



Outil d'aide à la sélection d'emballages alimentaires pour la conservation sous atmosphère modifiée des produits frais

Patrice Buche, Nathalie Gontard, Valérie Guillard, Carole Guillaume, Luc
Menut

► To cite this version:

Patrice Buche, Nathalie Gontard, Valérie Guillard, Carole Guillaume, Luc Menut. Outil d'aide à la sélection d'emballages alimentaires pour la conservation sous atmosphère modifiée des produits frais. Innovations Agronomiques, INRA, 2017, 58, pp.81-91. 10.15454/1.5137841213314526E12. lirmm-01651979

HAL Id: lirmm-01651979

<https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-01651979>

Submitted on 29 Nov 2017

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.

Outil d'aide à la sélection d'emballages alimentaires pour la conservation sous atmosphère modifiée des produits frais

Patrice Buche¹, Nathalie Gontard¹, Valérie Guillard¹, Carole Guillaume¹, Luc Menut¹

¹ UMR IATE INRA/Université de Montpellier, 2 place Pierre Viala Montpellier, France

Correspondance : patrice.buche@inra.fr

Résumé

Lors de la conception de nouveaux emballages pour des produits frais, les acteurs de la filière expriment leurs contraintes et leurs préférences en fonction des objectifs à atteindre. Elles portent sur les caractéristiques des produits frais et celles des emballages. La conservation sous atmosphère modifiée représente une solution efficace pour retarder la sénescence, réduire les pertes et par conséquent étendre la très courte durée de vie des produits respirant comme les fruits et les légumes frais. La conservation sous atmosphère modifiée requière un équilibre entre la respiration des produits et la perméabilité de l'emballage qui permet à l'atmosphère de l'espace de tête d'atteindre une composition de conservation optimale, qui dépend du produit. Pour cela, les perméabilités O₂/CO₂ des emballages doivent correspondre aux contraintes des fruits et légumes frais prédites par les outils de simulation virtuelle des atmosphères modifiées. Au-delà des perméabilités, le choix d'un emballage alimentaire dépend de nombreux autres critères comme le coût, la disponibilité, la contamination potentielle des constituants, les contraintes de gestion des déchets, ... Pour aider les acteurs à prendre une décision rationnelle basée sur les besoins exprimés, un nouvel outil d'aide à la décision multicritères a été conçu. Dans cet article, nous présentons les spécifications fonctionnelles de l'outil, l'architecture et l'implémentation du logiciel. Il inclut : (i) un module de simulation de l'atmosphère modifié combinant des modèles de transfert et la respiration de l'aliment ; (ii) un module d'interrogation multicritères d'une base de données emballages qui gère l'imprécision, l'incertitude et l'incomplétude des données.

Mots-clés : Modélisation de l'atmosphère modifiée, Interrogation multicritères, Ingénierie des connaissances, Produit respirant, Base de données

Abstract: A Decision Support System to select modified atmosphere packaging for fresh produce

To design new packaging for fresh food, stakeholders of the food chain express their needs and requirements, according to some goals and objectives. These requirements can be gathered into two groups: (i) fresh food related characteristics and (ii) packaging intrinsic characteristics. Modified Atmosphere Packaging (MAP) is an efficient way to delay senescence and spoilage and thus to extend the very short shelf life of respiring products such as fresh fruits and vegetables. MAP requires an equilibrium between the respiration of the products and the permeability of the packaging that allows the internal atmosphere to reach an optimal composition, which depends on the product. Consequently, packaging O₂/CO₂ permeabilities must fit the requirements of fresh fruits and vegetable as predicted by virtual MAP simulating tools. Beyond gas permeabilities, the choice of a packaging material for fresh produce includes numerous other factors such as the cost, availability, potential contaminants of raw materials, process ability, waste management constraints, etc. To help stakeholders taking a rational decision based on the expressed needs, a new multi-criteria Decision Support System (DSS) for selecting biodegradable packaging for fresh produce has been built. In this paper we present the functional specification, the software architecture and the implementation of the developed tool. This tool includes (i) a MAP simulation module combining mass transfer models and respiration of the food,

(ii) a multi-criteria flexible querying module which handles imprecise, uncertain and missing data stored in the database.

Keywords: MAP modeling, Multi-criteria querying, Knowledge engineering, Respiring product, Database.

Introduction

Malgré les programmes et les campagnes ciblées visant à promouvoir leur bénéfique santé, la consommation des fruits et légumes frais est toujours limitée par leur courte durée de vie, qui n'est pas facilement compatible avec les modes de distribution et d'achat actuels (une fois par semaine) dans les pays développés.

Au-delà de l'utilisation de la chaîne du froid pour préserver la qualité des aliments, il est prouvé que l'emballage sous atmosphère modifiée (EAM) est un moyen efficace pour retarder la sénescence et réduire les pertes, en évitant l'utilisation controversée de conservateurs et en étendant la durée de vie des produits frais (Floros, 2005 ; Guillaume, 2008 ; Zagory, 1988). L'EAM repose sur la mise en place d'une atmosphère optimale/recommandée pour le produit en accordant le taux de perméation O_2/CO_2 du film avec le taux de respiration du produit. Même si beaucoup d'information a été publiée sur les EAM (plus de 400 occurrences pour « modified atmosphere packaging and fruit and vegetable » dans ISI Web of Knowledge), il y a un manque de traitement systématique des données en utilisant des systèmes de gestion de connaissances pour proposer un véritable outil d'aide à la décision (OAD).

Ce type d'outil peut aider les concepteurs et les utilisateurs à sélectionner les propriétés des films qui seront bien adaptées aux objectifs fixés. Cette approche est particulièrement importante dans le développement d'emballages à partir de matériaux biodégradables, qui correspond à une nouvelle tendance, car leurs propriétés barrière limitées, potentiellement améliorables en utilisant des matériaux composites multi-couches (Guillaume, 2010) peuvent devenir un avantage pour étendre la durée de vie des produits respirants (Cagnon, 2012 ; Guilbert, 2011 ; Guillaume, 2008). Pour faciliter la conception des EAM, des modèles mathématiques, appelés EAM virtuel, ont été développés pour concevoir des EAM passifs (Mahajan, 2007 ; Souza, 2013) ou actifs (Cagnon, 2012 ; Charles, 2003 ; Charles, 2005) pour les fruits et légumes frais ou frais et coupés. Des applications en ligne sont disponibles gratuitement (www.tailorpack.com) ou à accès payant (www.packinmap.com). Ces outils numériques simplifient les étapes de conception de l'emballage en prédisant les valeurs de perméabilité aux gaz qui permettent d'atteindre les atmosphères recommandées pour les produits visés et par conséquent d'en étendre la durée de vie tout en maintenant la qualité et la sécurité du produit emballé.

Jusqu'à présent, ces outils considèrent uniquement les perméabilités au gaz des matériaux d'emballage comme base de leur conception. La conception des emballages alimentaires ne repose pas uniquement sur la maximisation de la durée de vie du produit, et de nombreux autres critères doivent être pris en considération (processabilité, marketing, impact environnemental, sécurité et stabilité du matériau d'emballage durant toute la durée du cycle de vie de l'aliment, gestion des déchets, ...).

Au-delà des contraintes de durée de vie et de qualité de l'aliment, liées au taux de perméabilité O_2/CO_2 des emballages, la décision repose également sur les préférences des utilisateurs, naturellement exprimées comme des souhaits (par exemple les matériaux transparents sont préférés) ou des contraintes (par exemple le coût des matériaux doit être inférieur à 3 euros/kg). D'autres contraintes/souhaits peuvent également être relatives au fait que les consommateurs peuvent rejeter l'ajout d'additifs ou de nanoparticules dans l'emballage à cause des conséquences mal connues sur la santé. Pour aider les acteurs de la filière dans le choix des matériaux d'emballages qui pourraient satisfaire tous les éléments du « cahier des charges » pour un fruit ou légume donné, le développement

d'outils d'aide à la décision a été anticipé dans le cadre du projet européen EcoBioCap (www.ecobiocap.eu).

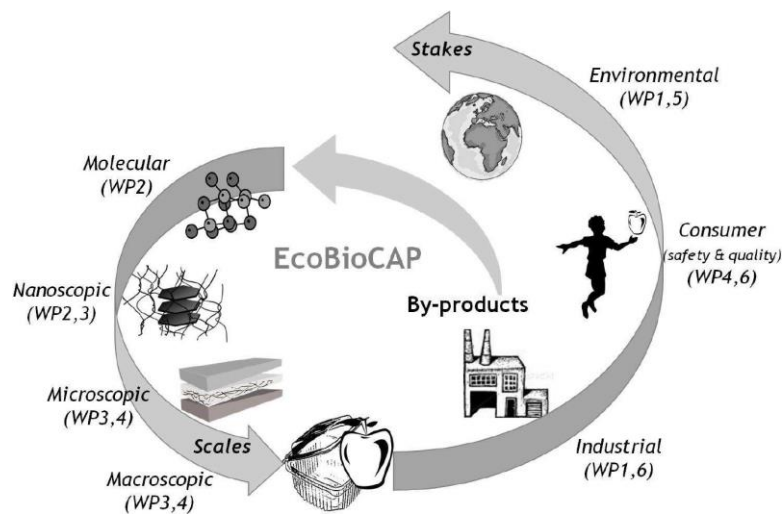


Figure 1 : Le projet EcoBioCap (ECOefficient BIOdegradable Composite Advanced Packaging, 2011-15)

Le projet européen EcoBioCap a eu pour objectif de concevoir la prochaine génération de matériaux d'emballage en se basant sur des structures composites innovantes obtenues à partir de co-produits de l'industrie agroalimentaire (Figure 1). Dans le cadre de ce projet, nous avons développé un OAD pour aider les acteurs impliqués dans la conception des emballages à prendre des décisions rationnelles basées sur la connaissance exprimée par les experts du domaine. L'OAD développé dans ce contexte aide à résoudre le problème de la décision multicritère dans le choix de l'emballage pour un produit frais.

Cet OAD est basé sur le développement d'un système d'information (1) capable d'enregistrer dans des bases de données dédiées (les données pouvant être imprécises ou incomplètes) des caractéristiques de matériaux d'emballage (par exemple perméabilités aux gaz, coût, transparence, propriétés mécaniques, ...) et des paramètres caractérisant les produits (par exemple paramètres respiratoires, conditions optimales de conservation, ...), (2) permettant aux acteurs d'exprimer sous forme de requête d'interrogation des bases de données leurs souhaits et contraintes, et (3) permettant de restituer les matériaux d'emballages triés par pertinence décroissante par rapport aux besoins exprimés.

Cet article décrit la conception et l'implémentation de cet OAD en termes de spécifications fonctionnelles (section 1), d'architecture de l'outil logiciel (section 2) et d'implémentation (section 3).

1. Spécifications fonctionnelles

Les principales fonctionnalités que l'OAD doit proposer aux utilisateurs ont été déterminées avec des utilisateurs potentiels identifiés au sein du Stakeholder Advisory Board du projet européen EcoBioCap et sont les suivantes :

- Collecter et organiser les données disponibles sur les caractéristiques des matériaux d'emballage ;
- Collecter et organiser les données disponibles sur les paramètres respiratoires et les atmosphères permettant une conservation optimale des produits frais ;
- Prendre en compte sous forme de contraintes ou de souhaits priorisées des préférences utilisateurs concernant les caractéristiques des matériaux ciblés ;

- Proposer une aide à la décision en présence de données manquantes car dans certains cas d'emballages, des caractéristiques requises sont inconnues ;
- Proposer une aide à la décision en présence de données imprécises car les caractéristiques associées aux emballages et aux produits alimentaires sont parfois connues avec un niveau de précision donné ;
- Restituer une liste priorisée des emballages les plus pertinents avec leurs caractéristiques principales ;
- Garantir, en cas d'absence de solution, la restitution des emballages les moins éloignés des critères demandés (notion de réponse garantie).

2. Architecture de l'outil logiciel

La Figure 2 présente les composants logiciels et bases de données qui permettent l'implémentation des fonctionnalités désirées de l'OAD. Ils comportent deux bases de données (aliments et emballages), un module de simulation de l'EAM, et un moteur d'interrogation multicritères bipolaire flexible.

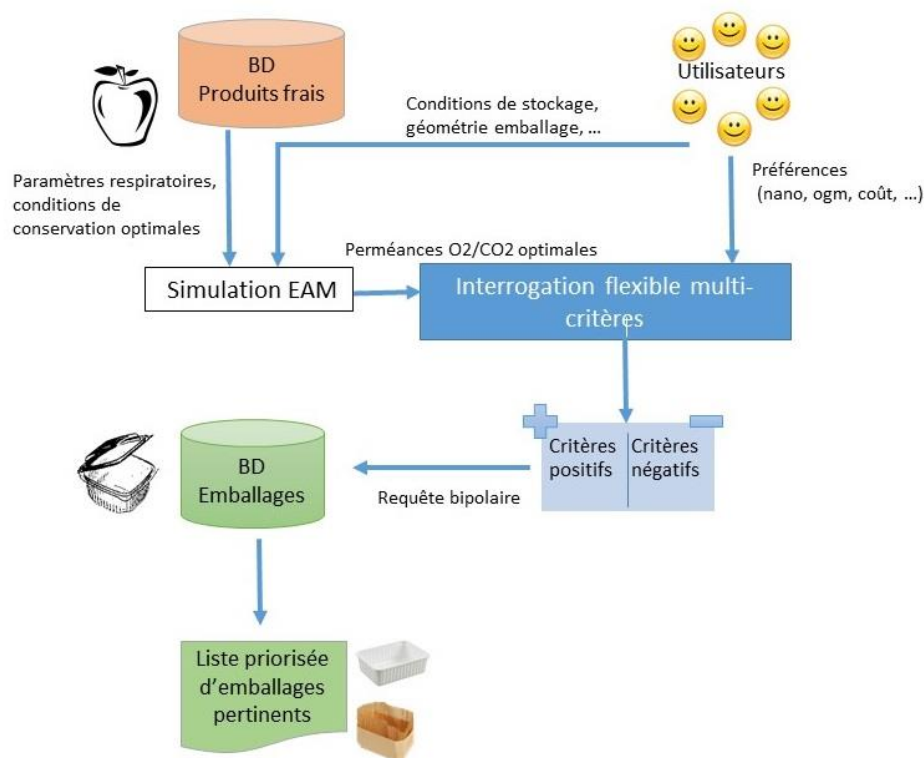


Figure 2 : Architecture de l'OAD

1.1 Les bases de données

L'OAD s'appuie sur deux bases de données : (i) une base de données aliments contenant les paramètres respiratoires des produits frais utilisés par le module de simulation de l'EAM (taux de respiration maximum, constante de Mickaelis-Menten, énergie d'activation, concentrations optimales en gaz, coefficients respiratoires) et, (ii) une base de données emballages décrivant les perméabilités O₂/CO₂, l'épaisseur du film, les propriétés mécaniques, le prix, la biodégradabilité, la transparence...

Ces bases de données sont alimentées à partir des données de la littérature et des fiches fournisseurs pour les emballages commercialisés. Les données sont stockées dans une base de données relationnelle MySQL (www.mysql.com). Lorsque cette information est disponible, chaque donnée est stockée avec son intervalle de confiance afin de permettre la prise en compte de l'incertitude durant les simulations et les comparaisons.

1.2 Le module de simulation de l'EAM

Le module de simulation de l'EAM calcule les perméances optimales qui garantissent la meilleure durée de vie pour l'aliment emballé en combinant les données de la base de données aliments, les paramètres donnés par l'utilisateur (conditions de stockage, géométrie de l'emballage souhaité). Les données extraites de la base sont :

- Les paramètres de l'équation de Mickaelis-Menten: taux respiratoire maximum (Rmax), quotient respiratoire (RQ), constante de Mickaelis-Menten (Km), etc.
- Contenu optimal O₂/CO₂ ciblé dans l'espace de tête.

Les paramètres donnés par l'utilisateur incluent la durée de vie souhaitée de l'emballage, la masse de produit à emballer, la température de conservation, la géométrie de l'emballage (surface et volume). En utilisant les équations de transfert de matière (basées sur la loi de Fick) couplées avec l'équation de Mickaelis-Menten pour la respiration, le module de simulation calcule les perméances et les perméabilités O₂/CO₂ adaptées à la conservation de l'aliment.

Le module de simulation de l'EAM a été implémenté avec le logiciel de calcul numérique R (<http://www.r-project.org>).

1.3 Le moteur d'interrogation multicritère bipolaire flexible

Le système d'interrogation a été élaboré à partir de méthodologies d'interrogation flexible multicritères de bases de données imprécises. Ces méthodes sont bien adaptées pour représenter les préférences des utilisateurs. Les requêtes sont exécutées sur un système de gestion de bases de données classiques (type MySQL) et retournent une liste de réponses discriminées, triées de la plus préférée à la moins préférée. Les préférences sont habituellement représentées comme des intervalles ordinaires mais elles peuvent correspondre à un ensemble vide de réponses. Des intervalles élargis permettent de relaxer les préférences exprimées afin de limiter le risque d'obtenir un ensemble vide de réponses. Pour cela, nous avons utilisé la théorie des ensembles flous (Zadeh, 1965) qui propose un cadre général pour l'interprétation des requêtes à préférences étendues. Le système d'interrogation implémenté dans l'OAD (Destercke, 2011) est également capable de prendre en compte le manque de données ou l'imprécision de celles-ci dans la base de données contenant les caractéristiques des emballages comme les perméabilités, la transparence, la biodégradabilité, ...

Par ailleurs, les préférences exprimées sur les différents critères peuvent avoir des degrés de priorité différents. Par exemple, la durée de vie et la sécurité sanitaire du produit peuvent être considérées comme plus importantes que la couleur ou la transparence de l'emballage. Par conséquent, le système d'interrogation permet de distinguer des préférences considérées comme des contraintes dont la satisfaction est obligatoire, d'autres préférences considérées comme des souhaits dont la satisfaction est optionnelle. Tout emballage qui ne satisfait pas au moins l'une des contraintes est filtré définitivement. Parmi les emballages restants, plus ceux-ci satisferont les souhaits, plus ils seront préférés. Nous adoptons donc une approche bipolaire du processus d'interrogation qui permet de gérer simultanément des préférences considérées comme des contraintes ou des souhaits. La notion de bipolarité s'inspire du mode de raisonnement humain qui combine les informations positives et négatives pour prendre une décision, pour opérer des choix ou des jugements. Ces approches ont été largement étudiées ces dernières années dans le domaine de la modélisation des requêtes bipolaires

floues (Bordogna, 1994 ; Dubois, 2002 ; Dubois 2002a ; de Tre, 2009 ; Zdrozny et Kacprzyk, 2007 ; Zdrozny et Kacprzyk, 2009 ; Lietard, 2011 ; Tamani, 2013). Dans l'OAD, nous nous basons sur l'interprétation introduite par Dubois et Prade (Dubois, 2002 ; Dubois, 2002a ; Dubois 2008), dans laquelle une condition bipolaire est faite de contraintes qui forment des conditions obligatoires (qui réfèrent au pôle négatif) et de souhaits qui sont des condition optionnelles (qui réfèrent au pôle positif), et globalement l'ensemble exprimant la satisfaction des contraintes et si possible des souhaits.

De plus, la grande différence entre notre système d'interrogation flexible et les approches précédentes est que nous prenons en considération la possibilité que des valeurs caractérisant l'emballage soient imprécises car elles ont été obtenues à partir de données expérimentales répétées représentées par un intervalle de valeurs plutôt qu'une valeur scalaire. Pour cela, tout comme les préférences associées aux critères d'interrogation, les valeurs stockées dans la base de données sont considérées comme des ensembles flous, mais avec une sémantique de donnée imprécise, comme défini dans (Dubois, 1997 ; Haemmerlé et al., 2007 ; Buche, 2011).

Les perméabilités optimales calculées par le module de simulation de l'EAM deviennent les préférences associées aux critères de perméabilité considérées comme des contraintes car associées à la préservation de la qualité de l'aliment.

Le moteur d'interrogation flexible multicritère combine ces préférences pour former une requête bipolaire qui est adressée à la base de données emballages. La liste des emballages restituée est triée par pertinence décroissante vis-à-vis des préférences exprimées. L'utilisateur peut spécifier si le moteur doit prendre en considération le fait que certaines données correspondant aux critères interrogés peuvent être manquantes. Dans l'affirmative, chaque emballage restitué est annoté avec le pourcentage de données connues pour les critères interrogés. Si aucun emballage ne satisfait les contraintes exprimées, le moteur active la fonction de calcul des résultats garantis qui restitue la liste des emballages les moins éloignés des contraintes exprimées.

3. Implémentation

L'OAD a été implémenté comme une application web accessible sur la plateforme logicielle PLASTIC du département CEPIA (<http://pfl.grignon.inra.fr/EcoBioCapQuerying/>). Plusieurs courtes vidéos de démonstration sont disponibles au téléchargement (<http://umr-iate.cirad.fr/axes-de-recherche/ingenierie-des-connaissances/themes-de-recherche/ecobiocap-dss>).

L'interface graphique de l'application est composée de 3 parties :

- La partie supérieure, présentée sur la Figure 3, permet de calculer la perméance optimale pour l'emballage ciblé à partir des paramètres caractérisant l'aliment, les conditions de stockage et la géométrie de l'emballage. L'interface se connecte à la base de données Aliments pour récupérer les caractéristiques associées à l'aliment sélectionné. La Figure 3 présente les perméances optimales O₂/CO₂ calculées par l'OAD pour une durée de vie de 7 jours, à une température ambiante de 20°C, une masse de produit de 500 g, un volume de l'emballage de 1 litre et une surface de 756 cm².
- La partie centrale de l'interface permet à l'utilisateur d'exprimer ses préférences. Dans cette version de l'OAD, il peut uniquement exprimer ses préférences concernant les perméances O₂/CO₂, la température de stockage, la biodégradabilité et la transparence de l'emballage. La requête présentée dans la Figure 3 peut s'exprimer de la manière suivante: « Je veux un emballage adapté à la conservation d'un abricot Bergeron pendant 7 jours (valeurs optimales de perméance O₂/CO₂ calculées par l'OAD) pour un intervalle de température variant entre 14 et 26°C ». Il est à noter que les valeurs optimales de perméance O₂/CO₂ calculées par l'OAD sont automatiquement recopiées dans la partie centrale de l'interface avec un écart type

prédéfini pour l'intervalle min-max et l'intervalle min-max élargi. Ces valeurs peuvent être modifiées par l'utilisateur avant de soumettre la requête au moteur d'interrogation flexible.

The screenshot shows the 'EcoBioCap - Optimize permeabilities' interface. It is divided into several sections:

- Food properties:** Includes a dropdown for 'Apricot Bergeron', input fields for Mass (kg) = 0.5, Shelf life (day) = 7, Temperature (°C) (slider), and various respiration parameters like RRO2 max, RQ, KmO2, and KICO2.
- Packaging geometry:** Input fields for Surface (cm²) = 756 and Volume (l) = 1.
- Simulation controls:** 'run simulation' and 'clear' buttons.
- Results:** Displays optimal permeability values: Permeance O2 (1.411684e-11), Permeance CO2 (1.29492e-10), Permeability O2 (7.058419e-16), and Permeability CO2 (6.474602e-15).
- Preferences associated with criteria:** A table for setting constraints and preferences for various criteria.

	enlarge min	min	max	enlarge max	mandatory	optional
O2 permeance	9.881786e-12	1.270515e-11	1.552852e-11	1.835189e-11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CO2 permeance	9.064443e-11	1.165428e-10	1.424412e-10	1.683397e-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperature	14	18	22	26	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Biodegradability	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transparency	<input type="checkbox"/> transparent <input type="checkbox"/> translucent <input type="checkbox"/> opaque				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 3 : Interface graphique de l'OAD présentant les valeurs de perméance optimales obtenues pour le cas d'un abricot

- La partie inférieure est dédiée à l'affichage du résultat de la requête, présentée dans la Figure 4, dans le cas de l'abricot. Dans cet exemple de requête, seules des contraintes sont considérées et le moteur d'interrogation autorise la prise en compte d'emballages pour lesquels des données sont manquantes (le pourcentage de données connues le plus élevé est de 66%).

L'OAD est capable de considérer non seulement des contraintes comme les perméabilités des emballages mais aussi des souhaits. Par exemple, l'utilisateur exprime la requête suivante : « Je veux un emballage adapté à la conservation d'un abricot Bergeron pendant 7 jours pour un intervalle de température variant entre 14 et 26 °C et si possible biodégradable ». Cette requête comprend trois contraintes (sur les perméabilités O₂ et CO₂ et la température) mais aussi un souhait comme illustré dans la Figure 5. On peut noter que le souhait permet de départager les emballages de même rang au regard des contraintes exprimées. Dans l'exemple présent (abricot), les deux emballages de rang 1 dans la Figure 4 sont des polyoléfinés, emballages pétro-sourcés, qui ne sont pas biodégradables. La différenciation entre ces deux emballages présentée dans la Figure 5 n'est donc pas due à leur caractère biodégradable mais au fait que dans un cas cette information est renseignée (cas du Lupolen, qui passe en deuxième rang dans la nouvelle classification) et dans l'autre pas (cas du polyéthylène, rang 1). Son caractère non biodégradable n'est pas renseigné dans la base et est considéré comme potentiellement atteignable par le moteur d'interrogation. L'utilisateur est informé du manque de

données grâce à la colonne « % known values ». Par exemple, dans le cas du polyéthylène, il est de 50% puisque seules deux valeurs sont connues sur les 4 interrogées (la perméance O₂ et la température).

Preferences associated with criteria

allow the ranking of packagings with unknown values for mandatory criteria

	enlarge min	min	max	enlarge max	mandatory	optional
O2 permeance	9.881786e-12	1.270515e-11	1.552852e-11	1.835189e-11	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
CO2 permeance	9.064443e-11	1.165428e-10	1.424412e-10	1.683397e-10	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
Temperature	14	18	22	26	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>
Biodegradability					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transparency	<input type="checkbox"/> transparent <input type="checkbox"/> translucent <input type="checkbox"/> opaque				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Packagings ranking

ranking	name	type	% known value
1	Polyethylene HD	Polyolefin	66
Id.: 34 Name: Polyethylene HD Type: Polyolefin Reference: Syverud & Stenius (2009) Authors: null O2 permeance (mol.m-2.s-1.Pa-1): 1.23776683119447E-11 CO2 permeance (mol.m-2.s-1.Pa-1): not available Temperature (°C): 23.0 Biodegradable: Transparency: Distance:			
1	Lupolen 2420 F	Polyolefin	66
2	Corn-zein coated PP films	Proteins	66
3	Myofibrillar proteins	Proteins	66

Figure 4 : Interface graphique de l’OAD présentant une liste triée d’emballages par ordre de pertinence décroissante (seules des contraintes sont considérées). Des informations détaillées sont affichées pour le premier emballage.

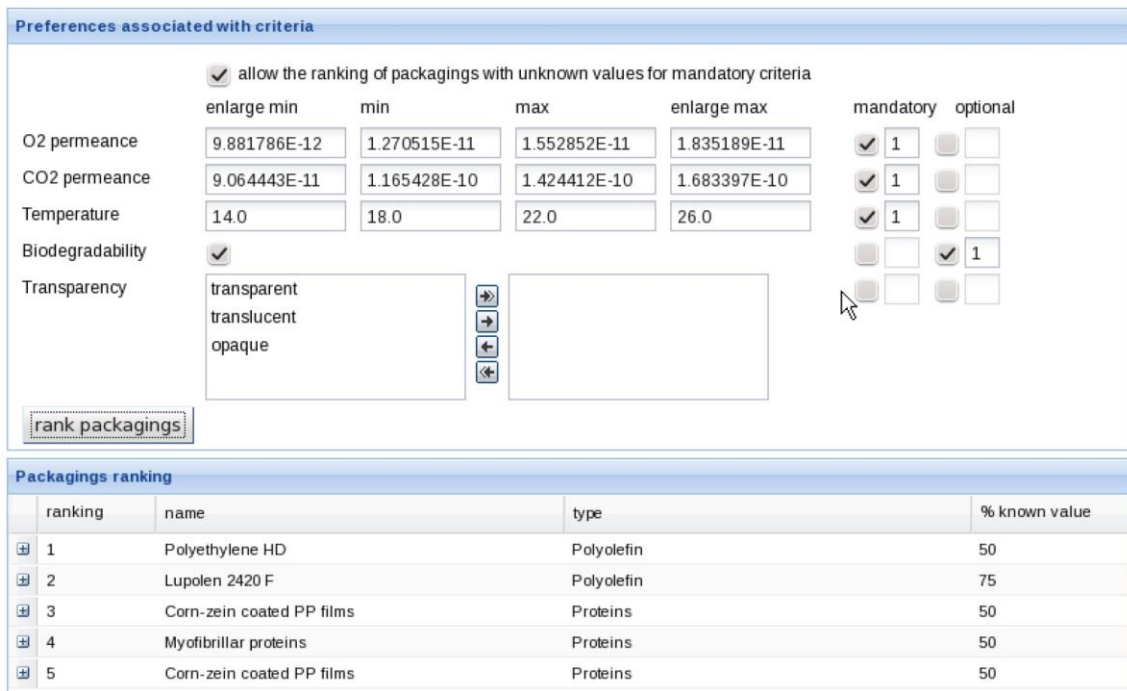


Figure 5 : Interface graphique de l'OAD présentant une liste triée d'emballages par ordre de pertinence décroissante (un souhait est également considéré)

Enfin, la Figure 6 illustre la fonction qui calcule les résultats garantis, à savoir les emballages minimisant la distance entre les contraintes exprimées dans la requête et les caractéristiques correspondantes des emballages. Cette fonction n'est exécutée que lorsqu'aucun emballage de la base ne satisfait les contraintes de la requête. Dans la Figure 6, le critère Biodégradabilité n'est pas un souhait mais une contrainte. Aucun emballage de la base ne satisfait l'ensemble des contraintes exprimées et la fonction de calcul des résultats garantis est exécutée. Un message d'avertissement est envoyé à l'utilisateur dans une fenêtre surgissante (Figure 6) dans laquelle est indiqué pour chaque critère contrainte le pourcentage d'emballages qui ne satisfait pas cette contrainte ou qui ont une valeur manquante pour ce critère. Dans l'exemple de la Figure 6, le premier emballage « gluten de blé » est biodégradable même si ses perméances O₂/CO₂ sont plus éloignées de celles du polyéthylène classé premier avec la requête de la Figure 5.

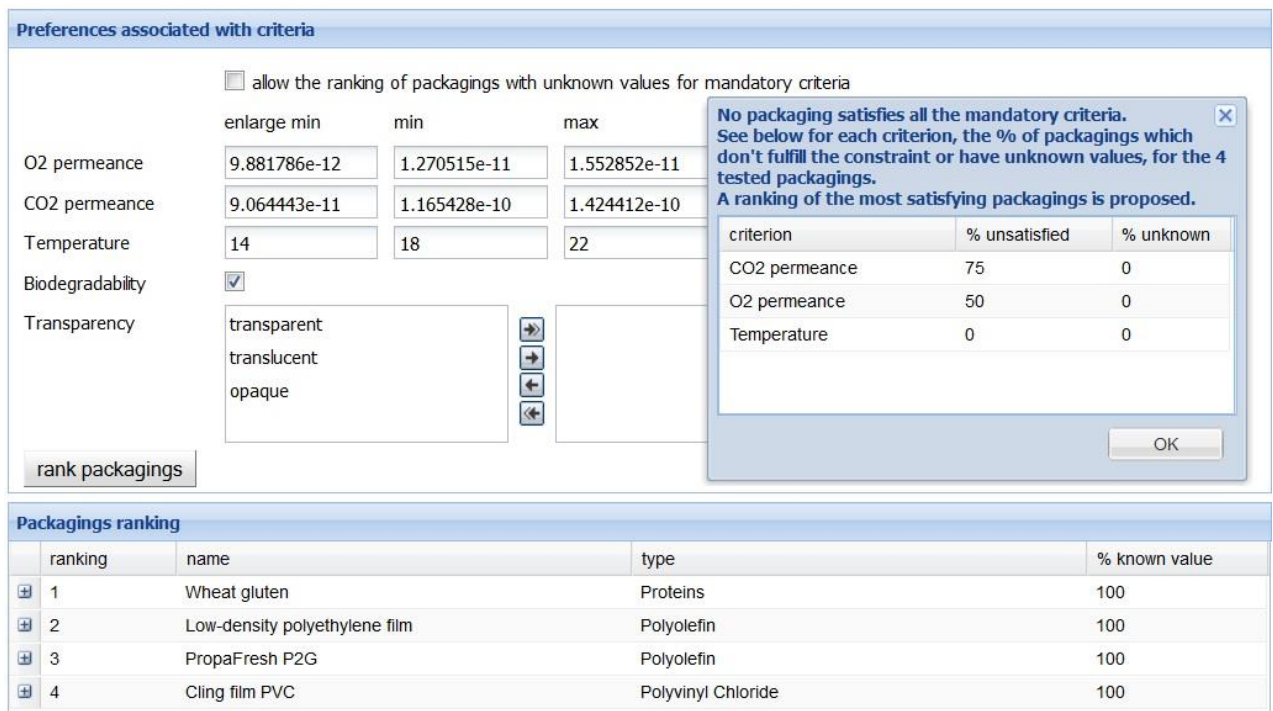


Figure 6 : Interface graphique de l'OAD présentant une liste des emballages les plus proches des contraintes exprimées dans la requête pour le cas Abricot

A mon impression il manque ici une preuve de concept, un exemple concret avec une démonstration que l'emballage choisi avec l'outil est bien adapté au produit cad un cinquième §. Sinon ça reste très abstrait et on ne voit pas si il y a bien le plus promis.

Conclusion et perspectives

Les OAD disponibles pour faciliter la conception des EAM passifs (Mahajan, 2007 ; Souza, 2013) ou actifs (Cagnon, 2012 ; Charles, 2003 ; Charles, 2005) pour les fruits et légumes frais ou frais et coupés considèrent uniquement les perméabilités au gaz des matériaux d'emballage comme base de leur conception. Or la conception des emballages alimentaires ne repose pas uniquement sur la maximisation de la durée de vie du produit, et de nombreux autres critères doivent être pris en considération (processabilité, marketing, impact environnemental, sécurité et stabilité du matériau d'emballage durant toute la durée du cycle de vie de l'aliment, gestion des déchets, ...

L'outil d'aide à la décision (OAD) proposé dans cet article pour le choix d'emballages de fruits et légumes frais repose sur une approche pluridisciplinaire combinant génie des procédés, ingénierie des connaissances et informatique. Des modèles numériques de transfert de matière simulant un emballage sous atmosphère modifiée (EAM) sont couplés avec deux bases de données 'emballages' et 'produits frais' dans une application web. Une approche originale d'interrogation multicritère bipolaire flexible a été développée afin de permettre à l'utilisateur d'interroger la base de données 'emballages' à partir des caractéristiques du produit à emballer ainsi que des propriétés de transfert de matière et d'autres critères comme la transparence, la biodégradabilité, le prix, etc. Si plusieurs emballages sont dans la même classe d'équivalence après avoir satisfaits les contraintes, un raffinement du tri est possible en

prenant en considération des souhaits. Dans le processus d'interrogation, l'imprécision des données de la base est prise en compte lorsqu'on les compare aux préférences des utilisateurs. Si aucun emballage ne satisfait les contraintes, l'OAD délivre une liste des emballages les moins éloignés des critères exprimés dans la requête.

En comparaison avec les pratiques actuelles de prise de décision, l'OAD proposé est une avancée significative dans le domaine des emballages alimentaires, et tout particulièrement des produits respirants. A cause de leur métabolisme respiratoire intense, les produits frais requièrent pour leur matériau d'emballage des valeurs spécifiques de perméabilité O₂/CO₂ dans une fourchette étroite de valeurs dépendant de la nature du produit. Dans la pratique, le choix des emballages est basé sur les spécifications définies par le producteur de l'aliment. Pour définir les spécifications en termes de perméabilité O₂/CO₂, des essais expérimentaux sur différents matériaux avec un éventail large de perméabilité aux gaz sont menés jusqu'à trouver l'emballage le mieux adapté à la conservation du produit. Cette approche de type "pack-and-pray" est complètement empirique et reste très qualitative sans formalisation du lien entre les propriétés de l'emballage et les besoins du produit. Il est facile d'imaginer la valeur ajoutée que l'utilisation d'un OAD tel que celui présenté dans cet article peut apporter au producteur du produit pour déterminer l'emballage le plus adéquat.

En complément des critères principaux concernant la durée de vie du produit, l'OAD proposé dans cet article est capable de prendre en compte d'autres critères associés aux contraintes et souhaits du producteur de l'aliment : biodégradabilité, transparence, etc. Ce type d'outil n'avait jamais été proposé dans ce domaine auparavant. Parmi les emballages restitués par l'OAD, l'utilisateur en choisit un (en principe le premier de la liste) afin de le tester en condition réelle. En comparaison avec l'approche empirique qui requière de multiples essais, l'utilisateur n'a qu'un seul essai à réaliser (étape de validation). Pour toutes les raisons évoquées ci-dessus, l'OAD proposé dans cet article propose une réelle aide à la décision dans le domaine des emballages pour produits frais.

Ce travail a mis en évidence l'importance de la gestion des bases de données et de leur contenu. Les données caractérisant les nouveaux matériaux d'emballage développés dans le cadre du projet EcoBioCap ont été stockées dans la base de l'OAD. De manière plus générale, il est crucial d'alimenter régulièrement cette base de données afin de disposer d'un panel représentatif des emballages disponibles sur le marché et en R&D. Comme l'alimentation de la base à partir de sources d'information hétérogènes est une tâche chronophage, un processus de capitalisation de données guidé par une ontologie a été mis en place (Buche et al., 2013) et des recherches en extraction semi-automatique de données à partir de sources de données textuelles ont été engagées (Berrahou et al., 2017).

Remerciements

La recherche qui a permis d'obtenir ces résultats a été partiellement financée par le FP7 de la commission européenne (FP7/ 2007-2013) dans le cadre du projet FP7-265669-EcoBioCAP.

Références bibliographiques

Bordogna G., Pasi G., 1994. A fuzzy query language with a linguistic hierarchical aggregator. In: Proceedings of the 1994 ACM Symposium on Applied Computing, SAC '94. ACM, New York, NY, USA, pp. 184–187.

Buche P., Couvert O., Dibie-Barthelemy J., Hignette G., Mettler E., Soler L., 2011. Flexible querying of web data to simulate bacterial growth in food. *Food Microbiol.* 28 (4), 685–693.

Buche P., Dervaux S., Dibie-Barthélemy J., Soler L., Ibanescu L., Touhami R., 2013. Intégration de données hétérogènes et imprécises guidée par une ressource termino-ontologique. *Revue d'Intelligence Artificielle* 27(4-5): 539-568

Berrahou S.L., Buche P., Dibie J., Roche M., 2017. Xart: Discovery of correlated arguments of n-ary relations in text. *Expert Syst. Appl.* 73: 115-124

- Cagnon T., Guillaume C., Guillard V., Gontard N., 2012. Nano and microstructuring of materials from a single agro-polymer for sustainable MAP preservation of fresh food. *Pack. Technol. Sci.* (26), 137–148
- Charles F., Sanchez J., Gontard N., 2003. Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: modeling with tomatoes and oxygen absorber. *J. Food Sci.* 68 (5), 1736–1742.
- Charles F., Sanchez J., Gontard N., 2005. Modeling of active modified atmosphere packaging of endives exposed to several postharvest temperatures. *J. Food Sci.* 70 (8), E443–E449.
- Destercke S., Buche P., Guillard V., 2011. A flexible bipolar querying approach with imprecise data and guaranteed results. *Fuzzy Sets Syst.* 169, 51–64.
- Dubois D., Prade H., 1997. The three semantics of fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* 90 (2), 141–150.
- Dubois D., Prade H., 2002a. Bipolarité dans un processus d'interrogation flexible. In: *Rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications, LFA.*
- Dubois D., Prade H., 2002b. Bipolarity in flexible querying. *LNAI 2522*, 174–182.
- Dubois D., Prade H., 2008. An introduction to bipolar representations of information and preference. *Int. J. Intell. Syst.* 23, 866–877.
- Guilbert S., Guillaume C., Gontard N., 2011. New Packaging Materials Based on Renewable Resources: Properties, Applications, and Prospects. In: Aguilera J., Simpson R., Welte-Chanes J., Bermudez-Aguirre D., Barbosa-Canovas G. (Eds) *Food Engineering Interfaces. Food Engineering Series.* Springer, New York, NY
- Guillaume C., Chalier P., Gontard N., 2008. Modified atmosphere packaging using environmentally compatible and active food packaging materials. In: Chiellini, E. (Ed.), *Environmentally Compatible Food Packaging.* CRC Press, pp. 396–418 (Chapter 16).
- Guillaume C., Schwab I., Gastaldi E., Gontard N., 2010. Biobased packaging for improving preservation of fresh common mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 11 (4), 690–696.
- Haemmerlé O., Buche P., Thomopoulos R., 2007. The MIEL system: uniform interrogation of structured and weakly-structured imprecise data. *J. Intell. Inf. Syst.* 29 (3), 279–304.
- Liétard L., Tamani N., Rocacher D., 2011. Fuzzy bipolar conditions of type or else. In: *FUZZ-IEEE*, pp. 2546–2551.
- Mahajan P.V., Oliveira F.A.R., Montanez J.C., Frias J., 2007. Development of user friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 8 (1), 84–92.
- Souza-Gallagher M., Mahajan P., 2013. Integrative mathematical modelling for MAP design of fresh-produce: theoretical analysis and experimental validation. *Food Control* 29 (2), 444–450.
- Tamani N., Liétard L., Rocacher D., 2013. A fuzzy ontology for database querying with bipolar preferences. *Int. J. Intell. Syst.* 28 (1), 4–36.
- de Tré G., Zdrozny S., Matthé T., Kacprzyk J., Bronselaer A., 2009. Dealing with positive and negative query criteria in fuzzy database querying bipolar satisfaction degrees. *LNAI, FQAS*, vol. 5822, pp. 593–604.
- Zadeh L., 1965. Fuzzy sets. *Inform. Control* 8 (3), 338–353.
- Zdrozny S., Kacprzyk J., 2007. Bipolar queries using various interpretations of logical connectives. *LNAI, IFSA 4529*, 182–190.
- Zdrozny S., Kacprzyk J., 2009. Bipolar queries: an approach and its various interpretations. In: *In Proceedings of IFSA/EUSFLAT*, pp. 1288–1293.