

Vers une intégration des connaissances pour une meilleure compréhension des procédés alimentaires

Cédric Baudrit¹, Pierre-Henri Wuillemin², Mariette Sicard¹, Nathalie Perrot¹

¹ ¹UMR782 GMPA. AgroParisTech, INRA, 78850 Thiverval-Grignon, France.

{cbaudrit,msicard,nperrot}@grignon.inra.fr

² Laboratoire d'Informatique de Paris VI (CNRS UMR7606) 75016 Paris, France

pierre-henri.wuillemin@lip6.fr

Mots-Clés : *Modélisation, intégration des connaissances, réseaux Bayésiens dynamiques, procédés alimentaires.*

1 Introduction

Face aux enjeux de compétitivité auxquels sont confrontés les industries agroalimentaires, il est capital de maîtriser les procédés de transformation. Les recherches actuelles pour atteindre cet objectif se focalisent sur la mise en place d'outils d'aide à la décision qui s'appuient sur le développement de modèles mathématiques permettant de reconstruire la dynamique des procédés de transformations et ainsi d'expliquer le comportement global du produit. Cependant, la connaissance relative aux procédés alimentaires, assimilables à des systèmes complexes, reste encore aujourd'hui parcellaire, incomplète et entachée d'incertitude. Celle-ci est (1) issue de différentes sources ; (2) exprimée sous différentes formes, différents formats et à différentes échelles. Notre travail consiste à développer des outils capables d'intégrer, unifier ces informations ponctuellement capitalisées à différentes échelles dans le but d'acquérir une meilleure compréhension du procédé. D'un point de vue formel, nous cherchons à définir un modèle $M := \{dX/dt = f(X, t)\}$ où X est le procédé à décrire et f la fonction à expliciter. Pour ce faire, notre démarche consiste à simplifier l'approche systémique en décomposant le pool de connaissance en éléments simples X_i à différentes échelles. Nous cherchons ensuite à instancier les modèles M_i associés à chaque X_i en fonction de la connaissance disponible. Pour finir, nous couplons les différents modèles M_i dans la perspective de l'élaboration du modèle global $M := \sum_i M_i$. Dans ce contexte, le concept des réseaux Bayésiens dynamiques (RBDs) [3], couplant théorie des graphes et des probabilités, fournit un cadre unificateur de travail permettant de coupler, d'intégrer des connaissances hétérogènes issues de multiples sources aussi bien dans la spécification de la partie graphique du réseau que dans la définition des tables de probabilités conditionnelles (CPDs). L'objet d'étude sur lequel nous avons mis en perspective notre démarche concerne un fromage à pâte molle croûte fleurie de type Camembert, au cours de son affinage, qui représente un écosystème et un bio réacteur difficile à appréhender dans sa globalité.

2 Modélisation et résultats de simulations

A partir du pool de connaissances disponibles sur le processus d'affinage (ex : données microbiologiques, descripteurs sensoriels ...) [2, 5], nous avons établi un modèle basé sur les RBDs (voir Figure 1.A) qui propose une représentation simplifiée des évolutions microbiennes (*Kluyveromyces marxianus*, *Geotrichum candidum*, *Brevibacterium aurantiacum*) couplée aux changements des propriétés sensorielles du fromage et influencés par la température (T). Les noeuds C1,...,C7, appelés "noeuds contraintes", permettent de représenter des règles fournies par les experts principalement liées aux lois de conservation microbiologique. La figure 2.C présente l'évolution moyenne de Km au cours du temps issue de la figure 2.B et montre dans quelle mesure les résultats simulés sont proches des données expérimentales. Le modèle présente un taux d'adéquation moyen de 85% avec 3 affinages menés à des températures différentes, à savoir 8°C, 12°C et 16°C.

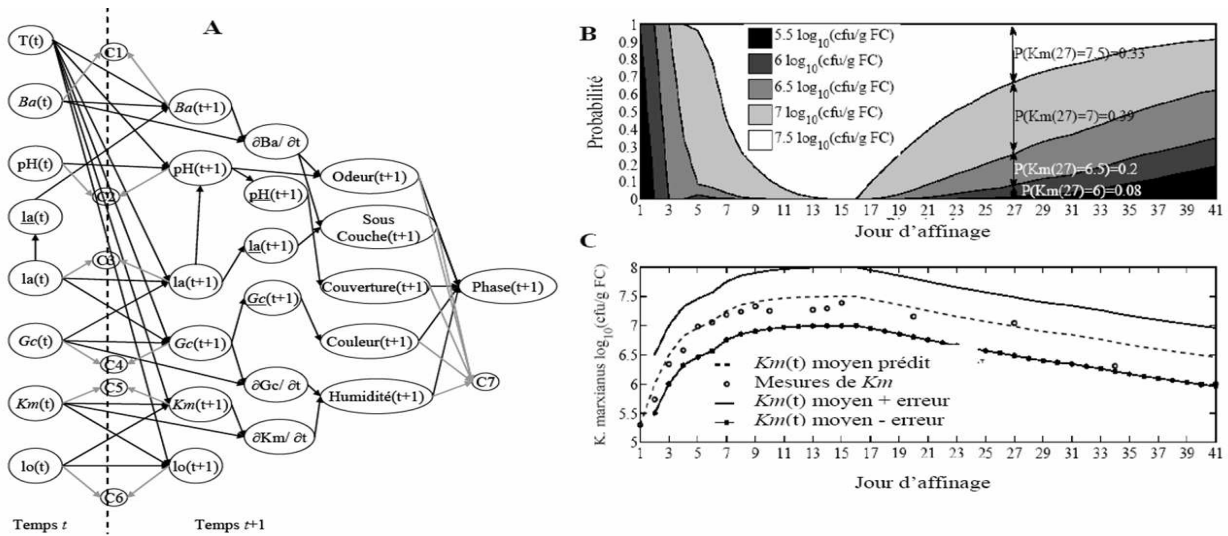


FIGURE 1 – **A)** RBD représentant l'évolution des micro-organismes couplée aux propriétés sensorielles du fromage influencés par la température au cours de son affinage. **B)** Distribution de probabilité de $Km(t)$. **C)** Évolution moyenne simulée de $Km(t)$ versus données brutes pour un affinage mené à 8°C et 98% d'humidité relative

3 Conclusion et perspectives

Malgré la complexité des phénomènes couplés multi échelles prenant place au cours d'un processus de transformation tel que l'affinage du fromage, nous avons établi un modèle permettant de décrire cet affinage à différentes échelles et proposant ainsi une vision globale du processus. Plus qu'un outil de représentation, les résultats des simulations ont mis en évidence le caractère prédictif du modèle. Cependant, le formalisme des RBDs présente des limites dans le sens où les approches classiques d'apprentissage requièrent des bases de données relativement riches (parfois non disponibles ou encore impossible à recueillir). Afin de tirer profit de la richesse de la connaissance experte, nous menons une réflexion sur une optimisation a posteriori du contenu des CPDs de façon interactive et visuelle avec un expert [4]. L'intérêt de l'approche visuelle est qu'elle permet de masquer la complexité sous-jacente des CPDs et évite la manipulation directe des probabilités par les experts. Afin de prendre en compte le caractère imprécis de la connaissance, nous souhaitons étudier le formalisme récent des "credal networks" [1] qui généralise l'approche Bayésienne en permettant à chaque variable d'être associée à un ensemble de probabilités plutôt qu'une probabilité unique. Ces approches devraient permettre, à terme, d'extraire de l'information pertinente au milieu d'une collection souvent imprécises et contradictoires.

Références

- [1] Cozman, F. G. Credal networks. *Artificial Intelligence Journal*, vol. 120, pp. 199-233, 2000.
- [2] Leclercq-Perlat, M. N. *et al.* Controlled production of camembert-type cheeses. part i : Microbiological and physicochemical evolutions. *J. Dairy Res.* 71 (3), 346-354, 2004.
- [3] Murphy, K.P. *Dynamic Bayesian Networks : Representation, Inference and learning*. Ph.D. thesis, University of California, Berkeley, 2002.
- [4] Pinaud, B. *et al.* Validation et enrichissement interactifs d'un apprentissage automatique des paramètres d'un réseau bayésien dynamique appliqué aux procédés alimentaires. *JFRB'08*, Lyon (France), 2008.
- [5] Sicard M., Normand M., Kerjean J.R., Leclercq-Perlat M.-N., Perrot N. Knowledge management applied to cheese ripening. *Food Factory*, Laval juin 2008.