



PROPOSITION DE STAGE 2023-2024

Le GIS Fruits souhaite soutenir des stages étudiants de 6 mois, niveau Master 2 sur le thème des fruits et offre pour cela de financer des bourses de stages réalisés dans des labos INRAE. Le sujet proposé doit :

- i) s'inscrire dans les axes thématiques du GIS,
- ii) être construit en partenariat entre au moins 3 membres du GIS*,
- iii) le stagiaire doit être encadré par un maître de stage INRAE.

* Les trois partenaires proposant le stage ne doivent pas appartenir à la même unité.

>Axes thématiques du GIS : <http://www.gis-fruits.org/Le-GIS-Fruits/Axes-thematiques>

>Partenaires du GIS : <http://www.gis-fruits.org/Le-GIS-Fruits/Membres-fondateurs>

Organismes partenaires : (1) INRAE (2) CIRAD (3) Institut Agro

Dont l'école membre du GIS le cas échéant : Institut Agro

Lieux du stage : Montpellier – UMR AGAP

Durée : 6 mois

Dates : Mi-Février à Mi-Aout 2024

Niveau : Stage de fin d'études BAC + 5 (Option Ingénieur, ou Master 2)

Profil du stage : Recherche appliquée

Date de diffusion : 20/10/2023

INTITULE DU STAGE : Transformation d'un modèle Structure fonction de pommier pour l'assimilation de données de phénotypage numérique

Contexte et problématique : Les modèles fonctionnels-structuraux de plantes (FSPM) prennent en compte la structure modulaire des plantes, leur fonctionnement interne et l'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.

Le développement de FSPM répond à trois objectifs principaux (Louarn et Song 2020):

- Intégrer les connaissances de différentes disciplines, notamment la biologie végétale, la biophysique, l'écologie et l'informatique ;
- Comprendre le fonctionnement des plantes à différentes échelles, du méristème aux communautés végétales ;
- Développer des modèles prédictifs ou explicatifs pour répondre à des enjeux sociétaux tel que la modélisation des plantes dans des environnements spécifiques (panneaux photovoltaïques, serres, vergers, etc.), la compétition pour les ressources, l'introduction de perturbations (taille, bioagresseurs, etc.) et la définition d'idéotypes pour les sélectionneurs.

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. 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)

Objectifs généraux du stage / Résultats attendus :

L'objectif de ce stage 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 des données numériques issues de différents protocoles d'acquisition (LiDAR, imagerie aéroportée).

Les résultats attendus portent sur

- (1) l'évaluation de la faisabilité de reproduire les séquences d'événements développementaux observées en fonction de géotypes différents à partir de reconstructions 3D issues de scans LiDAR en hiver et par des méthodes d'assimilation de données, basées sur du machine ou deep learning (i.e. CNNs, RNNs, LSTMs et Transformers).
- (2) la ré-écriture des règles de développement et de ramification d'un modèle FSPM de pommier de façon à pouvoir les paramétrer automatiquement à partir de données issues du phénotypage.

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

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.

Boudon, F., Persello, S., Jestin, A., Briand, A. S., Grechi, I., Fernique, P., ... & Normand, F. (2020). V-Mango: a functional-structural model of mango tree growth, development and fruit production. *Annals of Botany*, 126(4), 745-763.

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.

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 in orchard reveals genotypic variability under contrasted watering regimes. *Horticulture research*, 6.

ACTIVITES DOMINANTES CONFIEES AU STAGIAIRE :

- Le stage débutera par une analyse bibliographique des traits accessibles par phénotypage pour la modélisation. 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.

- La modification du FSPM MappleT portera principalement sur les paramètres des règles de développement et de ramification des méristèmes formalisées pour l'instant par des règles stochastiques dans le modèle pommier. A partir de reconstructions construites issues de scans LiDAR en hiver, des méthodes d'assimilation de données, basées sur du machine ou deep learning, pour permettre de reproduire les séquences d'événements développementaux observées en fonction des géotypes 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.

PROFIL REQUIS :

- 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
- Permis de conduire (le cas échéant) : pas nécessaire

INDEMNISATION (SUR BUDGET INRAE-GIS FRUITS) :

Selon la réglementation en vigueur pour 2024 (environ 600 €/mois)

AVANTAGES PROPOSES (le cas échéant) :

- logement : Non
- restauration : accès au restaurant d'entreprise du CIRAD le midi (hors situation de télétravail) avec un tarif subventionné
- déplacements : Si nécessaire pris en charge par frais de mission

CONTACT MAITRE DE STAGE INRAE :

(1) Maître de stage INRAE (obligatoire)

Nom et fonction du responsable à contacter :

Evelyne Costes (DR, INRAE)

DUA de l'UMR AGAP, Membre de l'équipe AFEF

Adresse : Avenue Agropolis - 34398 Montpellier Cedex 05, France

Tél. : 04 67 61 75 08

Site web (équipe et/ou projet) : <https://umr-agap.cirad.fr/nos-recherches/equipes-scientifiques/architecture-et-floraison-des-especes-fruitieres/contexte-et-enjeux>

Mail : evelyne.costes@inrae.fr

Publications citées :

Allen, M. T., Prusinkiewicz, P., & DeJong, T. M. (2005). Using L-systems for modeling source–sink interactions, architecture and physiology of growing trees: the L-PEACH model. *New phytologist*, 166(3), 869-880.

Costes E., Lauri P.E., Régnard, J.L. 2006 Tree Architecture and Production. In *Horticultural Reviews* 32: 1-60.

DeJong, 2019, Opportunities and challenges in fruit tree and orchard modelling, *Eur. J. Horticult. Sci*

Fourcaud, T., Zhang, X., Stokes, A., Lambers, H., & Körner, C. (2008). Plant growth modelling and applications: the increasing importance of plant architecture in growth models. *Annals of Botany*, 101(8), 1053-1063.

Lescourret, F., Moitrier, N., Valsesia, P., & Génard, M. (2011). QualiTree, a virtual fruit tree to study the management of fruit quality. I. Model development. *Trees*, 25(3), 519-530.

Louarn, G., & Song, Y. (2020). Two decades of functional–structural plant modelling: now addressing fundamental questions in systems biology and predictive ecology. *Annals of Botany*, 126(4), 501-509.

Prusinkiewicz, P. & Lindenmayer, A. (1990). *The algorithmic beauty of plants* (Vol. 1). New York: Springer-Verlag.

Streit K., Vilfan N., de Visser P., Evers J.B., 2023. From functional-structural tomato model to tomato digital twin. *Proceedings of FSPM 2023*.

Validation du financement de l'offre de stage : GIS Fruits

Adresser la fiche de la proposition de stage à : gis.fruits@inrae.fr avant le 6 octobre 2023 minuit.

Remplir obligatoirement l'annexe en page suivante.

Annexe obligatoire
Document interne à destination du GIS
Ne pas diffuser

Ces renseignements complémentaires permettront au GIS Fruits d'évaluer l'éligibilité de votre projet. Nous vous demandons notamment de préciser le rôle et l'implication des trois partenaires requis. Une réponse courte en 3 à 4 lignes sera suffisante.

En cas d'un grand nombre de demandes, nous nous réservons la possibilité de ne pas financer

- les équipes ayant encadré plusieurs Master successifs sur le même sujet,
- les équipes ayant encadré un Master en 2022 ou 2023 et n'ayant pas fourni le rapport,
- les équipes ayant encadré un Master sans partenaire du GIS en 2022 ou 2023.

(1) Maître de stage INRAE (obligatoire)

Nom du responsable : Evelyne Costes (DR, INRAE)

Rôle et implication dans l'encadrement de l'étudiant : Co-encadrement avec les partenaires

Votre équipe a-t-elle déjà bénéficié d'une bourse de Master sur le même sujet de la part du GIS Fruits ? Non

(2) Partenaire n°2

Organisme : CIRAD

Nom et fonction du responsable à contacter : Jean-Baptiste Durand

Mail : jean-baptiste.durand@cirad.fr

Adresse : UMR AMAP, 2196 Boulevard de la Lironde,
34980 Montferrieux-sur-Lez

Rôle et implication dans l'encadrement de l'étudiant ou dans le déroulement du stage :

Analyse statistique des patterns de ramification

Organisme : CIRAD

Nom et fonction du responsable à contacter : Frédéric Boudon (Chercheur)

Mail : frederic.boudon@cirad.fr

Adresse : UMR AGAP, Avenue Agropolis
34398 Montpellier Cedex 05, France

Rôle et implication dans l'encadrement de l'étudiant ou dans le déroulement du stage :

Analyses d'images, fonctionnement du pipeline d'analyses et du réseau CNN

Organisme : CIRAD

Nom et fonction du responsable à contacter : Grégory Beurier (Chercheur)

Mail : gregory.beurier@cirad.fr

Adresse : UMR AGAP, Avenue Agropolis
34398 Montpellier Cedex 05, France

Rôle et implication dans l'encadrement de l'étudiant ou dans le déroulement du stage :

Méthodes d'assimilation de données, machine et deep learning (i.e. CNNS, RNNs, LSTMs et Transformers)

(3) Partenaire n°3

Organisme : Institut Agro

Nom et fonction et du responsable à contacter : Isabelle Farrera

Mail : isabelle.farrera@supagro.fr

Adresse : UMR AGAP, Avenue Agropolis
34398 Montpellier Cedex 05, France

Rôle et implication dans l'encadrement de l'étudiant ou dans le déroulement du stage :

Observation des arbres, définition des « vérités terrain » pour l'entraînement des modèles d'apprentissage profond

(4) Partenaire n°4 (facultatif)