

Post-doctorat

Compréhension et modélisation des réactions de brunissement pour prédire la stabilité des poudres laitières lors du stockage

Contexte et objectif

Beaucoup de denrées alimentaires sont transformées en poudres car cette forme sèche leur confère une durée de vie allongée tout en facilitant leur stockage et transport par réduction de la teneur en eau et du volume des produits. La filière laitière ne fait pas exception, avec 12 millions de tonnes de poudres laitières produites annuellement à l'échelle globale, permettant leur report de 1 à 3 ans. Malgré cet accroissement de durée de vie, plusieurs phénomènes chimiques et physiques peuvent avoir lieu à l'état sec et durant le stockage, à savoir les réactions de brunissement et le mottage. L'ensemble de ces phénomènes, dits de vieillissement, peut détériorer la qualité des produits (organoleptique, nutritionnelle, microbiologique, fonctionnelle – essentiellement l'aptitude à la réhydratation) [1]. Il est donc primordial de comprendre les mécanismes à l'origine de ces évolutions afin de prédire la durée de vie d'une poudre, d'autant plus dans un contexte de mondialisation des échanges et de changement climatique où il n'est pas rare que ces produits soient exposés à des températures supérieures ou égales à 60°C sur plusieurs semaines [2].

Les mécanismes des réactions de brunissement des poudres laitières ne sont pas complètement élucidés. Beaucoup d'études sont menées sur des systèmes modèles liquides simplifiés [3], [4], [5], qui ne prennent pas en compte l'hétérogénéité spatio-temporelle de la température et de la concentration au sein d'une matrice solide, suivie de changements de phase. Les résultats ne sont donc pas transposables aux poudres [6], [7]. La littérature existante sur les poudres laitières souligne l'influence de différents paramètres (composition, activité de l'eau, température, etc.) mais n'est pas suffisante et parfois contradictoire pour élucider les mécanismes de réactions de brunissement. Ceci est en particulier dû à plusieurs niveaux de complexité réactionnelle ; i) plusieurs types de réactions peuvent avoir lieu simultanément à partir d'un même sucre réducteur ou d'une protéine ; ii) la présence simultanée de plusieurs précurseurs (sucres réducteurs, groupements aminés) dont le type, la quantité et la disponibilité varient selon la composition des poudres [8], [9] et iii) la difficulté à mesurer de manière quantitative les marqueurs réactionnels pertinents.

Ainsi, l'objectif du post-doctorat est de mieux comprendre les mécanismes réactionnels de brunissement des poudres laitières modèles pendant le stockage, par l'identification du schéma réactionnel impliqué et la modélisation cinétique.

Missions

La personne recrutée sera chargée de :

- i) Définition des compositions modèles des poudres et identification des marqueurs réactionnels ;
 - sélection des précurseurs et construction des schémas réactionnels à partir de la littérature ;
 - développement/optimisation de méthodes analytiques pour quantifier les marqueurs réactionnels
- ii) Étude des dynamiques réactionnelles pendant le stockage
 - production de poudres modèles à l'échelle pilote et stockage sous conditions contrôlées ;
 - suivi des marqueurs réactionnels et modélisation cinétique.

Profil requis

Formation : Doctorat en Chimie, Génie chimique ou Sciences des aliments

Compétences :

- Maîtrise des techniques analytiques (LC, GC, spectroscopie)
- Expérience en modélisation cinétique (Python, Matlab, R)
- Connaissances en chimie et physico-chimie des matrices alimentaires

Aptitudes recherchées :

- Curiosité scientifique et prise d'initiative
- Autonomie, rigueur et bonnes capacités d'organisation et de travail en équipe
- Anglais courant (rédaction d'articles, présentations en conférences).

Environnement de travail

La personne recrutée exercera ses activités au sein de l'équipe Procédé Structure Fonctionnalité (PSF) de l'Unité Mixte de Recherche Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (UMR STLO) (<https://stlo.rennes.hub.inrae.fr/>). Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet « Predicting the browning of dairy powders by kinetic modeling of Maillard reaction and caramelization during drying and storage (MARACAS) », financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre de l'Appel à Projets Générique (AAPG) 2025.

Le STLO a pour objectif de produire des connaissances sur les constituants du lait ou de l'œuf puis sur leur transformation en ingrédients ou produits finis pour l'alimentation humaine. En mobilisant des compétences en biochimie, physico-chimie, génie des procédés, physique, technologie et microbiologie, son objectif est de contribuer à une alimentation sûre, saine, bonne, respectueuse de l'environnement et des besoins des populations spécifiques.

Le STLO dispose d'équipements de pointe pour soutenir ses activités de recherche multidisciplinaires. La plateforme laitière offre des équipements pilotes avec des possibilités d'instrumentation avancée. L'unité possède également des outils performants pour les analyses chimiques, physiques et microbiologiques, spécifiquement adaptés aux produits

laitiers. La personne recrutée bénéficiera pleinement de ces ressources pour mener à bien les missions demandées. Elle sera encadrée par deux membres permanents (Jeehyun Lee et Thomas Croguennec) du STLO.

Conditions d'accueil

Contrat : CDD de 18 mois (Post-doctorat)

Rémunération : à partir de 3000€ brut/mois selon expérience

Lieu : 65 rue de Saint Briec, 35000 Rennes

Date de début : à partir du 1^{er} janvier 2026

Modalités de candidature

Dossier à envoyer avant le 30 septembre 2025 à jeehyun.lee@institut-agro.fr

- CV détaillé incluant les publications
- Lettre de motivation
- Coordonnées de deux références académiques.

[1] Phosanam, A., Chandrapala, J., Zisu, B., & Adhikari, B. (2021). Storage stability of powdered dairy ingredients: a review. *Drying Technology*, 39(11), 1529-1553.

[2] Leinberger, D., (2006). Ocean container temperature and humidity study. *Dimensions.*, 6.

[3] Buera, M. D. P., Chirife, J., Resnik, S. L., & Wetzler, G. (1987). Nonenzymatic Browning in Liquid Model Systems of High Water Activity: Kinetics of Color Changes due to Maillard's Reaction Between Different Single Sugars and Glycine and Comparison with Caramelization Browning. *Journal of Food Science*, 52(4), 1063–1067. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb14276.x>

[4] Cha, J., Debnath, T., & Lee, K.-G. (2019). Analysis of α -dicarbonyl compounds and volatiles formed in Maillard reaction model systems. *Scientific Reports*, 9(1), 5325. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41824-8>

[5] Fogliano, V., Monti, S. M., Visconti, A., Randazzo, G., Facchiano, A. M., Colonna, G., & Ritieni, A. (1998). Identification of a β -lactoglobulin lactosylation site. *Biochimica et Biophysica Acta - Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1388(2), 295–304. [https://doi.org/10.1016/S0167-4838\(98\)00177-0](https://doi.org/10.1016/S0167-4838(98)00177-0)

[6] Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & van Boekel, M. A. J. S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9–10), 364–373. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X)

[7] van Boekel, M. A. J. S. (2022). Kinetics of heat-induced changes in dairy products: Developments in data analysis and modelling techniques. *International Dairy Journal*, 126, 105187. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105187>

[8] Norwood, E. A., Pezennec, S., Burgain, J., Briard-Bion, V., Schuck, P., Croguennec, T., Jeantet, R., & Le Floch-Fouéré, C. (2017). Crucial role of remaining lactose in whey protein isolate powders during storage. *Journal of Food Engineering*, 195, 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.010>

[9] Paul, A., Gaiani, C., Cvetkovska, L., Paris, C., Alexander, M., Ray, C., Francius, G., El-Kirat-Chatel, S., & Burgain, J. (2022). Deciphering the impact of whey protein powder storage on protein state and powder stability. *Journal of Food Engineering*, 326, 111050. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111050>