

# Mathematics & Computer Science network for multiscale functional structural modelling of **Plants** within their agro-ecological systems (**MaCS4Plants**)

## Context and objectives

The CIRAD applied mathematics and computer sciences community (MIA) involved in plant functional and structural plant modelling and analysis (FSPM) was a pioneer in this field. Born with the appearance of the AMAP laboratory, this specific community, which became a UMR, has expanded over time and developed platforms and models that are worldwide recognised (AMAP software range, GreenLab model, OpenAlea platform).

This multidisciplinary theme faces with new socio-environmental, and hence scientific and methodological challenges. Firstly, with the rise of genotyping, the paradigm of varietal selection has changed significantly. Secondly, the challenges of adapting to climate change and agro-ecological transition have made the biological systems that need to be understood and improved more complex and diverse. Modelling of plants and stands, and in particular functional structural plant modelling (FSPM), is becoming essential, as it makes it possible to:

- i) integrate knowledge on the biological processes and scales on which plant adaptation to agro-climatic constraints and their genetic variability are played out;
- ii) mobilise this knowledge to support the improvement of plants and cropping systems via the prediction of varietal ideotypes or cropping optima that meet the objectives of production, ecosystem services and resilience to climate change.

The scientific challenges are numerous and interdisciplinary: how to process and analyse the huge volumes of data produced by the various sensors and simulation models? How to extract knowledge and produce knowledge? How to integrate this information obtained at different levels of observation? How to couple mechanistic models with empirical approaches obtained through learning? What tools should we mobilise or design and make available? How can we ensure the quality and appropriateness of the models' outputs with respect to the objectives?

Although skills exist in Montpellier and at CIRAD, they remain partial, highly fragmented and over-subscribed on various topics, making it impossible to respond effectively to these major issues. However, the international recognition of the work of the AMAP and AGAP units means that the BIOS department has real leadership potential in the field of structure-function analysis and modelling of plants in their complex agro-ecosystems in support of major socio-environmental issues, particularly in the South. Faced with the increasing competitiveness on the international scene, this potential requires the structuring of resources in terms of the distribution of roles, skills, interactions and the identification of future needs. A framework is proposed, at the initiative of the AGAP and AMAP units, central to this dynamic; it should involve, in the medium term, the Montpellier partnership community, and beyond. The framework is called MaCS4Plants, an

applied mathematical and computer sciences network for the multi-scale structure-function modelling of plants in their agro-ecosystem.

The scientific objectives, institutional strategy, missions and roadmap are briefly described below.

## Scientific objectives

The objectives of this local R&D network in applied mathematics and computer science around the modelling of complex biological systems are to

- Federate a dynamic and efficient panel of MIA skills, recognised and visible from the local to the international level.
- Structure a coherent and integrated software offer, managed from Montpellier.
- Animate local, national and international communities.
- Structure a training offer, particularly towards partners in the South.
- Mobilise skills for expertise and project development.

## Institutional strategy

With federating choices, the network will support the structuring and impact initiatives in the targeted disciplinary field at the level of BIOS department and whole CIRAD, and then more widely in Montpellier.

- At the technical and scientific level, it was agreed by AGAP and AMAP that the OpenAlea platform would be a centralising space hosting the AmapStudio tools.
- At the communication level, a common website presenting the system, its stakes, its technical and methodological offer and its field of application will be set up rapidly.
- At the inter-institutional level, particularly in Montpellier, the MUSE isite brings together several teams and UMRs that will be asked to join or contribute to this network.

## Missions

### A - Scientific outreach

The UMRs have a long experience of structural and FSPM approaches; they are based on pioneering and original positioning, making the most of advances in knowledge and techniques in the formal sciences and thematic advances. Today, the originality of the approaches is based on combined and mixed approaches. With the network, the scientific influence will benefit from software dissemination and scientific animation.

### B - Software development and dissemination of a virtual research environment

A virtual research environment (VRE) will bring together modelling and experimentation tools for

the structure-function modelling and simulation (FSPM) of plants in their agro-ecosystem. It will be mobilised and disseminated through the system's partnership network to ensure its impact and visibility and to strengthen its network of collaborations.

#### C - Animation of the community

The objective is to animate this research and technological community around the FSPMs at the internal, local, national and international levels by organising conferences, seminars, research schools and thematic training courses in the North and South. In terms of scientific animation, the members of the network, at the initiative of the international PMA and FSPM conferences, will have to consolidate this dynamic and to deploy it in a local context. The network will also facilitate software animation actions around the OpenAlea common platform, FSPMs models and tools, in the form of face-to-face workshops, webinars and during international conferences.

#### D - Training offer

The network's training offer will be aimed at biology and maths-info students and researchers. The objective is to train students in the North and South to mobilise them (internships, theses) and ensure the next generation of researchers in the field, as well as researchers for the culture of impact and the transfer of methods.

#### E- Expertise and project development

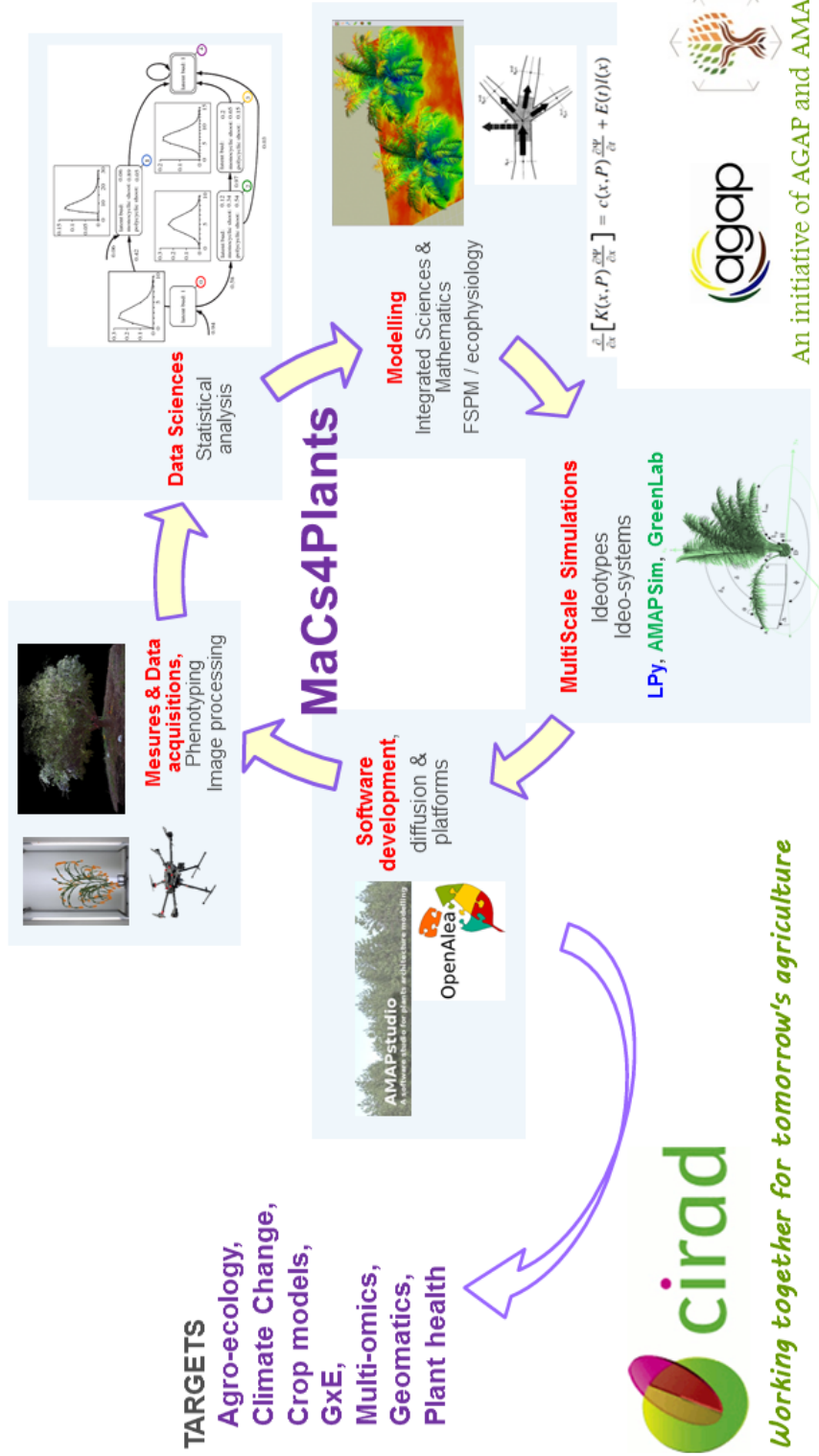
The scientific strategy of this network will be fed and financed in part by funding from local (CIRAD, MUSE), national and European projects (DESIRA, ANR, H2020, etc.).

## Roadmap

The actions planned in the short term are the following:

- Setting up the network (statutes, regular animation, committees, working groups)
- Definition of a common software development/promotion strategy
- Creation of the website and communication strategy

# Mathematics & Computer Science network for multiscale functional structural modelling of **Plants** within their agro-ecological systems : **MaCS4Plants**



# Réseau **mathématique et informatique** pour la modélisation structure-fonction multi-échelle des **plantes** dans leur agro-écosystème (**MaCS4Plants**)

## Contexte et objectifs

La communauté CIRAD math-info (MIA) impliquée dans la modélisation et analyse structure-fonction des plantes (FSPM) fut pionnière dans ce domaine. Née avec l'apparition du laboratoire AMAP, cette communauté spécifique, devenue UMR, a essaimé au cours du temps et développé des **plateformes** et **modèles** mondialement reconnus (Gamme AMAP, GreenLab, OpenAlea).

Cette thématique pluridisciplinaire est confrontée à de nouveaux défis socio-environnementaux, et par là, scientifiques et méthodologiques. En premier lieu, avec la montée en puissance du génotypage, le paradigme de la sélection variétale a fortement évolué. D'autre part les enjeux d'adaptation au changement climatique et à la transition agro-écologique sont venus complexifier et diversifier les systèmes biologiques qu'il s'agit de comprendre et améliorer. La modélisation des plantes et peuplements et notamment la modélisation structure-fonction des plantes (FSPM) devient essentielle, car elle permet: i) d'intégrer les connaissances sur les processus et échelles biologiques où se jouent l'adaptation des plantes aux contraintes agro-climatiques et leur variabilité génétique; ii) de mobiliser ainsi ces connaissances pour appuyer l'amélioration des plantes et des systèmes de culture via la prédiction d'idéotypes variétaux ou d'optima culturaux répondant à des objectifs de production, de services écosystémiques et de résilience aux changements climatiques.

Les défis scientifiques sont nombreux et interdisciplinaires: comment traiter et analyser les énormes volumes de données produits par les différents capteurs et les modèles de simulation? Comment en extraire de la connaissance et produire du savoir? Comment intégrer ces informations obtenues à différents niveaux d'observation? Comment coupler des modèles mécanistes avec des approches empiriques obtenues par apprentissage? Quels outils devons-nous mobiliser ou concevoir et mettre à disposition? Comment assurer la qualité et l'adéquation des sorties des modèles vis à vis des objectifs?

Or, si des compétences existent sur Montpellier et au Cirad, elles restent partielles, très fragmentées et sur-sollicitées sur diverses thématiques, ne permettant pas de répondre de façon efficace à ces grands enjeux. Pourtant, la reconnaissance internationale des travaux des unités AMAP et AGAP, permettent que le département **BIOS porte un réel potentiel de leadership dans le domaine de l'analyse et la modélisation structure-fonction des plantes dans leur agro-écosystèmes** complexes en appui aux grands enjeux socio-environnementaux, et notamment au sud. Face à la montée en puissance de la compétitivité sur la scène internationale,

ce potentiel requiert de structurer les ressources en termes de répartition des rôles, compétences, d'interactions et d'identification des futurs besoins. Un cadre est ainsi proposé, à l'initiative des unités AGAP et AMAP, centrales dans cette dynamique ; il devra impliquer, à moyen terme, la communauté partenariale montpelliéraine, et au-delà. Le cadre est dénommé réseau mathématique et informatique pour la modélisation structure-fonction multi-échelle des plantes dans leur agro-écosystème, MaCS4Plants.

Les objectifs scientifiques, la stratégie institutionnelle, les missions et la feuille de route sont brièvement décrits ci dessous.

## Objectifs scientifiques

Les objectifs de ce **réseau local de R&D en mathématique et informatique** autour de la modélisation des systèmes biologiques complexes sont de :

- **Fédérer un panel de compétences MIA** dynamique et efficace, reconnu et visible du niveau local, à l'international.
- Structurer une **offre logiciel** cohérente et intégrée, pilotée depuis Montpellier.
- **Animer** des communautés locales, nationales et internationales.
- Structurer une **offre de formation**, notamment vers les partenaires du sud.
- Mobiliser les compétences pour de **l'expertise et le montage de projets**.

## Stratégie institutionnelle

Avec des choix fédérateurs, le réseau appuyera la structuration et l'impact des initiatives dans le champ disciplinaire ciblé au niveau de BIOS et du Cirad puis plus largement sur Montpellier.

- Au niveau **technique et scientifique**, il a été convenu AGAP et AMAP que **la plateforme OpenAlea** serait un **espace centralisateur hébergeant** les outils d'**AmapStudio**.
- Au niveau **communication**, un **site web commun** présentant le dispositif, ses enjeux, son offre technique, méthodologique et son champ d'applications sera mis en place rapidement.
- Au niveau **interinstitutionnel notamment sur Montpellier**, l'isite MUSE regroupe plusieurs équipes et UMR qui seront amenées à rejoindre ou contribuer à ce réseau.

## Missions

### A - Rayonnement scientifique

Les UMRs ont une longue expérience des approches structurelles et FSPM ; elles s'appuient sur des positionnements pionniers et originaux, exploitant au mieux les avancées des connaissances et techniques des sciences formelles et les avancées thématiques. Aujourd'hui les originalités

des approches s'inscrivent dans des **approches combinées, mixtes**. Avec le réseau, le rayonnement scientifique profitera de la diffusion logicielle et de l'animation scientifique.

#### B - Développement et diffusion logiciels d'un environnement de recherche virtuel

Un **environnement de recherche virtuel (VRE)** regroupera des outils de modélisation et d'expérimentation pour la modélisation et simulation structure-fonction (FSPM) des plantes dans leur agro-écosystème. Il sera mobilisé et diffusé au travers d'un tissu partenarial du dispositif pour assurer son impact, sa visibilité et renforcer son réseau de collaborations.

#### C - Animation de la communauté

L'objectif est d'**animer** cette communauté de recherche et technologique autour des FSPMs au niveau interne, local, national et international par l'organisation de conférences, de séminaires, d'écoles chercheurs et de formations thématiques au Nord et au Sud. En termes d'**Animation scientifique**, les membres du réseau, à l'initiative des **conférences** internationales PMA et FSPM, devront consolider cette dynamique et de la déployer dans un contexte local. Le réseau facilitera aussi des actions d'**Animation logicielle** autour de la plateforme commune OpenAlea, des modèles et outils FSPMs, sous la forme d'ateliers présentiels, de webinars et lors des conférences internationales.

#### D - Offre de formation

L'offre de formation du réseau visera des étudiants en biologie et math-info et des chercheurs. L'objectif est de former au nord comme au sud, des étudiants pour les mobiliser (stages, thèses) et assurer la relève dans le domaine, ainsi que des chercheurs pour la culture de l'impact et le transfert des méthodes.

#### E- Expertise et montage de projets

La stratégie scientifique de ce réseau sera alimentée et financée en partie par des financements autour de projets locaux (Cirad, MUSE), nationaux et européens (DESIRA, ANR, H2020,...).

## Feuille de route

Les actions planifiées à court terme sont les suivantes:

- Mise en place du réseau (statuts, animation régulière, comités, groupes de travail)
- Définition d'une stratégie commune de développement/valorisation logiciel
- Réalisation du site web et stratégie de communication