

Projet de thèse :

## **Co-construction et évaluation de scénarios de gestion technique des paysages viticoles adaptés au changement climatique**

### **Résumé**

Le projet de thèse vise à explorer l'hypothèse selon laquelle la combinaison d'interventions aux échelles de la parcelle et du paysage donne des marges de manœuvre significatives pour adapter une culture pérenne comme la vigne au changement climatique. Dans un bassin versant, les acteurs de la viticulture et de la gestion de l'eau seront mobilisés dans une procédure de conception-évaluation de scénarios d'adaptation et de leurs critères d'évaluation. Une chaîne de modèles produira les indicateurs rendant compte des impacts du changement climatique sur la durabilité et la résilience de cet agroécosystème. Cela permettra une évaluation intégrée des scénarios d'adaptation par les acteurs. C'est dans la combinaison des échelles (impliquant le couplage des modèles) et des méthodes de conception (par simulation et participative) que réside l'originalité du projet. La thèse s'inscrit dans le projet Laccave 2, et elle s'appuiera sur l'expertise et les réseaux que les équipes encadrantes mobilisent dans différents projets en cours.

### **Description du projet**

#### **Enjeux socio-économiques et scientifiques**

Le changement climatique est identifié comme un défi pour la viticulture, avec des impacts déjà observables sur la précocité, le volume et la qualité des récoltes. Les effets d'élévations de teneur en CO<sub>2</sub>, de température et de changements de régime pluviométrique sur la physiologie et la production de la vigne sont maintenant bien identifiés (Jones et al., 2005 ; van Leeuwen et Darriet, 2016). Les effets sur la filière ont également été analysés (Ollat et al., 2016). Une prospective récente<sup>1</sup>, conduite dans le cadre du projet Laccave ([www6.inra.fr/laccave](http://www6.inra.fr/laccave)), a permis d'identifier plusieurs trajectoires possibles de la filière. Il en ressort globalement que le statu quo conduirait à un repli de la filière, tandis que des combinaisons d'innovations techniques et organisationnelles seraient susceptibles de permettre une adaptation.

Certains auteurs considèrent que le changement climatique conduira certainement à un déplacement massif des zones de production viticoles vers les latitudes élevées (Hannah et al., 2013). D'autres tempèrent cette conclusion en arguant des nombreux leviers d'adaptation dont dispose la filière pour permettre aux régions viticoles actuelles de perdurer (van Leeuwen et al., 2013). Cette controverse témoigne d'un enjeu scientifique majeur autour des marges de manœuvre offertes par la gestion des systèmes viticoles, à différentes échelles, pour s'adapter aux évolutions du milieu physique.

Le projet Laccave a permis d'identifier une large gamme de leviers d'adaptation<sup>2</sup>. Il reste à définir les règles d'assemblage de ces leviers d'action, en combinant plusieurs échelles d'intervention selon les points de vue des différents acteurs concernés. Il reste également à développer les outils d'évaluation intégrée (i.e. multicritère) de ces scénarios de changement technique pour l'adaptation au changement climatique.

---

<sup>1</sup> [http://www6.inra.fr/laccave/content/download/3256/32764/version/1/file/N40\\_A4-Prospective%20Vin%20et%20Vigne.pdf](http://www6.inra.fr/laccave/content/download/3256/32764/version/1/file/N40_A4-Prospective%20Vin%20et%20Vigne.pdf)

<sup>2</sup> <https://colloque.inra.fr/climwine2016>

## Etat de l'art scientifique

Il est prévisible que l'influence du changement climatique sur la production viticole se fasse principalement via l'augmentation des températures, et par l'augmentation et l'intensification des périodes de stress hydrique. Plusieurs voies d'adaptation de la viticulture, non exclusives entre elles, sont envisageables : adoption de cépages plus tardifs et plus tolérants au stress hydrique, modulation des modalités de travail du sol pour favoriser l'infiltration de l'eau, irrigation, voire des changements de localisation des vignobles dans le paysage (Ollat et al., 2016). Quelles que soient les adaptations envisagées, leur évaluation doit prendre en compte de manière détaillée la situation des parcelles dans le paysage : épaisseur et type de sols conditionnant la réserve utile (Galleguillos et al., 2017), présence ou non de nappes superficielles pouvant contribuer à l'alimentation hydrique de la vigne (Guix-Hébrard et al., 2007), distance aux sources d'eau et débit de ces sources pour l'irrigation. En termes de conséquences environnementales, l'évaluation de l'effet de nouvelles pratiques et de leur distribution spatiale doit être conduite à l'échelle du bassin versant, tant en termes de quantité d'eau ruisselée (Colin et al., 2012), de recharge des nappes (Dagès et al., 2009) qu'en termes de contamination des eaux par les pesticides (Crabit et al., 2016). Enfin, en termes de production viticole, l'évaluation doit être faite à l'échelle de l'exploitation agricole et du bassin de collecte (coopérative par exemple).

A notre connaissance, il n'existe que très peu d'études couplant les processus en termes de gestion technique, de fonctionnement hydrique et de production viticole, de l'échelle de la parcelle à celles de l'exploitation agricole et du bassin versant. Dans le cadre du projet SP3A (Andrieux et al., 2014 ; Paré, 2011), le chaînage de modèles de décision, d'évolution des états de surface, de bilans hydrique et azoté, et d'un modèle hydrologique a été réalisé, mais les auteurs soulignent le besoin de passer à un couplage de ces modèles, avec rétroactions entre eux, ce qui permettrait de mieux adapter les itinéraires techniques simulés aux conditions hydriques. En effet, la gestion adaptative du fonctionnement hydrique des parcelles viticoles est nécessaire à la réalisation de compromis durables entre production viticole et impacts environnementaux (Ripoche et al., 2011).

La conception de systèmes de culture et de systèmes agricoles s'appuie sur plusieurs approches, basées soit sur l'optimisation mathématique, soit sur l'exploration et l'évaluation d'un espace de solutions (Martin et al., 2013). La 2<sup>ème</sup> voie peut mobiliser des connaissances scientifiques sous forme de modèles (conception par simulation, Bergez et al., 2010), ou combiner connaissances scientifiques et expertes à travers des approches participatives (Rapidel et al., 2009). Si une formalisation des connaissances est nécessaire à leur partage dans les approches participatives (modèle conceptuel, jeu de rôles, etc.), la mobilisation de modèles de simulation est moins courante (Delmotte et al., 2013).

L'originalité du projet de thèse réside dans (1) le couplage des échelles parcelle, lieu des actes techniques, exploitations agricoles où sont décidés et coordonnés ces actes, et bassin versant, où s'expriment leurs conséquences environnementales, et (2) le couplage de méthodes de conception participative et de simulations à l'aide de modèles, en considérant plusieurs niveaux d'intégration.

## Question de recherche

La combinaison de changements techniques à la parcelle, et de leur distribution dans le paysage en réponse aux stratégies des exploitations viticoles, peut-elle contribuer à l'adaptation de la viticulture au changement climatique ?

## Hypothèses de travail

- 1- Dans un territoire, la co-construction de scénarios d'adaptation par les acteurs en charge de la production viticole et de la gestion de l'eau permet d'identifier leurs contraintes, leurs objectifs, et les leviers d'action mobilisables, à différentes échelles, pour l'adaptation au changement climatique.
- 2- Le couplage de modèles et d'indicateurs rendant compte (i) du fonctionnement des cultures, (ii) du fonctionnement des composantes biophysiques du paysage (sols, eau) et (iii) de la distribution spatiale et de la dynamique des pratiques culturelles permet d'évaluer la durabilité et la résilience des systèmes viticoles face au changement climatique.
- 3- La combinaison de changements techniques à la parcelle et de changements dans leur distribution spatiale dans le paysage donne des marges de manœuvre supplémentaires pour adapter la viticulture au changement climatique.

## Matériel nécessaire et méthodes envisagées

### Conception de systèmes agricoles

La thèse mettra en œuvre une approche participative de la conception, pour construire et d'évaluer, de manière itérative, des scénarios d'adaptation des systèmes viticoles au changement climatique. Afin de réaliser ses objectifs, elle devra être multi-échelle (parcelle, exploitation agricole, bassin

versant) et multi-critère, avec un focus sur les performances productives et environnementales et sur leur stabilité (résilience) en situation de changement climatique. Les équipes d'encadrement mobiliseront le savoir-faire méthodologique acquis dans le domaine de la conception-évaluation participative de scénarios sur différents terrains (Delmotte et al., 2013, 2016 ; Lafond et Metral, 2015 ; Rapidel et al., 2009) notamment en intégrant la composante du changement climatique (Delmotte et al., 2017). Les indicateurs d'évaluation seront définis avec les acteurs du territoire, et quantifiés par la simulation des différents scénarios co-construits, sous contrainte de scénarios climatiques issus des projections du GIEC.

### **Modélisation**

A l'échelle de la parcelle, plusieurs modèles simulant le fonctionnement hydrique de la vigne sont disponibles et ont été testés avec succès. Le modèle WaLIS (Celette et al., 2010) a été conçu pour simuler le partage de l'eau entre la vigne et l'enherbement. Le modèle de transferts hydriques Hydrus-1D, adapté à la vigne, a permis la simulation des flux hydriques sur un ensemble de parcelles (Galleguillos et al., 2017). Un modèle SVAT multi-sources a été spécifiquement développé pour le cas des vignes enherbées (Montes et al., 2014). L'aptitude du modèle STICS-vigne à représenter des situations pédologiques variées été récemment vérifiée (Meyer, 2016) en contexte languedocien.

La plateforme logicielle OpenFLUID (Fabre et al., 2013) est dédiée à la modélisation du fonctionnement des paysages complexes et est principalement focalisée sur les flux. Elle propose une représentation topologique de l'espace sous forme d'unités spatiales connectées et un système de couplage de modèles, dans l'espace et dans le temps. Le couplage entre le modèle hydrologique distribué MHYDAS (Moussa et al, 2002) et le modèle décisionnel de pratiques d'entretien des sols Dhivine (Martin-Clouaire et al., 2016) a déjà été réalisé sous la plateforme OpenFLUID, permettant l'expérimentation virtuelle de pratiques culturales à l'échelle de petits bassins versants (Paré, 2011).

### **Etude de cas**

La thèse sera centrée sur une étude de cas, pour laquelle plusieurs bassins versants candidats sont envisagés :

- le bassin versant viticole de Roujan (1 km<sup>2</sup>) fait l'objet d'un suivi hydrologique et des pratiques depuis 25 ans dans le cadre de l'ORE OMERE ;
- la basse vallée de la Peyne (80 km<sup>2</sup>), bassin versant viticole englobant du bassin versant de Roujan, pour lequel une caractérisation détaillée des sols existe (Coulouma, 2008), a fait l'objet de travaux à l'échelle de la petite région : spatialisation de pratiques viticoles (Biarnes et al., 2009), estimation spatialisée de la consommation en eau de la vigne (Galleguillos et al., 2011), spatialisation des nappes superficielles (Guix et al., 2007, Taylor et al. 2013) ; la Peyne est l'un des sites test des projets ANR ALMIRA et RUEdesSOLS ;
- le bassin du Rieurtort, localisé en grande partie dans la plaine viticole héraultaise, en bordure des premiers contreforts du massif central, s'étend sur 45 km<sup>2</sup>, dont 15,4 km<sup>2</sup> sont consacrés à la culture de la vigne (projet SP3A, aire de captage d'alimentation en eau potable, captage « Grenelle »).

Les critères de choix seront : la présence d'acteurs concernés par l'adaptation au changement et la gestion de l'eau, et la documentation du bassin versant (nature des sols, occupations des sols, composantes du bilan hydrologique...).

## **Programme de recherches prévu**

### **Tâche 1. Co-construction de scénarios d'adaptation au changement climatique et d'indicateurs d'évaluation par les acteurs de la production viticole et de la gestion de l'eau dans un bassin versant**

Cette tâche définira les scénarios de changement technique à différents niveaux d'intégration (parcelle, exploitation agricole, bassin versant) et les indicateurs nécessaires à leur évaluation en termes de durabilité et de résilience.

Elle produira en particulier :

- un cadre conceptuel partagé entre les différents acteurs, structurant les relations entre les enjeux de l'adaptation de la viticulture au changement climatique et les leviers d'action mobilisables à différentes échelles (ex. diagrammes ARDI, Etienne et al., 2011) ;
- plusieurs scénarios d'évolution des systèmes techniques (parcelle, exploitation agricole) et de leur distribution dans le bassin versant ;
- un ensemble d'indicateurs d'évaluation de ces scénarios, en termes de durabilité environnementale (impacts quantitatifs et qualitatifs sur la ressource en eau), économique (production viticole) et sociale (acceptabilité des changements techniques) et en termes de résilience (variabilité interannuelle des indicateurs de durabilité).

Une attention particulière sera portée à la ressource en eau dont l'approvisionnement peut être subi (impact du changement climatique sur la distribution interannuelle et inter-saisonnière des pluies) ou maîtrisé via l'irrigation avec des conditions d'accès et de volume variables selon la source (adduction d'eau, forages, retenues collinaires, etc.).

## **Tâche 2. Modélisation couplée des systèmes biophysiques et techniques, de la parcelle au paysage**

Le focus mis sur la ressource en eau oblige à un couplage étroit des échelles de la parcelle et du bassin versant, en considérant les dimensions biophysiques et techniques des systèmes de culture. Cette tâche s'appuiera sur la plate-forme OpenFLUID (Fabre et al., 2013) qui permet de spatialiser l'occupation du sol et la circulation de l'eau dans le paysage. Des avancées sont attendues sur deux points :

- le couplage de modèles de bilan hydrique à la parcelle et d'élaboration du rendement de la vigne, en s'appuyant sur les relations récemment établies entre état hydrique et composantes du rendement (Guilpart et al., 2014) ;

- le couplage d'un générateur d'itinéraires techniques avec les modèles de culture et hydrologiques, en étendant le modèle Dhivine (Martin-Clouaire et al., 2016) des pratiques d'entretien du sol à l'ensemble des pratiques culturales liées au fonctionnement hydrique et à l'élaboration du rendement des parcelles viticoles.

Une attention particulière sera portée (1) aux impacts du changement climatique (température et pluviométrie) sur la vigne et le fonctionnement hydrologique et (2) aux impacts spécifiques des pratiques d'adaptation au changement climatique (dont l'irrigation) sur les itinéraires techniques viticoles.

## **Tâche 3. Evaluation intégrée de scénarios d'adaptation au changement climatique dans un bassin versant dominé par la viticulture**

Les modèles de simulation permettront de produire les indicateurs d'évaluation des scénarios de changement technique. On considérera non seulement la valeur moyenne de ces indicateurs mais également leur variation inter-annuelle, au regard des variations prédites (et des incertitudes associées) par les modèles climatiques (ex. Bregaglio et al., 2017). La résilience pourra être évaluée dans différents domaines : agroécologique (capacité de l'agroécosystème à résister à des perturbations), technique (capacité du système technique à compenser les effets des perturbations) et paysagère (capacité de l'organisation spatiale des pratiques à atténuer les effets des perturbations).

La sensibilité des différents indicateurs aux différents leviers techniques sera évaluée aux différentes échelles considérées. Cela nécessitera d'identifier des approches exploratoires sur différents leviers (gamme variétales pour la vigne et l'enherbement, seuils d'irrigation, etc.). Il est important que les compromis éventuels entre différentes échelles soient identifiés (par exemple, des actions favorables au niveau local mais défavorables à l'échelle supérieure).

L'ensemble de ces indicateurs et analyses sera mobilisé dans la procédure de prototypage pour être évalué par les acteurs de la viticulture et de la gestion de l'eau, au regard des objectifs sur lesquels ils se seront accordés dans la tâche 1.

## **Références bibliographiques**

Andrieux P, Biarnes A, Barbier JM, Bonnefoy A, Compagnone C, Delpuech X, Metay A, Gary C Voltz M, 2014. Rapport final du projet SP3A : Spatialisation de pratiques agricoles adaptées et acceptables. Projet Gessol n°10-MBGD-GESSOL-8-CVS-077, 164 p.

Bergez JE, Colbach N, Crespo O, Garcia F, Jeuffroy MH, Justes E, Loyce C, Munier-Jolain N, Sadok W, 2010. Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy*, 3, 3–9.

Biarnès A, Bailly J-S, Boissieux Y, 2009. Identifying indicators of the spatial variation of agricultural practices by a tree partitioning method: the case of weed control practices in a vine growing catchment. *Agricultural Systems*, 99, 105-116.

Bregaglio S, Hossard L, Cappelli G., Resmond R, Bocchi S, Barbier JM, Ruget F, Delmotte S, 2017. Identifying trends and associated uncertainties in potential rice production under climate change in Mediterranean areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237, 219-232.

Celette F, Ripoché A, Gary C, 2010. WaLIS, a simple model to simulate water partitioning in a crop association: the example of an intercropped vineyard. *Agricultural Water Management*, 97, 1749-1759.

Colin F, Moussa R, Louchart X, 2012. Impact of the spatial arrangement of land management practices on surface runoff for small catchments. *Hydrological Processes*, 26, 255-271.

Coulouma G, 2008. Carte des sols de la basse vallée de la Peyne. Echelle 1/25000. 2008; Notice. UMR Lisah. [<https://www.umr-lisah.fr/?q=content/lapeyne>]

Crabit A, Cattan P, Colin F, Voltz M, 2016. Soil and river contamination patterns of chlordecone in a tropical

volcanic catchment in the French West Indies (Guadeloupe). *Environmental Pollution*, 212, 615-626.

Dagès C, Voltz M, Bsaibes A, Prévot L, Huttel O, Louchart X, Garnier F, Negro S, 2009. Estimating the role of a ditch network in groundwater recharge in a mediterranean catchment using a water balance approach. *Journal of Hydrology*, 375, 498-512.

Delmotte S, Barbier JM, Mouret JC, Le Page C, Wery J, Chauvelon P, Sandoz, A, Lopez Ridaura S, 2016. Participatory integrated assessment of scenarios for organic farming at different scales in Camargue, France. *Agricultural Systems*, 143, 147-158.

Delmotte S, Couderc V, Mouret JC, Lopez-Ridaura S, Barbier JM, Hossard L, 2017. From stakeholders narratives to modelling plausible future agricultural systems. Integrated assessment of scenarios for Camargue, Southern France. *European Journal of Agronomy*, 82, 292-307.

Delmotte S, Lopez-Ridaura S, Barbier JM, Wery J, 2013. Prospective and participatory integrated assessment of agricultural systems from farm to regional scales: Comparison of three modeling approaches. *Journal of Environmental Management*, 129, 493-502.

Etienne M., Du Toit DR, Pollard S, 2011. ARDI: A co-construction method for participatory modeling in natural resources management. 16(1), 44.

Fabre JC, Rabotin M, Crevoisier D, Libres A, Dagès C, Moussa R, Lagacherie P, Raclot D, Voltz M, 2013. OpenFLUID: an open-source software environment for modelling fluxes in landscapes. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 15).

Galleguillos M., Jacob F., Prevot L., French A., and Lagacherie P., 2011. Comparison of two temperature differencing methods to estimate daily evapotranspiration over a Mediterranean vineyard watershed from ASTER data, *Remote Sensing of Environment*, 115, 1326-1340.

Galleguillos M, Jacob F, Prévot L, Faúndez C, Bsaibes A, 2017. Estimation of actual evapotranspiration over a rainfed vineyard using a 1-D water transfer model: a case study within a Mediterranean watershed. *Agricultural Water Management*, 184, 67-76.

Guilpart N, Metay A, Gary C, 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 54, 9-20.

Guix-Hébrard N, Voltz M, Trambouze W, Garnier F, Gaudillere J, Lagacherie P, 2007. Influence of watertable depths on the variation of grapevine water deficits at the landscape scale. *European Journal of Agronomy*, 27, 187-196.

Hannah L, Roehrdanz PR, Ikegami M, Shepard AV, Shaw MR, Tabor G, Zhi L, Marquet PA, Hijmans RJ, 2013. Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907-6912.

Jones GV, White MA, Cooper OR, Storchmann K, 2005. Climate change and global wine quality. *Climatic change*, 73(3), 319-343.

Lafond D, Metral R, 2015. Concevoir en partenariat une EcoViticulture ECONomiquement viable et ECOlogiquement responsable par rapport aux pesticides (EcoViti). *Innovations Agronomiques*, 46, 39-50.

Martin G, Martin-Clouaire R, Duru M, 2013. Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 131-149.

Martin-Clouaire R, Rellier JP, Paré N, Voltz M, Biarnès A, 2016. Modelling management practices in viticulture while considering resource limitations: The Dhivine Model. *PLOS ONE* 11(3), e0151952.

Meyer N., 2016. "Suivi de l'eau disponible pour la vigne : évaluation du modèle STICS en contexte languedocien," Master Eau, parcours eau et agriculture, Université Montpellier - AgroParisTech - Montpellier SupAgro, Montpellier, 2016.

Montes C, Lhomme JP, Demarty J, Prévot L, Jacob F, 2014. A three-source SVAT modeling of evaporation: application to the seasonal dynamics of a grassed vineyard. *Agricultural and forest Meteorology*, 191, 64-80.

Moussa R, Voltz M, Andrieux P, 2002. Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events. *Hydrological Processes*, 16, 393-412.

Ollat N, Touzard JM, van Leeuwen C, 2016. Climate change impacts and adaptations: New challenges for the wine industry. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 139-149.

Paré N, 2011. Pollution de l'eau par les pesticides en milieu viticole languedocien. Construction d'un modèle couplé pression-impact pour l'expérimentation virtuelle de pratiques culturales à l'échelle de petits bassins versants. Ph.D. dissertation, Supagro, Montpellier, France. 2011.

Rapidel B, Traoré BS, Sissoko F, Lançon J, Wery J, 2009. Experiment-based prototyping to design and assess cotton management systems in West Africa. *Agronomy for Sustainable development*, 29(4), 545-556.

Ripoche A, Rellier JP, Martin-Clouaire R, Paré N, Biarnès A, Gary C, 2011. Modelling adaptive management of intercropping in vineyards to satisfy agronomic and environmental performances under Mediterranean climate. *Environmental Modelling and Software*, 26, 1467-1480.

Taylor JA, Jacob F, Galleguillos M, Prévot L, Guix N, Lagacherie P, 2013. The utility of remotely-sensed vegetative and terrain covariates at different spatial resolutions in modelling soil and watertable depth (for digital soil mapping). *Geoderma*, 193-194, 83-93.

van Leeuwen C, Darriet P, 2016. The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150-167.

van Leeuwen C, Schultz HR, de Cortazar-Atauri IG, Duchêne E, Ollat N, Pieri P, Bois B, Goutouly JM, Quéno

H, Touzard JM, Malheiro, AC, Bavaresco L., Delrot S, 2013. Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(33), E3051-E3052.

## Accueil

Ce doctorat d'une durée de 3 ans sera réalisé au centre INRA de Montpellier, Campus de la Gaillarde. L'encadrement sera assuré par Christian Gary (UMR System), Laurent Prévot (UMR Lisah) et Laure Hossard (UMR Innovation). Le/la doctorant/e pourra également s'appuyer sur le consortium du projet Laccave 2 (2018-2021) soutenu par le métaprogramme Accaf de l'Inra.

Début de thèse entre septembre et décembre 2018.

## Profil du candidat

Nous recherchons un/e candidat/e avec un fort intérêt pour les approches interdisciplinaires et présentant le profil suivant :

- compétences en agronomie et/ou en sciences de l'eau, expérience et goût pour la modélisation, intérêt pour les démarches participatives,
- forte motivation pour la recherche et bonnes aptitudes au travail en équipe,
- bonnes capacités de rédaction, maîtrise écrite et orale de l'anglais,
- permis de conduire.

Pour candidater, envoyer une lettre de motivation et un CV détaillé à Christian Gary ([christian.gary@inra.fr](mailto:christian.gary@inra.fr)), Laurent Prévot ([laurent.prevot@inra.fr](mailto:laurent.prevot@inra.fr)) et Laure Hossard ([laure.hossard@inra.fr](mailto:laure.hossard@inra.fr)) avant le 31 août 2018.