



# Nouvelles approches visant à transformer des sous-produits riches en glucides (perméats de lait et de lactosérum) en produits à haute valeur ajoutée, pour une industrie laitière plus durable

**Durée : 2019-2022**

## Faits saillants

- On estime que la production mondiale annuelle de lactosérum est de 200 millions de tonnes et qu'elle croît d'environ 2 % par an. Par la transformation chimique et enzymatique du lactosérum en sous-produits à valeur ajoutée, on devrait pouvoir concilier développement durable et diversification nécessaire des produits.
- Notre recherche consiste à établir les fondements scientifiques et technologiques des nouvelles approches visant à valoriser les sous-produits riches en lactose (perméat de lactosérum et de lait) en les transformant par exemple en hydroxyméthylfurfural (HMF), en acide 2,5-furane dicarboxylique (FDCA), en lactosucrose ou en acide lactobionique.
- Le département américain de l'Énergie a classé le FDCA parmi les 12 principales molécules susceptibles de remplacer les monomères pétrochimiques utilisés actuellement. Deux problèmes en freinent la production économique et durable : la sélection des substrats appropriés et la mise au point, à l'aide de solvants et de catalyseurs, d'un procédé efficace de conversion en FDCA à partir de l'hydroxyméthylfurfural.
- Conscients de ces problèmes, nous avons imaginé de remplacer les sucres de grande valeur (ex. : fructose et glucose) par le lactosérum, ce co-produit de l'industrie laitière. Une première étape a consisté à analyser différentes concentrations de perméat de lactosérum, dans la perspective d'une production de HMF.
- En ce qui concerne le lactosucrose, la demande augmente, du fait de ses propriétés prébiotiques et technofonctionnelles. Nous avons déterminé les biocatalyseurs se prêtant le mieux à la transformation ciblée du lactose en lactosucrose. Notre procédé permet de convertir plus de 87 % du lactose contenu dans le perméat de lactosérum (pourcentage pondéral).
- Quant à l'acide lactobionique, produit dérivé à haute valeur ajoutée du lactose, on a découvert récemment son grand potentiel. Il se prête en effet à d'innombrables applications alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques, médicales ou chimiques. Plusieurs systèmes biocatalytiques permettant de transformer tout le lactose présent dans le perméat de lactosérum ou de lait en acide lactobionique ont été mis au point.

## Objectifs

Établir les fondements scientifiques et technologiques de nouvelles approches visant à transformer les sous-produits riches en glucides (lactose, lactosérum) en produits de grande valeur et à renforcer la durabilité de l'industrie laitière. Deux approches sont à l'étude :

- A) Conversion chimique du lactose du lactosérum en produits chimiques fins à valeur ajoutée (HMF, FDCA, polyesters aliphatiques dérivés du FDCA).
- B) Biotransformation du lactose du lactosérum en ingrédients à valeur ajoutée (lactosucrose et acide lactobionique) à l'aide de procédés enzymatiques.

## Résultats et bénéfices potentiels

Notre recherche s'inscrit dans une perspective générale d'utilisation des résidus de la transformation alimentaire aux fins de protection de l'environnement et de préservation des ressources.

La production mondiale de lactosérum est comprise entre 180 et 190 millions de tonnes par an. On n'en transforme que la moitié. Actuellement, l'industrie laitière gère l'excédent de perméat de lactosérum en le vendant sous forme de poudre sèche, en l'incorporant dans des aliments pour animaux ou tout simplement en l'éliminant. Or, cette élimination exige d'importants traitements préalables, car elle implique une forte demande biologique en oxygène (30 à 50 g/L). Cela se traduit par des coûts d'exploitation supplémentaires. Parce qu'ils peuvent être transformés en composés furaniques ou en ingrédients à forte valeur ajoutée, les sous-produits de l'industrie laitière offrent un immense potentiel.



## Résultats et bénéfices potentiels, suite

### Synthèse de monomères biologiques de l'acide 2,5-furane dicarboxylique (FDCA) et de copolyesters connexes pour emballages alimentaires

- Avec le lactose comme glucide modèle, nous avons obtenu un rendement de 59 % (pourcentage molaire) de HMF dans les conditions optimales (130 °C, 100 min et 0,21 mol/L de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Du perméat de lactosérum en poudre a permis d'obtenir un rendement de 74 % en un temps de réaction inférieur (40 min). Nous avons attribué ce meilleur rendement aux groupements amines libres des protéines présentes, qui ont influé de manière concomitante sur la réaction de synthèse du HMF.
- Le prochain objectif consistera à concevoir un système catalytique non basique permettant d'oxyder le HMF et de produire ainsi le FDCA. À cette fin, nous avons mis au point un catalyseur à base de  $\text{MnFe}_3\text{O}_4$ , recyclable par voie magnétique. Nous avons réussi jusqu'ici à transformer 40 % du FDCA et 100 % du HMF (pourcentages pondéraux). Nous analyserons l'impact des différents facteurs en jeu (base, agent oxydant, température et durée de réaction) sur l'amélioration du rendement.

### Mise au point de technologies de biotransformation économiquement viables, pour production d'édulcorants naturels et d'ingrédients fonctionnels à haute valeur ajoutée

Nos résultats contribuent à l'établissement des principes de base et des fondements technologiques des procédés en jeu. Nous avons trouvé les biocatalyseurs et les systèmes biocatalytiques les plus à même de produire les conversions souhaitées. Nous avons aussi déterminé les principaux paramètres de réaction à contrôler et à moduler pour obtenir un rendement viable. Nous chercherons également à évaluer les limites des technologies à l'étude selon leur potentiel industriel.

La caractérisation structurelle des propriétés des ingrédients fonctionnels produits par biogénération nous permettra d'en préciser le potentiel tout en dégageant les avantages offerts par telle ou telle structure.

## Aspects novateurs

- Notre étude vise à trouver un système catalytique permettant de transformer efficacement le perméat de lactosérum en HMF et en FDCA.
- Nous avons mis au point trois catalyseurs magnétiques assurant l'oxydation du HMF en FDCA.
- Nous construisons un réacteur dans lequel des mélanges azéotropiques transformeront le lactosérum en HMF dans le cadre d'une réaction monotope.
- Nous avons constaté que les acides aminés jouent un rôle dans l'amélioration du rendement.
- Nous avons déterminé les biotransformations permettant d'obtenir le plus efficacement du lactosucrose et de l'acide lactobionique à partir du perméat de lactosérum ou de lait.

## Professionnels formés

- **Surabhi Pandey** (doctorante)
  - Surabhi souhaite devenir professeure d'université. Ses champs d'intérêt englobent le génie alimentaire et le génie chimique; elle souhaite trouver des applications pratiques aux résidus alimentaires (emballages, par exemple).
  - Surabhi se perfectionne actuellement dans différents domaines (chimie verte, catalyse et polymérisation).
- **Elham Chidar** (M.Sc.)
  - Elham a terminé ses expériences dans le domaine de la production lactobionique. Elle rédige à présent son mémoire de maîtrise.
- **Rami Bahlawan** (M.Sc.)
  - Rami en est à la dernière étape de sa maîtrise, consacrée à la fixation de biocatalyseurs sur des supports solides (ce qui les rendra plus efficaces et en facilitera la réutilisation).
- **Dr Eugenio Spadoni** (postdoctorant)

## Pour en savoir plus

La première année, nous avons rédigé un article de synthèse sur les possibilités offertes par le FDCA et ses copolyesters en matière d'emballages alimentaires (« Untapped potential of 2,5-furandicarboxylic acid and its copolyesters for food and beverage packaging»). Le texte nécessite quelques retouches et sera soumis prochainement. Comme l'explique l'article «Catalytic conversion of whey permeate into 5-hydroxymethylfurfural in a green solvent system» paru dans le *Chemical Engineering Journal*, notre premier objectif a été atteint. Des conférences et des discussions auront lieu lors de diverses rencontres organisées dans le cadre du Forum techno Novalait.

## Partenaires financiers

RITA Recherche Innovation Transformation Alimentaire : consortium mandaté par le MAPAQ à l'Université McGill en collaboration avec le CTAQ et le MEI. Ci-dessous le budget total pour les 13 activités du réseau RITA.

**Budget total : 2 765 828 \$**

## Point de contact

### Responsable du projet :

**Salwa Karboune**, vice-doyenne  
Département de science des aliments  
et chimie agroalimentaire

Université McGill  
21111 Lakeshore,  
Ste-Anne-de-Bellevue (QC) H9X 3V9

514-398-8666  
salwa.karboune@mcgill.ca

### Collaborateurs :

**Dr. Marie-Josée Dumont**  
Professeure associées et demandeur  
principal, Université McGill

**Dr. Valerie Orsat**  
Professeur, Université McGill