

PROPOSITION DE STAGE DE MASTER 2024-2025

Assimilation de données de phénotypage numérique par deep learning pour la simulation d'un modèle Structure-Fonction 3D d'arbres fruitiers

Lieu : Montpellier – UMR AGAP

Niveau : Stage de fin d'études BAC + 5

Durée et période : 6 mois, début de stage entre janvier et avril 2025

Contexte et problématique :

Pour analyser finement le fonctionnement et la croissance des plantes, les modèles structure-fonction de plantes (FSPM) prennent en compte la structure modulaire des plantes, leur distribution spatiale 3D, leur fonctionnement interne en interaction avec l'environnement (Prusinkiewicz, 2004 ; Fourcaud et al., 2008 ; Louarn et Song 2020). Leur développement est motivé par l'idée que la structure tridimensionnelle des plantes forme son interface avec l'environnement et module sa croissance et sa productivité (Costes et al., 2006). Ils ont notamment été utilisés pour la modélisation d'arbres fruitiers (Costes et al., 2008 ; Allen et al., 2005 ; Lescourret et al., 2011 ; Boudon et al., 2020) chez lesquels la compétition interne pour les ressources entre organes nécessite d'avoir des représentations dynamiques spatialisées. Un verrou majeur de cette approche est la paramétrisation du modèle qui rend difficile son adoption pour construire des outils d'aide à la décision pour la gestion des vergers (DeJong, 2019) et plus généralement qui freine son utilisation dans la communauté scientifique.

La télédétection, couplée au traitement de données par deep learning, ont un potentiel important pour aider à la caractérisation du fonctionnement et de la croissance des plantes et donc paramétrer de tels modèles. En particulier, la disponibilité récente de caméras (RGB, Lidar, thermique, etc.) et vecteurs (drone, phéno-mobile, etc) permet d'envisager des solutions innovantes pour le phénotypage haut débit et le suivi des cultures. Récemment de nombreuses initiatives visent à automatiser le phénotypage des plantes, mais se concentrent sur un ensemble limité de traits, souvent peu compatible avec la définition d'un FSPM (Streit et al., 2023). L'objectif de ce stage est de rapprocher méthodes de phénotypage haut débit des vergers et construction d'un modèle 3D détaillé d'arbres fruitiers, en prenant comme cas d'application les pommiers.

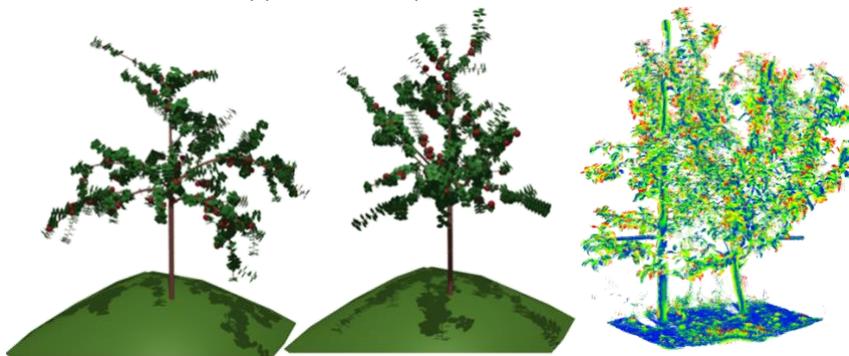


Figure : A gauche, simulations du développement de l'architecture 3D de pommiers réalisées par le modèle MAppleT. A droite, un scan Lidar de pommier en verger. Le but du projet est d'extraire du scan Lidar les paramètres du modèle de simulation pour reproduire la diversité des formes observées.

Objectifs généraux du stage / Résultats attendus :

L'objectif premier de ce stage sera d'extraire des règles de développement et de ramification à partir de reconstructions 3D issues de scans LiDAR en hiver par des méthodes d'assimilation de données, basées sur du machine ou deep learning (i.e. CNNs, RNNs, LSTMs et Transformers). Le second objectif sera de réaliser une première étape de reformulation d'un modèle FSPM d'arbre fruitier, MAppleT (Costes et al., 2008) pour préparer son couplage avec les données numériques issues de différents protocoles d'acquisition (LiDAR, imagerie aéroportée).

Déroulement du stage :

- Le stage débutera par une analyse bibliographique des traits accessibles par phénotypage pour la modélisation structure-fonction. Un bilan sera fait des différents traits mesurés par phénotypage LiDAR et imagerie qui seront mis en regard des paramètres des modèles de simulation. En particulier, les aspects de topologie de l'architecture des arbres, notamment leur ramification seront analysés.
- A partir de reconstructions issues de scans LiDAR en hiver, des méthodes d'assimilation de données, basées sur des méthodes de machine ou deep learning, pour permettre de reproduire les séquences d'événements développementaux observées en fonction des génotypes, seront développées. Pour modéliser et simuler ces séquences, différents types d'architecture de réseaux seront testés, (i.e. CNNs, RNNs, LSTMs et Transformers). Les séquences déduites de la reconstruction 3D devront prendre en compte l'incertitude des mesures. Les modèles initiaux de séquences de ramification, construits à partir de modèles de semi chaînes de Markov cachées, seront utilisés pour pré-entraîner les modèles de réseaux. Ceux-ci seront évalués pour leur capacité à prendre en compte les effets génotypiques.
- Le FSPM MappleT sera ensuite modifié pour prendre en compte ce nouveau type de modélisation des paramètres de ramification, basé sur la donnée. Des validations en termes de quantité d'organes reconstruites, de volume de plantes, etc. seront mise en place.

Profil recherché :

- Dernière année de Formation Supérieure BAC + 5
- Connaissances : Master en maths-infos, programmation en langage Python, des connaissances en statistiques seront appréciées
- Compétences opérationnelles : Goût pour le travail en équipe et l'inter-disciplinarité
- Langues : français, anglais

Conditions de stage :

- Indemnité selon la réglementation en vigueur pour 2024 (environ 600 €/mois)
- Accès au restaurant d'entreprise du CIRAD le midi (hors situation de télétravail) avec un tarif subventionné

Encadrement et contact :

Frédéric Boudon – Chercheur Cirad (UMR AGAP Institut) - frederic.boudon@cirad.fr
Jean Baptiste Durand – Chercheur Cirad (UMR AMAP) - Jean-Baptiste.Durand@cirad.fr
Evelyne Costes – Chercheur Inrae (UMR AGAP Institut) - evelyne.costes@inrae.fr

Candidatures (CV, lettre de motivation et dates de disponibilité) à envoyer avant le 10/12/2024.

Publications de l'équipe d'accueil et/ou relative au sujet (et/ou au projet dans lequel s'insère le stage) :

Coupel-Ledru, A., Pallas, B., Delalande, M., Boudon, F., Carrié, E., Martinez, S., ... & Costes, E. (2019).

Multi-scale high-throughput phenotyping of apple architectural and functional traits

Boudon F., Preuksakarn C., Ferraro P., Diener J., Nacry P., Nikinmaa E., Godin C (2014) Quantitative assessment of automatic reconstructions of branching systems obtained from laser scanning. *Annals of Botany*, 114 (4) : pp. 853-862.

Costes, E., Smith, C., Renton, M., Guédon, Y., Prusinkiewicz, P., & Godin, C. (2008). MAppleT: simulation of apple tree development using mixed stochastic and biomechanical models. *Functional Plant Biology*, 35(10), 936-950.

Boudon, F., Prusinkiewicz, P., Federl, P., Godin, C., & Karwowski, R. (2003). Interactive design of bonsai tree models. In *Computer Graphics Forum* (Vol. 22, No. 3, pp. 591-599). Oxford, UK: Blackwell Publishing, Inc.