

Sujet : Modélisation structure-fonction des interactions plante-plante et bilan carbone-azote des associations à base de légumineuses à grande échelle

PhD proposal: Functional-structural modelling of plant-to-plant interactions and C, N budget in legume-based associations.

PhD granted by Convergence Institut CLAND¹ and the INRAE DIGIT-BIO metaprogramm²

Résumé

L'association d'une culture avec une légumineuse est un levier majeur pour réduire notre dépendance aux engrais de synthèse. Une telle pratique agroécologique modifie considérablement le bilan global de carbone (C) et d'azote (N) au sein de l'agroécosystème. Cependant, les conséquences que cela peut avoir sur le climat mondial restent incertaines en raison de notre faible compréhension des changements physiologiques des plantes. Par exemple, la réduction des émissions de N₂O prétendument causée par la réduction des apports d'azote minéral peut dépendre fortement de la quantité et de la concentration en azote des résidus de légumineuses générés au fil du temps. Pour comprendre comment les associations de légumineuses seront bénéfiques pour le climat, il faut donc (beaucoup) mieux comprendre comment l'acquisition et l'allocation des ressources en C et en N par les plantes sont modifiées par les interactions entre plantes.

L'un des défis à relever pour améliorer les modèles de surface et de climat à grande échelle est l'intégration multi-échelle des processus, du génotype à l'échelle mondiale (Peng et al., 2020). Des résultats récents ont montré l'intérêt de la modélisation des cultures intégrant les interactions entre la culture, l'environnement et la gestion pour améliorer les simulations à l'échelle mondiale (Müller et al., 2019 ; Wu et al., 2016). En revanche, la prise en compte de la sous-échelle pour l'intégration des processus physiologiques fins est encore peu explorée. Pourtant, l'utilisation de modèles de plantes tels que les Functional-Structural Plant Models (FSPM) ou modèles structure-fonction, intégrant les processus de l'organe à la plante, représente une opportunité pour aborder des questions telles que l'amélioration de la simulation des interactions entre C et N en réponse au stress et à la gestion (Peng et al., 2020).

Le sujet du doctorat présenté ici propose de répondre à ce défi dans le cas d'une association entre un colza et une légumineuse dans un contexte de diversification des cultures pour l'agroécologie. L'objectif est d'améliorer la modélisation de la gestion du C et du N au sein du système plante-sol. À cette fin, le doctorant aura à prendre en main le modèle mécaniste développé au sein de l'équipe et qui simule les interactions plante-plante pour le C et l' N sur l'ensemble du cycle de culture. Le doctorant aura à améliorer le modèle notamment la régulation de l'architecture 3D des plantes en fonction de leurs ressources en C et N et des conditions environnementales, tout en maintenant l'efficacité des calculs pour permettre la simulation des associations dans un temps raisonnable ce qui constituera un résultat original de la thèse. Le modèle sera ensuite calibré pour des cultures en

¹ <https://cland.lsce.ipsl.fr/>

² <https://www.inrae.fr/nous-connaitre/metaprogrammes#digitbio> (Digital biology for exploring and predicting life)

peuplement pur et en association avec une légumineuse, puis utilisé pour simuler l'effet de la compétition sur le rendement mais aussi sur des variables d'état telles que la dynamique de la surface foliaire, la biomasse végétale, la distribution de l'azote dans la canopée et les résidus des pousses et des racines sur l'ensemble du cycle de culture. Dans un troisième temps, une approche de méta-modélisation sera développée afin de simplifier le FSPM, de sorte qu'il puisse rapidement générer une simulation fiable de ces variables en fonction des conditions de croissance de la plante à une plus grande échelle. Cette approche permettra une connexion plus facile aux modèles régionaux ou globaux de surface terrestre tels que ORCHIDEE (Krinner et al., 2005). Le doctorat visera à produire un modèle végétal aussi générique que possible, en utilisant la combinaison colza/féverole comme étude de cas.

A terme, ce nouveau modèle simulera comment les associations de légumineuses peuvent modifier le rendement des plantes et la production de biomasse, la morphologie des plantes et le bilan de C et N dans le système sol-plante. Cela améliorera considérablement notre compréhension du fonctionnement des associations de plantes, et permettra également une meilleure intégration de la plasticité des plantes et de la dynamique du C et du N dans le contexte de l'association culture-légumineuse dans les modèles de surface à grande échelle.

Encadrement de la thèse

Directrice de thèse : A. Jullien (PR AgroParisTech, UMR INRAE AgroParisTech Université-Paris Saclay Ecosys, ecophysiology), alexandra.jullien@agroparistech.fr

Co-encadrants :

- UMR INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Ecosys

C. Richard-Molard, CR INRAE, ecophysiology, celine.richard-molard@inrae.fr

F. Rees, CR INRAE, plant-soil interactions, Frederic.rees@inrae.fr

- UMR INRAE, CIRAD, INRIA, AGAP

C. Pradal, CIRAD researcher, math-info, Christophe.pradal@cirad.fr

Ecole doctorale :

ED ABIES, AgroParisTech Université- Paris-Saclay

Candidatures et profil recherché :

- Les candidatures sont ouvertes immédiatement pour un recrutement dès identification du candidat.
- Candidatures par CV et lettre de motivation à envoyer aux encadrants indiqués.
- Profil recherché : ecophysiologiste/agronome/biologiste modélisateur avec un goût pour les approches systémiques ou modélisateur math/info avec une expérience et des connaissances solides en écophysiologie ou biologie.

References

- Barillot R, Combes D, Chevalier V, Fournier C, Escobar-Gutiérrez AJ. 2012. How does pea architecture influence light sharing in virtual wheat-pea mixtures? A simulation study based on pea genotypes with contrasting architectures. *AoB plants* 2012, pls038.
- Braghiere, R., Gérard, F., Evers, J., Pradal, C., Pages, L. 2019. Simulating the effects of water limitation on crop biomass production using a functional-structural plant 3D model of shoot and root driven by soil hydraulics. *Annals of Botany*.
- Jullien A, Allirand JM, Mathieu A, Andrieu B, Ney B. 2009. Variations in leaf mass per area according to N nutrition, plant age, and leaf position reflect ontogenetic plasticity in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research* 114, 188-197.

- Louarn, G., & Faverjon, L. (2018). A generic individual-based model to simulate morphogenesis, C-N acquisition and population dynamics in contrasting forage legumes. *Annals of Botany*, 121(5), 875–896. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx154>
- Mathieu, A., Vidal, T., Jullien, A., Wu, Q., & Cournede, P.-H. (2017). Sensitivity analysis to help individual plant model parameterization for winter oilseed rape. In *Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Functional-Structural Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications, FSPMA 2016*. <https://doi.org/10.1109/FSPMA.2016.7818299>
- Peng, B., Guan, K., Tang, J. et al. Towards a multiscale crop modelling framework for climate change adaptation assessment. *Nat. Plants* 6, 338–348 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0625-3>
- Richard-Molard C, Brun F, Chelle M, Ney B. 2009. Modelling N nutrition impact on plant functioning and root architecture in various genotypes of *Arabidopsis thaliana*. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology* 153, S229–S229.
- M ller, C., Elliott, J., Kelly, D. et al. The Global Gridded Crop Model Intercomparison phase 1 simulation dataset. *Sci Data* 6, 50 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0023-8>
- Wu, X., N. Vuichard, P. Ciais, N. Viovy, N. de Noblet-Ducoudr , et al.. ORCHIDEE-CROP (v0), a new process-based agro-land surface model: model description and evaluation over Europe. *Geoscientific Model Development*, European Geosciences Union, 2016, 9 (2), pp.857 - 873. [ff10.5194/gmd-9-857-2016](https://doi.org/10.5194/gmd-9-857-2016). [ffhal-01587289f](https://doi.org/10.5194/gmd-9-857-2016)
- G. Krinner, N. Viovy, N. de Noblet-Ducoudr , J. Og e, J. Polcher, et al.. A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system. *Global Biogeochemical Cycles*, American Geophysical Union, 2005, 19 (GB1015), 1   33 p.