



La biologie des systèmes appliquée au cheddar

Durée : 2014-2019

Faits saillants

- L'un des défis de l'industrie de la transformation du lait est de produire des fromages de haute qualité, et ce, de façon constante.
- Plusieurs facteurs influencent cette qualité, notamment la composition microbiologique du lait, l'efficacité des ferments lactiques et les phages.
- Ce projet investigate certains de ces facteurs en utilisant une approche « biologie des systèmes » pour mieux comprendre l'impact du réseau microbiologique dans la fabrication du cheddar.
- La biologie des systèmes intègre différents niveaux d'informations pour élaborer un modèle de fonctionnement de la totalité du système.
- La biologie des systèmes utilise des techniques pour quantifier les changements dans le génome, le transcriptome, le protéome et le métabolome en réponse à une situation donnée, ici le cheddar.
- Ce très ambitieux projet a généré de nouveaux résultats qui ouvrent la voie à meilleure compréhension de l'écosystème fromager.
- L'assemblage fonctionnel (du génome au métabolome) constituera aussi une plus-value afin de mieux comprendre et intervenir sur les variables importantes de ces produits.

Objectifs

- Objectif 1 : Déterminer le microbiome et le virome du lait et du cheddar.
- Objectif 2 : Déterminer le transcriptome microbien et viral du lait et du cheddar.
- Objectif 3 : Déterminer le protéome microbien et viral du lait et du cheddar.
- Objectif 4 : Déterminer le métabolome du lait et du cheddar.
- Objectif 5 : Établir la biologie du système cheddar.

Résultats et bénéfices potentiels

Les principales retombées de ce projet sont :

- 1.1) Développement d'un protocole pour isoler le matériel génétique de divers virus à partir d'échantillons laitiers (lait, fromage).
- 1.2) Mise au point d'un protocole pour isoler le génome de diverses bactéries à partir d'échantillons laitiers (lait, fromage).
- 1.3) Plusieurs nouveaux génomes (draft) de *Lactococcus lactis* sont maintenant disponibles.
- 1.4) Construction d'une base de données contenant des séquences génomiques du microbiome de fromages.
- 2) Développement d'un protocole pour isoler l'ARN d'échantillons laitiers (lait, fromage).
- 3.1) En utilisant diverses approches de protéomiques et un système modèle phage-bactérie de *L. lactis*, nous avons été en mesure de détecter 78% (39/50) des protéines de phages et 56% (1332/2383) des protéines bactériennes.
- 3.2) Nous avons identifié 209 protéines de *L. lactis* qui sont uniquement exprimées lors de l'infection par la phage p2.
- 4.1) Deux méthodes d'extractions pour détecter un plus large profil de métabolites sont maintenant disponibles.
- 4.2) Évaluation de différentes sources d'ionisation à haut débit pour l'analyse métabolomique du fromage.
- 4.3) Une liste d'ions liés à la maturation normale du cheddar ainsi que des identifications potentielles pour ces ions.
- 5.1) Les résultats de l'analyse métabolomique sont prometteurs pour déterminer rapidement un profil ou signature de vieillissement d'un cheddar.
- 5.2) Toutefois, de nombreux autres échantillons de fromages devront être analysés, incluant des fromages ayant des profils organoleptiques variés, pour valider des résultats obtenus.



Aspects novateurs

- Développement de plusieurs protocoles pour des études de type « omics » sur des échantillons de fromages.
- Première étude du protéome d'une bactérie lactique infectée par un phage (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30679258>).
- Rare étude sur le métabolome du fromage cheddar.

Professionnels formés

- **Marie-Laurence Lemay**, étudiante au doctorat en microbiologie.
- **Pier-Luc Plante**, étudiant au doctorat en bio-informatique.
- **Alexia Lacelle-Côté**, étudiante à la maîtrise en microbiologie.
- **Frédéric Raymond**, chercheur post-doctoral en bio-informatique.
- **Simon Labrie**, chercheur post-doctoral en microbiologie.
- **Jessie Bélanger**, étudiant de 1^{er} cycle en microbiologie.

Pour en savoir plus

- Fraud, S., and S. Moineau. 2018. Phages. Le fromage. 4^{ème} édition. J.-C. Gillis and A. Ayerbe (eds). Lavoisier. p. 293-302.
- Lemay, M.-L., A. Otto, S. Maaß, K. Plate, D. Becher and S. Moineau. 2019. Investigating *Lactococcus lactis* MG1363 response to phage p2 infection at the proteome level. *Molecular & Cellular Proteomics*. 18:704-714.

Autres articles d'intérêt sur les phages des ferments mésophiles :

- Geagea, H., A. Gomaa, G. Remondetto, S. Moineau, and M. Subirade. 2015. Investigation of the protective effect of whey proteins on lactococcal phages during heat treatment at various pH. *Int. J. Food Microbiol.* 210:33-41.
- Geagea, H., S.J. Labrie, M. Subirade and S. Moineau. 2018. The tape measure protein is involved in the heat stability of *Lactococcus lactis* phages. *Appl. Environ. Microbiol.* 84:e02082-17.
- de Melo, A.G., S. Levesque, and S. Moineau. 2018. Phages as friends and enemies in food processing. *Curr. Opin. Biotechnol.* 49:185-190.
- Dion, M., F. Oeschlin, and S. Moineau. 2020. Phage diversity, genomics and phylogeny. *Nature Reviews Microbiology*. Sous presse.

Partenaires financiers

Entente de partenariat pour l'innovation en production et en transformation laitières (EPI 2011-2017) :

- Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- Novalait

Le partenaire industriel a fourni des fromages et des ferments lactiques.

Budget total : 189 926 \$

Point de contact

Responsable du projet :

Sylvain Moineau

Département de biochimie,
de microbiologie et de bio-informatique

Université Laval
1045 av. de la Médecine
Québec (QC) G1V 0A6

418 656-3712
sylvain.moineau@bcm.ulaval.ca

Collaborateurs :

Jacques Corbeil

Université Laval

Alexander Culley

Université Laval