

Modélisation téléonomique de la dynamique de croissance des plantes à partir du concept de densité foliaire

Les modèles structure-fonction de la croissance des plantes (FSPMs) combinent la description du fonctionnement biophysique et du développement architectural des plantes. On peut distinguer deux grandes familles de FSPM : d'une part les modèles décrivant finement la structure de la plante au niveau de l'organe et d'autre part les modèles à plus grande échelle qui s'intéressent directement à la forme du houppier. La paramétrisation du premier type de modèle est souvent difficile car elle nécessite des données expérimentales très riches. A l'inverse, les modèles à plus grande échelle mettent généralement en œuvre des lois empiriques qui ne permettent pas de décrire la plasticité de la croissance, et l'adaptation de la plante à des conditions environnementales différentes.

Pour répondre à ces problématiques, nous nous tournons vers un nouveau paradigme : Motivé par le succès du concept de la densité spatiale dans les modèles en écologie des populations, cette thèse caractérise la distribution spatiale de feuillage dans les plantes par la densité de surface foliaire, ce qui permet une description locale ouvrant la voie à une prise en compte de la plasticité des plantes, tout en ne décrivant pas chaque feuille individuellement, ce qui permet de modéliser des vieux et grands arbres, dont le nombre de feuilles est sinon trop lourd à gérer du point de vue des calculs. Cette thèse présente des modèles dynamiques de croissance développés spécifiquement pour les plantes agricoles et les arbres. Nous explorons des approches mathématiques différentes en temps discrète et continue, tout en examinant d'un œil critique leurs aptitudes conceptuelles ainsi que des possibilités de simplifications et de solutions analytiques dans l'optique de l'accélération des simulations.

La densité foliaire permet le calcul de l'interception de lumière par la loi de Beer-Lambert et la production de biomasse grâce au concept d'efficacité d'utilisation de la lumière. Le mécanisme central qui est considéré pour les différentes approches développées dans cette thèse est celui de l'expansion locale de la surface foliaire dans la direction du gradient de lumière. Par ce concept téléonomique, nous faisons l'hypothèse que la plante cherche par son développement à optimiser la productivité de la surface foliaire pour la production de biomasse. Ce principe induit ainsi un développement horizontal et vertical du feuillage vers l'extérieur du houppier. Le développement horizontal cesse quand on s'approche trop de plantes voisines, leur ombrage diminuant le gradient de lumière et donc l'expansion de densité de surface foliaire dans ces directions. Le modèle de production de biomasse est également généralisé pour une prise en compte explicite de la teneur en eau du sol en introduisant une composante hydraulique permettant de décrire l'équilibre mécaniste entre le potentiel hydrique dans les feuilles et la transpiration par la régulation stomatale. Finalement, nous prenons en compte l'allocation de biomasse produite à d'autres compartiments de la plante tels que les racines et le bois selon la théorie du 'pipe model'.

Les résultats des modèles sont comparés à un large jeu de données expérimentales sur des plantations à différentes densités et conditions environnementales. Celui-ci montre de remarquables capacités d'une part à prévoir les variables biométriques importantes (hauteur, diamètre du tronc) ainsi que certaines relations d'allométrie, et d'autre part à générer des formes de houppier en accord avec les formes observées, ceci pour les différents scénarios de compétition et comme propriété émergente du modèle. Ainsi, cette thèse démontre le potentiel du

concept de densité de surface foliaire en modélisation de la croissance des plantes, par sa capacité à reproduire les comportements locaux et l'adaptation à des conditions environnementales variées sans compromettre l'efficacité et la robustesse.