

## Etude des conditions de contact lors de la cuisson d'une pâte céréalière

La maîtrise de la cuisson de produits céréaliers est indispensable pour garantir un produit fini de qualité à la fois du point de vue gustatif mais aussi du point de vue de la santé. A cette dimension de qualité alimentaire s'ajoute l'optimisation de la cuisson de manière à limiter la consommation énergétique du procédé et de répondre aux enjeux de la transition énergétique. De nombreuses études ont été réalisées sur la cuisson de produits céréaliers (pain, gâteaux, crêpes) et ont menées à l'obtention de modèles numériques complexes associant transferts thermiques, hydriques et déformations mécaniques. Ces modèles permettent de prédire les évolutions de température, teneur en eau, déformation du produit et d'étudier les facteurs influences dans le but d'optimiser la qualité du produit et l'énergie consommée. Dans l'industrie du futur, les modèles doivent permettre d'adapter les paramètres du procédé de cuisson en temps réel au travers de la commande en ligne.

Dans les modèles de comportement de ces produits, les échanges thermiques (convection, rayonnement) au niveau de la surface libre sont pris en compte, par contre le contact pâte/sole ou pâte/moule est simplifié. Dans le cas de cuisson par contact, la connaissance du flux de chaleur transmis de la plaque chaude au produit et les températures de part et d'autre de l'interface sont des paramètres très importants. Ils définissent la résistance de contact (RCT) qui pilote le transfert de chaleur de la plaque chaude vers le produit en cours de cuisson. Lors de cette cuisson, la pâte subit une transformation complexe en passant d'un milieu liquide et/ou pâteux à un milieu sec. La viscosité et l'état de surface du support de cuisson (matériaux, rugosités, lubrifiants) influent sur la résistance de contact impactant ainsi le transfert de chaleur et cela dès les premiers instants lors de la mise en contact de la pâte et du support de cuisson. L'avancement de la cuisson mène à une modification des propriétés de la pâte entraînant une évolution de la qualité du contact. Les déformations mécaniques du produit lors du séchage génèrent le décollement progressif de la pâte. Le processus de cuisson étant complexe, l'évaporation de l'eau et les réactions chimiques peuvent engendrer l'apparition de bulles d'air. Ces différents phénomènes vont donc entraîner une diminution de la qualité du contact et accentuer la RCT. Dans la littérature le flux de chaleur transmis au niveau de ce contact est estimé soit à travers le gradient de température au niveau du contact en considérant une résistance thermique de contact constante, soit directement par techniques inverses. Dans d'autres modèles de cuisson par contact les auteurs imposent directement le flux de chaleur estimé sur la pâte. Le contact support de cuisson/pâte n'est pas pris en compte. La connaissance précise de l'évolution temporelle de cette RCT, nous permettrait de rendre finement compte des échanges thermiques à l'interface et d'avoir accès aux températures de surface. La connaissance de la température de surface du côté de la pâte au cours du temps permettrait de réguler la cuisson. La bonne maîtrise de cette cuisson garantirait une qualité de produit optimale et une consommation d'énergie réduite.

L'objectif de cette étude est donc la mise au point d'une méthode de mesure et d'estimation de la résistance de contact thermique par résolution de problèmes inverses. La démarche consistera, au départ, à l'étude d'un contact non évolutif produit liquide/support. Elle sera ensuite étendue à un contact évolutif (produit en cours de cuisson). Lors de la caractérisation de la RCT produit/support, l'étude abordera l'influence : du matériau support, de son état de surface, de la mouillabilité de la pâte, des températures initiales du produit et du support de cuisson. Lors de la phase transitoire (passage d'un produit liquide à un produit sec) démarré aux premiers instants de contact, les phénomènes physiques à l'origine de l'augmentation de la résistance et leur part d'influence seront finement étudiés et analysés. A terme, la mise en place d'un modèle d'évolution de la RCT avec les observables adéquats (taux de porosité, température, humidité ...) est souhaité afin de rendre plus prédictifs les modèles numériques de comportement de produits céréaliers lors de la cuisson par contact. La connaissance de la température de la pâte à l'interface avec le support de cuisson (via la RCT) permettra une régulation optimale de la puissance à injecter pour garantir un produit final de qualité.

**Mot clés :** température, flux de chaleur, résistance de contact, métrologie thermique et hydrique, problème inverse, estimation de fonction et/ou de paramètres, conception optimale,

**Profil recherché :** Etudiant(e) : Ingénieur ou Master II en thermique-énergétique.

**Compétences recherchées :** modélisation multiphysique, métrologie thermique, optimisation.

**Contact :** [elodie.courtois@univ-ubs.fr](mailto:elodie.courtois@univ-ubs.fr)      [tahar.loulou@univ-ubs.fr](mailto:tahar.loulou@univ-ubs.fr)