

DOCaMEx, un outil web pédagogique qui propose une structuration de la connaissance inédite à base de cartes conceptuelles et d'arborescences de raisonnement technologique

C. Baudrit¹, P. Buche², J. Couteaux¹, J. Cufi², C. Fernandez¹, A Oudot²

¹ INRAE, Univ. Bordeaux-I2M, 33400, Talence, France

² INRAE, Univ. Montpellier-IATE, 34060, Montpellier, France

Cedric.baudrit@inrae.fr, patrice.buche@inrae.fr, julien.couteaux@u-bordeaux.fr,
julien.cufi@inrae.fr, christophe.fernandez@inrae.fr, Alrick.oudot@inrae.fr

Résumé

Une plateforme web DOCaMEx a été développée pour structurer la filière fromagère qui doit faire face à une perte des savoirs et des savoir-faire. Cette plateforme offre un support d'aide au raisonnement technologique et à la transmission des savoirs et savoir-faire fromagers. Elle est composée (1) d'un moteur de raisonnement (CAPEX), qui s'appuie sur des arborescences, capable de proposer des leviers d'action à mettre en œuvre pour corriger ou maintenir une qualité et (2) un livre électronique de connaissances (LdC), qui s'appuie sur des cartes conceptuelles, capable de donner accès à l'ensemble des connaissances capitalisées dans les filières.

Mots-clés

Ingénierie de la connaissance, cartes conceptuelles, arbres de décision.

Abstract

The cheese Industry is currently confronted with a loss of knowledge and know-how, the web platform DOCaMEx has been developed to help limit this loss. The platform offers support with technological reasoning along with the transmission of cheese-making knowledge and know-how. It is composed of (1) a reasoning engine (CAPEX), based on tree structures that is capable of proposing action levers whose implementation can correct or maintain quality and (2) an electronic knowledge book (LdC), based on conceptual maps, capable of giving the user access to the entirety of the knowledge gathered from all sectors of the industry.

Keywords

Knowledge engineering, conceptual maps, decision tree

1 Introduction

Le secteur de l'agro-alimentaire peine à recruter (ex: >3000 postes en CDI sont à pourvoir dans la filière laitière chaque année), ce qui engendre une perte des savoirs et des savoir-faire, et un turnover important de personnel. Fragilisée par ce contexte, la filière doit également faire face à des normes de plus en plus contraignantes, tout en peinant à s'appuyer sur une quantité croissante de connaissances génériques, et de données massives, dues aux avancées scientifiques et

technologiques. La capitalisation des savoirs technologiques, scientifiques, et des savoir-faire empiriques, est un enjeu important pour la pérennité et le développement des filières agroalimentaires. La filière fromagère n'échappe pas à ce constat et doit se doter d'outils numériques permettant de structurer leurs domaines de connaissances puis de développer et d'exploiter les bases de connaissances. Les procédés traditionnels de fabrication fromagère bénéficiant d'une Indication Géographique (AOP/IGP) reposent sur une multitude de savoirs, de savoir-faire et d'expériences (connaissances), forgés au cours du temps. Au niveau de la transformation, les fromagers-affineurs, par leurs pratiques et leur savoir-faire, adaptent leurs pratiques aux variations des caractéristiques des laits et des fromages. Ce positionnement engendre une richesse de savoir-faire des acteurs issue de leur propre expérience dont la transmission est essentiellement assurée par la voie de l'apprentissage sur site (faire pour savoir). Des évolutions internes aux appellations, en particulier en termes de renouvellement et de formation des opérateurs, fragilisent fortement la préservation et la transmission de ces savoir-faire. Les manières de transmettre les connaissances varient d'un individu à l'autre, également en fonction de la période et de l'activité. Organiser la transmission des savoirs et savoir-faire dans l'entreprise, c'est permettre aux collaborateurs d'acquérir une méthodologie afin de rendre plus efficace et pérenne le transfert des expertises au sein des équipes. Dans un contexte de transition numérique DOCaMEx¹ (résultat d'un collectif de 20 partenaires techniques et scientifiques) propose un outil web innovant permettant de recueillir, structurer et remobiliser des savoirs et savoir-faire fromagers d'une filière ou d'une entreprise. Il est composé de 2 outils interconnectés :

- un moteur de raisonnement CAPEX qui vise à apporter une aide à la recommandation d'actions technologiques permettant de corriger un défaut ou de maintenir une qualité d'un produit alimentaire dans un procédé de fabrication.
- un livre électronique de connaissances (LdC [2]) qui vise à transférer la connaissance et expliciter les

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=IBT3T-rsJBO>

recommandations proposées par CAPEX

Son but est (1) d'éviter la perte des savoirs et savoir-faire lors des départs à la retraite, (2) de favoriser le partage des expertises, (3) d'optimiser et fiabiliser le passage de relais entre deux ou plusieurs personnes, (4) de formaliser les bonnes pratiques et capitaliser sur le transfert pour pérenniser la démarche et (5) de préserver le patrimoine connaissances et compétences des filières. DOCaMEx a l'avantage d'être utilisable par tout type d'utilisateurs dans tout type d'environnement et avec différents niveaux d'accessibilité. Il propose une interface ergonomique intégrée et administrable dans l'entreprise qui permet de minimiser des erreurs de saisies, de construire et mettre à jour automatiquement le livre de connaissances et d'enrichir CAPEX avec les retours d'expériences.

2 Capitalisation et structuration de la connaissance

Les informations collectées, intégrant des mécanismes explicatifs, ont été structurées sous la forme d'un espace contenant des arborescences de raisonnement. Tous les autres types et sources d'information ont été structurés dans le livre électronique de connaissances (LdC) dont le squelette s'appuie sur le formalisme des cartes conceptuelles (Cmaps) [1,4].

2.1 Arborescences de raisonnement

Les raisonnements techniques (issus d'un recueil auprès des détenteurs du savoir et des savoir-faire) sont structurés sous la forme d'arborescences. La méthode consiste à interroger l'expertise des professionnels ou techniciens sur les éléments de raisonnement pouvant expliquer l'apparition de défauts ou l'élaboration de certains critères de qualité des produits. La structuration des données sous la forme d'arborescences de raisonnement intègre ensuite les mécanismes explicatifs tout en représentant des relations de cause à effet potentielles entre

l'arborescence. Un guide méthodologique a été mis en place permettant de structurer les situations à l'origine du défaut ou de la qualité en regroupant les situations proches à l'aide d'opérateurs logiques.

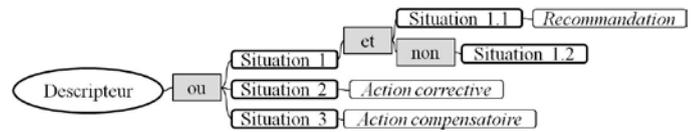


Figure 1: Arborescence explicative

Les situations à l'origine d'un défaut ou d'une qualité sont liées par des relations telles que « ou », « et », « sauf si », « non », *etc.* qui peuvent être couplées pour modéliser les interactions complexes entre des situations ou de la présence d'un contexte particulier dont il faut tenir compte. Pour chaque situation, des actions correctives, compensatoires ou des recommandations sont proposées. Par exemple, la figure 1 exprime le fait que le descripteur (défaut ou qualité du produit) peut s'expliquer par la situation 1, 2 ou 3 sur lesquelles il existe une action corrective (*resp.* une action compensatoire) pour corriger (*resp.* compenser) la situation 2 (*resp.* 3).

2.2 Cartes conceptuelles (Cmaps)

Les cartes conceptuelles constituent le squelette du LdC et s'appuient sur des graphes sémantiques composés d'un concept principal relié par des relations ontologiques aux concepts capables de décrire le concept principal. Il a été montré qu'une carte conceptuelle structurée hiérarchiquement facilitait la compréhension du lecteur en minorant sa désorientation et sa charge cognitive [1]. La relation ontologique de type taxonomique « est-un » permet de positionner le concept principal dans un groupe bien défini. La relation de synonymie permet de fournir des synonymes (professionnels) du concept principal. La relation ontologique de type méréologique « a-pour-partie » permet de lier une entité à ses parties. Cette relation peut être spécifiée selon les

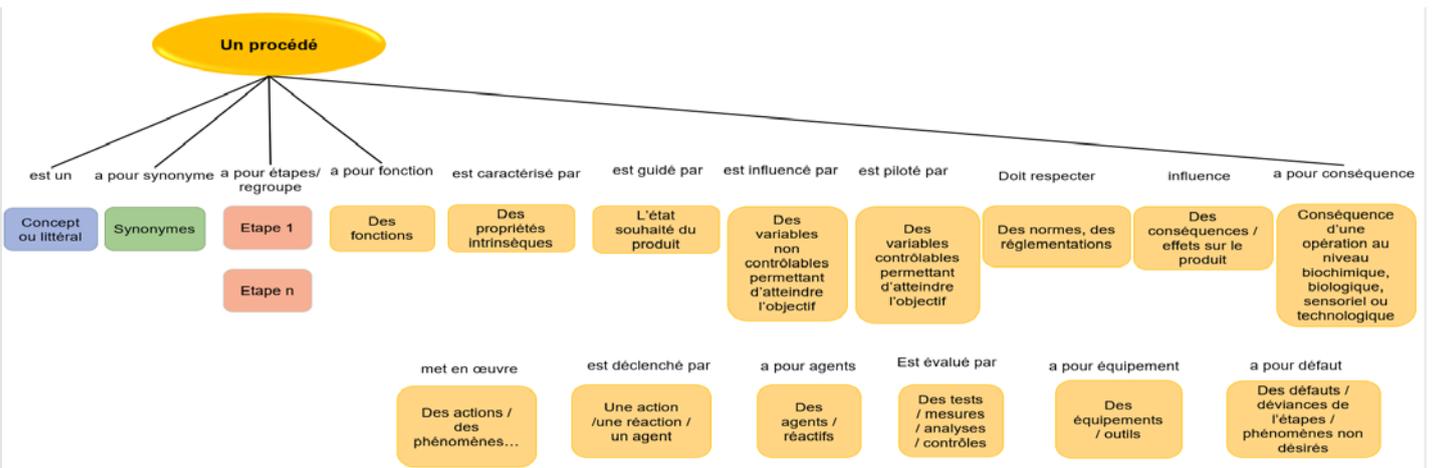


Figure 2: Cmap canonique capable de décrire tout type de procédé

les défauts/qualités, appelés descripteurs par la suite, et les leviers d'intervention correctifs (correction de défauts) ou recommandés (maintien d'une qualité) [2]. La définition du descripteur permet d'établir le champ couvert par l'arborescence mise en place. Il s'agit de décrire le plus finement possible le défaut ou la qualité sur laquelle va porter

thèmes abordés ; par exemple la relation « a-pour-composant » (*resp.* a-pour-étape) permet de relier un objet (*resp.* un procédé) à ses composants (*resp.* ses étapes). Les relations du domaine servent à faire émerger des connaissances du domaine ; elles permettent d'indiquer avec quelles méthodes et outils un concept est mesuré, observé, caractérisé, contrôlé,

etc. Différentes cartes canoniques ont été développées permettant de décrire tout type de procédé, de produit ou encore de phénomène. Par exemple, la Figure 2 représente la cmap canonique d'un procédé, i.e le modèle qui est capable de décrire tout type de procédé.

3 Portail web DOCAMEX

Le portail web DOCaMEx est un dispositif numérique qui permet de recueillir, structurer et remobiliser des savoirs et savoir-faire fromagers d'une filière ou d'une entreprise. Il donne accès à un livre électronique de connaissances (LdC) et au moteur de raisonnement (CAPEX) structurés et organisés comme des documents hypermédia et fortement interconnectés. Les interconnexions ont été développées entre ces deux éléments pour explorer les connaissances de manière interactive ou pour faciliter la compréhension en aidant l'utilisateur à trouver le sens des informations qui lui sont proposées en respectant une iconologie commune et une homogénéisation des termes employés. La base de connaissance pour instancier le portail DOCAMEX s'est construite à partir d'un collectif d'expert (à ce jour 15 experts en technologie fromagère issus des ENIL², Actalia³, INRAE) et alimenté par un retour constant des filières utilisant l'outil.

3.1 Livre électronique de connaissances (LdC)

Les livres électroniques de connaissances (LdCs) sont des réseaux hypertextes dotés d'une sémantique ouverts sur l'internet qui permettent de structurer la connaissance d'un domaine à l'aide de cartes conceptuelles (voir section 2.2), de graphes de processus, de graphes d'influence, de documents téléchargeables, de pages Web et de fiches de connaissances hypermédiées. Le LdC s'appuie sur un vocabulaire du domaine standardisé qui est disponible dans un glossaire. Les fiches de connaissance sont composées d'un ensemble prédéfini de champs descriptifs cliquables : titre, illustration, explications, date de création, auteurs, mots clés, voir aussi et références bibliographiques. L'illustration peut être une vidéo, un son, une photo, un dessin, un graphique, un tableau, une équation, etc., un lien vers un document consultable en ligne. Les graphes de processus permettant de représenter un processus multi-étapes. Les étapes sont des opérations unitaires ordonnées, caractérisées par des variables d'état, ayant chacune des données en entrée et un résultat en sortie, les variables d'état. Les graphes d'influence dans les LdCs proposent une représentation verticale des influences entre les concepts avec en amont les concepts causaux qui influencent un concept principal central qui influence en conséquence des concepts en aval. Les cartes conceptuelles, les graphes de processus, les graphes d'influence et les fiches de connaissances sont interconnectées par des liens hypertextes. La représentation granulaire progressive des cartes conceptuelles permet de situer à un niveau de détail relatif au concept principal et les liens qu'elles contiennent pointent vers des connaissances à un niveau de détail supérieur (plus détaillé). Cette structuration de la connaissance permet au LdC d'être évolutif et minimise la désorientation de l'utilisateur.

² <https://www.enil.fr/>

³ <https://www.actalia.eu/>

L'outil est utilisable par tout type d'utilisateurs dans tout type d'environnement et avec différents niveaux d'accessibilité et peut être intégré et administrable dans l'entreprise. Un logiciel Cheeser_MBK© [3], permettant de gérer le paramétrage de la création et de l'exploitation d'un livre de connaissances, a été développé pour s'adapter au contexte des filières fromagères et des écoles de laiterie.

3.2 CAPEX

Le cœur du moteur de raisonnement CAPEX est basé sur des raisonnements techniques recueillis après des experts sous la forme d'arborescences de raisonnement (voir section 2.1). L'arborescence associée à un descripteur pourra être reliée à différentes ressources du LdC par 3 types de liens donnant accès à des fiches de connaissance, des cartes conceptuelles ou des ressources bibliographiques (voir section 3). L'utilisation en réseau de CAPEX a nécessité la construction d'une base de données spécifique (Triple Store), d'un hébergement sur un serveur web (JavaEE, Kotlin, GraphQL server), la création d'une interface web (SPA, TypeScript, Angular, GraphQL client), et d'un serveur d'authentification (CAS). GraphQL a été choisi afin d'uniformiser le dialogue entre l'interface et le moteur de raisonnement. La base de donnée orientée graphe choisie étant un triplestore celle-ci est interrogée au travers du langage standardisé SPARQL qui, en s'appuyant sur l'ontologie générique⁴, permet d'exploiter le graphe RDF représentant les connaissances. A partir d'un défaut ou d'une qualité d'un produit, l'outil final de raisonnement technologique se présente sous la forme d'arborescences avec des liens de type « s'explique par » et en fin d'arborescence, par des propositions d'actions correctives ou compensatoires. L'objectif étant d'accompagner l'utilisateur dans sa réflexion (aide à la décision). L'expertise du technicien ou du formateur réside dans sa capacité à adapter la réponse proposée au contexte professionnel concerné.

4 Utilisabilité et scénario d'utilisation dans la filière des fromages IGP-AOP

L'évaluation de l'outil dans sa capacité à transférer des connaissances de façon efficace comprend trois composantes évaluées (1) le degré de compréhension, qu'on peut expliquer comme la capacité d'un individu à acquérir, assimiler, transformer et exploiter de nouvelles connaissances ; (2) la désorientation qui mesure la tendance à perdre le sens de l'emplacement et de la direction dans un hypertexte et (3) la charge cognitive qui mesure l'effort utilisé dans un processus d'apprentissage. L'agrégation de ces trois composantes va fournir la note globale de la capacité de transfert de l'outil. Le degré de compréhension de l'outil a été mesuré par l'intermédiaire de deux tests réalisés avant (pré-test) et après (post-test) la navigation dans l'outil DOCaMEx [7]. Enfin, trois sessions de tests finaux d'évaluation du transfert de connaissance et de l'accompagnement au raisonnement technologique impliquant des utilisateurs de filières extérieures au projet (15 participants) ont été organisées. Les résultats montrent qu'au cours de la navigation dans la plateforme web DOCaMEx, les participants arrivent à accéder

⁴ CAPEX ontology <https://doi.org/10.15454/9Z4PS3>

aux différents contenus sans avoir une charge cognitive importante, avec une désorientation négligeable, et beaucoup de facilité pour aller chercher des contenus techniques précis. La charge cognitive et la désorientation ont été mesurées par la méthode d'auto-évaluation de l'effort mental investi au cours de l'utilisation du livre de connaissances sur une échelle de Likert à sept-points (très faible jusqu'à très fort) [5]. Il a aussi été constaté une nette amélioration des performances du raisonnement technologique lors de l'utilisation du moteur de raisonnement CAPEX (58% de bonnes réponses supplémentaires avec l'outil). Ce bilan confirme que les performances attendues par ce nouveau dispositif d'exploration des connaissances fromagères sont satisfaites.

4.1 Scénario d'aide aux raisonnements technologiques

Une entreprise de fromagerie doit faire face à un problème qui se caractérise par la présence d'un duvet noirâtre en surface de ses fromages communément appelé « poil de chat ». Cet accident en fromagerie est un développement en surface du fromage d'une moisissure du genre *Mucor*. La fromagerie souhaiterait corriger mais surtout comprendre l'origine du problème. Dans un premier temps l'utilisation de l'outil CAPEX va aider à identifier la source du problème et proposer des recommandations ou des actions correctives pour corriger ce défaut. L'entreprise choisira la recommandation la plus adaptée en fonction de ses contraintes. Par exemple, CAPEX identifie que ce défaut est souvent lié à des modifications de pratiques ou d'ambiance, remettant en cause l'équilibre « flore technologique – flore indésirable ». Il suffira par exemple pour l'entreprise de vérifier si le nouvel employé respecte toutes les phases de nettoyage.

4.2 Scénario de transfert et apprentissage

L'entreprise, faute de temps ou par manque d'employés expérimentés, pourra alors s'appuyer sur le contenu et l'ergonomie du livre électronique de connaissances pour rappeler les bonnes pratiques et former le nouvel arrivant en lui donnant accès par exemple à une fiche de connaissance détaillant la « gestion de l'hygiène des planches d'affinage ». L'interconnexion des deux outils Capex – LdC permet d'obtenir des recommandations, des explications et des connaissances de manière intuitive. Par exemple, pour un défaut d'aspect de type « poils de chat », Capex propose qu'une des causes possibles soit le mauvais nettoyage de planche, à ce moment-là l'utilisateur peut cliquer sur nettoyage des planches d'affinage et cela ouvre une fiche de protocole de nettoyage, une vidéo de bonne pratique et même vers Capex pour d'autres défauts liés à l'affinage. L'outil illustre les défauts par des photos permettant à l'opérateur de mieux identifier le type de défaut en cas de doute ou d'incapacité à le reconnaître.

5 Conclusion

L'outil développé constitue un formidable système informatique de capitalisation et de transmission des compétences professionnelles. Ce dispositif numérique innovant est configuré sur une plateforme hébergeant un socle commun mis à jour régulièrement consultable par tous ou de

manière privative en naviguant dans des partitions confidentielles propres à chaque filière. Les outils développés s'adressent à des techniciens experts ou débutants (service technique d'une filière ou d'une entreprise), des fromagers, des animateurs de filière ou des responsables d'usine, ainsi qu'à des formateurs et apprenants (formation initiale et continue). Cette plateforme fonctionnelle et structurée incrémentée de données dites « génériques » rendues publiques permet d'envisager le déploiement de l'outil vers d'autres filières ou entreprises laitières. Le moteur de raisonnement CAPEX permet aux utilisateurs de naviguer dans des arbres de raisonnement technologique. Une nouvelle version de CAPEX est actuellement en cours d'élaboration. Elle permettra d'une de prendre en considération les retours des utilisateurs sur la mise en œuvre des actions recommandées en terme d'efficacité technologique) et d'autre part de trier les actions correctives proposées selon plusieurs critères (coût, risque sanitaire, efficacité technologique, ...).

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le financement du projet CASDAR DoCaMEx (AAP IP 2016 n° 5624 de CAS DAR 2016 coordonné par le CTFC) et par la Direction Interministérielle du Numérique (DINUM) du Ministère de la Transformation et de la Fonction Publiques dans le cadre du Plan France Relance.

6 Références

- [1] Amadiou, F., Van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, 19(5), 376-386.
- [2] Buche, P., Cuq, B., Fortin, J., & Sipieter, C. (2019). Expertise-based decision support for managing food quality in agri-food companies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104843.
- [3] Fernandez Christophe, Ndiaye Amadou, Baudrit C. (2021) Cheeser_MBK: an Electronic Knowledge Books Designer for French Cheese Sector (3.9.0) [PHP7, Mariadb, HTML5]. DDN.FR.001.080046.000.S.P.2021.000.20900
- [4] Krieglstein, F., Schneider, S., Beege, M., & Rey, G. D. (2022). How the design and complexity of concept maps influence cognitive learning processes. *Educational technology research and development*, 1-20.
- [5] Pass, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory : *Educational Psychologist*, 38(1), pp.63-71.
- [6] Suci, I., Ndiaye, A., Baudrit, C., Fernandez, C., Kondjoyan, A., Mirade, P. S., ... & Della Valle, G. (2021). A digital learning tool based on models and simulators for food engineering (MESTRAL). *Journal of Food Engineering*, 293, 110375.
- [7] Vakiliard, A., & Armand, F. (2011). Les effets de la carte conceptuelle hiérarchique sur la compréhension littérale et inférentielle de textes informatifs en langue seconde. *Canadian modern language review*, 67(2), 217-245.