
Titre : Etude des mécanismes d'encrassement dans les évaporateurs à flot tombant par approche microscopique et microfluidiques

Mots clés : Protéines, cisaillement, écoulement, interface

Résumé : L'encrassement est un enjeu majeur pour l'industrie laitière : il limite l'efficacité énergétique et accroît les pertes de charges, la fréquence des nettoyages et le risque de formation de biofilms. Bien que l'effet de la température sur sa formation soit connu, les mécanismes d'initiation du dépôt restent peu explorés. Les études industrielles se basent sur des bilans de matière et d'énergie indirects, tandis que la recherche utilise des analyses hors ligne ne montrant pas l'évolution au cours du temps.

Notre objectif est de mieux comprendre l'encrassement à des températures limitantes, proches ou inférieures à la dénaturation des protéines de lactosérum comme dans le cas des évaporateurs à flot tombant utilisés en concentration sous vide, et d'identifier le rôle du cisaillement dans ces conditions. Pour cela, deux approches innovantes ont été mises en place.

La première, rhéométrique, montre que le cisaillement favorise la formation de dépôts complexes en surface, bien qu'il n'ait pas d'effet sur l'agrégation en solution. La seconde, microfluidique, permet une observation directe des phénomènes, en mimant en continu les conditions environnementales industrielles. Elle révèle trois étapes : (1) adsorption d'une couche protéique active, (2) capture d'agrégats, puis (3) formation d'une couche de gel épais modifiant l'écoulement. Le cisaillement augmente la quantité d'agrégats capturés à la surface et la couche gel. Cette étude montre le rôle clé du cisaillement à température modérée dans le mécanisme d'encrassement. Les approches méthodologiques développées ouvrent la voie à des systèmes plus complexes et plus représentatifs des conditions industrielles.

Title: Study of fouling mechanism in falling film evaporator by microscopic and microfluidics approach

Keywords: Proteins, shear, flow, interface

Abstract: Fouling is a major issue for the dairy industry: it limits energy efficiency and increases pressure losses, cleaning frequency and the risk of biofilm formation. Although the effect of temperature on its formation is known, the mechanisms that initiate deposit formation remain poorly understood. Industrial studies are based on indirect material and energy balances, while research uses off-line analyses that do not show changes over time.

Our objective is to better understand fouling at limiting temperatures, close to or below the denaturation of whey proteins, as in the case of falling film evaporators used in vacuum concentration, and to identify the role of shear under these conditions.

To this end, two innovative approaches have been implemented.

The first, rheometric, shows that shearing promotes the formation of complex deposits on the surface, although it has no effect on aggregation in solution. The second, microfluidic, allows direct observation of the phenomena by continuously mimicking industrial environmental conditions. It reveals three stages: (1) adsorption of an active protein layer, (2) capture of aggregates, then (3) formation of a thick gel layer that modifies the flow. Shear increases the amount of aggregates captured on the surface and the gel layer. This study shows the key role of shear at moderate temperatures in the fouling mechanism. The methodological approaches developed pave the way for more complex systems that are more representative of industrial conditions.