

Titre :

LA CONCEPTION DES EMBALLAGES ALIMENTAIRES REINVENTEE

Résumé :

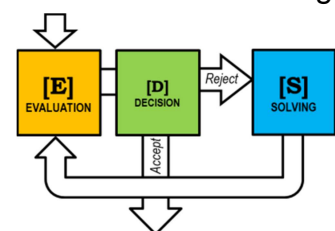
Les emballages en plastiques sont accusés de tous les maux : sans valeur finale, source de perturbateurs endocriniens, de microplastiques et de déchets marins. Par ailleurs les emballages sont indispensables à la conservation et à la distribution des aliments. En s’inspirant des méthodologies de risque-bénéfice, une méthodologie de prototypage rapide 3D a été développée pour concevoir des emballages permettant de vérifier des contraintes complexes et contradictoires : durée de vie des aliments maximisée, minimisation de la masse de l’emballage, maximisation de matériaux recyclés, risque chimique minimal, résistance mécanique minimale. L’ensemble de la méthodologie a été testé avec succès pour la reconception des bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET) utilisées pour le conditionnement des boissons alcoolisées. Le gain de réduction de masse peut atteindre jusqu’à 50%, mais surtout ouvre l’exploration de nouvelles stratégies : nouvelles géométries, nouveaux formats, adaptation de la capacité et des durées de vie au profil de consommation. Dans la même journée, l’acceptation des nouveaux emballages peut être testée après intégration en réalité augmentée ou après impression 3D. Le logiciel est cours d’intégration dans un projet open source.

Contexte de la réalisation :

Bien que la gestion des impacts environnementaux et sanitaires reste très asymétrique, absence de standards internationaux pour l’évaluation des premiers, alors qu’ils existent pour les seconds, il y a bien une convergence de la pression réglementaire et de la pression sociétale : moins d’impacts et plus de sécurité sanitaire. Réviser les solutions techniques existantes requiert de nouveaux degrés de liberté. Pour les emballages alimentaires, la stratégie de substitution d’une matrice thermoplastique par une autre, qui serait biodégradable et biosourcée, est réductrice, voire irréalisable, pour les boissons. Il faut tenir compte également de la compatibilité avec l’aliment, de sa durée de vie et des modes de distribution, des possibilités de recyclage des matériaux d’emballage, ainsi que des risques chimiques associés à l’utilisation de nouveaux matériaux ou liés à l’incorporation de polymères recyclés.

Résultat :

La nouvelle méthodologie d’écoconception et de conception sûre des emballages s’intercale entre l’étape d’analyse cycle de vie, qui permet de choisir la résine polymère et l’impression 3D ou de réalité augmentée qui permet de tester l’acceptation de nouveau emballage. La méthodologie, dite [E][D][S], intègre au sein d’un même outils trois étapes itératives : une [E]valuation multiéchelle des transferts couplés (de la thermodynamique



moléculaire jusqu'à l'échelle d'une bouteille en 3D), une [D]écision par rapport aux critères de durée de vie minimale, de sécurité sanitaire et de résistance mécanique et une ré[S]olution des contraintes géométriques en fonction des objectifs contradictoires de minimisation de la masse de l'emballage et de maximisation de la durée de vie de l'aliment emballé.

L'implémentation très haut débit de l'approche permet d'explorer des centaines d'alternatives (concepts, formats, conditions d'utilisation), avec des gains de poids pour les bouteilles de PET utilisées pour le conditionnement des boissons alcoolisées allant jusqu'à 50 % et des gains environnementaux jusqu'à 70 % via l'utilisation de PET recyclé. Les données 3D générées sont compatibles avec les outils de design et de mise en œuvre industriels. L'approche permet d'étudier des effets inaccessibles préalablement comme par exemple d'étudier la meilleure distribution de la matière dans les préformes des bouteilles pour obtenir une meilleure durée de vie.

Perspectives, impact possible à terme :

Seuls les transferts de matière (perte de poids, perte d'éthanol et d'arômes par sorption et perméation, désorption des constituants de l'emballage) contrôlent la durée de vie des aliments emballés. Parce que nous disposons d'un modèle très prédictif des réactions d'oxydation (travaux sur la friture profonde), nous proposons d'intégrer un module oxydatif. L'absence d'interface graphique des outils développés en 3D complique son adoption par l'industrie : il faut jongler avec plusieurs fichiers d'entrée. Nous réfléchissons comment financer ces développements.

Valorisation :

L'approche combine de très nombreux outils numériques open source développés par l'INRA et surtout un nouveau mailleur et solveur 3D permettant d'effectuer des calculs à très grande vitesse sur des emballages réels. L'ensemble sera progressivement mis à disposition sous la forme d'un projet open source FMECAengine3D. Parce que l'outil réutilise et généralise les solveurs de FMECAengine, l'ensemble est compatible avec les outils déjà transférés à l'industrie chimique (ex. Arkema), aux autorités réglementaires (essentiellement la FDA), aux centres techniques (LNE). Par exemple, les conditions de stockage (durée, température) variables sont couvertes.

Références :

- [1] Zhu Y, Guillemat B, Vitrac O. Rational Design of Packaging: Toward Safer and Ecodesigned Food Packaging Systems. **Frontiers in Chemistry**. 2019;7:10.3389/fchem.2019.00349.
- [2] Nguyen P-M, Goujon A, Sauvegrain P, Vitrac O. A Computer-Aided Methodology to Design Safe Food Packaging and Related Systems. **AIChE Journal**. 2013;59:1183-212 10.1002/aic.14056.

Contact :

Olivier Vitrac : olivier.vitrac@agroparistech.fr

Illustrations :

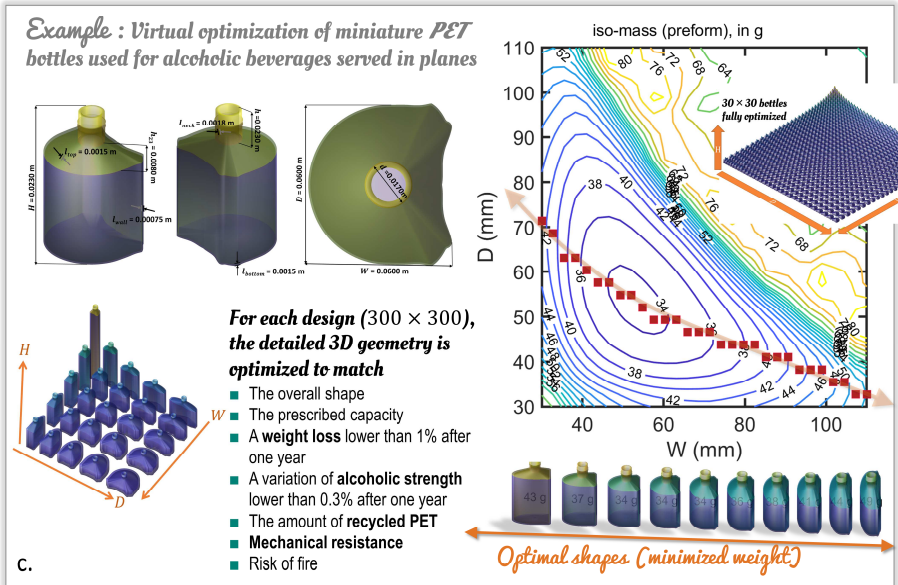
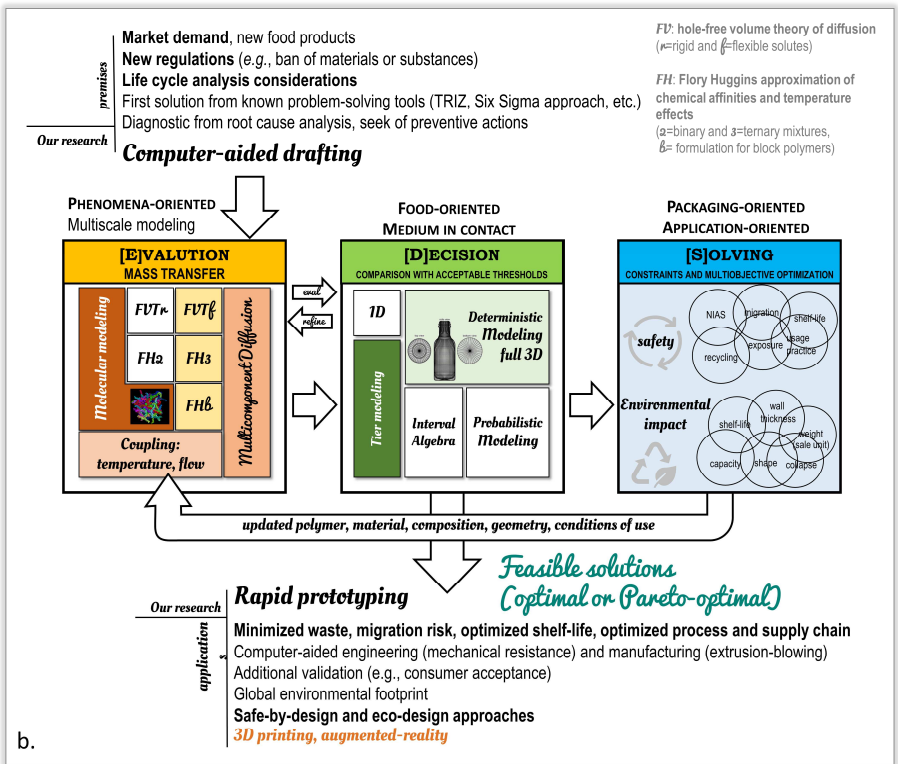
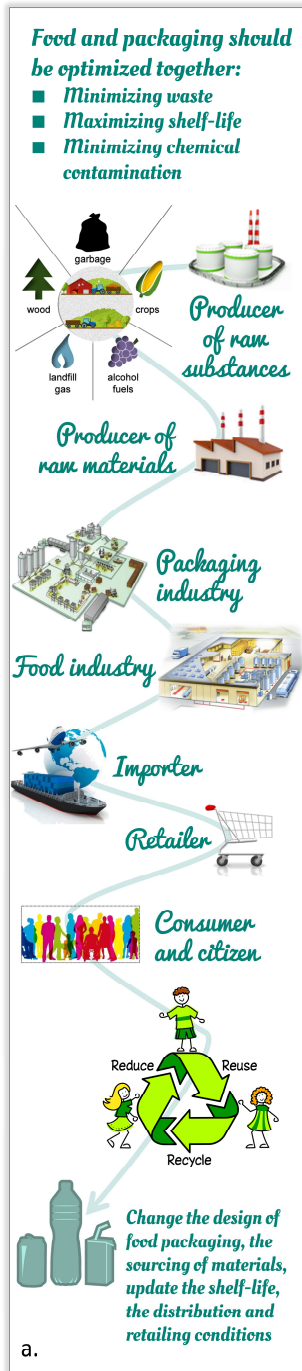


Figure 1. Illustration du problème de prototypage d'un emballage plastique pour des boissons : (a) chaîne de valeur à considérer, (b) module de prototypage 3D [E][D][S], (c) exemple de reconception de mignonnettes utilisées pour le conditionnement d'une liqueur de type vodka et servies dans les avions.