

UL-Enseignement Projet pour Groupe Étudiants

Projet: Analyse de bilan de masse en production laitière en temps réel

Grâce à une production de plus de Y millions de litres de lait brut, l'industrie de la transformation du lait et du fromage génère une activité économique de plus de X millions de dollars au Québec seulement. Cette transformation laitière est faite par les grands groupes laitiers canadiens et les PME. Les entreprises comportent typiquement de X à Y employés avec des chiffres d'affaires de XYZ\$, à l'aide d'une infrastructure qui permet de transformer le lait en qu'on sépare en trois grands groupes: Le lait de consommation, le lait de produits fermentés, le lait de fromage. Chacun exerce une transformation typique par l'écémage, la pasteurisation, pour le lait de consommation. La gestion d'ingrédients, la pasteurisation et la fermentation pour les yogourts, La pasteurisation, la maturation, le moulage, l'égouttage, l'affinage et le saumurage pour les fromages. Dans ces transformations, le lait cru est d'abord reçu par camion citerne et peut être séparé en ses composantes (liquide, protéines et gras). Il est par la suite remélangé dans les proportions demandées, par exemple pour du lait de consommation à taux de gras constant (0, 1, 2 et 3.25%) ou pour des fromages (à taux de gras et de protéines fixes pour chaque type de fromage). À tout moment, la quantité nécessaire (à l'intérieur des tolérances de l'industrie) doit être utilisée en évitant de gaspiller l'excès. Le contrôle serré de ces procédés, en particulier le bilan de masse (qui correspond à la connaissance de la concentration de gras et protéine dans le liquide) permet d'assurer la qualité du produit et de maximiser les revenus du transformateur. Cependant, il est généralement difficile de suivre la quantité exacte de protéines et de matières grasses à travers les différents processus impliqués dans la fabrication du lait et du fromage. En effet, la mesure de protéines ou de taux de gras se fait généralement par la prise d'échantillons suivi d'une analyse hors-ligne. Le temps entre la prise d'échantillon et le résultat de l'analyse (qui peut par exemple indiquer un taux de gras hors de la tolérance de $\pm 0.1\%$ du lait de consommation) rend impossible l'action rapide pour rectifier le processus, et rend difficile l'optimisation du processus. Ceci se traduit soit par une variabilité de la qualité du produit ou une perte de produit, dépendamment de l'action prise. Certains systèmes d'analyse en-ligne existent (tel le ProFoss in-line NIR Analyzer), mais sont très coûteux (au delà de 100k\$ pour l'implantation de base) et donnent plus d'information qu'il n'est nécessaire. Une solution intermédiaire, à coût moindre et permettant de mesurer le bilan de masse (gras et solides) en temps réel est proposée ici pour permettre aux petites et moyennes entreprises de transformation d'avoir accès au suivi continu pour l'optimisation du bilan de masse en temps réel et ainsi augmenter la qualité de leur produit et leurs profits.

Objectif global du projet: Nous proposons donc de concevoir et valider la performance d'un système rapide de mesure en-ligne de la quantité de protéines et de gras pour permettre l'optimisation du bilan de masse en temps réel par les petits et moyens producteurs. Ce système s'intégrera aux systèmes de transformation du lait conçus par la compagnie Qualtech (Québec).

Objectif spécifique 1: Démontrer la faisabilité de mesures du taux de gras d'un fluide en mouvement par la diffusion de la lumière avec une précision de $<1\%$

La mesure du taux de gras se base sur la diffusion de la lumière par le gras. En effet, le gras est l'élément du lait qui lui donne sa couleur blanche et opaque. Ainsi, une mesure de la quantité de lumière rétrodiffusée par le lait permet d'obtenir le taux de gras si des modèles simples de diffusion de la lumière sont utilisés. L'illumination à l'aide d'une fibre optique multimode et la collection pour un ensemble de fibres multimodes placées sur une sonde linéaire sera utilisée pour obtenir suffisamment de lumière. Une source de lumière stable ($<1\%$ bruit RMS) permettra la caractérisation avec une précision supérieure à 1 partie dans 100 en un temps court ($<1s$). Grâce aux avancées dans le domaine des diodes électroluminescentes (DELs), des sources à large bandes avec une stabilité suffisante pour les besoins du projet peuvent maintenant être obtenues. Leurs faibles coûts d'acquisition et de maintenance couplés à leur très longue durée de vie sont idéales pour les projets industriels. Le Prof. Côté utilise ces techniques depuis plus d'une décennie pour la caractérisation des tissus biologiques et transfèrera directement les techniques en place dans son laboratoire pour la caractérisation des propriétés du lait. En particulier, le groupe du professeur Côté a développé dans les dernières années des systèmes à base de fibre optique pour les applications cliniques qui maximisent l'efficacité de collection de la lumière par l'utilisation de micro-optique fibrée qui seront utilisés ici. La difficulté de cet objectif vient de la précision demandée ($<1\%$) et du temps très court ($1s$). La complétion de cet objectif permettra de valider la technique de quantification par rétrodiffusion pour un prototype.

Objectif spécifique 2: Démontrer la faisabilité de mesures du taux de protéines ($<1\%$) par spectroscopie UV à base de fibre optique d'un fluide en mouvement

Le taux de protéines sera mesuré optiquement par la fluorescence dans la gamme spectrale de l'ultraviolet (UV). En effet, l'ensemble des acides aminés composant les protéines (en particulier le tryptophane, présent dans le lait) émet une fluorescence caractéristique identifiable à l'aide d'un spectromètre dans la bande de 200 à 350 nm. Cette technique est utilisée dans les systèmes commerciaux de laboratoires pour la caractérisation des échantillons depuis plusieurs décennies, mais n'est pas testé pour les fluides en mouvement et pour une précision élevée tel que demandée ici. L'existence de spectromètres UV OEM abordables (Ocean Optics, $<2500\$$), et de fibres optiques UV de plus en plus performantes (par exemple, Thorlabs-UM22-100 de 180 nm à 1200 nm, 12\$/mètre) permet de concevoir un système fiable à très faible coût avec une performante suffisante pour caractériser le taux de protéine dans le lait. La difficulté de cet objectif vient de la précision demandée (1%) et du temps très court ($1s$). Ceci demandera une efficacité de collection importante. Encore une fois, les systèmes qui maximisent l'efficacité de collection de la lumière par l'utilisation de micro-optique fibrée seront utilisés ici. La complétion de cet objectif permettra de valider la technique de mesure des protéines pour un prototype.

Financement complémentaire fédéral

Le financement fédéral CRSNG du programme de Subventions de recherche et développement coopérative permettra de construire un prototype grâce au partenariat avec Qualtech. Les fonds fédéraux seront utilisés pour payer les coûts des composantes pour le prototype. Qualtech contribuera en nature le temps de l'ingénieur qui concevra le receptacle en acier inoxydable et le temps d'un machiniste et technicien-soudeur pour le construire. Ce dispositif contiendra la sonde optique et s'intégrera aux systèmes vendus par Qualtech.

Retombés attendus

Des économies substantielles: L'optimisation du bilan de masse pourra améliorer le rendement entre 0.1 et 0.5%. Avec le traitement de 10 millions de litres de lait par année dont 10% en fromage, ceci correspond à une augmentation des revenus entre 10 000\$ et 50 000\$ à 10\$/kg. De plus, l'optimisation du bilan de masse en temps réel permet de faire des économies additionnelles mais plus difficilement quantifiables. Une qualité constante: En maintenant une boucle de rétroaction rapide sur l'injection des protéines et du gras, une qualité plus constante sera maintenu pour les produits. Une innovation 100% québécoise: Le système de contrôle qui pourrait être mis en vente par Qualtech permettra de positionner Qualtech comme un innovateur dans le domaine de la transformation laitière, en plus de la reconnaissance dont elle jouit déjà dans le marché. Des débouchés supplémentaires pour les ingénieurs: Le domaine de la photonique industrielle demande à être exploité à son maximum, pour compléter l'offre en télécommunication ou en biophotonique. Les expertises développés ici pourront s'adapter à de nouvelles applications dans le domaine industriels et agro-alimentaire. Ce personnel hautement qualifié (PHQ) pourra devenir un atout important pour les compagnies qui décident de se doter d'une branche de développement et innovation.

Échéancier, sur 2 ans.

- Mois 2: Sélection des composantes et validation
- Mois 4: Validation des modèles de diffusion pour le lait
- Mois 8: Construction du système de mesure pour le taux de gras
- Mois 12: Validation des mesures sur du lait commercial
- Mois 16: Construction du système de mesures des protéines
- Mois 20: Validation des mesures sur du lait commercia
- Mois 22: Construction d'un prototype d'appareil
- Mois 24: Mesures sur place chez un client de Qualtech