

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**

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

Titre du fait marquant : **La simulation des procédés alimentaires à toutes les échelles : cas de l'oxydation de l'huile en cours de friture simulée à l'aide de supercalculateurs**

Catégorie:

Publication (indiquer le DOI) , ouvrage, ESCo/prospective/Etude ; Innovation/invention/brevet ; Partenariat ; Projet ; Événement ; Prix/distinction

Maxime Touffet¹, Mohamed Hatem Allouche², Mostapha Ariane², and  Olivier Vitrac^{3,a)}

Coupling between oxidation kinetics and anisothermal oil flow during deep-fat frying

Physics of Fluids 33, 085105 (2021)

<https://doi.org/10.1063/5.0055873>

Contact (adresse mail) : olivier.vitrac@agroparistech.fr

Unité : **SayFood**

Adresse mail DU : catherine.bonazzi@agroparistech.fr

Département : **TRANSFORM**

Centre INRAE : **Centre de Versailles**

OS ou OP INRAE 2030 (cf. classification proposée en annexe) :

OS 2.5. Une alimentation saine et durable accessible et valorisante pour tous

Metaprogramme (si adapté) :

Mots-clés (rubrique libre) : simulation, multiéchelle, friture, oxydation, conception, durabilité

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

La friture est une technique de cuisson qui est utilisée de façon continue depuis la préhistoire. Malgré les innovations apportées, la friture domestique est toujours réalisée dans une cavité chauffée en position basse. Cette configuration crée une convection naturelle importante responsable de la dissolution de l'oxygène atmosphérique et provoque en cascade l'oxydation de l'huile. Cette chimie complexe culmine avec l'apparition de produits de scissions volatils odorants, la production de cires responsables de l'encrassement de l'équipement, et l'apparition de composés cycliques potentiellement toxiques. Pour la première fois, ces phénomènes couplés de transferts et réactions ont été simulés en trois dimensions (3D) à l'échelle des constituants dans une vraie friteuse à l'aide de supercalculateurs. L'histoire du vieillissement de l'huile a été reconstituée. Contrairement à l'intuition, les composés volatils sont générés dans les régions les plus chaudes loin de la surface avant de se désorber au contact de l'air. Les polymères sont générés de manière plus homogène en anoxie avant de se condenser sur les parois froides. L'étude fine des structures turbulentes et des écoulements anisothermes met en évidence un effet de la distribution des éléments chauffants et de la forme de la cuve. Les nouvelles simulations multiéchelle et multiphysique développées permettent d'explorer les opérations de transformation des aliments avec suffisamment de détails pour étudier virtuellement les

mécanismes physiques et chimiques tout en permettant réviser les éléments de design, de formulation (ici de l'huile) et de conduite en relation avec la salubrité des aliments et la maîtrise des déchets.

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

Contexte et enjeux : L'étude virtuelle d'opérations unitaires complexes de transformation est restée longtemps une chimère : trop complexe, trop peu de données. Dans le cadre du projet FUI Fryin'17 (Seb, Lesieur, Adventys, Ethera, Univ. Bourgogne) et d'une collaboration avec le groupe Cargill (cosignataire), nous montrons qu'une telle étude est devenue possible.

Résultats : La simulation à « toutes » les échelles (de 100 nm à 0.3 m ; de 0.1 μ s à 10 h) requiert de nombreux développements mathématiques et une puissance de calcul considérable, aujourd'hui devenue disponible. Nous avons couplé une description Eulérienne de la turbulence très détaillée (Large Eddy Simulation) avec une description Lagrangienne des réactions chimiques. La composition fine (par acide gras) de l'huile est considérée via un modèle gros grain.

Perspectives : Pour la transformation alimentaire, il s'agit d'un moment unique (« Sputnik moment ») qui ouvre un nouveau champ de recherche : l'étude directe par calcul en force brute de la transformation alimentaire. Cet article met en valeur la création de notre jeune équipe Modélisation et Ingénierie par le Calcul dans l'UMR SayFood.

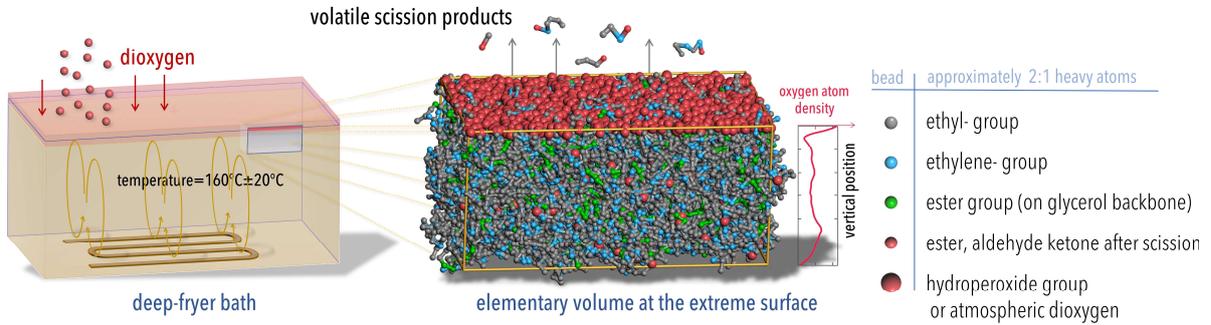
Valorisation : Des travaux similaires sont en cours avec le groupe Cargill (USA) sur la déconstruction des aliments avec la prise en compte des interactions aliment-mécanorécepteurs. Les calculs sont réalisés aujourd'hui dans le Cloud d'Amazon et au sein de l'Université Paris-Saclay.

Références bibliographiques :

- [1] Touffet M, Allouche MH, Ariane M, Vitrac O. Coupling between oxidation kinetics and anisothermal oil flow during deep-fat frying. *Physics of Fluids*. 2021;**33**:085105 <https://doi.org/10.1063/5.0055873>.
- [2] Vitrac O, Hayert M. Modeling in food across the scales: towards a universal mass transfer simulator of small molecules in food. *SN Applied Sciences*. 2020;**2** <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03272-2>.
- [3] Vitrac O, Touffet M. Food Process Modeling. In: Ferranti P, Berry E, Jock A, (editors). *Encyclopedia of Food Security and Sustainability 1st Edition*. Amsterdam, NL: Elsevier; 2018. p. 434-53.
- [4] Touffet M, Patsioura A, Ziaifar AM, Eveleigh L, Vitrac O. Online reconstruction of oil oxidation kinetics and reaction schemes during deep-frying by deconvolution of ATR-FTIR spectra. *Journal of Food Engineering*. 2018;**224**:1-16
- [5] Patsioura A, Ziaifar AM, Smith P, Menzel A, Vitrac O. Effects of oxygenation and process conditions on thermo-oxidation of oil during deep-frying. *Food and Bioprocess Processing*. 2017;**101**:84-99 <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.009>.

Illustrations (photos au format jpg, avec légende, auteur de la photo, et copyright s'il y en a un)
 Nb : Il est attendu ici une photo. Un schéma ne peut être accepté ici.

a. Vegetable oil is a mixture of chemicals that evolves during frying as a result of exposure to oxygen and temperature



b. The oil "mixture" heats up on contact with the immersion heater, expands in the rising plumes, cools down on contact with the free surface and flows back down the walls.

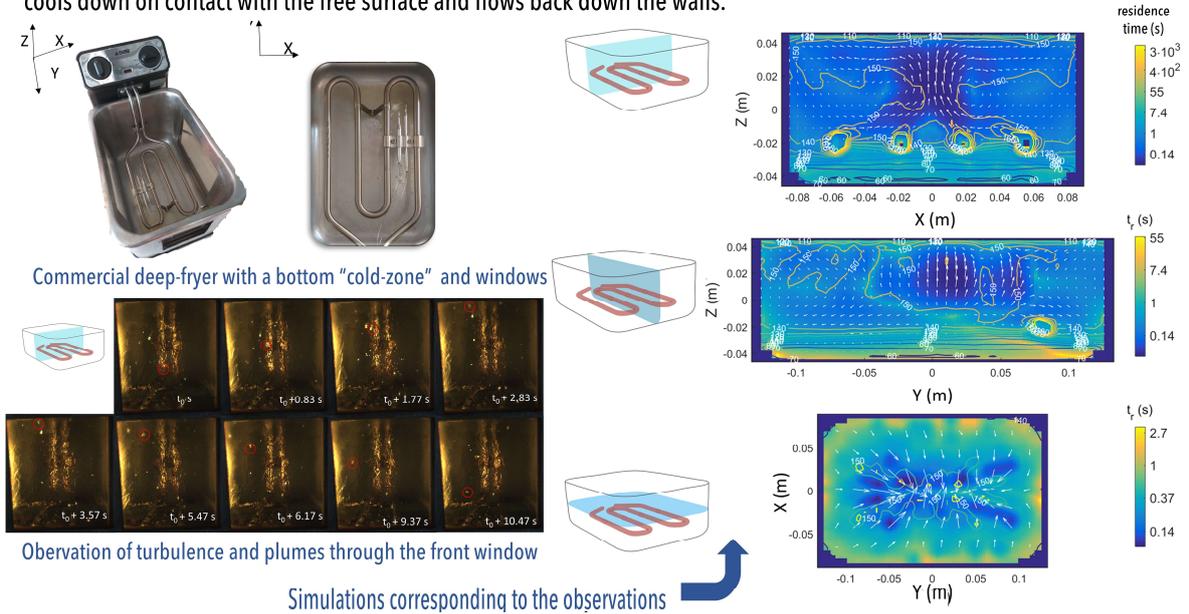


Figure 1. Multiscale simulation of vegetable oil flow during deep-frying considering oil as a mixture of reactive species.