

Mise en relation de données relatives aux procédés de fabrication, éco-conception, composition et qualité des produits laitiers à l'aide d'une base de données guidée par une ontologie

Thomas Allard¹, Elisabeth Guichard¹, Bruno Perret²,
Hervé Guillemain³, Caroline Pénicaud⁴

Résumé. L'objectif de cette étude est de permettre la mise en relation de données hétérogènes, issues de projets divers grâce à leur implémentation dans une base de données appelée BaGaTel, structurée selon une ontologie. L'exemple choisi pour cette mise en relation de données est le fromage, dont les différents paramètres et spécificités ont été renseignés dans l'ontologie.

Mots clés : ontologie, fromage, base de données, analyse multicritères, interrogation, partage des connaissances

Introduction

La plupart des pays développés sont confrontés à une augmentation de pathologies telles que l'obésité, les maladies cardiovasculaires, le diabète. Ces pathologies sont souvent en relation avec de mauvaises habitudes alimentaires, et plus particulièrement la consommation excessive de sel (sodium), matière grasse (en particulier matière grasse saturée) et sucres. Les organismes de santé publique émettent des recommandations spécifiques pour limiter cette consommation excessive (European Commission, 2006 ; World Organisation, 2015). Néanmoins une réduction du contenu en sel, matière grasse et sucre dans les aliments a des conséquences non négligeables sur leurs propriétés fonctionnelles et organoleptiques, comme la durée de vie, la structure, les qualités nutritionnelles et sensorielles. La formulation de nouveaux produits alimentaires ou la reformulation de produits existants répondant aux recommandations nutritionnelles est de ce fait au centre des préoccupations des industriels de l'agro-alimentaire. En même temps, les produits alimentaires contribuent à 20-30 % de l'impact environnemental en Europe (Tukker et al., 2006). Pour faire face aux enjeux environnementaux actuels (changement climatique, pollutions, raréfaction des ressources, perte de biodiversité...), il est indispensable de réduire l'impact environnemental résultant de l'alimentation.

Il existe néanmoins très peu d'études mettant en relation les propriétés nutritionnelles d'un produit, ses caractéristiques sensorielles ainsi que son impact sur l'environnement. Dans ce but, une base de données nommée BaGaTel (déposée IDN.FR.001.500004.000.R.P.2016.00010300, 2016) a été réalisée afin de permettre d'intégrer des données obtenues dans différents projets dans le domaine de la formulation de produits alimentaires, en prenant en compte leur composition à différentes étapes du procédé, leurs propriétés nutritionnelles et sensorielles mais aussi leur impact sur l'environnement. Le choix du type de produit alimentaire étudié s'est porté, dans un premier temps, sur les produits laitiers car ils présentent une variété dans leur composition, dans leur structure ainsi que dans leur microstructure, permettant ainsi de les modifier et également d'optimiser la

¹ UMR CSGA, AgroSupDijon, CNRS, Inra, Université Bourgogne Franche-Comté, 2100 Dijon, France

Email auteur de correspondance : elisabeth.guichard@inra.fr

² Plateforme logicielle PLASTIC, UMR GMPA, AgroParisTech, Inra, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

³ Plateforme logicielle PLASTIC, URTAL, Inra, 39800 Poligny, France

⁴ UMR GMPA, AgroParisTech, Inra, Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval-Grignon, France

biodisponibilité des nutriments et la libération des stimuli sensoriels. De plus, les produits laitiers, sont sources de forts impacts environnementaux (Weidema et al., 2008).

L'intégration des données issues de la recherche en science des aliments dans la base BaGaTel permet actuellement aux chercheurs de les pérenniser, et de les comparer aux autres données de la base. Dans le cadre du plan national pour la science ouverte, il sera nécessaire d'ouvrir les données non confidentielles (issues de programmes de recherche financés par appels à projets sur fonds publics) de cette base via l'entrepôt de données INRA (<https://data.inra.fr/>), et d'utiliser les mécanismes d'attribution automatique de DOI (Digital Object Identifier) offerts par le portail de données Inra. Notre objectif est d'atteindre progressivement les différents niveaux du principe FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

Matériel et méthodes

Structuration de la base BaGaTel selon une ontologie

La base de données BaGaTel est structurée selon une ontologie, permettant la création d'un modèle relationnel pour la mise en relation des données. Cette ontologie, appelée PO², a été élaborée avec l'aide d'experts issus de domaines de recherche variés, allant de la production à la consommation des produits laitiers. Elle est composée de trois parties principales (Ibanescu et al., 2016). La première partie concerne le procédé de fabrication qui contient les concepts : procédé, itinéraire et étape. Une étape correspond à une modification ou transformation subie par le produit (opération unitaire). Il peut s'agir d'un chauffage du produit au cours de sa fabrication par exemple ou encore d'une transformation telle que la mastication du produit par un consommateur. L'itinéraire est le chemin suivi par les différentes étapes (itinéraire chronologique) et le procédé correspond à un ensemble d'étapes suivant un itinéraire précis.

La deuxième partie concerne le participant, c'est-à-dire le produit étudié et englobe les concepts composition, matériel, méthode et produit. Le terme produit correspond à l'aliment qui va être étudié. Le terme composition se réfère à la composition physico-chimique du produit, le matériel définit les divers matériaux et instruments utilisés, et la méthode correspond aux différentes procédures qui sont appliquées au produit.

La troisième partie porte sur les observations et contient les concepts observation, échelle, et attribut. Une observation correspond à ce qui est obtenu lors de la mesure d'un paramètre sur le produit (par exemple, une température) et le terme échelle se réfère au niveau ou à la dimension à laquelle cette observation est faite (moléculaire, microscopique, macroscopique...).



Figure 1. Principales parties constituant l'ontologie PO².

Des groupes de discussion ont été mis en place avec les experts pour définir un vocabulaire commun et structuré couvrant les différents domaines d'expertise concernés, afin de créer un modèle uniforme. L'ontologie est consultable en open access (http://agroportal.lirmm.fr/ontologies/PO2_DG?p=summary), ainsi que les différents termes la composant et leurs définitions. Le fait de permettre un accès libre à la visualisation de cette ontologie est réalisé dans un objectif de partage des connaissances entre différents domaines de recherche scientifique.

L'ontologie a été constituée à partir du lexique AGROVOC (<http://agrovoc.uniroma2.it/agrovoc/agrovoc/en/index?clang=fr>). Cette ontologie est incrémentée au fur et à mesure de l'importation de nouveaux termes dans la base BaGaTel.

Un exemple de structuration de la branche « produit » de PO² est présenté **Figure 2**.

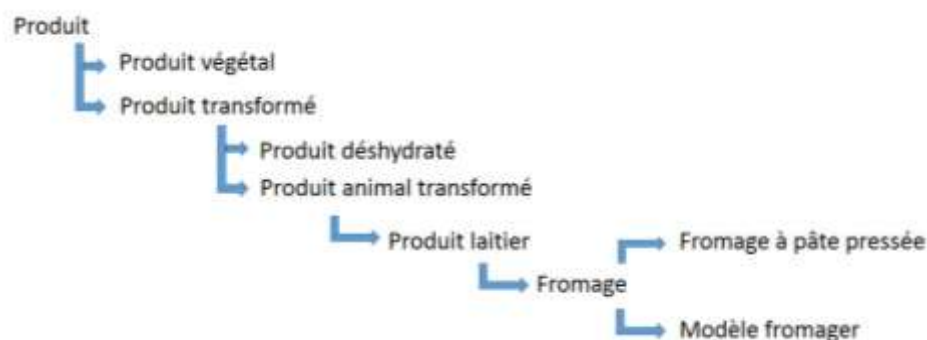


Figure 2. Exemple de la structuration d'une branche de l'ontologie.

Capitalisation de données concernant les fromages dans BaGaTel

Des données issues de différents projets ont servi à implémenter la base BaGaTel. Les différents projets sont renseignés sur le portail NutriSensAI (<http://plasticnet.grignon.inra.fr/PortailNutriSensAI/>), avec leurs résumés, les liens vers les publications ainsi que la possibilité de visualiser les différents procédés, itinéraires, caractéristiques, matériels et méthodes de ces projets. Les données contenues dans la base concernant les fromages sont issues de 13 publications différentes (Boisard et al., 2013, 2014; Feron et al., 2014; Guichard et al., 2017; Phan et al. 2008 ; Tarrega et al., 2008, 2011 ; Mosca et al., 2015 ; Bigaski et al., 2016, Gierczynski et al., 2007 ; Lawrence et al., 2011, 2012 ; Parra Baptista et al., 2017) et de trois projets collaboratifs (TrueFood, 2006-2010 ; PraSel, 2005-2009 ; SmartRipe, 2013-2015). Ces données couvrent des domaines variés (**Tableau 1**).

Tableau 1. Caractéristiques des données sur les fromages capitalisées dans la base BaGaTel

Type de donnée	Nombre de publications concernées
Procédé de fabrication (à différentes étapes)	13
Composition du fromage	13
Propriétés rhéologiques	10
Propriétés sensorielles	10
Activité masticatoire	4
Libération du sodium	3
Libération d'arômes	4

Une fois les données saisies dans la base BaGaTel, il est possible de les interroger via une application spécifique LiPID (déposée IDDN.FR.001.500003.000.R.P.2016.00010200, 2016), qui a été développée en C#, pour les environnements Windows/.NET. C'est une application 'desktop', qui doit être installée sur les ordinateurs. Elle exécute des requêtes SQL standards qui exploitent le modèle relationnel de BaGaTel et les données qu'elle contient. On peut distinguer deux types de requêtes :

- descriptives : permettent de donner une idée du contenu de la base, nombre de projets, type des projets (publication, ANR, Europe...), résumé d'un projet, responsable scientifique...C'est ce genre de requête qui est effectué sur le portail NutriSensAI ;
- explicatives : permettent de répondre à des questions de recherche sur la base d'exemples de questions qui ont été fournies par les chercheurs. Ce type de requête est mis en œuvre par l'application LiPID.

Caractérisation des données vis-à-vis du principe FAIR

La mise à disposition de jeux de données (ou datasets) extraits de la base BaGaTel est prévue via l'entrepôt de données de l'Inra (<https://data.inra.fr/>). Plusieurs jeux de données, (par exemple un jeu de données sur les propriétés sensorielles, un autre sur les propriétés rhéologiques...) seront disponibles dans cet entrepôt. Cette démarche suppose pour chaque jeu de données, de générer l'ensemble des métadonnées selon un schéma standard, puis d'organiser les données en fichiers ayant un format ouvert, et finalement, via les API (Application Program Interface) du portail de données Inra, d'obtenir un DOI qui permettra leur identification pérenne.

-En ce qui concerne les métadonnées, on s'appuie sur le schéma de DataCite (<https://www.datacite.org/>) proposé pour un dataset simple. On y ajoute des métadonnées spécifiques au domaine de la science des procédés de transformation des aliments : type de procédé, nom et type de projet, étape du procédé, échelle de mesure, nombre d'échantillons par projet, résumé français et anglais, lien vers le DOI des articles scientifiques dans lesquels ont été publiées les données. La plupart de ces métadonnées sont déjà consultables en accès libre dans le portail NutriSensAI.

-En ce qui concerne les données du dataset, elles sont sous la forme de valeurs numériques associées à un échantillon précis. Chaque valeur numérique est associée à d'autres données préalablement définies dans l'ontologie PO², ce qui permet de contextualiser les données (données de composition (90), caractéristiques (566), unité (154), incertitude...). Ces informations apportent aussi des informations sur les conditions d'obtention des données expérimentales (matériel (160) et méthode (263)) associés aux données. Ces données seront organisées en fichier de format standard et ouvert, typiquement des fichiers CSV (Comma Separated Values) pour être 'uploadées' dans l'entrepôt de données Inra.

L'accès à ces données sera protégé par une licence de type Creative Commons qui est bien adaptée aux jeux de données.

Glossaire du domaine

Par ailleurs, la liste de tous les termes utilisés dans BaGaTel est référencée dans un glossaire accessible en téléchargement libre sur le portail NutriSensAI en format non propriétaire (ODS).

Du fait de la généralité des métadonnées utilisées nous avons pour objectif de rendre ces données interopérables avec d'autres bases de données sur les aliments, comme par exemple la base CIQUAL (composition des aliments). De plus les termes utilisés dans le glossaire sont renseignés dans l'ontologie PO² qui est reliée avec d'autres ontologies sur les aliments, en particulier elle comprend plus de 6300 termes communs avec AgroVoc (<http://agroportal.lirmm.fr/ontologies/AGROVOC>).

Exemples d'applications

Relation entre données sensorielles et données de rhéologie (exemple des fromages)

Un des problèmes rencontré lors de la mise en relation des données de la base entre elles est que les données issues de projets différents peuvent ne pas être directement comparables pour différentes raisons : les mesures physico-chimiques ont été réalisées sur des appareils différents, avec des calibrations différentes, les analyses sensorielles ont été réalisées avec des jurys différents et un ensemble de produits couvrant des univers sensoriels différents. De ce fait, l'ontologie peut aider à mieux cibler les échantillons à comparer.

Selon les données de la littérature, il existe une bonne corrélation, pour un même type d'aliment, entre une donnée de rhéologie (module de Young) et une donnée sensorielle (note de fermeté) (Foegeding et al., 2003 ; Finney et al., 1967 ; Mohsenin et al., 1965). En prenant en compte tous les types de fromages répertoriés dans la base, la corrélation obtenue entre le module de Young et la note de fermeté est faible ($R^2=0,37$).

Ce problème d'hétérogénéité des données peut être très largement atténué en utilisant l'ontologie pour focaliser l'interrogation de la base de données sur une catégorie précise de produit, par exemple la catégorie « fromages à pâte pressée » (Figure 3). La corrélation obtenue entre les paramètres module de Young et fermeté est alors bien meilleure ($R^2=0,74$).

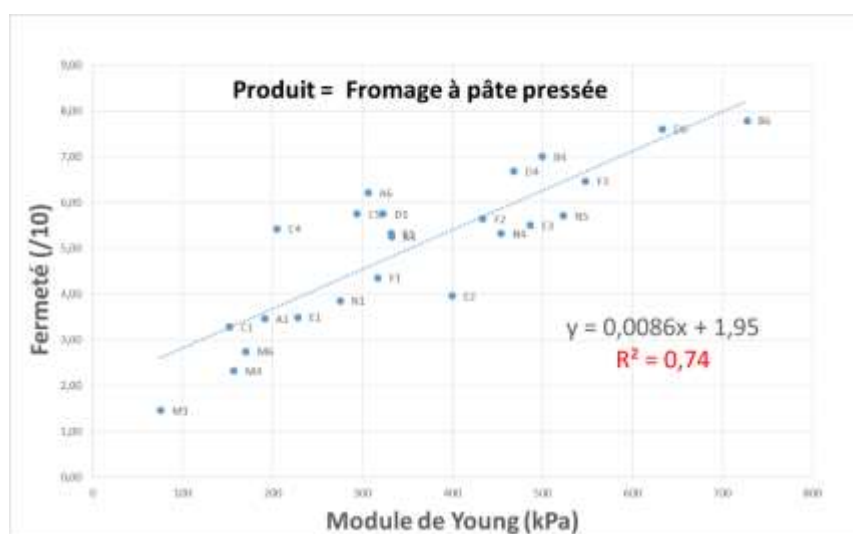


Figure 3. Corrélation entre le paramètre fermeté et le module de Young pour la catégorie de produit « Fromage à pâte pressée ». Chaque point correspond à un échantillon de la base BaGaTel.

Grâce à cette structuration de la base selon une ontologie qui permet la mise en place d'un vocabulaire commun et structuré, il est possible d'affiner l'interrogation de la base pour augmenter la corrélation entre variables et ainsi mieux cibler les échantillons qui peuvent être comparés. Des recherches bibliographiques ciblées permettent d'incrémenter la base régulièrement avec des données de la littérature. Les liens d'accès aux publications sont renseignés sur le portail NutriSensAI.

Estimation de données manquantes dans la base

Il est possible grâce à l'interrogation de la base BaGaTel d'estimer des données manquantes dans un jeu de données, en se basant sur des caractéristiques qui sont similaires ou comparables entre les échantillons.

Concernant la formulation de fromages à pâte pressée, il est par exemple possible d'utiliser la corrélation entre le module de Young et la fermeté pour les produits « fromages à pâte pressée » afin d'estimer la valeur de données manquantes. Considérons par exemple l'échantillon, nommé TF24, qui présente la note intensité goût la plus élevée, nous voulons comprendre le lien entre cette intensité goût et la structure du fromage. Dans les données associées à cet échantillon, nous disposons de sa note sensorielle de fermeté mais pas de son module de Young

alors que ce paramètre est pertinent pour la compréhension de la structure du produit. En effet, la mesure de la valeur du Module de Young traduit le caractère rigide d'un produit (valeur de Module de Young élevée) ou bien sa souplesse (valeur de Module de Young basse).

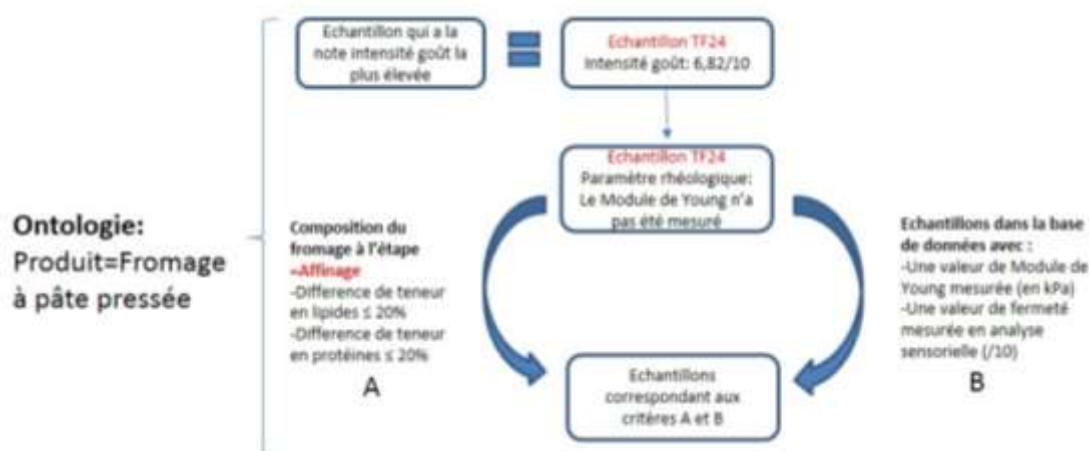


Figure 4. Démarche employée pour réaliser la requête sur la base BaGaTel afin d'estimer la valeur d'un paramètre rhéologique (module de Young) non mesuré pour un fromage à pâte pressée (échantillon TF24).

La **Figure 4** montre la démarche employée pour estimer un paramètre rhéologique (le module de Young) d'un échantillon présentant l'intensité goût la plus élevée, en utilisant la corrélation entre la note sensorielle de fermeté et le module de Young. Afin d'améliorer la corrélation, nous avons couplé deux critères dans la requête : critère A (teneurs en lipides et en protéines proches de celles de l'échantillon TF24, puisque pour cet échantillon nous avons aussi ses données de composition) et critère B (avoir à la fois une valeur de module de Young mesurée et une valeur de fermeté mesurée en analyse sensorielle). Un total de 6 échantillons différents qui font partie d'un même projet appelé « PraSel » correspondent aux deux critères, ils sont présentés dans le **Tableau 2**.

Tableau 2. Échantillons répondant aux critères A et B

Projet	Code échantillon	Écart teneur lipide (%)	Écart teneur protéines (%)	Note Ferme (/10)	Valeur Module de Young (kPa)
PraSel	C4	15,85	15,6	5,43	205,13
PraSel	D1	15,56	15,19	5,75	322,92
PraSel	C5	15,68	16,66	5,75	294,23
PraSel	C1	17,71	15,35	3,29	152,37
PraSel	D4	14,89	14,81	6,68	468,48
PraSel	D6	17,39	15,41	7,61	633,42

La corrélation entre le module de Young et la valeur de fermeté pour ces 6 échantillons est plutôt forte ($R^2=0,83$, données non montrées).

L'équation de la droite de corrélation entre la fermeté et le module de Young nous donne la relation suivante :

$$\text{Note Fermeté} = 0,0074 * \text{Module de Young} + 3,19$$

Sachant que pour l'échantillon TF24 la note de fermeté obtenue est égale à 4,64, il est possible de déterminer par le calcul la valeur de module de Young estimé pour l'échantillon TF24.

Le détail du calcul est le suivant :

$$4,64 = 0,0074 * \text{Module de Young} + 3,19$$

Module de Young = 1, 45/0, 0074 = 195, 9 kPa

La valeur de module de Young obtenue n'est qu'une estimation et devra être confirmée par des expérimentations ou données supplémentaires.

Estimation de l'impact environnemental d'un fromage

Afin de compléter ces données de qualité des fromages à pâte pressée, une estimation de l'impact environnemental généré par la production d'un fromage à pâte pressée peut être effectuée. Nous étudierons ici l'impact environnemental de la production de l'échantillon TF24 dont les caractéristiques de qualité ont été décrites précédemment. L'objectif est de calculer l'impact environnemental par Analyse de Cycle de Vie (ACV). L'utilisation de BaGaTel ne permet pas de s'affranchir de l'expertise nécessaire à la réalisation d'une ACV, mais elle peut être d'une aide précieuse pour réaliser l'inventaire des données nécessaires à l'ACV.

Afin de réaliser cette estimation, il est nécessaire d'identifier les étapes qui sont impliquées dans le procédé de fabrication de l'échantillon TF24. Grâce à une requête dans la base de données, ces étapes sont identifiées et grâce à l'itinéraire suivi par l'échantillon qui est renseigné dans la base, il est possible de déterminer l'ordre chronologique de ces étapes (**Tableau 3**).

Tableau 3. Étapes du procédé de fabrication de l'échantillon TF24

Étapes	Ordre
Réception du lait	1
Ecrémage	2
Standardisation du lait	3
Refroidissement	4
Travail en cuve (dont nettoyage de la cuve)	5
Moulage	6
Démoulage	7
Saumurage	8
Affinage	9

D'autres requêtes dans la base de données nous permettent de quantifier les quantités d'énergies et de matières (matières premières, produits de nettoyage...) nécessaires à l'inventaire de cycle de vie.

Par exemple, les résultats de la requête sur les valeurs de consommation d'électricité à chaque étape impliquant un appareil électrique au cours du procédé de fabrication sont présentés dans le **Tableau 4**. Ces requêtes spécifiques ont été écrites en langage C# dans l'environnement de développement Visual Studio, en utilisant le langage « LINQ to Entities » (Langage Integrated Query).

Tableau 4. Valeur des consommations électriques à chaque étape du procédé de fabrication

Étape	Caractéristique	Objet	Valeur	Unité
Ecrémage	Consommation électrique	Écrémeuse	0,065	kWh
Refroidissement	Consommation électrique	Tank réfrigéré	29,04	kWh
Travail en cuve	Consommation électrique	Appareil de chauffage de la cuve (premier chauffage)	6,75	kWh
Travail en cuve	Consommation électrique	Appareil de chauffage de la cuve (deuxième chauffage)	11,97	kWh

Affinage	Consommation électrique	Cave d'affinage 1	900	kWh
Affinage	Consommation électrique	Cave d'affinage 2	1350	kWh
Affinage	Consommation électrique	Cave d'affinage 3	2250	kWh

Une autre requête spécifique écrite en langage C# dans Visual Studio permet d'identifier les ingrédients utilisés au cours du procédé de fabrication (lait, produit de nettoyage de la cuve de fabrication, saumure) ainsi que les quantités utilisées de chacun de ces ingrédients.

L'ensemble des données obtenues peut ensuite être utilisé pour réaliser une ACV. Les calculs de l'ACV se font indépendamment de la base BaGaTel. Pour illustrer cela, le calcul d'impact environnemental pour la production du fromage TF24 a été réalisé grâce au logiciel SimaPro. L'ensemble des hypothèses de l'ACV ne pouvant être détaillées ici, les résultats qui suivent sont à considérer à titre indicatif et illustratif de la démarche. Les données manquantes pour la réalisation du calcul ont été complétées par des données intégrées au logiciel SimaPro (bases de données Ecoinvent et Agribalyse), principalement concernant l'étape de production du lait et son transport de la ferme à la fromagerie. La méthode de calcul d'impact environnemental qui a été utilisée est la méthode ILCD 2011 Midpoint+.

Les résultats du calcul de caractérisation des impacts générés par la production du fromage TF24 pour les indicateurs changement climatique, destruction de la couche d'ozone et acidification sont présentés sur la **Figure 5**.

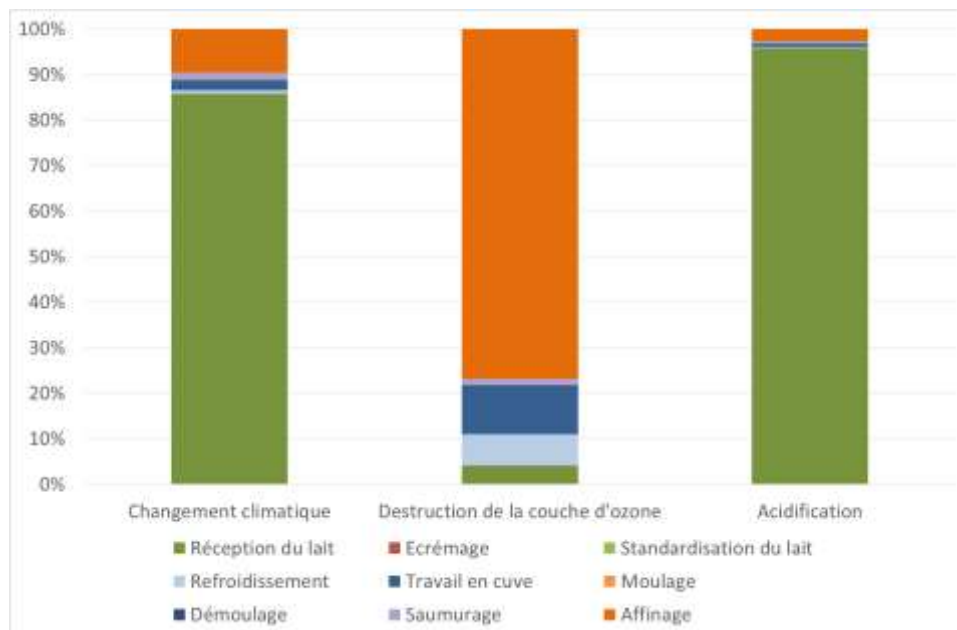


Figure 5. Résultats du calcul de caractérisation des impacts générés par la production du fromage TF24 (méthode ILCD 2011 Midpoint+) pour les indicateurs changement climatique, destruction de la couche d'ozone et acidification.

Les données saisies par étape permettent de connaître la contribution de chaque étape à l'impact total par indicateur. L'étape de réception du lait est l'étape qui contribue le plus au changement climatique et à l'acidification, du fait de la production de lait qui est ici incluse dans cette étape. L'affinage est l'étape qui contribue le plus à la destruction de la couche d'ozone, et dans une moindre mesure au changement climatique, du fait de la consommation électrique des chambres d'affinage.

Ces résultats peuvent évidemment être obtenus sous forme chiffrée et ensuite saisis dans la base BaGaTel, associés à l'échantillon TF24 et toutes les métadonnées et hypothèses qui y sont liées. Ainsi, pour cet échantillon, nous disposons maintenant de données de composition, sensorielles, rhéologiques et d'impact environnemental.

Conclusions et perspectives

La base BaGaTel est encore en cours de structuration, mais elle comporte déjà des données issues de plusieurs projets collaboratifs ainsi que de publications dans le même domaine. L'apport d'un vocabulaire commun ainsi que d'une structure établie par l'ontologie PO² permet d'intégrer et de combiner des données provenant de plusieurs projets dans la base BaGaTel. Cette base peut être interrogée afin d'estimer des données manquantes sur un échantillon spécifique. Elle peut aussi être employée afin de répondre à des questions de science en utilisant des données provenant de projets divers. Cela démontre que cette base BaGaTel est un outil adéquat pour une évaluation multicritère sur les procédés alimentaires ainsi que sur la qualité des aliments.

La mise à disposition de ces jeux de données via l'entrepôt de données de l'Inra, avec un DOI et une licence d'exploitation rendra ces données libres d'accès. De nombreuses données de recherche qui jusque-là n'étaient pas mises à disposition de la communauté scientifique pourront ainsi être consultées et interrogées grâce à la base BaGaTel. De plus, comme nous l'avons montré dans les exemples, il est possible de rajouter pour chaque projet de nouvelles données calculées à partir des données déjà importées et d'implémenter la base avec ces nouvelles données. Il est ainsi possible d'augmenter le nombre de données dans le but de trouver des relations entre composition, procédé de fabrication, qualité sensorielle et nutritionnelle et de déterminer l'impact environnemental de chacun des procédés, afin de faire des analyses multicritères, ce qui actuellement n'existe dans aucune autre base de données.

Remerciements

Financement Inra DID'IT du projet CARÉDAS et financement ANR-IC-Carnot-Qualiment du projet NutriSensAI (N° 16CARN002601).

Références bibliographiques

Bigaski Ribeiro JC, Granato D, Masson ML, Andriot I, Mosca AC, Salles C, Guichard E (2016) Effect of lactobionic acid on the acidification, rheological properties and aroma release of dairy gels. *Food Chem.* **207** : 101–106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.066>

Boisard L, Andriot I, Arnould C, Achilleos C, Salles C, Guichard E (2013) Structure and composition of model cheeses influence sodium NMR mobility, kinetics of sodium release and sodium partition coefficients. *Food Chem.* **136** : 1070–1077. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.035>

Boisard L, Andriot I, Martin C, Septier C, Boissard V, Salles C, Guichard E (2014) The salt and lipid composition of model cheeses modifies in-mouth flavour release and perception related to the free sodium ion content. *Food Chem.* **145** : 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.049>

European Commission. Regulation (EC) No 1924/2006 of the European parliament and of the council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. In <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1924/2012-11-29> (Ed.): 1924/EU. 2006.

- Feron G, Ayed C, Qannari EM, Courcoux P, Labouré H, Guichard E (2014) Understanding Aroma Release from Model Cheeses by a Statistical Multiblock Approach on Oral Processing. *PLoS One*. **9**(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone>
- Finney JR, EE, Ben-Gera I, Massie DR (1967) An objective evaluation of changes in firmness of ripening bananas using a sonic technique. *J Food Sci*. **32** : 642-646. <https://doi.org/10.1111/j.1365.2621.1967.tb00854.x>
- Foegeding EA, Brown J, Drake M, Daubert CR (2003) Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *Int Dairy J*. **13**: 585-591. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00094-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00094-3)
- Gierczynski I, Labouré H, Sémon E, Guichard E (2007) Impact of hardness of model fresh cheese on aroma release: in vivo and in vitro study. *J Agric Food Chem*. **55** : 3066-3073. <https://doi.org/10.1021/jf0633793>
- Guichard E, Repoux M, Qannari EM, Labouré H, Feron G (2017) Model cheese aroma perception is explained not only by in vivo aroma release but also by salivary composition and oral processing parameters. *Food Funct*. **8** : 615–628. <https://doi.org/10.1039/c6fo01472k>
- Ibanescu L, Dibie J, Dervaux S, Guichard E, Raad J (2016) PO2- A Process and Observation Ontology in Food Science. Application to Dairy Gels. In : *MeTadata and Semantics Research*, MTSR pp.155-165. Göttingen, Germany.
- Lawrence G, Salles C, Septier C, Palicki O, Busch J, Thomas-Danguin T (2011) Using cross-modal interactions to counterbalance salt reduction in solid foods. *Int Dairy J*. **21**, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.09.005>
- Lawrence G, Buchin S, Achilleos C, Berodier F, Septier C, Courcoux P, Salles C (2012) In Vivo Sodium Release and Saltiness Perception in Solid Lipoprotein Matrices. 1. Effect of Composition and Texture. *J Agric Food Chem*. **60** : 5287–5298. <https://doi.org/10.1021/jf204434t>
- Mohsenin NN, Cooper HE, Hammerle JR, Fletcher SW, Tukey LD (1965) "Readiness for harvest" of apples as affected by physical and mechanical properties of the fruit. Pennsylvania State University, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, 721.
- Mosca AC, Andriot I, Guichard E, Salles C (2015) Binding of Na⁺ ions to proteins: effect on taste perception. *Food Hydrocoll*. **51** : 33-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.003>
- Parra Baptista D, Diana da Silva Araùjo F, Nogueira Eberlin M, Lúcia Gigante M (2017) Reduction of 25% salt in Prato cheese does not affect proteolysis and sensory acceptance. *Int Dairy J*. **75** : 101-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.08.001>
- Phan VA, Iven C, Lawrence G, Chabanet C, Reparet JM, Salles C (2008) In vivo sodium release related to salty perception during eating model cheeses of different textures. *Int Dairy J*. **18** : 956-963. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.015>
- PraSel (2005-2009) Programme de recherche en alimentation sur le sel. Food Research program on salt.
- SmartRipe (2013-2015) Funded by EU-FP7-KBBE. Project ID: 613827. New ripening room monitoring technology. https://cordis.europa.eu/project/rcn/111141_en.html
- Tarrega A, Yven C, Sémon E, Salles C (2008) Aroma release and chewing activity during eating different model cheeses. *Int Dairy J*. **18** : 849-857. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.09.008>
- Tarrega A, Yven C, Sémon E, Salles C (2011) In-mouth aroma compound release during cheese consumption: relationship with food bolus formation. *Int Dairy J*. **21** : 358-364. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.12.010>
- TrueFood (2006-2010) Funded by EU-FP6-FOOD. Project ID: 16264. Traditional United Europe Food. https://cordis.europa.eu/result/rcn/46734_en.html

Tukker A, Huppes G, Guinée J, Heijungs R, de Koning A, van Oers L, Nielsen P (2006) Environmental Impact of Products (EIPRO). Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25. European Commission, Joint Research Center.

Weidema BP, Wesnaes M, Hermansen J, Kristensen T, Halberg N, Communities E (2008) Environmental Improvement Potentials of Meat and Dairy Products (IMPRO). European Commission, Joint Research Center.

World Health Organisation (2015) Sugars intake for adults and children guideline. Report of a WHO forum and technical meeting. In W. d. p. service (Ed.). Geneva, Switzerland.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA).



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Le Cahier des Techniques de l'INRA », la date de sa publication et son URL).