

Révision de la fonction d'allocation du carbone du modèle V-Mango pour une meilleure prise en compte de l'effet des relations source-puits sur la croissance des fruits

Lieu : Montpellier (avec possiblement une mission à la Réunion)

Niveau : BAC + 5

Durée et période : 6 mois, début de stage entre janvier et mars 2024

Mots clés : Modélisation spatialisée, Méthode d'Allocation, Analyse de sensibilité, Assimilation de données, FSPM, *Mangifera indica*

Structure d'accueil

Le Cirad, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (<https://www.cirad.fr/>), est un organisme scientifique spécialisé en agriculture dans les régions tropicales et subtropicales. Il a pour mission de contribuer au développement agricole des pays chauds par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation et l'information scientifique et technique. Le stage se déroulera à Montpellier, au sein des unités de recherche HortSys (<https://ur-hortsys.cirad.fr/>) et AGAP Institute (<https://umr-agap.cirad.fr/>). Une courte mission à la Réunion est envisagée au cours du stage, selon l'avancement du projet.

Contexte de l'étude

Chez de nombreuses espèces fruitières, il a été signalé que les relations source-puits affectent sur la croissance des fruits. La quantité des assimilats carbonés synthétisés par les feuilles (les sources) qui est fournie aux fruits (les puits) dépend de l'équilibre entre l'offre des sources et la demande des puits. Chez le pêcher par exemple, la masse des fruits dépend non seulement des assimilats carbonés produits par la photosynthèse des feuilles situées à proximité immédiate du fruit, mais aussi des assimilats carbonés provenant de parties plus éloignées de l'arbre (Marini et Sowers, 1994). Chez le manguier, de précédentes études suggèrent une autonomie partielle des charpentières et des branches fruitières (Grechi et Normand, 2019), tandis que d'autres études suggèrent un échange de carbone entre les différentes parties de l'arbre à un niveau global (Stassen et Janse van Vuuren, 1997). Cette étude a pour but **d'évaluer comment les relations source-puits d'une échelle locale (branche) à une échelle globale (arbre) affectent la croissance des fruits chez le manguier**. Étant donné les interactions entre les processus qui se produisent à différentes échelles, la modélisation apparaît comme une approche méthodologique intégrative puissante pour aborder cette question.

Une approche de modélisation sera développée et utilisée comme cadre d'intégration pour analyser un ensemble de données acquises à différentes échelles. Ces **données** sont issues de plusieurs expérimentations et mesures réalisées sur des manguiers (cv Cogshall) à la Réunion i) pour **quantifier les sources et puits de carbone** de l'échelle locale des axes feuillés jusqu'à l'échelle globale de l'arbre (topologie des branches et charpentières, caractérisation des axes feuillés et de leur environnement lumineux, nombre et répartition des fruits dans l'arbre, croissance des fruits, etc) ; ii) pour numériser **l'architecture 3D** de la partie aérienne d'un arbre adulte ; et iii) pour acquérir une **cartographie dynamique de la biomasse sèche et des sucres non structuraux** dans les différents compartiments d'arbres adultes au cours d'un cycle de production. Le cadre de modélisation s'appuiera sur un **modèle structure-fonction du manguier** (V-Mango : Boudon et al 2020 ; Vaillant et al., 2022) qui a été développé pour simuler le développement architectural de l'arbre et la production de fruits. La version actuelle du modèle considère l'arbre comme un ensemble de branches fruitières indépendantes. La modélisation de la croissance des fruits est basée sur un modèle d'allocation de carbone paramétré à l'échelle individuelle des branches fruitières. En particulier, les échanges de carbone des axes feuillés individualisés vers les fruits environnants utilisent une version simplifiée de la **fonction d'allocation basée sur la distance** proposée dans des travaux antérieurs (Reyes et al., 2020, Lescourret et al., 2011). Toutefois, ils restent limités à des échanges au sein de branches fruitières indépendantes. Du point de vue de la modélisation, le défi consistera à définir un modèle

multi-échelle de la structure de la plante et à **formaliser les échanges de carbone à différentes échelles** (locale et globale). L'intensité des échanges dépendra de l'équilibre entre l'offre des sources et la demande des puits, ainsi que des distances entre les organes. Pour cela, les méthodes d'estimation des distances entre organes dans le graphe de l'arborescence seront adaptées pour prendre en compte les informations multi-échelles.

L'approche intégrative s'appuyant sur V-Mango permettra d'étudier plus en profondeur les processus liés au carbone, des axes feuillés à l'arbre entier, et de quantifier les effets des relations source-puits, et d'autres facteurs structurels, environnementaux ou biotiques, sur **l'hétérogénéité de la masse des fruits à la récolte**. L'intégration de ces connaissances et leur formalisation dans le modèle V-Mango ouvrira un large éventail d'applications. En particulier, V-Mango sera mobilisé pour quantifier *in silico* l'effet de certaines pratiques culturales ou de certains bio-agresseurs affectant les sources ou les puits.

Objectif et déroulement du stage

L'étudiant formalisera et étudiera les effets des relations source-puits d'une échelle locale (axes feuillés, branche) à une échelle globale (arbre) sur la croissance des fruits en utilisant le modèle V-Mango et les ensembles de données disponibles. V-Mango, basé sur Jupyter notebooks et Python, est disponible sur un environnement de modélisation virtuel (vmango-lab ; <https://github.com/fredboudon/vmango-lab>) qui permet de travailler de manière distribuée et collaborative. Plus spécifiquement, le travail de l'étudiant consistera en les tâches suivantes :

- **Structuration des données** pour les rendre facilement utilisables pour les applications de modélisation. Les résultats expérimentaux et la description des architectures doivent être convertis en une base de données structurelle et temporelle compatible avec une représentation multi-échelle, en utilisant, par exemple, des graphes arborescents multi-échelles (MTG).
- Révision **de la formalisation des processus liés au carbone** de V-Mango :
 - Extension de la fonction d'allocation basée sur la distance afin de prendre en compte les relations multi-échelles pour l'allocation du carbone entre sources et puits.
 - Optimisation du calcul des distances entre les organes en utilisant des relations multi-échelles.
 - Intégration de nouveaux compartiments de réserve pour représenter les racines et le vieux bois.
- **Recalibrage** du modèle, en tenant compte du fait que le nombre d'organes, qui définissent les compartiments pour la procédure d'allocation, peut varier au cours de la simulation.
- **Analyse de sensibilité** du comportement du modèle en utilisant des architectures de manguiers observées et simulées :
 - Évaluation de l'importance des différents paramètres du modèle.
 - Quantification et comparaison des échanges de carbone à différentes échelles.
 - Quantification des effets des relations source-puits, modifiés par des pratiques culturales ou bio-agresseurs, sur la variabilité de la masse individuelle des fruits à la récolte.

Profil recherché :

- Niveau Master (Bac+5)
- Statisticien(ne)/informaticien(ne) avec un goût pour la biologie, ou agronome/éco-physiologiste avec des connaissances solides en informatique et en statistiques
- Bonnes notions de modélisation et de programmation, et connaissance du langage Python
- Aptitude à travailler en équipe pluridisciplinaire (agronomes, informaticiens)

Conditions de stage :

Indemnité mensuelle selon les textes en vigueur et tickets restaurant.

Mission à la Réunion : billet d'avion pris en charge et aide au logement par le Cirad.

Renseignements sur le stage et contact :

Isabelle Grechi – Chercheuse Cirad (UR HortSys), Montpellier

isabelle.grechi@cirad.fr

Tél : +33 4 67 59 39 39

Frédéric Boudon – Chercheur Cirad (UMR AGAP Institute), Montpellier

frederic.boudon@cirad.fr

Tél : +33 4 67 61 49 37

Candidatures (CV, lettre de motivation et dates de disponibilité) à envoyer avant le 10/12/2023.

References:

- Boudon F., Persello S., Jestin A., Briand A-S., Grechi I., Fernique P., Guédon Y., Léchaudel M., Lauri P-E., Normand F. (2020). V-Mango: A functional-structural model of mango tree growth, development and fruit production. *Ann. Bot.* 126: 745-763
- Grechi I., Normand F. (2019). Effect of source-sink relationships from the branch to the tree scale on mango fruit size and quality at harvest. *Acta Hort.*, 1244: 93-100.
- Léchaudel, M., Génard, M., Lescourret, F., Urban, L., and Jannoyer, M. (2005). Modeling effects of weather and source-sink relationships on mango fruit growth. *Tree Physiol.* 25, 583-597.
- Lescourret, F., Moitrier, N., Valsesia, P., and Génard, M. (2011). QualiTree, a virtual fruit tree to study the management of fruit quality. I. Model development. *Trees-Struct. Funct.* 25, 519–530.
- Marini, R.P., and Sowers, D.L. (1994). Peach fruit weight is influenced by crop density and fruiting shoot length but not position on the shoot. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(2), 180–184.
- Reyes, F., Pallas, B., Pradal, C., Vaggi, F., Zanotelli, D., Tagliavini, M., Gianelle, D., and Costes, E. (2020). MuSCA: a multi-scale source-sink carbon allocation model to explore carbon allocation in plants. An application to static apple tree structures. *Ann. Bot.* 126, 571-585.
- Stassen, P.J.C., Janse van Vuuren, B.P.H. (1997). Storage, redistribution and utilization of starch in young bearing “Sensation” mango trees. *Acta Hort.* 455:151-159.
- Vaillant J., Grechi I., Normand F., Boudon F. 2022. Towards virtual modeling environments for functional structural plant models based on Jupyter notebooks: Application to the modeling of mango tree growth and development. *in silico Plants*, 4(1), 2022, diab040