
Prendre en compte les communautés microbiennes pour définir les services associés aux productions alimentaires : quelles opportunités ?

Antoine Levasseur¹, Nathalie Desmasures¹, Marion Dalmasso¹, Benoit Foligne², Jérôme Ledauphin¹, Sabine Marie¹, Eloïse Modric³, Céline Pacary³, Louka Van Dyk¹, Hugo Weber², and Marina Cretenet^{*†1}

¹Aliments Bioprocédés Toxicologie Environnements (ABTE) – Université de Caen Normandie – IUT Grand Ouest Normandie Campus 2 Boulevard Maréchal Juin CS1403214032 CAEN Cedex, France

²Institute for Translational Research in Inflammation - U 1286 (INFINITE) – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Université de Lille, Centre Hospitalier Régional Universitaire [CHU Lille] – Infinite (Ex-Liric) - Faculté de Médecine - Pôle Recherche, 4ème étage - 1 place de Verdun - 59045 LILLE CEDEX, France

³Association de Gestion des ODG laitiers normands (Fromages AOP de Normandie) – Aucune – 14000 CAEN, France

Résumé

Depuis la première révolution industrielle et la révolution verte, les rendements agricoles n'ont cessé d'augmenter grâce à l'intensification des cultures, à la mécanisation et à l'utilisation accrue d'intrants. Ces pratiques, principalement axées sur la productivité, ont appauvri les sols et nuï à la biodiversité, réduisant ainsi leur contribution à la vie humaine et aux objectifs de durabilité (Hassan et al., 2025).

L'objectif de développement durable " Faim Zéro " des Nations Unies contient en priorité le développement de pratiques agricoles plus durables et résilientes, afin d'accroître durablement la production d'aliments sûrs et nutritifs dans un avenir où la résilience face aux changements climatiques sera primordiale. Dans ce contexte, les systèmes agricoles favorisant la diversité sont susceptibles d'être plus résilients (Vikas et Rajan 2024).

Le concept de services écosystémiques vise à sensibiliser le public et les politiques à la conservation de la biodiversité et à monétiser les ressources naturelles afin de les intégrer aux bilans économiques, considérant que la nature n'est pas gratuite (Gómez-Baggethun et al., 2010). Ce concept a été popularisé par l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (EEM, 2005), qui a classé les services écosystémiques en quatre groupes : les services d'approvisionnement (ex. : alimentation, production de bois, approvisionnement en eau, production alimentaire), les services de régulation (ex. : lutte antiparasitaire, pollinisation des cultures), les services culturels (ex. : loisirs, éducation, valeurs spirituelles) et les services de soutien qui sous-tendent les trois autres (ex. : formation des sols, cycle des nutriments, biodiversité).

Les services écosystémiques, en fournissant des indications sur les propriétés des écosystèmes

*Intervenant

†Auteur correspondant: marina.cretenet@unicaen.fr

et les pratiques de gestion (y compris la valorisation économique), peuvent renseigner sur la qualité des aliments, le rendement de la production et la durabilité du système. Pour fournir ces informations, les services doivent être évalués à l'aide d'indicateurs. Dans les écosystèmes, les indicateurs les plus courants sont les bioindicateurs, définis comme " des processus biologiques, des espèces ou des communautés (utilisés) pour évaluer la qualité de l'environnement et son évolution dans le temps " (Holt et Miller, 2011).

Dans les écosystèmes alimentaires, les bioindicateurs actuels sont principalement corrélés aux critères de qualité des aliments. Initialement développés pour évaluer l'altération ou la sécurité des aliments, ces bioindicateurs sont des agents pathogènes spécifiques, des micro-organismes d'altération ou des groupes de micro-organismes dont la croissance est étroitement liée à la durée d'altération et/ou à l'agent pathogène recherché (Jay et al., 2005 ; Martin et al., 2016 ; Metz et al., 2020). Cependant, notamment pour les produits fermentés, où les communautés microbiennes confèrent des caractéristiques organoleptiques spécifiques tout en protégeant l'aliment contre les micro-organismes indésirables, certains indicateurs fonctionnels peuvent également être évalués (Boynton et Greig, 2016 ; Cousin et al., 2017 ; Yue et al., 2021). Comment sélectionner alors des indicateurs microbiens pour évaluer les services écosystémiques alimentaires ?

Dans le cadre du projet ANR cAnOPee, la filière fromagère AOP de Normandie a été choisie comme étude de cas, centrée sur la production de lait cru et des fromages associés. En effet, l'environnement des troupeaux laitiers est une source de diversité à l'échelle des communautés microbiennes, d'intérêt technologique pour la transformation fromagère et pouvant offrir des propriétés d'intérêt pour la santé humaine et des bovins qu'il est intéressant d'explorer.

Une approche par les processus écosystémiques a d'abord été conduite, et a permis d'identifier six fonctions/services associés aux communautés microbiennes des laits crus : réservoir de diversité microbienne, fourniture de diversité microbienne fonctionnelle, préparation de la matrice à la transformation, création d'une typicité organoleptique, résistance à la colonisation et activités biologiques liées à la santé humaine (Figure 1). De la même façon, deux fonctions ont été associées aux communautés microbiennes des trayons des vaches laitières, et quatre associées à celles des fromages au lait cru. Des indicateurs associés ont pu alors être définis. Le travail présenté ci-dessous est une illustration, centrée sur les communautés microbiennes des laits crus.

520 exploitations agricoles (EA) en AOP ont été étudiées, sur la base des données issues du Recensement Agricole 2020 (RA 2020), du Système d'Identification des Parcelles Foncières 2020 (RPG 2020 niveau 2), et internes des opérateurs d'AOP, et les salles de traite ont été géolocalisées. Une typologie a réparti les EA en 6 classes, principalement sur la base de l'assolement, et un échantillon stratifié par bassin de production a été défini pour une sélection de 30 EA représentatives servant à l'étude des bioindicateurs et l'évaluation des indices associés. Deux campagnes de relevés de terrain, et de prélèvements ont eu lieu en 2024 et 2025 dans les 30 EA sélectionnées. La collecte des communautés microbiennes a été faite sur les trayons des vaches laitières avant branchement de la machine à traire, dans le lait cru réfrigéré de 24 h et les fromages transformés dans les ateliers associés aux EA. Les pratiques de gestion du troupeau et de traite ont été enregistrées.

Les analyses de la campagne 2024 sur les laits crus valident les méthodologies et donnent les premières perspectives sur la sélection de bioindicateurs pertinents.

Les laits crus, réservoirs de diversité microbienne : la variabilité rencontrée entre les 30 EA quant à la diversité microbienne des communautés bactériennes et fongiques suggère que des indices associés (Richesse, Chao, Shannon, Simpson inverse, Pielou) sont pertinents pour décrire ce service.

La diversité microbienne fonctionnelle se traduit par une préparation variable de la matrice à la transformation : Le dénombrement de groupes microbiens (ex : bactéries lactiques, lactocoques, levures) et/ou l'abondance relative d'ASV bactériens et

fongiques permettent de créer des groupes de laits crus et peuvent être corrélés à des activités d'intérêt. Une même communauté peut également avoir peu d'activités d'intérêt différentes ou plusieurs, renseignant ainsi sur la diversité microbienne fonctionnelle. Par exemple, le potentiel d'acidification des laits crus (ex : vitesse maximale d'acidification, temps de latence), nécessaire à l'égouttage des caillés et à l'équilibre des communautés microbiennes des fromages, varie entre les laits.

Création d'une typicité organoleptique, des indicateurs en cours d'évaluation : les profils en composés aromatiques volatils des laits crus ne semblent pas avoir d'indicateurs biologiques appropriés. La méthodologie d'étude des profils peptidiques est validée et les analyses sont en cours.

Activités biologiques liées à la santé humaine : l'immunomodulation basale des communautés microbiennes (IL-10, IL-12) est un indicateur qui permet plutôt de différencier des groupes de communautés associées aux fromages, une réflexion sur le choix d'indices est en cours.

Résistance à la colonisation : Les profils de peptides antimicrobiens et les activités barrière associées aux communautés microbiennes sont prometteurs, et en cours d'étude.

Des études précédentes au sein du laboratoire ont montré que la structure et les fonctions des communautés microbiennes des laits crus étaient fortement modifiées/corrélées aux pratiques de nettoyage au cours de la traite (Mallet et al, 2012). Dans cette étude, trois scores ont été établis pour qualifier l'intensité de nettoyage et de désinfection selon les pratiques pouvant influencer l'écologie microbienne des trayons et du lait. Les pratiques, variant d'une ferme à l'autre, impactent les communautés microbiennes affectant ainsi les services écosystémiques liés à la production fromagère.

Ces travaux permettent d'élargir la vision des services et indicateurs associées aux communautés microbiennes laitières, et de proposer ou valider des indices pour les décrire. La prise des activités technologiques et des activités liées à la santé de ces communautés constitue une approche pertinente et originale pour enrichir les bouquets de services existants ou en créer de nouveaux. Pour progresser vers une agriculture plus efficace et plus résiliente, les indicateurs produits et évalués visent à formaliser la contribution potentielle de la filière à la préservation des écosystèmes et de leur diversité biologique, tout en tenant compte de l'impact économique pour les producteurs laitiers en fonction de leurs pratiques, afin de leur permettre de définir des trajectoires appropriées.

Mots-Clés: Services écosystémiques, transition alimentaire, lait cru, fromages AOP, bioindicateurs