HAL
open science

Un modèle couplé pour l'évolution de produits liquides alimentaires sous traitement thermique continu

Artemio Plana-Fattori, Fabrice Ducept, Christophe Doursat, Denis Flick, Camille Michon, Samir Mezdour

To cite this version:

Artemio Plana-Fattori, Fabrice Ducept, Christophe Doursat, Denis Flick, Camille Michon, et al.. Un modèle couplé pour l'évolution de produits liquides alimentaires sous traitement thermique continu. 49ème Congrès annuel du Groupe Français de Rhéologie : Rhéologie et approches multiphysiques couplées, Oct 2014, Grenoble, France. 2014. hal-01635205

HAL Id: hal-01635205

https://hal.science/hal-01635205v1

Submitted on 23 Aug 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un Modèle Couplé pour l'Evolution de Produits Liquides Alimentaires sous Traitement Thermique Continu

A. Plana-Fattori, F. Ducept, C. Doursat, D. Flick, C. Michon et S. Mezdour
UMR1145 Ingénierie Procédés Aliments (AgroParisTech, INRA et CNAM)

49ème Congrès du Groupe Français de Rhéologie – Grenoble, 27-29 Octobre 2014

Motivation & Objectifs

• La fabrication de produits liquides alimentaires, comme les crèmes dessert, passe par une ou plusieurs opérations de mélange couplées à un traitement thermique continu. La maîtrise de cette fabrication demande la compréhension des mécanismes qui contribuent à la structuration du produit final.
• La modélisation déterministe de l'évolution de produits liquides sous traitement thermique continu peut constituer un outil d'importance majeur: d'une part en contribuant à réduire le coût expérimental, d'autre part en mettant en évidence les phénomènes pertinents tout au long de l'unité de traitement.

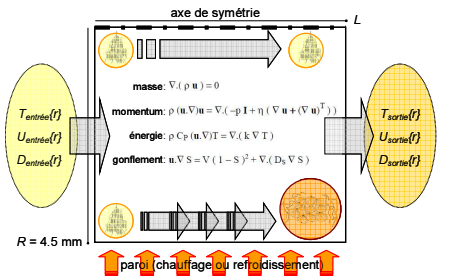
• L'évolution d'un produit liquide sous traitement thermique continu est ici étudiée à l'aide d'un modèle numérique capable de coupler les phénomènes pertinents: écoulement, transfert de chaleur et transformation. La cinétique de transformation du produit et son comportement rhéologique sont représentés à partir de l'étude préalable de l'évolution du produit à l'échelle laboratoire.
• Le modèle numérique considère les caractéristiques géométriques et les conditions opératoires d'un échangeur de chaleur pilote existant; ainsi ses prédictions peuvent être comparés aux valeurs observées à l'échelle pilote.

Modélisation Couplée

• Le modèle tient compte des phénomènes d'écoulement, de transfert de chaleur et de transformation d'un produit liquide alimentaire simple (ici, une suspension aqueuse de granules d'amidon modifié de maïs cireux).

• Les différentes sections de l'échangeur tubulaire sont représentées par des domaines rectangulaires (géométrie axiale).

• L'implémentation du modèle considère des conditions opératoires typiques d'un échangeur de chaleur qui existe dans notre laboratoire.



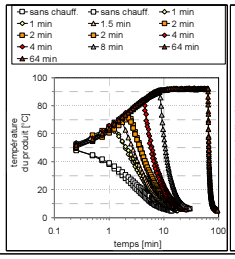
• La transformation est exprimée par une réaction du second ordre pour le taux de gonflement:

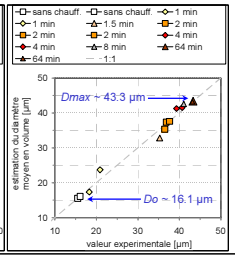
$$S = (D - Do) / (Dmax - Do)$$

où D est le diamètre moyen en volume des granules d'amidon dans l'eau. La dépendance en température de la vitesse de réaction V est supposée linéaire à seuil:

$$V = 0 \text{ si } T < Ta, \quad V = Va\,(T - Ta) \text{ si } T > Ta$$

où les paramètres $Va = 3.70\ 10^{-3}\ s^{-1}.\ C^{-1}$ et $Ta = 60.9$ C ont été estimés à partir d'une série d'essais en laboratoire.





• La rhéologie du produit à différents états de transformations est assez bien décrite par une loi d'Ostwald. :

$$\eta\{\gamma, \Phi, T\} = K\{\Phi, T\}\ \gamma^{\,n\{\Phi\}-1}$$

où la consistance K et l'indice de comportement n sont exprimés comme fonctions de la fraction volumique Φ associée aux granules d'amidon:

$$K\{\Phi, T\} = a1\ \exp(\,a2\ \Phi\,)\ \eta_{eau}\{T\}$$

$$n\{\Phi\} = n_{\infty} + (\,1 - n_{\infty}\,)\ \exp(\,a3\ (\,\Phi - \Phi o\,)\,)$$

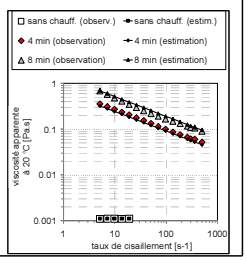
Pour un état de transformation donné, la consistance K est supposée présenter la même dépendance avec la température que la viscosité de l'eau.

Les paramètres $a1 = 0.748\ s^{n-1}$, $a2 = 11.1$, $a3 = -5.10$ et $n_{\infty} = 0.55$ ont été estimés à partir d'une série d'essais en laboratoire.

• La fraction volumique Φ est estimée à partir du diamètre moyen en volume:

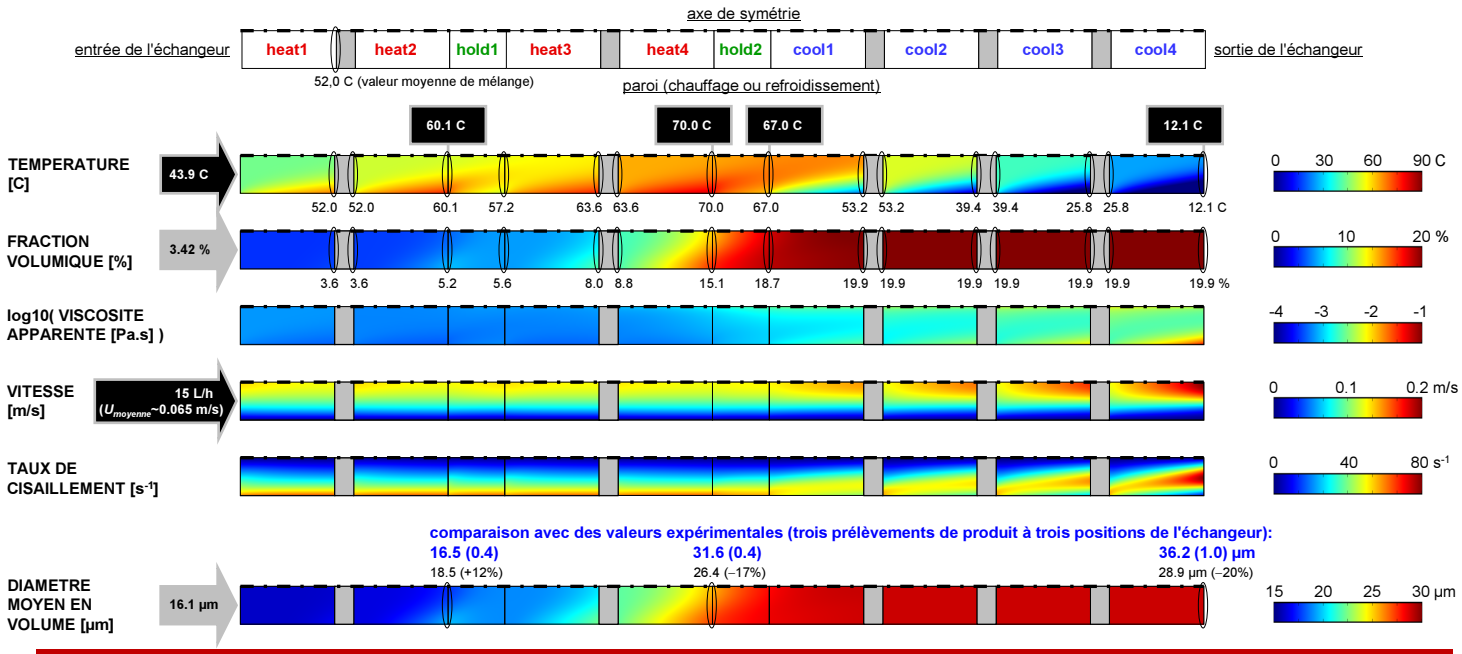
$$\Phi = \Phi o\ (\,D / Do\,)^3$$

où $\Phi o = 3.42$ % constitue la fraction volumique avant tout traitement thermique ($D = Do$).



Résultats

• Les résultats sont présentés le long d'une série de sections de chauffage (**heat**; L ~ 75 cm), de chambrage (**hold**; L ~ 45 cm) et de refroidissement (**cool**; L ~ 75 cm) qui sont séparées par des coudes à 180 degrés (**rectangles gris** ci-dessous; L ~ 14 cm); ces derniers sont supposés agir comme des mélangeurs parfaits.



Synthèse & Perspectives

• L'évolution d'un produit liquide sous traitement thermique continu a été étudiée par la modélisation couplée des phénomènes pertinents. Les prédictions de l'état de transformation se sont montrées réalistes (+/– 20 % pour le diamètre moyen en volume) sans recours à aucun ajustement de paramètre à l'échelle pilote.
• Les prochaines étapes de ce travail porteront, entre autres, sur l'étude de produits liquides progressivement plus complexes (par exemple, amidon dans le lait) ainsi que sur la prise en compte de nouvelles conditions opératoires (débit volumique et consignes de température).

• Les auteurs remercient le soutien apporté par l'Institut Carnot Qualiment. Nous remercions également Stephan Savarese, Benjamin Loubet et Thierry Gengler (COMSOL France) ainsi que Vincent Nicolas (IRSTEA) pour les discussions concernant l'implémentation du modèle numérique à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics 4.4; Qing Li et Ihssane El Mokhtari (stagiaires à l' UMR GENIAL) pour leur implication dans le travail expérimental; et Hela Ferchichi (stagiaire à l' UMR GENIAL) pour sa contribution au travail expérimental ainsi que pour les discussions concernant la modélisation couplée des phénomènes.

Contact

Artemio PLANA-FATTORI
AgroParisTech, Dépt. MMIP, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris CEDEX 5
artemio.planafattori@agroparistech.fr

www.umr-genial.eu