Matière molle, Interactions et Transport dans les procédés

Micheline ABBAS [1], Pierre AIMAR [1], Patrice BACCHIN [1], Sergio DA-CUNHA [1], Adriana FERREIRA [1], Vincent GERBAUD [1], Yannick HALLEZ [1], Martine MEIRELES [1], Dimitri RADAJEWSKI [1]

Affiliation 1 : Laboratoire de Génie Chimique, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, France

Le terme « Matière molle » englobe la matière dont la structure, reposant sur des interactions de surface faibles, est très sensible aux sollicitations extérieures. De très nombreux procédés (filtration, séchage, …) sont amenés à jouer avec ces propriétés dans des domaines d'applications variés (agroalimentaire, environnement, chimie, …). Cette matière est fortement non idéale d'un point de vue thermodynamique et les interactions génèrent des phénomènes de transport supplémentaires. Pour décrire le comportement dans les procédés, il est nécessaire de développer de nouveaux concepts théoriques et des outils mathématiques et numériques permettant de décrire ces propriétés dans des processus hors-équilibre.

L'objet de la présentation est de montrer comment il est possible de partir des équations de mouvement et de transport de masse, classiquement enseignées, pour progressivement introduire la complexité inhérente à la matière molle et tenter de répondre ainsi à la problématique posée par J. Villermaux en 1993 « *Important areas of physical chemistry such as interfacial phenomena, colloids, clusters and, more generally, De Gennes "soft matter" should be revisited using the system approach and chemical engineering methods*. »

Il sera montré comment il est possible d'intégrer les interactions physico-chimiques colloïde/colloïde et colloïde/interface propres à la matière molle dans les équations classiques de génie des procédés. Les interactions colloïde-colloïde sont prises en compte via l'équation d'état pour les colloïdes qui permet de décrire un coefficient de diffusion collectif (loi de Stokes Einstein généralisée). Les interactions colloïde-interface sont prises en compte en résolvant les équations de transport sur une carte décrivant l'impact des interfaces en terme de pression interfaciale. Ces nouveaux termes de transport sont inclus dans un modèle à deux fluides (ou Suspension Balance Model) compatible avec des approches mécaniques ou de thermodynamique hors-équilibre.

Les nouveaux termes dans les équations de mouvement et de transport de masse permettent de mettre en évidence les couplages entre les phénomènes de transport et de nouvelles forces motrices pour le transport de colloïdes aux interfaces. La présentation sera illustrée d'études de cas récentes nécessitant l'intégration de différents niveaux de complexité :

- Comment l'équation d'état peut décrire la dynamique du transport de colloïdes dans un système de filtration microfluidique ? (Keita et al. 2021)
- Comment l'intégration de la transition sol-gel dans l'équation d'état peut permettre de décrire la relaxation de gel ? (Ferreira et al. 2022)
- Comment les interactions colloïde-interface peuvent décrire l'osmose, les effets Marangoni et la diffusiophorèse ? (Da Cunha et al. 2022)

Ces trois études de cas démontreront comment ces mécanismes physiques peuvent être unifiés à travers une même approche (Fig. 1).

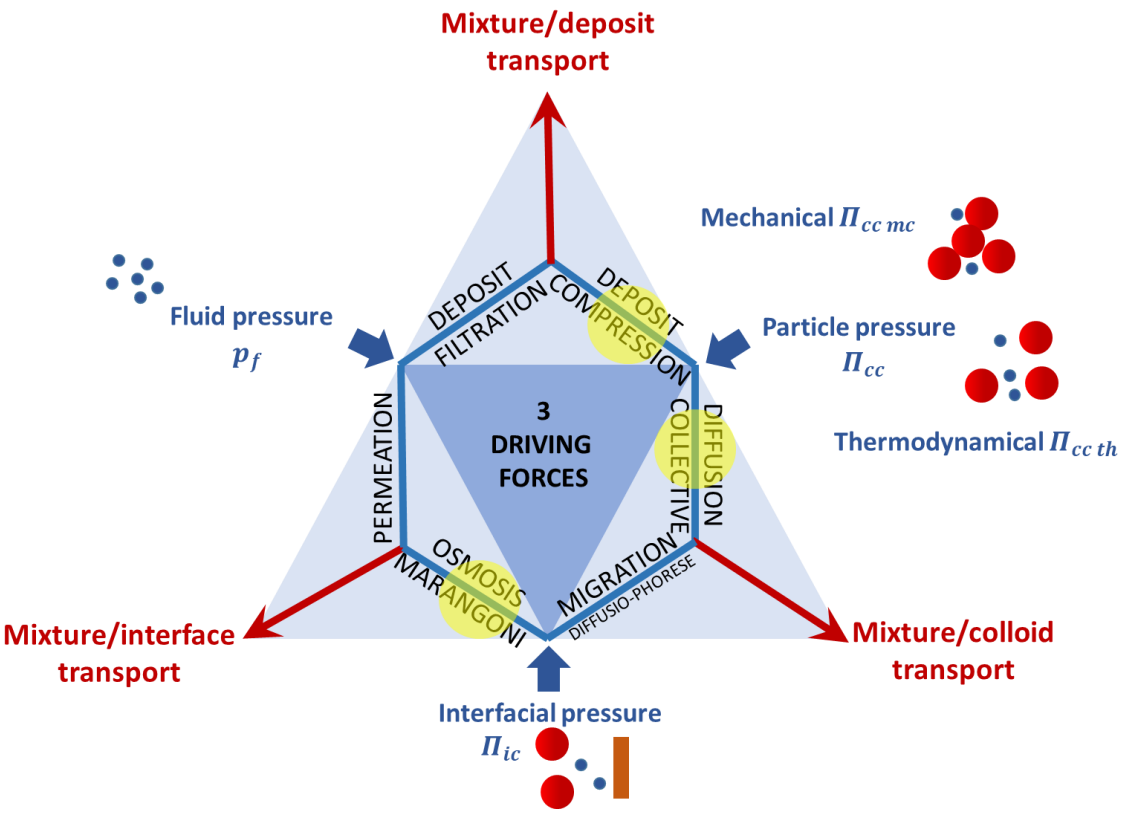

Figure 1 : Les phénomènes de transport dans un procédé mettant en œuvre la matière molle peuvent être décrits comme le résultat de gradients de pressions (associées à l'énergie potentielle du fluide des particules ou à la présence d'interfaces) permettant de prendre en compte les interactions colloïde/colloïde et colloïde/interface. Les points jaunes correspondent à la position des études de cas qui illustreront les différents mécanismes.

Cette présentation abordera également la façon d'enseigner l'ingénierie de la matière molle aux étudiants de GC-GP en établissant des ponts reliant matière molle, mécanismes physiques et phénomènes de transport. Cette approche s'appuiera sur des méthodologies clefs du GC-GP : se baser sur un équilibre thermodynamique représenté par des équations et des diagrammes d'états, en déduire des lois de transport liées à des gradients de potentiel mais aussi trouver la façon la plus simple (l'outil le plus adapté) pour décrire la complexité d'un procédé (le phénomène limitant le fonctionnement). En perspectives, cette approche « ingénierie de la matière molle » sera généralisée à la description des systèmes fortement en interactions comme les systèmes biologiques ou sociaux.

Références bibliographiques

Da Cunha, S.; Shcherbakova, N.; Gerbaud, V.; Bacchin, P., Modelling and Simulation of 2d-flow Suspension Diffusioosmosis. *Chemical Engineering Transactions*, 2022, 86, 1147-1152.

Ferreira, A;, Abbas, M.; Carvin, P.; Bacchin, P., Colloid dynamics near phase transition: a model for the relaxation of concentrated layers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2022, 128222.

Keita, C.; Hallez, Y.; Salmon J. B., Microfluidic osmotic compression of a charge-stabilized colloidal dispersion: Equation of state and collective diffusion coefficient, *Physical Review E*, 2021, 104(6).

Villermaux, J. Future challenges for basic research in chemical engineering, *Chemical Engineering Science* 1993,48