

Qui a dit que les produits frits devaient être gras ?

Résumé :

On ne le sait pas, mais l'huile du bain de friture rentre dans les produits frits (frites, chips, nuggets) principalement quand ces derniers sont retirés du bain. Lors de l'étape d'immersion, la sortie de la vapeur au travers de la croûte crée une surpression interne qui s'oppose à l'imprégnation en huile. Au contraire, la condensation de la vapeur met en dépression le cœur du produit au cours du refroidissement. Le retour à la pression atmosphérique est alors obtenu à la fois par la pénétration de l'huile, qui adhère à la surface du produit et par la pénétration de l'air extérieur. Ces deux phénomènes rapides ont été imagés et modélisés à l'échelle microscopique pour la première fois. La production de produits frits non-gras est aujourd'hui à portée de main.

Contexte de la réalisation :

Les mécanismes d'imprégnation en huile sont étudiés depuis une trentaine d'années. On a longtemps cru qu'il existait une relation de cause à effet entre la perte en eau et la prise d'huiles: les produits frits les plus déshydratés (ex. chips) sont, en effet, plus gras que les produits qui le sont moins déshydratés (ex. frites). Les deux phénomènes ne sont cependant pas simultanés. La perte en eau se produit en cours de friture (immersion) par vaporisation interne alors que l'huile remplit les vides laissés par l'eau. Les potentiels moteurs responsables de l'imprégnation en huile étaient connus : dépression créée par la condensation de la vapeur et pression capillaire dans les ménisques d'huile. Le rôle de l'air en tant que phase incondensable n'était pas connu. L'écoulement biphasique eau-huile à l'intérieur de la croûte d'une frite modèle a été imagé en utilisant le rayonnement du synchrotron SOLEIL dans une configuration équivalente à celle où le détecteur est placé en l'intérieur d'une frite.

Résultat :

La fluorescence naturelle de la structure cellulaire et le déplacement de l'huile marquée ont été détectés à l'aide d'une caméra photo-amplifiée et reconstruits en trois dimensions. Contrairement à ce que l'on pensait initialement, la dynamique de pénétration de l'huile est apparue très hétérogène dans le temps et l'espace : quasi instantanée dans les cellules de la première couche et très lente dès la seconde couche. Elle est complètement contrôlée par le propre déplacement de la phase air. Dans des essais complémentaires reproduisant les conditions de refroidissement, il a été montré que l'huile pouvait traverser n'importe quel défaut – fussent-ils aussi petits que les plasmodesmes (0.1 μm de diamètre) entre les cellules – mais que la présence de bulles d'air piégées ou créées par l'écoulement pouvait ralentir voire complètement bloquer l'imprégnation en huile. Les profils de distribution de l'huile ont été confirmés par micro-tomographie aux rayons X. L'ensemble de ces résultats ont été utilisés pour développer et valider le premier simulateur générique de l'imprégnation en huile à l'échelle des défauts microscopiques et des cellules (de 1 à 10^6 cellules). Il peut reproduire les profils d'imprégnation et leurs cinétiques pour de très nombreux produits à partir des seules structures tridimensionnelles et des conditions de refroidissement. Il a pu ainsi être démontré que, malgré un taux d'endommagement plus élevé, les produits industriels précongelés tendent à présenter une imprégnation moindre. La raison première est le faible nombre de défauts à la surface des frites (moins de 10 par cm de frite), où l'amidon a été gélatinisé avant friture.

Perspectives, impact possible à terme :

Les résultats actuels sont utilisés dans le projet FUI Fry'in (2014-2018) : « des aliments frits moins riches en matières grasses » dans une logique de reconception des procédés domestiques de friture.

<http://competitivite.gouv.fr/projets-en-cours-fui-investissements-d-avenir/fiche-projet-r-d-aide-355/fry-in-450.html?cHash=225af52c9e75495fe7c710dce1144db4>

Un projet confidentiel est également en cours d'exécution avec le groupe FINDUS.

Partenaires :

Synchrotron Soleil, groupe McCain (Thèse Cifre de Jean-Michael Vauvre)

Valorisation :

Le logiciel de simulation de l'imprégnation en huile « Uptake » combine des solutions analytiques pour des écoulements immiscibles, un moteur de simulation de type Monte-Carlo cinétique basé sur l'algorithme de pseudo-passage, des algorithmes d'homogénéisation spatiale et temporelle. Il sera progressivement transformé en projet open-source. Les concepts développés sont réutilisables pour toute transformation des aliments

Références : les principales publications afférentes au fait marquant. Il ne s'agit pas de fournir la bibliographie complète sur les travaux

- [1] VAUVRE, J.-M., PATSIOURA, A., KESTELOOT, R., & VITRAC, O. (2015). Multiscale modeling of oil uptake in fried products. *AIChE Journal*, **61**(7), 2329–2353.
- [2] PATSIOURA, A., VAUVRE, J.-M., KESTELOOT, R., JAMME, F., HUME, P., & VITRAC, O. (2015). Microscopic imaging of biphasic oil-air flow in French-fries using synchrotron radiation. *AIChE Journal*, **61**(4), 1427–1446.
- [3] VAUVRE, J.-M., KESTELOOT, R., PATSIOURA, A., & VITRAC, O. (2014). Microscopic oil uptake mechanisms in fried products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, **116**(6), 741-755.

Contact :

Olivier Vitrac

olivier.vitrac@agroparistech.fr

Anna Patsioura

anna.patsioura@agroparistech.fr

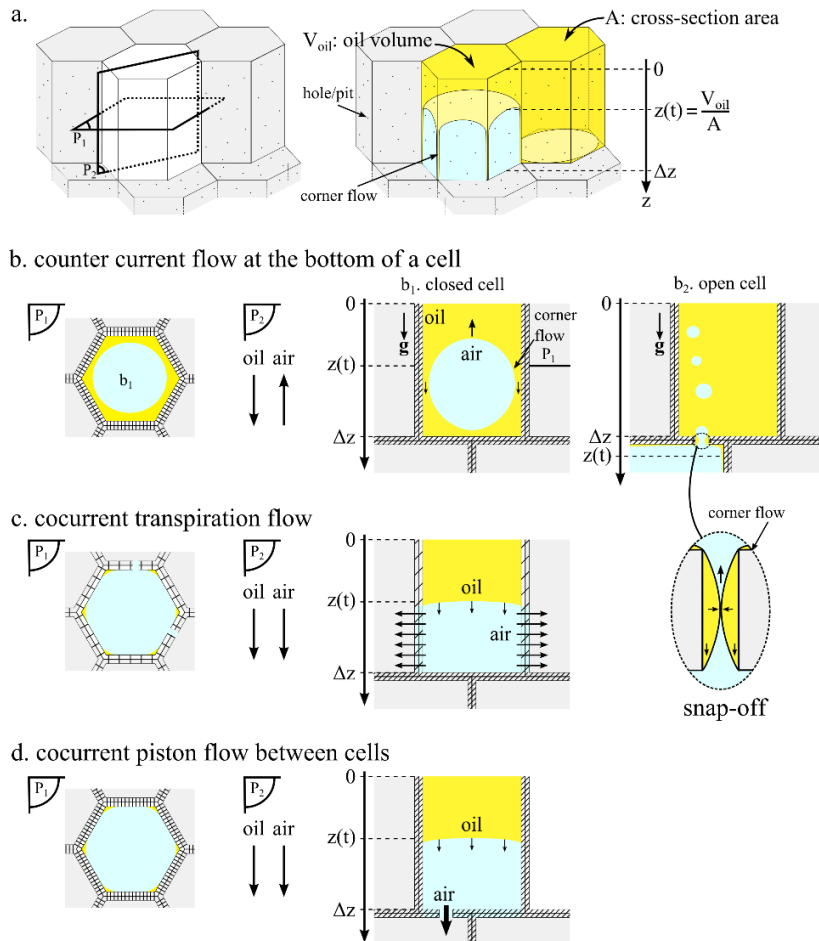


Figure 1. Microscopic oil-air biphasic flow at cellular scale.

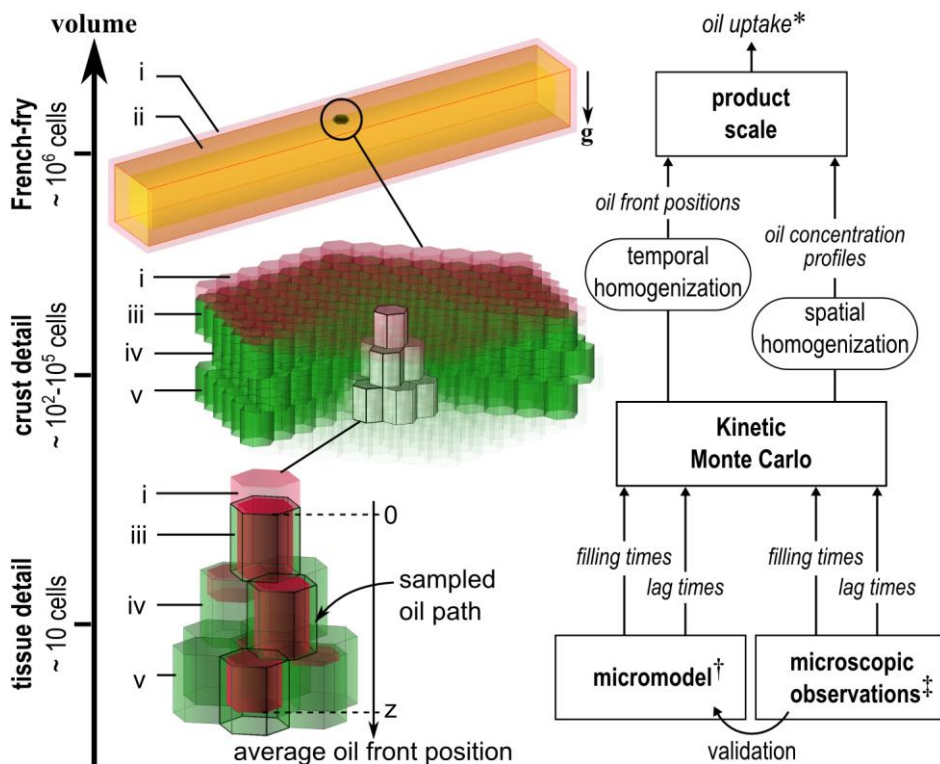
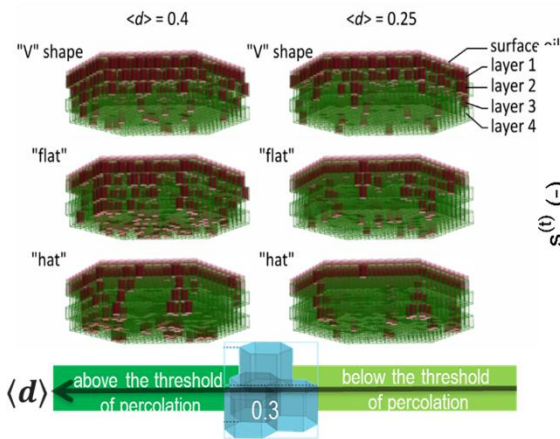


Figure 2. Principles of multiscale modeling and simulation of oil uptake in a real French-fry. (i) oil adhering to the surface; (ii) dried potato crust; (iii) first cell layer; (iv) second cell layer; (v) third cell layer.

a) Damage profiles

$\langle d \rangle$ = average cell damage ratio



b) Oil uptake kinetics

$s(t)$ = oil saturation kinetics

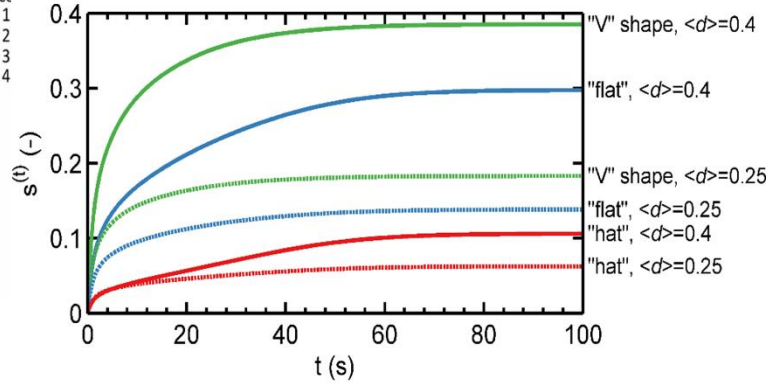


Figure 3. Comparison of oil uptake kinetics for 2 cell damage ratios and 3 damage profiles. The flat or hat profiles match parfried frozen French-fries products whereas the V shape ones correspond to French-fries prepared from fresh potatoes.