

Nom du laboratoire d'accueil

UR 1404 INRA MaIAGE « Mathématiques et Informatiques Appliquées au Génome et à l'Environnement », Jouy-en-Josas

Directeur : Sophie Schbath (MAIAGE)

Le projet est co-porté avec l'UMR INRA-AgroParisTech EcoSys « Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystème »

Encadrants :

Co-responsables : Béatrice Laroche, Estelle Kuhn (MaIAGE, équipe DynEnVie), Bruno Andrieu (EcoSys)

Sujet de stage : Estimation de paramètres pour un modèle de dynamique de croissance du maïs

Contexte des modèles de plantes en agro-écologie : L'architecture des plantes détermine de nombreuses interactions avec l'environnement, comme par exemple la captation de la ressource lumineuse. Les modèles de fonctionnement de plantes doivent donc simuler la dynamique d'extension des organes aériens au cours du temps ainsi que les facteurs déterminant les dimensions des organes successifs. Les modèles usuels supposent que la croissance de chaque organe (feuille, entrenœud) suit un calendrier fixe en temps thermique et que les conditions de croissance modulent uniquement les vitesses d'expansion ; toutefois cette stabilité temporelle n'est qu'approximative : on observe que des régulations des durées de croissance peuvent amplifier ou au contraire compenser les variations de vitesse d'expansion. Identifier les mécanismes à l'origine de ce « calendrier » relativement stable et les limites de ces régulations permettrait de comprendre l'émergence des patterns de dimension des organes successifs et leur plasticité en réponse à l'environnement. L'hypothèse que nous étudions est l'existence de coordinations entre les croissances des organes successifs, dans lequel la dimension atteinte par un organe – relativement à celle des organes plus anciens – régule sa croissance (Casey et al 1998, Fournier et al 2005, Andrieu et al 2006, Verdenal et al 2008). Nous avons développé un modèle de maïs exprimant ces hypothèses (Zhu et al 2014 ; Vidal et al 2018) et acquis des jeux de données permettant d'évaluer son comportement.

Dans ce contexte, **l'objectif du stage est de** (i) développer des méthodes permettant l'estimation des paramètres à partir de données expérimentales (ii) automatiser ces méthodes.

Aspects mathématiques : Le modèle est un modèle d'équations différentielles ordinaires par morceaux. L'aspect non linéaire, dynamique et fortement interconnecté du modèle rend l'estimation des paramètres délicate. Deux approches, développées au sein de l'équipe DynEnVie, seront envisagées, adaptées et mises en œuvre selon leur pertinence

- une approche paramétrique dans laquelle des variables latentes seront intégrées au modèle de maïs et les paramètres seront estimés par maximum de vraisemblance via des algorithmes stochastiques.

- une approche non paramétrique où on estime conjointement la projection des trajectoires du modèle dans une base fonctionnelle adaptée et les paramètres du modèle, adaptée de Ramsay et al. 2005.

Compétences recherchées : M2 ou équivalent, formation en statistiques appliquées intéressé(e) par les applications en agronomie et sciences du végétal, ou formation en agronomie/sciences du végétal avec de fortes compétences en biostatistiques et modélisation. La maîtrise de la programmation dans l'un ou plusieurs des langages ou environnements C++, R ou Matlab est indispensable.

Références bibliographiques

Zhu, J., Andrieu, B., Vos, J., van der Werf, W., Fournier, C., Evers, J.B., 2014. Towards modelling the flexible timing of shoot development: simulation of maize organogenesis based on coordination within and between phytomers. *Annals of Botany* 114, 753–762. doi:10.1093/aob/mcu051

Vidal, T., Dillmann, C., Andrieu, B., 2018. A coordination model captures the dynamics of organ extension in contrasted maize phenotypes. In: Song, Y., Louarn, G. (Eds.), 6th International Symposium on Plant Growth Modelling, Simulation, Visualization and Application (PMA2018), Hefei, China.

Ramsay, J. O., Hooker, G., Campbell, D., & Cao, J. (2007). Parameter estimation for differential equations: a generalized smoothing approach. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 69(5), 741-796.

Allasonnière, S., Kuhn, E. (2015). Convergent Stochastic Expectation Maximization algorithm with efficient sampling in high dimension. Application to deformable template model estimation. *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 91, 4-19.

Contacts :

Béatrice Laroche beatrice.laroche@inra.fr , **Estelle Kuhn** estelle.kuhn@inra.fr