

[THESE CIFRE] – Analyse et modélisation Analyse et modélisation de l'effet du microclimat et de l'ombrage sur les précurseurs de rendement et de croissance des fruits

QUI SOMMES-NOUS ?

Entreprise innovante en pleine croissance, nos logiciels utilisent les connaissances issues de la recherche agronomique, pour proposer des outils d'aide à la décision afin d'aider les acteurs du monde agricole à gérer leurs exploitations (cultures et troupeaux) de façon plus raisonnée et de répondre aux enjeux de l'agriculture durable de demain.

Nos projets et nos équipes s'articulent autour de trois domaines principaux, la modélisation en agronomie, la conception d'applications informatiques ergonomiques et l'IoT (objets connectés) pour l'agriculture et l'élevage. Forte de ces différentes compétences, notre entreprise, qui compte aujourd'hui une centaine de salariés, est reconnue pour ses outils et prestations haut de gamme et se développe à l'international.

Intégrer itk c'est :

- **Aimer être au service des utilisateurs de nos applications** : vous participerez au développement d'outils web d'aide à la décision utilisés par des techniciens et des agriculteurs ;
- **Travailler en équipe** : l'émulation collective est un des fondements d'itk. Outre les réflexions en équipe et les rituels agiles (Scrum), les connaissances et bonnes pratiques sont régulièrement diffusées à l'ensemble des modélisateurs. Les interactions avec les informaticiens de l'entreprise permettent d'appliquer les meilleures méthodes de développement au code scientifique ;
- **Voir un outil se développer** : vous verrez toutes les étapes de la création d'un outil, des premiers contacts avec les clients et partenaires à l'utilisation de nos outils dans le monde entier ;
- **Aimer partager la connaissance** : dans un environnement humain riche et varié, vous devrez expliquer votre métier et serez confrontés à des visions différentes ;
- **Appliquer vos connaissances scientifiques à des réalisations novatrices** : faire le pont entre les connaissances de pointe acquises par la recherche et le métier des éleveurs et agriculteurs, établir un dialogue entre des mondes éloignés seront vos missions au quotidien ;
- **Donner un sens à votre métier** : nous réalisons des outils d'aide à la décision innovants pour aider les acteurs du monde agricole à gérer leurs exploitations (cultures et troupeaux) de façon plus raisonnée.

itk

itk, CEEI Cap Alpha, av. de l'Europe, 34830 Clapiers

04 67 59 30 46

www.itk.fr

LABORATOIRE PARTENAIRE

- INRA Avignon Plantes et Système de cultures Horticoles, PSH
- INRA Alenya Domaine expérimental Alenya-Roussillon

CHAMPS THEMATIQUES

- Modélisation de la qualité des fruits, modélisation des processus écophysologiques, PBM, FPSM
- Maraichage
- Programmation scientifique et analyses de données

EN PRATIQUE

- **Contrat** : CDD de 3 ans (thèse CIFRE)
- **Localisation** : Poste basé à Avignon avec déplacements fréquents à Alenya (Perpignan) et Clapiers (Montpellier)
- **Date de début** : Janvier 2020
- **Compétences recherchées** : Une formation en agronomie ou écophysologie avec une affinité en modélisation, analyse de données et un goût certain pour la programmation..
- **Encadrement** : La direction de la thèse sera assurée par Hélène GAUTIER. Côté entreprise, l'étudiant sera encadré par Damien FUMEY.

Pour postuler, merci d'adresser votre candidature à l'adresse suivante : damien.fumey@itk.fr

Pour plus d'informations :

- Damien FUMEY : damien.fumey@itk.fr - 06 48 30 83 59
- Hélène GAUTIER : helene.gautier@inra.fr - 04 32 72 23 45
- Gilles VERCAMBRE : gilles.vercambre@inra.fr - 04 32 72 24 76
- José CATALA : jose.catala@inra.fr - 04 68 37 74 14

CONTEXTE

Dans l'objectif de réaliser la transition énergétique, il apparaît de plus en plus important de mieux profiter de l'énergie solaire. La filière photovoltaïque est confrontée à la rareté des terrains disponibles et au coût croissant des projets d'exploitation. Pour permettre d'accroître les surfaces et la production électrique d'origine solaire, des panneaux photovoltaïques ont été implantés sur des parcelles agricoles, avec l'ambition de combiner production agricole et production électrique, en optimisant conjointement les rendements agricoles et énergétiques de ces systèmes dits "agrivoltaïque" (Dupraz et al. 2011). Les premiers dispositifs étaient avec des panneaux solaires fixes et les résultats agronomiques de la culture ont pu permettre de maintenir un niveau de production sous ombrage comparable à celui d'une culture de plein champ (Marrou 2012, projet Sun'Agri 1). L'utilisation de panneaux solaires orientables (par rotation autour de leur axe de fixation) donne des moyens de contrôle supplémentaires sur le système, mais pose des questions d'optimisation plus complexes (Elamri et al. 2018a). Plus généralement, différentes stratégies de pilotage des panneaux sont envisageables, avec différents effets physiologiques sur les cultures (Valle et al. 2017) avec toujours la nécessité d'inclure les hétérogénéités spatiales et les effets temporels à court et moyen terme des ombrages intermittents (Elamri et al. 2018b, under review, projet Sun'Agri 2).

Dans le cadre du projet **Sun'Agri 3** (www.sunagri.fr), plusieurs systèmes de culture seront expérimentés (viticulture, maraîchage, arboriculture). La thèse proposée s'inscrit dans le cadre d'un travail d'expérimentation et de modélisation sur la réponse de la plante en termes de croissance/production/qualité en réponse à un ombrage temporaire/permanent en maraîchage.

Les expérimentations seront conduites dans l'unité expérimentale de l'INRA d'Alenya (66) où seront construits à l'automne 2019, deux compartiments de serres plastiques pleine terre dont l'un sera équipé de panneaux occultants orientables et l'autre étant utilisé comme témoin. Au cours de la thèse deux cultures de tomate seront réalisées dans ce dispositif (printemps 2020 et 2021) sur lesquels seront analysés les effets de l'ombrage et des modifications du microclimat sur la croissance et le fonctionnement des plantes, leur rendement et la qualité des fruits de tomate.

SUJET PROPOSE

L'objectif de la thèse est de modéliser les effets et interactions de la lumière, la température et l'eau sur les précurseurs de rendement et la croissance des fruits dans un contexte d'ombrage modulé. Le travail s'appuiera donc sur des expérimentations en serres sur des cultures de tomates qui devront permettre d'acquérir des jeux de données pour (i) mieux appréhender et formaliser l'effet du rayonnement sur certains processus et (ii) développer ou adapter des modèles qui permettront de simuler différents scénarios de gestion de l'ombrage sur la production et sa qualité.

Cette thèse s'effectuera en parallèle de deux ou trois autres thèses également sur la thématique de l'agrivoltaïsme dynamique.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Les plantes poussent dans des environnements très fluctuants, avec des rayonnements lumineux très variables. L'exposition à un rayonnement faible limite l'activité photosynthétique et peut entraîner l'acquisition insuffisante d'énergie par la plante pouvant entraîner jusqu'à sa mort. La plante possède des photorécepteurs qui lui donnent des informations sur son environnement lumineux et lui permettent d'adapter sa croissance et son développement selon l'environnement lumineux et d'éviter l'ombrage (Shade Avoidance Syndrome, SAS). Les 1ères réponses concernent en particulier l'élongation des pousses et des feuilles qui peuvent être très fortement augmentées (Givnish, 1988). Outre les mécanismes d'évitement, la plante a également développé des processus de tolérance à l'ombrage (Valladares et Niinemets, 2008). Ainsi, lorsqu'elles sont exposées à l'ombre, les plantes optimisent la capture et l'utilisation de la lumière. L'anatomie foliaire est ainsi modifiée, avec une diminution du nombre et des dimensions des cellules du mésophiles palissadique, ainsi que de la densité des stomates (Demotes-Mainard et al., 2015). La réduction de la masse surfacique (Evans et Poorter, 2001) permet la mise en place de la surface foliaire pour un faible investissement en carbone. A l'échelle de la feuille, les courbes de réponse de la photosynthèse peuvent être largement modifiées, avec une meilleure efficacité photosynthétique pour de faibles rayonnements, en abaissant les rapports chlorophylle a:b et en augmentant les rapports photosystème (PS) II:I (Evans et Poorter, 2001).

De façon bénéfique, l'ombrage peut permettre (i) une protection contre les rayonnements excessifs, (ii) une diminution de la température de la végétation induisant une réduction de la demande transpiratoire, (iii) une réduction des risques de stress hydriques et de brûlure des jeunes méristèmes et (iv) une diminution des problèmes de pollinisation liés aux températures excessives sous serre. En été, des stress lumineux, peuvent endommager l'appareil photosynthétique et entraîner une importante photo-respiration, qui réduit le rendement photosynthétique. Si le rayonnement foliaire fournit l'énergie qui alimente la photosynthèse, il est également un élément important dans le bilan d'énergie de la végétation et la détermination du flux transpiratoire. Des ombrages temporaires peuvent donc être bénéfiques pour la plante, à la fois vis-à-vis de l'acquisition du carbone et du statut hydrique de la plante.

Par ailleurs, la composition des fruits est affectée par les conditions de culture (Dumas et al., 2003). La température, le rayonnement et l'état hydrique des cultures vont modifier l'équilibre entre croissance végétative et générative, et en conséquence l'accumulation de sucre et d'eau dans le fruit et la qualité des fruits (Heuvelink, 1995 ; Guichard et al., 2001). De plus, certaines voies du métabolisme sont particulièrement sensibles à la température et au rayonnement, en particulier, les voies de synthèse des antioxydants tels que la vitamine C, le lycopène ou le beta-carotène (Gautier et al., 2008).

Ces différents éléments permettent de bien mettre en évidence la diversité et la multiplicité des processus affectés par la diminution du rayonnement, rendant difficile en l'état actuel des connaissances la prédiction des conséquences de l'utilisation de panneaux photovoltaïques mobiles sur la croissance de la plante et sa production en termes de rendement et de qualité. Plus encore, dans l'objectif d'optimiser les périodes d'ombrage et d'effacement des panneaux, le développement d'un modèle intégrant les effets de ces facteurs apparaît comme une étape indispensable pour appréhender les processus majeurs affectant la réponse de la plante à l'ombrage et leurs

itk

itk, CEEI Cap Alpha, av. de l'Europe, 34830 Clapiers

04 67 59 30 46

www.itk.fr

interactions. Il existe un modèle architectural détaillé de plante de tomate (Baldazzi et al., 2013) qui intègre l'effet d'un certain nombre de pratiques (charge, irrigation) mais pour lequel l'effet de variations du rayonnement, ou de la température à l'échelle journalière ne sont pas pris en compte. Ce modèle est couplé au modèle fruit virtuel (Constantinescu et al., 2016) qui décrit la croissance du fruit et l'accumulation des sucres en considérant le climat moyen journalier, qu'il faudrait également paramétrer dans ces conditions.

Le travail de thèse s'appuiera donc sur des expérimentations sous serre qui devront permettre d'acquérir des jeux de données pour (i) mieux appréhender et formaliser l'effet du rayonnement sur certains processus et (ii) et être intégré ensuite dans un modèle de plante de tomate à construire et paramétrer sur tomate, permettant de simuler différents de scénario de gestion de l'ombrage porté par les panneaux sur la production et sa qualité.

REFERENCES

- Baldazzi, V., Pinet, A., Vercambre, G., Bénard, C., Biais, B., and Génard, M. (2013). In-silico analysis of water and carbon relations under stress conditions. A multi-scale perspective centered on fruit. *Front. Plant Sci.* 4, 495.
- Constantinescu D., Memmah M.M., Vercambre G., Génard M., Baldazzi V., Causse M., Albert E., Brunel B., Valsesia P., Bertin N. 2016. Model-assisted estimation of the genetic variability in physiological parameters related to tomato fruit growth under contrasted water conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1841. doi : 10.3389/fpls.2016.01841.
- Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourriec, J., Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huché, L., Boumaza, R., Vian, A., Guérin, V., Leduc, N., Sakr, S. (2015) Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010>.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(5), 369-382.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A. and Ferard, Y. (2011). Combining Solar Photovoltaic Panels and Food Crops for Optimising Land Use: Towards New Agrivoltaic Schemes, *Renewable Energy* 36 (10): 2725-32. doi:10.1016/j.renene.2011.03.005.
- Elamri, Y., Cheviron, B., Mange, A., Dejean, C., Liron, F., and Belaud, G. (2018a). Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, pp.1285-1298, doi.org/10.5194/hess-22-1285-2018.
- Elamri, Y., Cheviron, B., Lopez, J.-M., Dejean, C. and Belaud, G. (2018b). Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: application to irrigated lettuces, *Agricultural Water Management*, under review.
- Evans, J.R. and Poorter, H. (2001) Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ.* 24, 755–767.
- Gautier, H., Diakou-Verdin, V., Benard, C., Reich, M., Buret, M., Bougaud, F., Poessel, J. L., Caris-Veyrat, C., Genard, M. (2008). How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? *J. Agric. Food Chem.* 56: 1241-1250.

- Givnish, T.J. (1988). Adaptation to sun and shade – a whole-plant perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* 15, 63–92.
- Guichard S., Bertin, N., Leonardi, C. and Gary, C. (2001). Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie*, 21, 385-392.
- Heuvelink, E. (1995). Effect of temperature on biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Physiologia Plantarum* 94: 447-452.
- Marrou, H. (2012). Produire des aliments ou de l'énergie: faut-il vraiment choisir? - Evaluation agronomique du concept d'"agrivoltaïsme". Montpellier: Montpellier SupAgro.
- Marrou, H., Dufour, L, and Wery, J. (2013a). How Does a Shelter of Solar Panels Influence Water Flows in a Soil–crop System? *European Journal of Agronomy* 50: 38-51. doi:10.1016/j.eja.2013.05.004.
- Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C. and Wery, J. (2013b). Microclimate under Agrivoltaic Systems: Is Crop Growth Rate Affected in the Partial Shade of Solar Panels?, *Agricultural and Forest Meteorology* 177: 117-32. doi:10.1016/j.agrformet.2013.04.012.
- Valladares, F. and Niinemets, U. (2008) Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 39, 237–257.
- Valle, B.; Simonneau, T.; Sourd, F.; et al (2017) Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy*, 206, 1495-1507.