

Modélisation multiphysique des échanges d'ions et d'eau dans les cellules de plantes

Alexis DE ANGELI, Institut de sciences des plantes de Montpellier - Montpellier

Christophe GODIN, Équipe Inria Mosaic - Lyon

Guillaume MESTDAGH, Équipe Inria Mosaic - Lyon

Les cellules végétales contrôlent leur volume en régulant le potentiel osmotique de leur cytoplasme et de leur vacuole. L'attraction de l'eau dans la cellule résulte d'une cascade d'échanges de solutés entre les sous-compartiments de la cellule et son environnement, qui sont régis par des forces chimiques, électrostatiques et mécaniques. À cause de son caractère multiphysique, la modélisation de ces échanges n'a été que partiellement abordée, les travaux existants décrivant soit les effets électro-chimiques [1], soit les effets hydro-mécaniques [3], mais pas les deux. Nous proposons une approche énergétique pour coupler les processus chimiques, électriques et mécaniques qui ont lieu entre les sous-compartiments d'une cellule végétale [2]. Les contributions de tous les effets physiques sont rassemblées dans une fonction d'énergie qui nous permet de dériver les équations satisfaites par chaque variable de manière systématique. Il en ressort une formulation modulaire qui peut être interprétée physiquement. Nous illustrons cette approche par la modélisation du transport des ions et de l'eau dans une cellule de garde pendant l'ouverture d'un stomate, un phénomène lié à la respiration de la plante. Nous représentons ce processus comme une évolution quasi-statique pilotée par des pompes à hydrogène situées sur les membranes entre compartiments, ce qui donne un modèle interprétable avec peu de paramètres. Nous effectuons des simulations numériques pour étudier le rôle de chaque pompe à hydrogène dans ce processus. Grâce à une analyse de sensibilité, nous mettons en évidence une hiérarchie entre les forces impliquées dans le système. Celle-ci peut être exploitée pour interpréter les propriétés émergentes de ce système complexe.

Mots-clef Math-bio, Modélisation physique, Plantes

- [1] S. Gerber, M. Fröhlich, H. Lichtenberg-Fraté, S. Shabala, L. Shabala, E. Klipp. *A thermodynamic model of monovalent cation homeostasis in the yeast *saccharomyces cerevisiae**. PLoS Comput. Biol., 2016.
- [2] G. Mestdagh, A. de Angeli, C. Godin. *Multi-physics modeling for ion homeostasis in multi-compartment plant cells using an energy function*, 2025.
- [3] H. C. Woolfenden, A. L. Baillie, J. E. Gray, J. K. Hobbs, R. J. Morris, A. J. Fleming. *Models and mechanisms of stomatal mechanics*. Trends in Plant Science, **23(9)**, 822–832, 2018. doi : 10.1016/j.tplants.2018.06.003.

Contact : guillaume.mestdagh@inria.fr