. Durant la congélation lente, une couche de glace épaisse s'est formée à l'interface, l'eau contenue dans la matrice semble avoir diffusé vers les pores.

Perspectives : La méthodologie mise au point dans la fabrication d'échantillons tests calibrés, leur maintien en température lors de mesures de tomographie X et le traitement systématique des images obtenues sur la ligne ANATOMIX peut être étendue à la caractérisation de la microstructure d'autres produits congelés.

Valorisation

- Communication sous la forme d'une actualité sur le site Soleil : <https://www.synchrotron-soleil.fr/fr/actualites/des-surgeles-sous-le-microscope-rayons-x-danatomix>
- Une publication soumise dans *Foods*. A. Zennoune, P. Latil, F-T. Ndoye, F. Flin, J. Perrin, C. Geindreau, H. Benkhelifa, *3D characterization of sponge cake as affected by freezing conditions using synchrotron X-ray microtomography at negative temperature*
- Une publication en cours de rédaction

Références bibliographiques

J. Bousquières 2017. *Impact de la composition et des procédés sur la réactivité d'un produit modèle alvéolé de type cake*. Thèse de doctorat. Université Paris-Saclay.
N. Calonne, F. Flin, C. Geindreau, B. Lesaffre, and S. Rolland du Roscoat. 2014. *Study of a temperature gradient metamorphism of snow from 3-D images: time evolution of microstructures, physical properties and their associated anisotropy*. *The Cryosphere*, vol. 8, no 6, p. 2255-2274.

Illustrations

