

English version below



Proposition de thèse (dans le cadre du projet Européen Agromix)

Approche probabiliste de la résilience des systèmes agroforestiers face au changement climatique par modélisation numérique.

Etat de la question

Le changement climatique s'exprime à la fois par des évolutions tendanciennes (hausse du CO₂, hausse des températures, changement des précipitations ou de leur distribution saisonnière, changement de la nébulosité et donc de la radiation au niveau des cultures) dont la prédiction par les modèles climatiques est assez sûre, et des événements exceptionnels (gels, canicules, sécheresses précoces, vagues de chaleur) dont la prédiction est difficile.

Les impacts de ces phénomènes peuvent être contradictoires sur les plantes : la hausse des températures augmente la précocité des plantes, ce qui les rend plus sensibles à certains chocs tels que les gels tardifs, ou moins sensibles à d'autres, tels que les vagues de chaleur ou les sécheresses. La prédiction de l'impact du changement climatique est encore plus difficile pour les associations d'espèces, telles que celles rencontrées en agroforesterie. Dans les associations d'espèces, les relations entre plantes peuvent être décrites par les concepts de compétition (partage des ressources) et de facilitation (augmentation des ressources à partager) (Vandermeer, 1989). Le changement climatique impacte fortement ces deux aspects. La facilitation ne peut s'exprimer que si le contexte s'y prête : on le comprend aisément par exemple pour la fixation symbiotique de l'azote, qui conduit à des effets facilitatifs uniquement si le milieu est pauvre en azote. Le même raisonnement impose une approche probabiliste pour l'étude de l'impact du changement climatique. Seuls des modèles dynamiques qui prennent explicitement en compte les successions d'événements à un pas de temps cohérent avec leur expression (à minima le jour) peuvent rendre compte des interférences entre ces processus. Nous disposons d'un tel outil : le modèle de simulation numérique agroforestier HisAFE (Dupraz *et al* 2019) permet de prédire le comportement des parcelles agricoles, forestières et agroforestières à ce pas de temps, dans les conditions du changement climatique.

Méthodologie

Le modèle HisAFE sera utilisé pour simuler le comportement de systèmes agroforestiers face au changement climatique. Pour faire ce travail, la simulation de l'impact d'événements exceptionnels par le modèle devra être améliorée. Pour cela un dispositif de terrain original sera mis en place.

Un dispositif automatisé d'exclusion de pluie et de création de stress thermique sera mis en oeuvre sur le domaine de Restinclières. Ce dispositif sera constitué d'un abri roulant avec un toit transparent qui pourra être utilisé de deux manières : pendant les épisodes de pluie, pour les intercepter et créer ainsi des conditions de sécheresse ; pendant les journées chaudes, pour créer un effet de serre conduisant à des températures diurnes et/ou nocturnes plus élevées. Ce dispositif comprendra au moins deux abris mobiles, l'un en parcelle agricole, l'autre en parcelle agroforestière.

Le travail de thèse sera constitué des trois étapes suivantes :

Année 1 : Mise au point de méthodologies pour les simulations et l'expérimentation

- Identification de mécanismes de résilience des systèmes agroforestiers au changement climatique (via une analyse de sensibilité avec le modèle HisAFe)
- Production d'un jeu de simulations avec le modèle.
- Mise au point d'outils d'analyse des jeux de données virtuelles.
- Conception et préparation du dispositif expérimental d'exclusion de pluie et de création de stress thermiques.

Année 2 : Expérimentation au champ pilotée par le modèle

- Mise en oeuvre du dispositif d'exclusion de pluie et de création de stress thermiques.
- Identification des points de faiblesse du modèle, notamment sur la prise en compte des impacts microclimatiques des arbres sur les cultures (gelées noires et blanches, température et hygrométrie de l'air, température des cultures ombragées, modification du vent, infiltration, ruissellement)
- Test du modèle, amélioration du modèle, conduisant à une nouvelle version.

Année 3 : Analyse fréquentielle de l'impact du changement climatique par simulation numérique

Prise en compte simultanée des évolutions tendancielle et des événements exceptionnels qui caractérisent le changement climatique par de nouvelles expérimentations virtuelles. L'analyse de l'impact d'événements rares doit prendre en compte leur fréquence. On pourra donc simuler l'impact d'événements ayant des fréquences contrastées : ainsi, une vague de chaleur précoce et dangereuse pour la floraison des cultures pourrait survenir rarement (une fois tous les 10 ans) ou plus souvent (tous les 5 ans, tous les deux ans). L'impact sur le comportement du système sera-t-il très différent ? Du fait des effets mémoire des systèmes à base de pérennes (mécanismes de compensation et de réserves), nous pouvons nous attendre à des relations non linéaires entre la fréquence des événements extrêmes et la résilience du système, avec sans doute des seuils de fréquence au-delà desquels les systèmes ne peuvent plus s'adapter.

Compétences recherchées et procédure de recrutement

Le ou la candidate devra avoir de bonnes connaissances en mathématiques et une appétence pour la modélisation numérique et les méthodes d'analyse des données. Une expérience préalable avec des modèles de culture est un atout important. Pour la mise en place du dispositif d'interception de pluie, un bon esprit pratique est attendu ainsi que des compétences en suivi de projet (établissement des devis, planification du travail de plusieurs intervenants...). La seconde année comportera un travail de terrain (suivi de cultures) important.

Date de recrutement souhaitée : septembre 2021 à août 2024. Le recrutement peut être repoussé au plus tard en décembre 2021. Lieu de travail : INRAE, Montpellier, France

Financement : projet Européen AGROMIX <https://agromixproject.eu/>

Direction de thèse : Christian Dupraz / Marie Gosme (INRAE, UMR Absys)

Envoyer un CV et une lettre de motivation à christian.dupraz@inrae.fr

Références : Dupraz C, et al (2019) Hi-sAFe: A 3D Agroforestry Model for Integrating Dynamic Tree–Crop Interactions. Sustainability 11: 2293

Vandermeer JH (1989) The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, Cambridge, UK





Probabilistic approach to the resilience of agroforestry systems to climate change by numerical modelling.

Status of the issue

Climate change is expressed both by trends (increase in CO₂, increase in temperature, change in precipitation or its seasonal distribution, change in cloud cover and therefore in radiation received by crops), whose prediction by climate models is fairly certain, and exceptional events (frosts, heat waves, early droughts), whose prediction is difficult.

The impacts of these phenomena can be contradictory on plants: rising temperatures increase the earliness of plants, making them more sensitive to certain shocks such as late frosts, or less sensitive to others, such as heat waves or droughts. Predicting the impact of climate change is even more difficult for species associations, such as those found in agroforestry. In mixtures, the relationships between plants can be described by the concepts of competition (sharing resources) and facilitation (increase in the resources to be shared) (Vandermeer, 1989). Climate change has a strong impact on both aspects. Facilitation can only be expressed if the context lends itself to it: this is easily understood, for example, in the case of symbiotic nitrogen fixation, which leads to facilitative effects only if the environment is poor in nitrogen. The same reasoning imposes a probabilistic approach for the study of the impact of climate change. Only dynamic models that explicitly take into account the succession of events at a time step consistent with their expression (at least one day) can account for the interference between these processes. We have such a tool at our disposal: the numerical agroforestry simulation model HisAFé (Dupraz et al 2019) can be used to predict the behaviour of agricultural, forestry and agroforestry plots at this time step under climate change conditions.

Methodology

The HisAFé model will be used to simulate the behaviour of agroforestry systems under climate change. To do this work, the simulation of the impact of exceptional events by the model will have to be improved. For this purpose, an original field device will be set up.

An automated rain exclusion and thermal stress creation device will be implemented on the Restinclières estate. This device will consist of a rolling shelter with a transparent roof that can be used in two ways: during rain events, to intercept rain and thus create dry conditions; during hot days, to create a greenhouse effect leading to higher daytime and/or nighttime temperatures. The system will consist of at least two mobile shelters, one in an agricultural plot, the other in an agroforestry plot.

The thesis work will include the following three stages:

Year 1: Development of methodologies for simulations and experimentation

- Identification of the resilience mechanisms of agroforestry systems to climate change (sensitivity analysis with the HisAFé model)
- Production of a set of simulations with the model.
- Development of tools for analysing the virtual data sets.

- Design and preparation of the rain exclusion experimental set-up.

Year 2: Field experimentation driven by the model

- Implementation of the rain exclusion and thermal stress creation device.
- Identification of the model's weak points, in particular on the taking into account of the microclimatic impacts of trees on crops (black and white frosts, air temperature and hygrometry, temperature of shaded crops, wind modification, infiltration, runoff)
- Model testing, model improvement, leading to a new version.

Year 3: Frequency analysis of the impact of climate change by numerical simulation

Simultaneous evaluation of the impact of climate change (including both slow changes and exceptional events) will be performed through new virtual experiments with the improved model. The analysis of the impact of rare events must take into account their frequency. We will simulate the impact of events with contrasting frequencies: for example, an early heat wave that is dangerous for crop flowering could occur rarely (once every 10 years) or more often (every 5 years, every two years). Will the impact on the system behaviour be very different? Because of the memory effects within the system (eg soil and perennial plants reserves) we expect non-linear relationships between the frequency of extreme events and the resilience of the system, with frequency thresholds beyond which the systems can probably no longer adapt.

Desired skills and recruitment procedure

The candidate should have a strong background in mathematics and an interest in numerical modelling and data analysis methods (R software). Previous experience with crop models would be an important asset. For the implementation of the rain interception device, a good practical mind is expected as well as project management skills (preparation of estimates, planning of the work of several participants, etc.). The second year will include a significant amount of field work (crop monitoring).

Desired recruitment date: September 2021 to August 2024. Recruitment may be postponed until December 2021 at the latest

Funding: European project AGROMIX <https://agromixproject.eu/>

PhD supervisor: Christian Dupraz / Marie Gosme (INRAE, Montpellier, UMR Absys)

Location of the position : INRAE, Montpellier, France

Send a CV and a letter of motivation to christian.dupraz@inrae.fr

Références : Dupraz C, et al (2019) Hi-sAFe: A 3D Agroforestry Model for Integrating Dynamic Tree–Crop Interactions. *Sustainability* 11: 2293

Vandermeer JH (1989) *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press, Cambridge, UK

