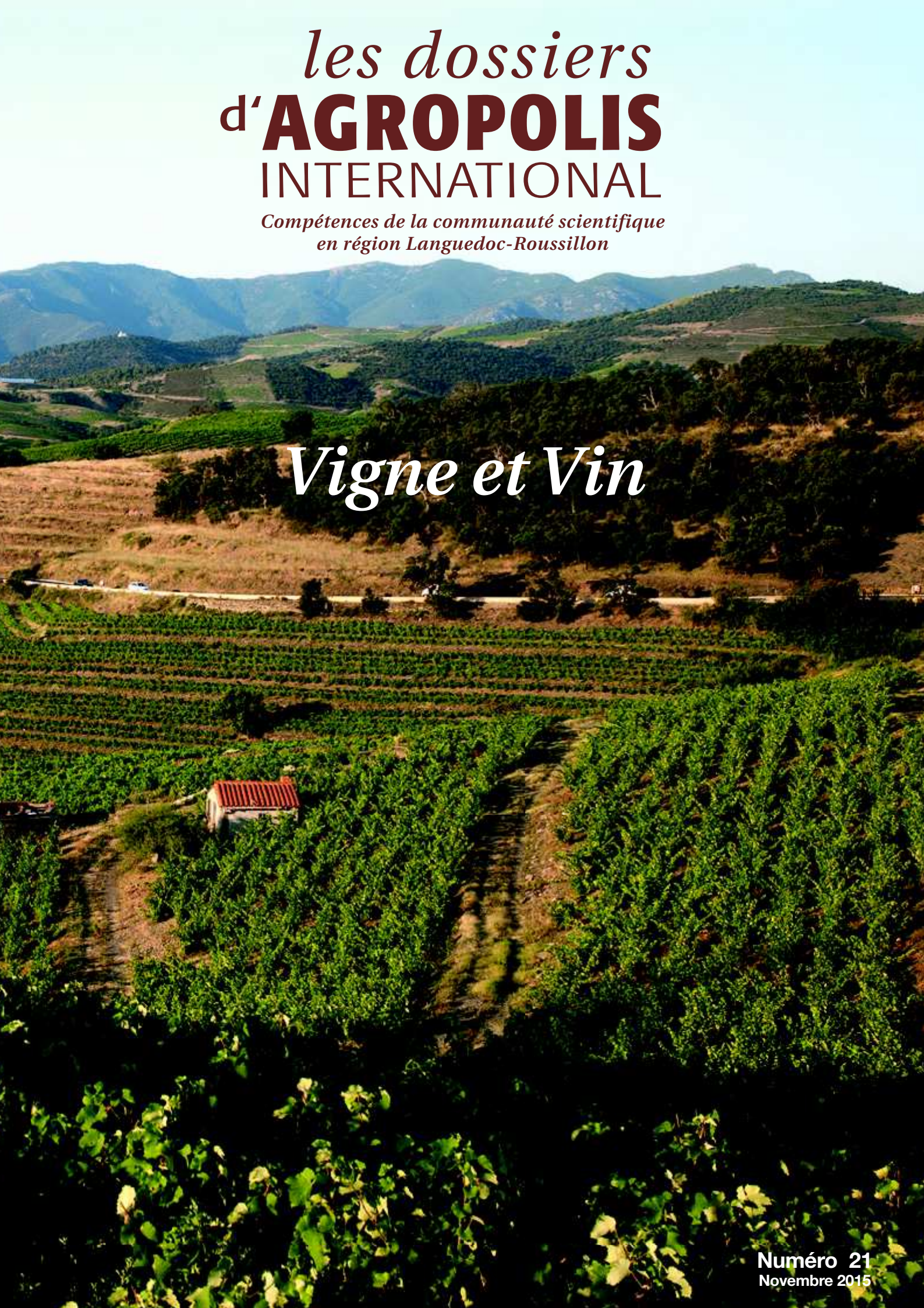
les dossiers
d'**AGROPOLIS**
INTERNATIONAL

Compétences de la communauté scientifique en région Languedoc-Roussillon



Vigne et Vin

Numéro 21
Novembre 2015

AGROPOLIS INTERNATIONAL

agriculture • alimentation • biodiversité • environnement

Agropolis International associe les institutions de recherche et d'enseignement supérieur de Montpellier et du Languedoc-Roussillon, les collectivités territoriales, des sociétés et entreprises régionales, en liaison avec des institutions internationales.

Agropolis International constitue un espace international ouvert à tous les acteurs du développement économique et social dans les domaines liés à l'agriculture, à l'alimentation, à la biodiversité, à l'environnement et aux sociétés rurales.

Agropolis International est un campus dédié aux sciences « vertes ». Il représente un potentiel de compétences scientifiques et techniques exceptionnel : 2 700 cadres scientifiques répartis dans 75 unités de recherche à Montpellier et en Languedoc-Roussillon, dont 400 scientifiques travaillant dans 60 pays.

La communauté scientifique Agropolis International est structurée en grands domaines thématiques correspondant aux grands enjeux scientifiques, technologiques et économiques du développement :

- Agronomie, plantes cultivées et systèmes de cultures, agro-écosystèmes
- Alimentation, nutrition, santé
- Biodiversité et écosystèmes aquatiques
- Biodiversité et écosystèmes terrestres
- Eau, ressources et gestion
- Économie, sociétés et développement durable
- Écotechnologies
- Interaction hôte-parasites et maladies infectieuses
- Modélisation, information géographique, biostatistiques
- Production et santé animales
- Ressources génétiques et biologie intégrative des plantes
- Une filière emblématique : vigne et vin

Lieu de capitalisation et de valorisation des savoirs, espace de formation et de transfert technologique, plateforme d'accueil et d'échanges internationaux, la communauté scientifique Agropolis International développe des actions d'expertise collective et contribue à fournir des éléments scientifiques et techniques qui permettent d'élaborer et de mettre en place des politiques de développement.

Compétences en formation, recherche et innovation dans le domaine vigne et vin au cœur du pôle scientifique montpelliérain et ses environs

Ce dossier présente les acteurs scientifiques basés sur le territoire du Languedoc-Roussillon, membres de la communauté scientifique d'Agropolis International, conduisant des activités de formation, recherche et d'innovation sur la vigne et le vin :

- des établissements d'enseignement supérieur et des organismes de recherche et dispositifs de valorisation et d'incubation ;
- quatorze unités mixtes de recherche (UMR, dépendant de plusieurs organismes tutelles) et groupes de recherche, conduisant des investigations dans différentes disciplines scientifiques complémentaires (génétique, physiologie, agronomie, écologie, œnologie, économie, sciences de l'information, etc.) ;
- trois unités mixtes technologiques (UMT), unités expérimentales et domaines expérimentaux, conduisant des expérimentations au champ ou en halles technologiques, au service des unités de recherche et des partenaires publics et privés.

Ce document a pour ambition d'offrir au lecteur un panorama de l'étendue des compétences en formation, recherche et innovation des acteurs régionaux sur la vigne et le vin.

Au plan scientifique, en présentant des exemples concrets, selon cinq grands champs thématiques :

- analyse de la diversité et du fonctionnement du génome de la vigne ;
- conduite du vignoble, pratiques agronomiques, réduction des impacts ;
- des connaissances pour maîtriser la qualité des vins ;
- des approches en sciences sociales de l'innovation et transformation de la filière ;
- relever les défis du numérique pour la filière ;

et un chapitre transversal illustrant comment l'association de ces compétences permet, à travers des programmes transdisciplinaires, de relever les défis de l'adaptation au changement climatique et de la vitiviniculture durable.

Le dossier illustre également la richesse des partenariats développés par les acteurs scientifiques régionaux avec le secteur académique en France, en Europe et dans le monde, et avec le secteur privé, afin de mener des recherches et des formations de haut niveau, répondant aux besoins des acteurs de la filière et des consommateurs et de favoriser l'innovation.

Le dossier présente également l'ensemble des formations diplômantes (de bac+2 à bac+5) proposées dans le secteur de la vigne et du vin par les établissements membres d'Agropolis International.

Vigne et vin

Avant-propos 4

Thématiques couvertes par les structures de recherche & de formation 6

Analyse de la diversité et du fonctionnement du génome de la vigne 9

Conduite du vignoble, pratiques agronomiques, réduction des impacts 19

Des connaissances pour maîtriser la qualité des vins 29

Approches en sciences sociales de l'innovation et transformation de la filière 39

Relever les défis du numérique pour la filière 47

Des programmes interdisciplinaires pour répondre aux enjeux du secteur vigne et vin 57

- *Adaptation au changement climatique* 58
- *Vitiviniculture durable* 62
- *Diversification des produits de la vigne* 65

Le partenariat et l'innovation au service des entreprises 67

Les formations proposées par les établissements membres d'Agropolis International 71

Liste des acronymes et des abréviations 74

Photo de couverture : ***vignobles en Languedoc-Roussillon*** © F. Pruneau

Les informations contenues dans ce dossier sont valides au 01/11/2015.

Avant-propos

À Montpellier, la recherche et la formation agronomique sont intimement liées à la culture de la vigne et à l'élaboration du vin. Au cœur de la grande région viticole du Languedoc, les scientifiques — chercheurs et enseignants — ont très tôt été interpellés par les questions liées à cette production, au gré de ses crises ou opportunités de développement. Ils furent ainsi les premiers à identifier la peste qui dévastait les vignobles de l'hexagone à la fin du XIXe siècle, le phylloxéra, et à proposer des solutions contre ce fléau, en particulier le greffage sur des hybrides de plants américains résistants, ce qui sauvera la viticulture européenne. Jules Émile Planchon et Gustave Foex, respectivement professeurs à la faculté de pharmacie (aujourd'hui Université de Montpellier) et à l'École Nationale d'Agriculture (aujourd'hui Montpellier SupAgro), ont marqué l'histoire vitivinicole par ces succès. Recherche et enseignement agronomique se sont ensuite renforcés mutuellement sur plus d'un siècle, en développant les domaines de formation et les disciplines scientifiques utiles à la conduite de la vigne, l'élaboration des vins et leur mise en marché.

Ces recherches ont été rythmées par une succession d'enjeux, depuis la lutte contre les maladies, la mécanisation et l'amélioration des rendements et des qualités jusqu'à la maîtrise des vinifications et marchés. Aujourd'hui, ces enjeux concernent avant tout la « durabilité » des vignobles aux plans environnemental, social et économique, avec des produits adaptés aux nouvelles attentes des consommateurs, avec la réduction de l'usage des pesticides ou l'adaptation au changement climatique.

Le dispositif réuni autour d'Agropolis International, et principalement porté par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), Montpellier SupAgro, l'Université de Montpellier et l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea), mobilise plus de 130 scientifiques sur ces enjeux. À ces effectifs s'ajoutent les acteurs locaux de la recherche-développement et de l'expérimentation, tels que l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV), l'Institut Coopératif du Vin (Groupe ICV) et les chambres d'agriculture ainsi que de nombreuses start-ups, tous étroitement associés. Avec un tel potentiel, Agropolis International constitue l'un des principaux pôles internationaux de recherche et de formation sur la vigne et le vin.

Conduits dans une douzaine d'unités mixtes de recherche, les travaux sur la vigne et le vin sont solidement ancrés sur une panoplie complète de disciplines scientifiques : sciences du végétal, agronomie, sciences de la transformation, mathématiques et sciences sociales. Cet adossement disciplinaire est une exigence pour participer à l'élaboration des connaissances sur les fronts de sciences et donner une cohérence aux programmes de recherche finalisée pertinents pour la filière. Ainsi, les travaux des équipes travaillant sur la vigne et le vin visent à affiner les connaissances sur le génome de la vigne, la réponse de la plante aux stress, la biogenèse des composés dans les baies (pour différentes valorisations de la récolte), l'érosion des sols et la dynamique des intrants, la physiologie des levures ou la physico-chimie des vins. Ils appréhendent également les questions d'organisation de la filière, de sa régulation et du fonctionnement des marchés. Par ailleurs, le *continuum* de disciplines portées par le dispositif permet de développer des approches intégrées autour de grands enjeux du secteur. Les expertises sont ainsi mobilisées dans des programmes interdisciplinaires traitant de questions complexes et prospectives, comme par exemple l'adaptation au changement climatique, le dépérissement de la vigne, le développement de pratiques culturales durables ou la gestion de l'alcool et de l'acidité dans les vins.

La conduite de ces projets est facilitée par l'existence de ressources et d'infrastructures d'excellence, en particulier une collection de vignes unique au monde — qui représente une ressource génétique d'exception —, une plateforme de phénotypage de plantes à haut débit, une plateforme d'analyse des polyphénols, ainsi qu'une halle technologique pour la vinification. Ces dispositifs, très attractifs au plan international, ont permis des avancées inédites dans les programmes de recherche et soutiennent l'ambition internationale d'Agropolis.

De plus, le Laboratoire d'excellence "Labex Agro", coordonné par Agropolis Fondation, soutient la structuration de la communauté scientifique, ses ambitions et son rayonnement. Il est centré sur les sciences du végétal et l'agriculture durable.

Les recherches sur la vigne et le vin sont largement ouvertes vers le monde économique, avec de nombreux projets conduits dans le cadre de partenariats avec des industriels, des instituts techniques, des interprofessions et autres organisations de la filière. Les liens avec l'IFV ont ainsi été renforcés dans le cadre de trois unités mixtes technologiques (Géno-Vigne, Qualinnov, Ecotech-Viti), interfaces importantes pour le transfert ou la co-construction d'innovations pour la filière. Par ailleurs, les recherches bénéficient du pôle de compétitivité Qualiméditerranée ainsi que de différents services dédiés facilitant leur activité comme, par exemple, Agro-Valo Méditerranée pour l'Inra et Montpellier SupAgro.

Les recherches sur la thématique vigne et vin du site sont largement développées en coopération au travers de programmes scientifiques à différentes échelles : régionale, nationale et internationale. Les équipes sont impliquées dans plusieurs projets et réseaux emblématiques (projets LACCAVE*, Innovine**, réseau mixte technologique FIDELE***, etc.). Leur intégration dans les réseaux internationaux de recherche et de formation est fréquente avec les plus grands centres des pays viticoles — Université de Californie à Davis, *American Association of Wine Economists*, *Australian Wine Research Institute*, Oenoviti International, le Groupe international d'experts en systèmes vitivinicoles pour la coopération (GiESCO), le Consortium EMaVE (*European Master of Science of Viticulture and Enology),* l'Association universitaire internationale du vin (AUIV), etc.

L'analyse bibliométrique des publications récentes (*cf. figure ci-contre*) illustre la richesse des collaborations avec d'autres centres de recherche, en France en particulier avec le pôle de Bordeaux ; les complémentarités de ces deux pôles renforcent leur attractivité internationale, au travers de productions scientifiques conjointes, de co-encadrements de thèses et des masters internationaux co-habilités.

Des formations d'ingénieurs et d'œnologues, licences, masters ou doctorats attirent des étudiants du monde entier, qui viennent acquérir des connaissances pointues et une culture à la fois interdisciplinaire et internationale, reconnue par les entreprises. Dans un contexte de progrès technique permanent et d'encadrement réglementaire très spécifique, l'expertise de ces diplômés, ingénieurs, chercheurs et enseignants, n'a cessé d'être mobilisée dans les institutions de la filière aux plans régional, national et international.

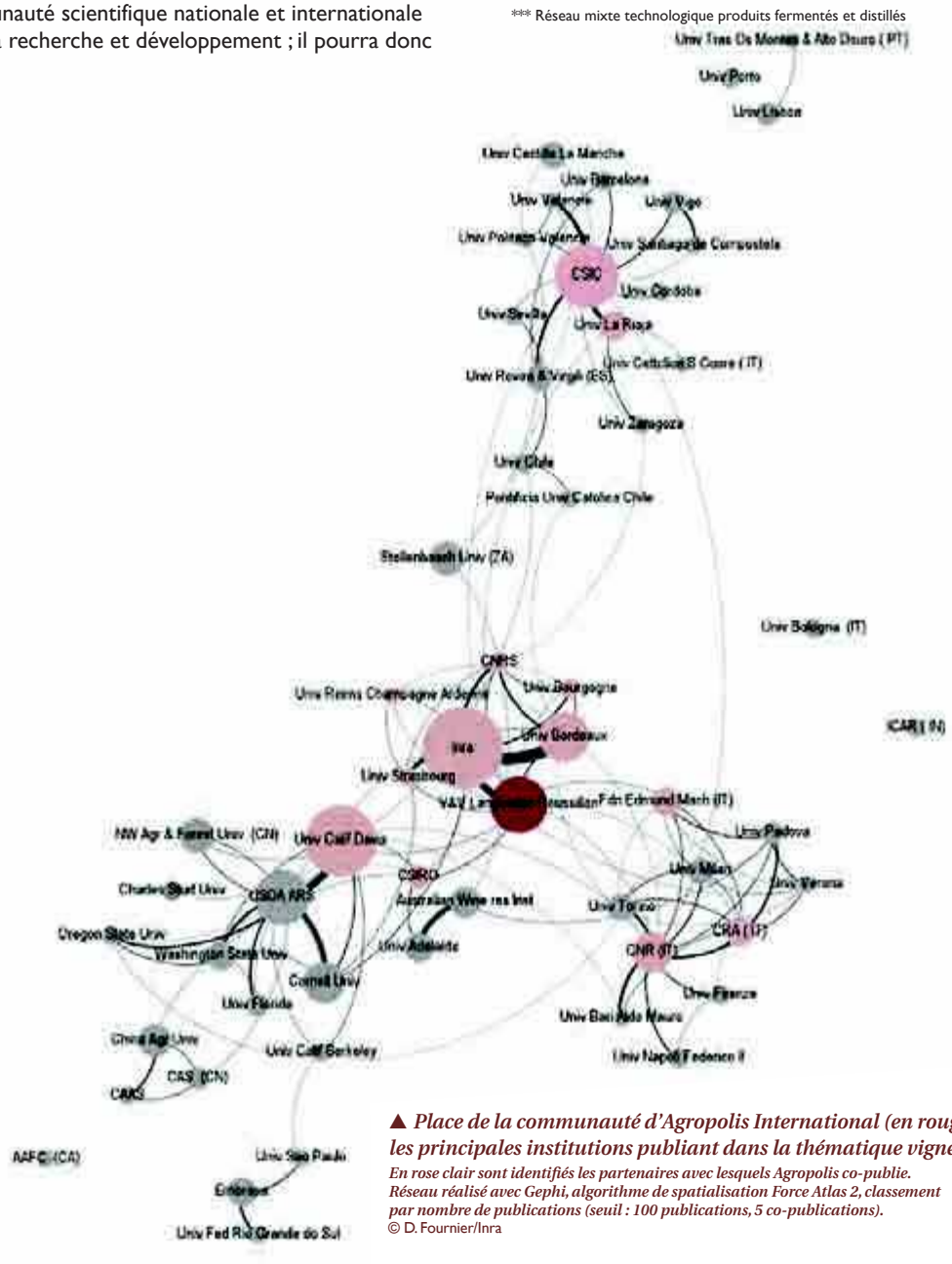
Ce dossier d'Agropolis International a vocation à mieux faire connaître la richesse des formations et la diversité des thèmes de recherche traités dans les laboratoires du pôle vigne et vin montpelliérain. Il s'inscrit dans une dynamique visant à améliorer la structuration de ce pôle et à en accroître la visibilité. Il ambitionne de mieux faire connaître les dispositifs auprès des organisations de la filière, des entreprises et des collectivités territoriales, de faciliter la création de liens avec d'autres acteurs de la recherche et de la formation au sein de la communauté scientifique nationale et internationale et de la recherche et développement ; il pourra donc intéresser l'ensemble des acteurs de la filière ainsi que les étudiants qui s'y destinent. Il est organisé en sept chapitres : les quatre premiers couvrent les aspects relatifs à la diversité génétique de la vigne, les systèmes de culture, l'œnologie, les filières et les marchés ; les deux suivants présentent, d'une part, les apports des mathématiques et sciences de l'information et, d'autre part, les approches intégrées mises en œuvre autour des grands enjeux (changement climatique, viticulture durable et diversification des produits) ;
enfin, l'organisation des dispositifs de partenariats, d'innovation et de formation sont exposés dans les deux derniers chapitres.

Bruno Blondin, Hervé Hannin, Thierry Simonneau, Patrice This & Jean-Marc Touzard

* Projet LACCAVE : Impacts et adaptations à long terme de la filière vitivinicole au changement climatique

** Projet Innovine : Associer techniques innovantes et génétique pour une filière viticole européenne durable

*** Réseau mixte technologique produits fermentés et distillés



▲ *Place de la communauté d'Agropolis International (en rouge) parmi les principales institutions publiant dans la thématique vigne et vin*
En rose clair sont identifiés les partenaires avec lesquels Agropolis co-publie. Réseau réalisé avec Gephi, algorithme de spatialisation Force Atlas 2, classement par nombre de publications (seuil : 100 publications, 5 co-publications).
© D. Fournier/Inra

Thématiques couvertes par les équipes de recherche

(Novembre 2015)

Les différentes équipes de recherche apparaissant dans le texte de ce dossier sont consignées dans le tableau ci-dessous.

1. Analyse de la diversité et du fonctionnement du génome de la vigne
2. Conduite du vignoble, pratiques agronomiques, réduction des impacts
3. Des connaissances pour maîtriser la qualité des vins
4. Économie de l'innovation et économie de la filière vin
5. Relever les défis du numérique pour la filière

La colonne « page » indique l'emplacement où figure le texte de présentation de la structure. Le point rouge (•) indique la thématique dans laquelle la structure développe principalement ses activités, les points noirs (•) les thématiques dans lesquelles elle est également impliquée.

Équipes de recherche	Page	1	2	3	4	5
UMR AGAP - Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales *(Cirad/Inra/Montpellier SupAgro)* Directeur : Patrice This, diragap@cirad.fr Contact : Jean-Pierre Péros, peros@supagro.inra.fr http://umr-agap.cirad.fr	10	•				
UMR B&PMP - Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes *(Inra/CNRS/Montpellier SupAgro/UM)* Directeur : Alain Gojon, alain.gojon@supagro.inra.fr Contact : Isabelle Gaillard, isabelle.gaillard@supagro.inra.fr www1.montpellier.inra.fr/ibip/bpmp	13	•				
UMR CBGP - Centre de Biologie pour la Gestion des Populations *(Inra/Cirad/Montpellier SupAgro)* Directrice : Flavie Vanlerberghe, dircbgp@supagro.inra.fr Contacts : Marie-Stéphane Tixier, marie-stephane.tixier@supagro.fr & Serge Kreiter, serge.kreiter@supagro.fr www6.montpellier.inra.fr/cbgp	27		•			
UMR Innovation - Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation *(Inra/Montpellier SupAgro/Cirad)* Directeur : Guy Faure, guy.faure@cirad.fr Contact : Jean-Marc Touzard, touzard@supagro.inra.fr http://umr-innovation.cirad.fr	40		•		•	
UMR ISEM - Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier *(UM/CNRS/EPHE/IRD)* Directrice : Agnès Mignot, agnes.mignot@univ-montp2.fr Contacts : Laurent Bouby, laurent.bouby@univ-montp2.fr & Jean-Frédéric Terral, terral@univ-montp2.fr www.isem.univ-montp2.fr	16	•				
UMR ITAP - Information-Technologie-Analyse environnementale-Procédés agricoles *(Irstea/Montpellier SupAgro)* Directeur : Tewfik Sari, tewfik.sari@irstea.fr Contact : Bruno Tisseyre, bruno.tisseyre@supagro.fr http://itap.irstea.fr/	48					•
UMR LEPSE - Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux *(Inra/Montpellier SupAgro)* Directeur : Bertrand Muller, bertrand.muller@supagro.inra.fr Contacts : Thierry Simonneau, thierry.simonneau@supagro.inra.fr & Eric Lebon, lebon@supagro.inra.fr www6.montpellier.inra.fr/lepse/Presentation-generale	22	•	•			•
UMR LIRMM - Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier *(UM/CNRS)* Directeur : François Pierrot, information@lirmm.fr Contact : Philippe Vismara, philippe.vismara@lirmm.fr Équipe Coconut : www.lirmm.fr/coconut	51					•

Équipes de recherche	Page	1	2	3	4	5
UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème *(Inra/IRD/Montpellier SupAgro)* Directeur : Jérôme Molénat, jerome.molenat@supagro.inra.fr Contacts : Jérôme Molénat, jerome.molenat@supagro.inra.fr & Olivier Grunberger, olivier.grunberger@ird.fr www.umr-lisah.fr	20		●			
UMR MISTEA - Mathématiques, Informatique et STatistique pour l'Environnement et l'Agronomie *(Inra/Montpellier SupAgro)* Directeur : Pascal Neveu, pascal.neveu@supagro.inra.fr Contact : Bénédicte Fontez, benedicte.fontez@supagro.fr www6.montpellier.inra.fr/mistea	52					●
UMR Moisa - Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs *(Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/Ciheam-IAMM)* Directrice : Paule Moustier, paule.moustier@cirad.fr Contact : Étienne Montaigne, etienne.montaigne@supagro.fr http://umr-moisa.cirad.fr	42				●	
UMR Physiologie et médecine expérimentale du cœur et des muscles *(UM/Inserm/CNRS)* Directeur de l'unité : Jacques Mercier Contact : Ariane Sultan, a-sultan@chu-montpellier.fr http://u1046.edu.umontpellier.fr/	30			●		
UMR SPO - Sciences pour l'œnologie *(Inra/Montpellier SupAgro/UM)* Directeur et contact : Jean-Marie Sablayrolles, sablayro@supagro.inra.fr www6.montpellier.inra.fr/spo	30	●		●		●
UMR System - Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens *(Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/Ciheam-IAMM)* Directeur : Christian Gary, christian.gary@supagro.inra.fr Contact : Raphaël Métral, raphael.metral@supagro.fr http://umr-system.cirad.fr	24		●			
UMT Ecotech-Viti *(IFV/Irstea/Montpellier SupAgro-IHEV)* Animateurs : Sébastien Codis, sebastien.codis@vignevin.com & Bernadette Ruelle, bernadette.ruelle@irstea.fr http://itap.irstea.fr/?p=6696	26		●			●
UMT Géno-Vigne® *(IFV/Inra/Montpellier SupAgro)* Animateurs et contacts : Laurent Audeguin, laurent.audeguin@vignevin.com & Patrice This, this@supagro.inra.fr ou patrice.this@cirad.fr www.vignevin.com/linstitut/partenaires/unite-mixte-technologique.html	14	●				
UMT Qualinnov *(IFV/Inra)* Animateur et contact : Rémi Guérin-Schneider, remi.schneider@vignevin.com www.vignevin.com/linstitut/partenaires/unite-mixte-technologique.html	36			●		
UEPR - Unité expérimentale de Pech Rouge *(Inra)* Directeur : Hernán Ojeda, ojeda@supagro.inra.fr Contacts : Hernán Ojeda, ojeda@supagro.inra.fr & Jean-Michel Salmon, jmsalmon@supagro.inra.fr www.montpellier.inra.fr/pechrouge	34		●	●		●
Unité expérimentale du Domaine de Vassal *(Inra)* Directeur : Hernán Ojeda, ojeda@supagro.inra.fr Contact : Cécile Marchal, cecile.marchal@supagro.inra.fr www1.montpellier.inra.fr/vassal	17	●				
Domaine du Chapitre *(Montpellier SupAgro/Inra)* Directeur et contact : Christophe Clipet, clipet@supagro.inra.fr	27	●	●			●
Wine business group *(Montpellier Business School)* Directeurs : Beysül Aytac, b.aytac@montpellier-bs.com & Julien Granata, j.granata@montpellier-bs.com Contact : Julien Granata, j.granata@montpellier-bs.com www.montpellier-bs.com/groupe/le-centre-de-recherche/groupes-de-recherche/wine-business	44				●	

DIVERSITÉ DES CÉPAGES

© J.-M. Boursiquot/Montpellier SupAgro

Analyse de la diversité et du fonctionnement du génome de la vigne

Dans un monde en constante évolution, la viticulture doit faire face à de nombreux défis :

- les changements climatiques, avec l'augmentation des températures et/ou la réduction des précipitations, qui impactent directement la qualité des vins ;
- l'évolution des goûts des consommateurs, nécessitant une évolution de l'offre ;
- l'intérêt croissant porté par la société à l'environnement, induisant une réduction importante de l'utilisation des produits phytosanitaires ;
- la nécessaire diversification de l'offre des produits de la vigne et du vin pour faire face, notamment, à la concurrence internationale.

Dans ce contexte, disposer de ressources génétiques très diversifiées apparaît aujourd'hui comme un atout essentiel. À ce titre, la communauté scientifique d'Agropolis International est en charge de la plus grande collection au monde de ressources génétiques (Domaine de Vassal). Avec ses 7 800 accessions (ou introductions), ce trésor, unique, est maintenu, caractérisé et distribué au service de l'ensemble de la communauté scientifique et de la filière vitivinicole.

De même, une meilleure connaissance de la diversité de la vigne et du fonctionnement de son génome est fondamentale. La vigne est la quatrième espèce végétale dont le génome a été décrypté. Une variété homozygote a tout d'abord été séquencée par un consortium franco-italien* — projet auquel les équipes montpelliéraines ont contribué —, puis ce fut le cas de la variété Pinot noir, très hétérozygote, par une équipe italienne**.

Disposer de l'enchaînement complet des bases constituant la quasi-totalité du génome de la vigne a notamment permis, par analyse automatique, d'identifier et de positionner une grande partie des gènes de la vigne. Grâce à ce formidable outil, des avancées majeures ont été réalisées vers la compréhension de certains caractères d'intérêt agronomique comme la couleur de la pellicule des raisins par exemple.

Cependant, la connaissance complète de l'ensemble des gènes, de la diversité du génome et de son fonctionnement est encore un objectif à moyen terme. À cette fin, les équipes de la communauté scientifique de Montpellier travaillant sur la vigne et le vin mènent des travaux permettant une meilleure compréhension de :

- la diversité génétique de la vigne, en particulier pour les caractères d'adaptation et de qualité, ce qui nécessite notamment le recours à des plateformes de phénotypage haut débit ;
- l'évolution de la principale espèce cultivée de vigne dans le monde (*Vitis vinifera*), depuis sa domestication jusqu'à nos jours notamment au travers des nombreux croisements naturels ou dirigés qui ont conduit aux cépages d'aujourd'hui. Des études d'archéo-botanique sont également conduites pour comprendre les étapes les plus anciennes ;
- les relations entre *Vitis vinifera* et les différentes espèces apparentées du genre *Vitis* porteuses de gènes favorables, tels que des gènes de résistance ou de tolérance à certains parasites, mais qui sont aussi à l'origine de défauts importants notamment au niveau organoleptique.

Ces travaux permettent de comprendre l'histoire de la diversité de la vigne depuis les origines de la viticulture jusqu'aux cépages d'aujourd'hui, mais aussi de mieux utiliser les ressources génétiques pour la création variétale.

Par ailleurs, l'identification des zones du génome de la vigne — voire des gènes — impliqués dans le contrôle des caractères d'intérêt agronomique permet une meilleure orientation des croisements à réaliser pour créer les variétés de demain, et aide les sélectionneurs à accélérer les schémas de sélection de la vigne pour être plus réactifs aux demandes des professionnels.

Enfin, une meilleure compréhension des voies de biosynthèse des principaux composés primaires et secondaires de la baie de raisin et des voies de signalisation permet d'expliquer les effets des pratiques culturales sur la santé de la vigne et la qualité du vin et de comprendre les effets du changement climatique et de différents stress biotiques et abiotiques au niveau de l'expression des gènes et de la régulation des voies métaboliques.

Ce chapitre présente les unités de recherche et technologiques de la communauté d'Agropolis International impliquées dans ces thématiques. Il présente aussi la collection de vigne du Domaine de Vassal et la plateforme de phénotypage dont les travaux portent sur la réponse à la sécheresse ainsi que plusieurs exemples illustratifs des travaux en cours dans ces unités.

Patrice This (UMR AGAP)

* Jaillon *et al.*, 2007
** Velasco *et al.*, 2007

Analyse de la diversité et du fonctionnement du génome de la vigne

Création variétale : de la diversité génétique jusqu'à la production de vignes résistantes aux maladies et adaptées aux changements environnementaux

Les équipes principales
UMR AGAP **Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales** (Cirad/Inra/Montpellier SupAgro) *250 scientifiques dont 14 impliqués dans la thématique (équipe « Diversité, adaptation et amélioration de la vigne »)*
UMR B&PMP **Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes** (Inra/CNRS/Montpellier SupAgro/UM) *80 scientifiques* *dont 8 impliqués dans la thématique*
UMR ISEM **Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier** (UM/CNRS/EPHE/IRD) *166 scientifiques* *dont 8 impliqués dans la thématique*
UMT Géno-Vigne® **Valorisation des ressources génétiques de la vigne en France** (IFV/Inra/Montpellier SupAgro) *23 scientifiques*
Unité expérimentale du Domaine de Vassal (Inra) *8 ingénieurs et techniciens*
Autres équipes concernées par ce thème
UMR LEPSE **Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux** (Inra/Montpellier SupAgro) *15 scientifiques* *dont 5 impliqués dans la thématique*
UMR SPO **Sciences pour l'œnologie** (Inra/Montpellier SupAgro/UM) *45 scientifiques*
Unité expérimentale du Domaine du Chapitre (Montpellier SupAgro/Inra) *7 ingénieurs et techniciens*

Le fort impact de la viticulture sur l'environnement lié à l'usage de produits phytosanitaires, le lien étroit avec les sociétés humaines au travers de la notion de terroir et la fréquente localisation périurbaine et les risques potentiels du changement climatique sur la qualité des vins, nécessitent une adaptation de la viticulture. Une réponse à moyen terme est la diffusion de nouvelles variétés de vigne résistantes aux maladies et mieux adaptées à un environnement en changement tout en conservant un excellent niveau qualitatif.

Dans ce contexte, l'équipe ***Diversité, adaptation et amélioration de la vigne*** **(DAAV) de l'unité mixte de recherche *Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales* (UMR AGAP - Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)** a pour objectif de créer des variétés de vigne à la fois plus résistantes aux maladies, mieux adaptées aux changements climatiques et de qualité élevée. Ses recherches se décomposent en trois axes :

- étude de la diversité et de l'évolution de la vigne et des espèces apparentées ;
- identification des bases génétiques et moléculaires des caractères d'intérêt et de l'adaptation ;
- intégration de ces informations pour la prédiction des caractères et l'innovation variétale.

Ses travaux mobilisent des connaissances issues de plusieurs disciplines — ampélographie, génétique des populations, génétique quantitative, physiologie, phytopathologie — ainsi que des compétences méthodologiques telles que la biologie moléculaire, la modélisation statistique et l'algorithmique. Dans sa démarche de recherche finalisée, l'UMR a constitué l'unité mixte technologique (UMT) Géno-Vigne® (*cf. p. 14*) en partenariat avec l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV), ce qui lui permet d'interagir avec les professionnels de la filière.

L'équipe DAAV participe activement à la gestion de la plus grande collection mondiale de ressources génétiques de la vigne du Domaine de Vassal (*cf. p. 17*) et dispose de ressources techniques et d'équipements (parcelles expérimentales, serres, chambres de culture). Elle maîtrise également la technique de production de « vignes naines ». L'équipe bénéficie d'un accès privilégié à un plateau de génotypage haut-débit ainsi qu'aux serveurs de calcul des plateformes *SouthGreen** de l'UMR AGAP et de l'unité de recherche Génomique Info (URGI, Inra Versailles). Certaines de ces données sont mises à disposition dans les bases de données en ligne SNiPlay**, VitPhe*** et GnpIS.

* La plateforme South Green est un réseau créé pour permettre l'accès à des méthodes innovantes et des ressources de calcul dédiées à la génomique et l'amélioration des plantes d'intérêt agronomique : www.southgreen.fr

** SNiPlay : application Web d'analyse et d'exploitation de données de polymorphismes SNP, http://sniplay.cirad.fr

*** VitPhe : système d'information dédié à l'archivage, la consultation et le traitement de données expérimentales issues de différents projets et récoltées sur des dispositifs variés (champ, serre et laboratoire), http://bioweb.supagro.inra.fr/vitphe/public/

Analyser l'ADN pour mieux connaître l'histoire des cépages

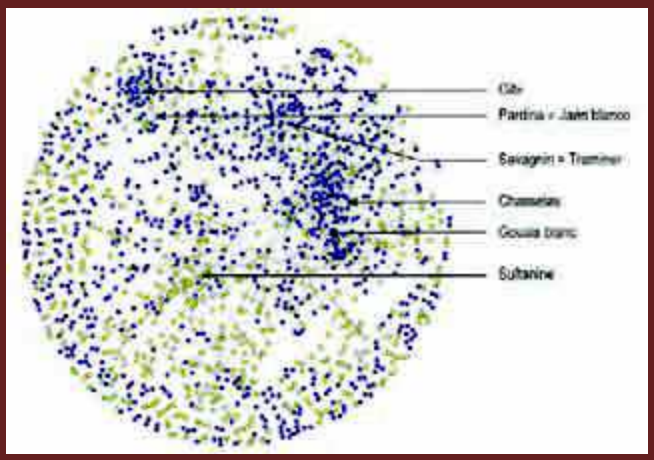
L'apport du marquage moléculaire appliqué à l'étude des cépages a été majeur, notamment à partir des années 1990 avec l'utilisation des microsatellites (ou SSR, *simple sequence repeats*).
Les connaissances acquises grâce à ces outils moléculaires concernent trois thèmes relatifs à l'histoire des cépages : leur identification, leur généalogie et la structuration géographique de leur diversité.

L'identification des cépages a grandement bénéficié de la démocratisation des marqueurs moléculaires, en appui des techniques ampélographiques classiques. De nombreuses études locales, nationales et internationales ont permis de confirmer ou de découvrir des synonymes et homonymes dans les dénominations variétales et ainsi de mieux connaître les aires de diffusion actuelles et passées de certains cépages « voyageurs ». Ces synonymes sont aujourd'hui regroupés dans plusieurs bases de données libres d'accès sur le web.

Les études généalogiques ont débuté dès 1993. Depuis cette date, plusieurs études sont parvenues à confirmer, ou infirmer, les données de croisements fournies par les hybrideurs, mais surtout à révéler le pedigree de variétés traditionnelles beaucoup plus anciennes. C'est ainsi que les parents de cépages fameux ont été révélés : Chardonnay, Merlot, Syrah, etc. Ces résultats ont mis l'accent sur certains géniteurs majeurs dans le passé mais qui ont disparu des vignobles actuels (Gouais blanc, Magdeleine noire des Charentes, Mondeuse blanche, etc.).

Les études de diversité, qu'elles aient été conduites à des échelles locales, nationales ou internationales, ont, quant à elles, permis de mieux comprendre l'origine géographique des cépages, au-delà de leur origine généalogique directe. Elles aboutissent à la proposition de plusieurs groupes de diversité, dont certains n'avaient pas été suspectés sur la base des études morphologiques comparatives. Le positionnement des cépages dans ces groupes de diversité à différentes échelles a permis de préciser leur possible origine géographique ainsi que leurs trajets historiques.

Contacts : Thierry Lacombe, lacombe@supagro.inra.fr
Jean-Michel Boursiquot, jean-michel.boursiquot@supagro.fr



▲ ***Réseau représentant les demi-parentés mises en évidence au sein des 2 344 cépages de la collection du Domaine de Vassal sur la base de 20 marqueurs microsatellites***
Les variétés de cuve sont représentées en bleu, les variétés de table en jaune et les variétés à double usage en vert, les traits noirs symbolisent les apparentements.
© T. Lacombe, J.-M. Boursiquot, V. Laucou, M. Di Vecchi-Stara, J.-P. Peros, P. This

◀ ***Plant de microvigne (vigne naine) avec des inflorescences à différents stades de développement le long de la tige principale***
© L. Torregrosa/UMR AGAP, équipe DAAV

Identification des bases génétiques de la qualité et de l'adaptation

Afin de découvrir les régions du génome et, si possible, les gènes, impliqués dans la variation des caractères d'intérêt, l'UMR AGAP recherche, dans différentes populations, des associations statistiques entre la variabilité génotypique de nombreux marqueurs répartis sur tout le génome (polymorphisme de l'ADN) et la variabilité phénotypique de caractères mesurés sur les plantes. Ces populations peuvent être issues de croisements isolés ou connectés entre eux (avec des parents communs, cas du diallèle), ce qui permet de comparer les résultats dans différents fonds génétiques. L'UMR utilise également des échantillons de variétés non apparentées, qui permettent d'explorer de façon plus rapide et plus exhaustive la variabilité disponible (génétique d'association). Les plantes sont cultivées au champ ou en pots pour faciliter l'étude des bases génétiques de l'adaptation aux stress hydrique et thermique. En particulier, l'étude d'une descendance naine à cycle court (microvignes, *cf. photo ci-contre*) a permis de cultiver une population entière en chambre de culture sous deux régimes de température contrastés et, ainsi, de trouver de nouvelles régions du génome impliquées dans la variation de la taille et de la concentration en acides des baies pour une large gamme de températures. De nombreux gènes étant présents dans ces régions, un tri est nécessaire, basé sur les profils d'expression et de variabilité de ces gènes. Lorsqu'un gène s'avère être un candidat très probable pour expliquer la variabilité du caractère, on peut tenter de valider son effet sur le caractère par génomique fonctionnelle.

Contacts : Agnès Doligez, agnes.doligez@supagro.inra.fr
Laurent Torregrosa, laurent.torregrosa@supagro. fr
Charles Romieu, charles.romieu@supagro.inra.fr

▲ *Plateforme de phénotypage du LEPSE* © T. Simonneau

Les plateformes de phénotypage pour l'analyse automatisée de la tolérance à la sécheresse sur de grandes populations de plantes

Les plateformes de phénotypage (*Montpellier Plant Phenotyping Platforms*) développées au LEPSE (*cf. p. 22*) permettent de comparer des centaines de génotypes de vigne en pots en situation de sècheresse. Il s'agit d'un des rares équipements de ce type au monde qui permette le contrôle robotisé du dessèchement du sol pour chacune des plantes (jusqu'à 1680) installées dans les plateformes en serre. La croissance et la transpiration de chaque plante sont analysées automatiquement par pesée individuelle des pots et par analyse d'image.

De 2012 à 2014, trois expérimentations ont été réalisées sur un croisement entre deux des cépages emblématiques du Sud de la France : le Syrah et le Grenache. Les résultats obtenus en collaboration avec l'UMR AGAP ont conduit à repérer de nombreuses régions du génome impliquées dans le maintien de la croissance ou dans l'économie d'eau par les plantes en situation de sécheresse. Ces travaux peuvent déboucher soit sur le simple repérage des cépages les mieux adaptés à des scénarios climatiques actuels ou à venir, soit sur la sélection assistée par marqueurs de nouveaux cépages.

Contact :
Thierry Simonneau, thierry.simonneau@supagro.inra.fr
Pour plus d'informations : www6.inra.fr/agadapt/Water-reuse/State-of-the-art

Biosynthèse de flavonoïdes chez la vigne

Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires essentiels pour la qualité des aliments d'origine végétale et bénéfiques pour la santé. Ils sont utilisés par l'industrie, notamment pour leurs propriétés colorantes, anti-oxydantes et nutritionnelles.
Les flavonoïdes majoritaires du raisin sont :

- les anthocyanes, molécules colorantes des cépages et des vins rouges ;
- les tanins condensés, impliqués dans l'astringence et la stabilisation de la couleur.

Si les grandes étapes de leur biosynthèse chez le raisin et, plus généralement, chez les plantes, sont désormais connues, d'autres étapes restent pour l'instant assez peu documentées. Un des objectifs du groupe « Biosynthèse et Composition en Polyphénols et Polysaccharides » de l'UMR SPO (*cf. p. 30*) est d'identifier :

- les mécanismes moléculaires impliqués dans certaines étapes finales de la biosynthèse des flavonoïdes — notamment les méthylations, acylations et polymérisations qui modifient les propriétés de ces molécules ;
- les processus de transport et de stockage de ces composés dans la cellule ;
- les facteurs contrôlant leur teneur et leur composition dans la baie de raisin.

La recherche de nouveaux gènes s'effectue par des approches couplées de :

- métabolomique : analyse de la composition en flavonoïdes de tissus, cultivars à différents stades de développement ;
- transcriptomique : mesure de la variation d'expression des gènes entre échantillons présentant une teneur contrastée en flavonoïdes ;
- génétique (avec l'UMR AGAP) : identification des régions du génome contrôlant la composition en flavonoïdes.

Plusieurs nouveaux gènes ont ainsi été identifiés. Leur caractérisation a démontré leur rôle dans la régulation de ces voies de biosynthèse, la méthylation et le transport des anthocyanes ou l'acylation des tanins.

La compréhension de ces mécanismes permettra de mieux appréhender la synthèse de ces composés par la plante en fonction des variations de l'environnement et, notamment, en lien avec le changement climatique (température, lumière, sécheresse).
À l'avenir, ces gènes pourront également servir de marqueurs dans les programmes de création variétale.

Contact :
Nancy Terrier, terrier@supagro.inra.fr
Pour plus d'informations : www6.montpellier.inra.fr/spo/Recherche/BCP2

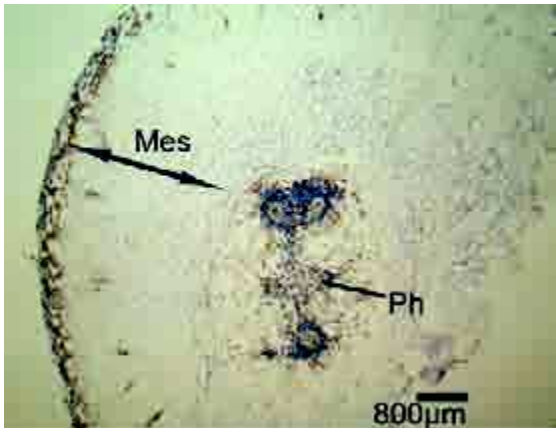
▲ *Caractérisation d'un gène de méthylation des anthocyanes*
De gauche à droite :
1. Extrait de feuille sans anthocyanes.
2. Extrait de feuille contenant des anthocyanes.
3. Extrait de feuille contenant des anthocyanes méthylées grâce à l'activité du gène étudié (la méthylation des anthocyanes intensifie leur couleur).
© A. Ageorges/UMR SPO-Inra

Contrôler l'accumulation de potassium dans la baie de raisin pour maintenir l'acidité du vin

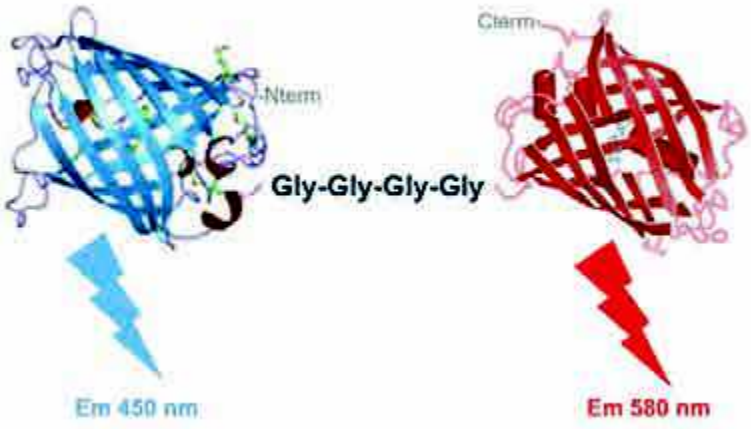
L'UMR en biologie intégrative *Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes* (B&PMP - Inra, CNRS, Montpellier SupAgro, UM) se consacre à l'étude des mécanismes qui gouvernent le statut hydrominéral des plantes, dans des conditions abiotiques contrastées en intégrant des recherches s'appuyant sur des disciplines telles que la biochimie, la biologie moléculaire et cellulaire, la physiologie, la biophysique et la génétique. Elle est mondialement connue pour ses études sur les activités de transport des cellules végétales (canaux et transporteurs membranaires) effectuées principalement sur la plante modèle *Arabidopsis*. L'équipe KaliPHruit de B&PMP utilise ces connaissances acquises sur le transport du K^+ chez la plante modèle pour analyser l'accumulation de cet ion dans la baie de raisin et son impact sur l'acidité du fruit.

Chez la vigne, depuis une vingtaine d'années et en relation avec le réchauffement climatique, les teneurs en potassium de la baie de raisin ne cessent d'augmenter. Or, lorsque la concentration de K^+ dans la baie devient excessive, cet ion se combine avec un des acides majoritaires du raisin, l'acide tartrique, pour former du bitartrate de potassium, largement insoluble, qui précipite. Il s'ensuit une augmentation du rapport malate/tartrate et du pH de la baie, et donc une alcalinisation des moûts. Ce phénomène altère fortement la qualité du raisin et du moût, car c'est l'acidité qui permet aux arômes de s'exprimer durant la vinification. Les vins obtenus possèdent alors de faibles qualités organoleptiques et peu de potentiel de vieillissement. Acquérir une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans l'accumulation du K^+ dans la baie de raisin au cours de son développement et sous contrainte abiotique devrait permettre à terme l'identification de marqueurs originaux et pertinents pouvant être utilisés dans des programmes de sélection par les généticiens.

L'UMR B&PMP possède toutes les capacités scientifiques pour analyser les mécanismes physiologiques et génétiques impliqués dans l'accumulation accrue du K^+ dans la baie et ses conséquences dans la détérioration de l'acidité du fruit. Afin de mener à terme ce travail, l'unité a établi des collaborations fortes avec l'équipe Efficience de transpiration et adaptation des plantes aux climats secs du Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux (*LEPSE, cf. p. 22*) qui dispose d'installations permettant de cultiver cette espèce dans des conditions rigoureusement contrôlées, ainsi qu'avec l'équipe DAAV de l'UMR AGAP (*cf. p. 10*) dont la mission est de contribuer à la création de nouvelles variétés de vigne répondant aux enjeux d'une viticulture durable.



▲ ***Localisation d'un canal K^+ par hybridation* in situ *dans le mésocarpe (cellules de la pulpe) de la baie de raisin***
Mes : mésocarpe (pulpe de raisin) - Ph : phloème
© I.Gaillard/BPMP et T. Cuéllar/Cirad



▲ ***Senseur ratiométrique formé par un tandem de deux protéines fluorescentes de faible pK***
Ce senseur est compatible avec la mesure de pH dans la vacuole de baie de raisin en cours de maturation. © N. Paris/B&PMP

Des sondes fluorescentes ratiométriques pour une mesure non invasive de pH acides dans la baie de raisin

L'acidité du raisin à la vendange est un des critères essentiels pour l'obtention d'un bon vin. Une acidité trop faible donne des vins alcooleux, plus ou moins sucrés et assez tanniques car c'est l'acidité du vin, aussi appelée « fraîcheur » en œnologie, qui permet aux arômes et aux saveurs du raisin de s'exprimer. Le réchauffement climatique a pour conséquence d'augmenter le pH dans la vacuole des cellules de la baie de raisin.

Dans le cadre du projet SweetKaliGrape financé par l'ANR (2015-2018), l'acidité de la baie de raisin au cours de sa maturation sera analysée et corrélée avec les processus d'accumulation du potassium et du sucre. Des sondes ratiométriques fluorescentes, exprimées dans la baie de raisin par génie génétique, permettront une mesure de pH par imagerie à l'échelle cellulaire et subcellulaire (résolution optimale 250 nm) et de manière non invasive, contrairement aux microélectrodes à protons. Les senseurs actuels ont un pK proche de 6, ce qui les rend inutilisables pour les pH vacuolaires, surtout dans la baie de raisin où le pH peut descendre en dessous de 3 selon les cépages. L'équipe *KalipHruit* de l'UMR B&PMP a donc développé une nouvelle génération de senseurs basée sur un tandem de protéines fluorescentes de faible pK : une protéine fluorescente bleue liée par quelques résidus glycine à une protéine fluorescente rouge. Les émissions de fluorescence des deux protéines sont récoltées et le pH est déduit du ratio de fluorescence, ratio lui-même calibré *in vitro* avec une gamme de tampons.

Les deux premiers senseurs obtenus ont été exprimés en système bactérien et analysés par spectrométrie. Ils seront par la suite fusionnés à des signaux d'adressage permettant leur accumulation dans la vacuole puis exprimés dans les baies de raisin. La mesure du pH se fera par observation en microscopie confocale et par calcul du ratio de fluorescence des deux protéines.

Contact :
Nadine Paris, nadine.paris@supagro.inra.fr
Pour plus d'informations : www1.montpellier.inra.fr/ibip/bpmp/equipes/kaliphruit.htm

Valorisation des ressources génétiques de la vigne en France

L'UMT *Géno-Vigne*® (Inra, Montpellier SupAgro, IFV) a été labellisée en 2008 par la Direction générale de l'enseignement et de la recherche du ministère chargé de l'Agriculture. Les unités mixtes technologiques (UMT) permettent d'assurer l'interface entre la recherche et le développement et de conduire en commun un programme à vocation nationale de recherche et développement. Elles associent, autour d'un projet commun, un institut technique qualifié et un organisme de recherche public ou un établissement d'enseignement supérieur. Le projet de l'UMT *Géno-Vigne*® associe ainsi le Pôle National Matériel Végétal de l'IFV, l'UMR AGAP, les Domaines de Vassal et du Chapitre. Les UMR Écophysiologie et génomique fonctionnelle de la vigne (Inra Bordeaux) et Santé de la Vigne et Qualité du Vin (Inra Colmar), l'UE de Pech Rouge ainsi que l'UMT Qualinnov sont désormais associées à Géno-Vigne®.

L'UMT Géno-Vigne® a pour vocation d'optimiser la gestion, la conservation et la valorisation des ressources génétiques de la vigne en France, au profit de la filière vitivinicole. Elle est orientée vers l'innovation variétale, depuis la caractérisation des ressources génétiques de la vigne, le développement de technologies et leur transfert, la mise en place d'essais de matériel innovant, jusqu'à l'obtention de nouvelles variétés inscrites au catalogue national.

Ses objectifs prioritaires sont les suivants :

❶ Affiner la gestion des ressources génétiques et développer des méthodes alternatives de conservation à travers un plan d'action intégré pour la gestion des ressources génétiques de la vigne au niveau national (UE du Domaine de Vassal, IFV et partenaires du réseau), la certification ISO 9001/2008 (qui spécifie les exigences relatives au système de management de la qualité), la caractérisation sanitaire et l'assainissement des ressources génétiques ainsi que le marquage moléculaire (identification variétale et polymorphisme clonal).

❷ Améliorer la caractérisation sanitaire et phénotypique des ressources génétiques et valoriser les ressources génétiques disponibles (variétés et clones) : phénotypage de ressources génétiques et développement d'outils de phénotypage à débit augmenté, test d'approches de génotypage plus efficientes, évaluation des méthodologies d'identification des bases génétiques du polymorphisme.

❸ Proposer du matériel performant pour répondre aux exigences de diminution des intrants phytosanitaires et pour affronter les changements climatiques : développement de géniteurs élites présentant des résistances oligogéniques* aux maladies cryptogamiques de la vigne (mildiou, oïdium) ainsi que de populations de *pre-breeding***, définition d'idéotypes*** pour la filière, création variétale et sélection assistée par marqueurs moléculaires afin d'associer typicité régionale et résistance aux maladies, évaluation des génotypes sélectionnés au champ, valorisation de nouveaux clones, de variétés anciennes ou étrangères, mise en place d'expérimentations multi-sites, innovation et modes de conduite innovants.

❹ Faciliter l'accès à l'information et au savoir en développant des outils d'aide à la reconnaissance des cépages et en soutenant des actions de formation.

L'unité bénéficie des infrastructures et des moyens de ses membres (domaines expérimentaux, laboratoires, collections, centre de documentation, serres, halle de vinification, appareillage, etc.).

* Résistances déterminées par un nombre restreint de gènes
** Populations destinées à être utilisées ultérieurement dans des programmes de création variétale
*** Nouvelles variétés sélectionnées pour leur capacité à profiter de manière optimale d'un environnement donné et répondant à un cahier des charges approuvé

▼ *Vue du Domaine de l'Espiguette* ® IFV

▲ *Sélectionneur castrant toutes les fleurs d'une grappe de vigne* © T. Flutre

Création variétale : des vignes résistantes au mildiou et à l'oïdium

Un des enjeux actuels majeurs de la viticulture consiste en une production respectueuse de l'environnement dans un contexte de changement climatique. La création variétale peut contribuer à donner des réponses en s'appuyant sur les attentes de la profession et les connaissances scientifiques disponibles. Des discussions sont menées avec les professionnels des différents bassins viticoles pour ajouter aux défis globaux d'autres critères spécifiques à leur région. Cette étape concertée de « définition des idéotypes » permet le choix des géniteurs et des critères de sélection. Les croisements sont ensuite réalisés. Chaque pépin obtenu donnera une plante unique mais seules quelques-unes correspondront aux idéotypes définis.

La sélection des variétés candidates s'effectue en trois stades, le taux de sélection par stade étant de 5 %. Le premier stade comprend deux étapes, une sélection utilisant des marqueurs génétiques (séquences d'ADN permettant de repérer les individus porteurs de certains caractères souhaités) et une sélection en serre (3 à 4 ans, permettant l'obtention de matériel pour la multiplication). Le deuxième stade comprend un passage au champ sur 5 à 10 ceps pour des observations liées aux pratiques viticoles et pour la réalisation de micro-vinifications (~6 ans). Le dernier stade correspond à une sélection sur deux sites avec 90 ceps et des témoins et permet de collecter les données nécessaires pour une inscription au catalogue (~6 ans).

Actuellement, différents programmes de sélection, en partenariat avec l'UMR *Santé de la Vigne et Qualité du Vin* (Inra Colmar), sont en cours afin d'obtenir des variétés de vigne résistantes au mildiou et à l'oïdium et, ainsi, réduire l'utilisation des produits phytosanitaires pour des productions diversifiées (Champagne, Cognac, Bordeaux, vins rosés, raisins de table). De plus, des études sont menées dans l'UMT Géno-Vigne®, avec l'UMR AGAP, pour réduire le temps de sélection en remplaçant le stade 2 via l'utilisation de marqueurs génétiques couvrant tout le génome (la « sélection génomique »).

Contacts :
Loïc Le Cunff, loic.lecunff@vignevin.com
Laurent Audeguin, laurent.audeguin@vignevin.com
Timothée Flutre, timothee.flutre@supagro.inra.fr
Patrice This, patrice.this@supagro.inra.fr

Origines et biogéographie historique de la viticulture

L'UMR *Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier* (ISEM – UM, CNRS, EPHE, IRD) développe des recherches qui portent sur l'origine et la dynamique de la biodiversité ainsi que sur les modalités et les mécanismes de son évolution. Ses recherches concernent tout autant la biodiversité actuelle que passée et portent sur un large éventail d'organismes et de milieux. Elles allient approches de terrain, expérimentales et théoriques.

Au sein de l'institut, l'équipe *Dynamique de la biodiversité, anthropo-écologie* s'intéresse à la biologie, à l'écologie et à l'histoire des interactions entre organismes, communautés d'organismes (principalement végétaux), paramètres environnementaux (sol et climat en particulier) et action de l'Homme.

À partir d'archives bioarchéologiques et en se fondant sur l'interaction entre outils de l'archéobotanique, de la morphométrie et de la génétique, l'équipe conduit des recherches sur la domestication et l'histoire biogéographique de la diversité de la vigne depuis les origines de la viticulture. Dans le cadre de l'Observatoire de recherche méditerranéen de l'environnement (OSU-OREME), l'équipe suit depuis plusieurs années l'état démographique, biologique, écologique et sanitaire de populations de vignes sauvages en Languedoc-Roussillon (France).

Ces recherches s'appuient sur des structures fédératives (OSU-OREME), des financements issus de programmes nationaux (Agence nationale de la recherche [ANR], coopérations…) et internationaux, sur des plateformes (archéobiologie, morphométrie, etc.) et sur des collaborations nationales et internationales.

Archéobiologie de la vigne : aux origines romaines du vignoble languedocien

Le croisement de l'archéologie, de l'archéobotanique et de méthodes morphométriques fondées sur l'analyse d'images, permet une approche de la paléodiversité de la vigne cultivée et permet de la replacer dans son contexte chronologique, écologique, biogéographique, techno-économique et culturel.

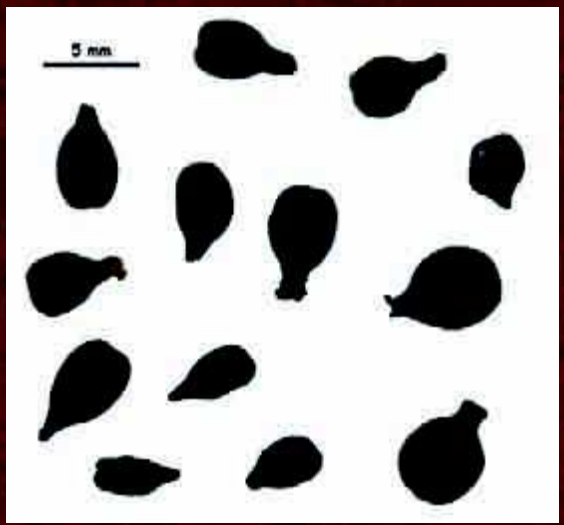
L'archéologie préventive a révélé, ces dernières années, un grand nombre d'établissements viticoles gallo-romains et a ainsi permis de mieux comprendre l'histoire et le fonctionnement de la première viticulture spécialisée du Languedoc. Par la présence de puits, ces sites autorisent souvent la parfaite conservation de quantités de restes végétaux (bois, graines, feuilles et autres restes), témoins directs de l'environnement et de l'économie de ces établissements. La vigne tient une place centrale dans ces enregistrements.

L'application de méthodes morphométriques aux pépins et charbons de bois archéologiques permet de caractériser la diversité passée par la comparaison directe avec des modèles de référence établis sur la base de l'analyse de matériels actuels.

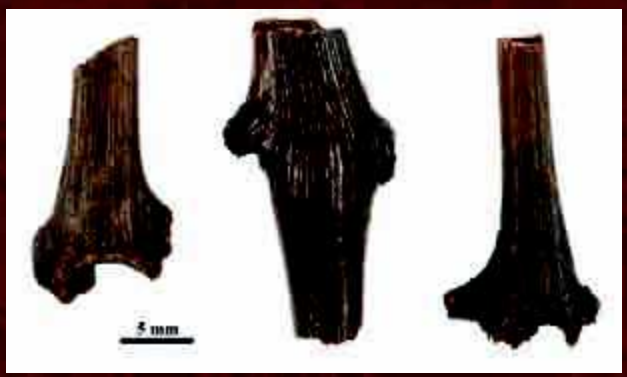
Ces études, menées par l'équipe *Dynamique de la biodiversité, anthropo-écologie* de l'ISEM, révèlent la grande diversité des vignes domestiques cultivées dans les établissements romains. Elles montrent que des vignes morphologiquement sauvages étaient systématiquement exploitées aux côtés des types domestiques, ce qui pose des questions sur l'histoire de la domestication, l'écologie, la distribution géographique, l'évolution et la paléoagronomie de la vigne. Les résultats de ces recherches contribuent aux thématiques et aux expositions du Jardin Antique Méditerranéen (Balaruc-les-Bains, France)*.

** www.thau-agglo.fr/vivre/la-culture/jardin-antique-mediterraneen*

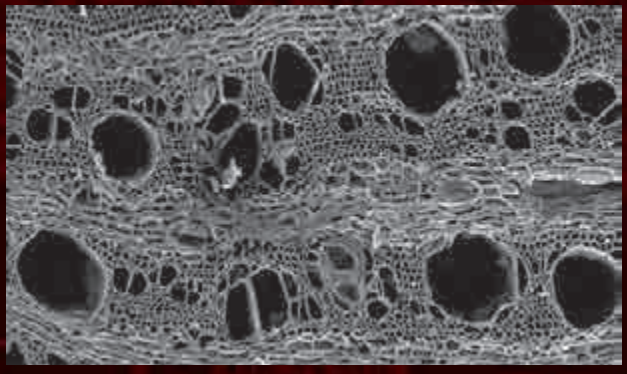
Contacts : Laurent Bouby, laurent.bouby@univ-montp2.fr
Jean-Frédéric Terral, terral@univ-montp2.fr



▲ *Pépins de vigne (*Vitis vinifera*) gorgés d'eau provenant d'un puits (IIe-IIIe s. AD) du site romain de la Lesse à Sauvian (Hérault) (fouilles Inrap, étude I. Figueiral)* © S. Ivorra/CNRS–ISEM



▲ *Sarments de vigne (*Vitis vinifera*) gorgés d'eau provenant d'un puits du site romain des Terrasses de Montfau, à Magalas (Hérault) (fouilles Inrap, étude I. Figueiral)* © S. Ivorra/CNRS–ISEM



▶ *Charbon de bois de vigne (*Vitis vinifera*), coupe transversale, provenant d'un puits du site romain (le Ier s. AD) de Mont Ferrier, Tourbes (Hérault) (fouilles Inrap, étude I. Figueiral)* © S. Ivorra/CNRS–ISEM

▲ *Une parcelle de la collection ampélographique du Domaine de Vassal* © T. Lacombe

Le Centre de ressources génétiques de la vigne de Vassal-Montpellier

La collection ampélographique de l'unité expérimentale du Domaine de Vassal (Inra) localisée à Marseillan-Plage (Hérault) est entièrement dédiée à la conservation, la caractérisation et la valorisation des ressources génétiques de la vigne.

Ce conservatoire fut créé en 1949 à l'initiative de Jean Branas, alors responsable de la Chaire de Viticulture de l'École Nationale d'Agriculture de Montpellier (aujourd'hui Montpellier SupAgro), pour prendre le relais des riches collections ampélographiques initiées par Gustave Foëx dès 1876 sur le site de l'école puis progressivement agrandies, notamment par Louis Ravaz. Au sortir de la seconde guerre mondiale, des problèmes sanitaires liés aux sols ajoutés à des menaces d'urbanisation nécessitèrent le transfert de cette collection vers un site présentant de meilleures garanties sanitaires et une pérennité suffisante.

Le site de Vassal, sur le cordon littoral sableux séparant l'étang de Thau de la mer Méditerranée, fut choisi en raison des caractéristiques de ses sables qui sont indemnes des agents responsables de deux maladies graves de la vigne : la forme radicicole du phylloxéra et le nématode *Xiphinema index*, vecteur de la virose du court-noué. La vigne peut donc y être cultivée sans porte-greffe.

Depuis 140 ans, cette collection n'a cessé d'être enrichie par des dons (anciennes collections locales, viticulteurs, pépiniéristes, amateurs, etc.) ainsi que par diverses prospections réalisées en France avec les partenaires régionaux et à l'étranger par des scientifiques ou des instituts de recherche. Une impulsion déterminante fut donnée à l'acquisition, à la description et à l'identification rigoureuse de nombreux cépages par Paul Truel (directeur, 1954-1985). Le conservatoire est aujourd'hui composé de plus de 7 800 accessions de vigne, provenant de 54 pays viticoles, représentant : 2 700 cépages, 350 lambrusques, 1 100 hybrides interspécifiques, 400 porte-greffes et 60 espèces de Vitacées. Cette richesse et cette diversité en font une collection ampélographique unique au monde.

Les vignes conservées sont caractérisées d'un point de vue morphologique, phénologique, agronomique, technologique, sanitaire, génétique et bibliographique. L'objectif de ces études est d'identifier les variétés et d'apprécier au mieux leur potentiel pour répondre aux demandes des scientifiques, des sélectionneurs, des professionnels de la filière vitivinicole et du public amateur. Il en résulte un fond documentaire original composé de dossiers variétaux (plus de 5 000), d'herbiers (14 000 dossiers), d'une bibliothèque spécialisée, d'une photothèque (50 000 clichés) et d'une base de données informatisée disponible sur le web.

Contacts :
Thierry Lacombe, thierry.lacombe@supagro.inra.fr
Jean-Michel Boursiquot, Jean-Michel.boursiquot@supagro.fr
Cécile Marchal, cecile.marchal@supagro.inra.fr

Pour plus d'informations : http://www1.montpellier.inra.fr/vassal/

▶ *Passage d'un outil de désherbage sous les pieds de vigne pour supprimer l'utilisation des herbicides*
Par ailleurs, l'inter-rang est enherbé ici avec de l'orge pour contrôler la vigueur. © Y. Bouisson

Conduite du vignoble, pratiques agronomiques, réduction des impacts

Dans des contextes où le ré-encépagement est relativement lent ou très réglementé, l'aménagement des paysages viticoles et l'adoption de nouveaux modes de conduite de la vigne peuvent constituer des réponses efficaces aux défis socio-économiques et environnementaux actuels. En particulier, certaines pratiques culturales, en usage ou nouvelles, permettent d'atténuer les impacts négatifs des changements climatiques ou des pressions parasitaires sur la production. Par exemple, l'échauffement des grappes peut être limité avec certains modes de palissage. L'environnement biotique peut être modifié par l'introduction d'insectes auxiliaires qui vont parasiter les insectes nuisibles à la culture. D'autres choix stratégiques d'aménagement à l'échelle des régions viticoles permettent de contrôler l'érosion des sols et les flux de polluants.

C'est dans cette perspective d'action sur la conduite des vignobles et sur l'aménagement des paysages viticoles que plusieurs unités de recherche de la communauté scientifique d'Agropolis analysent le fonctionnement de la vigne et ses interactions avec l'environnement physique, physico-chimique et biotique. Les recherches, d'une grande diversité, s'étendent de la plante jusqu'au paysage viticole, en passant par la parcelle et l'exploitation agricole. Les mécanismes qui déterminent la consommation en eau par la plante, l'évapotranspiration par le couvert végétal et, plus largement, la circulation de l'eau dans les paysages viticoles en relation avec les propriétés hydriques des sols, constituent actuellement des questions scientifiques majeures. La stabilité de la production à l'échelle pluriannuelle fait également l'objet de travaux qui visent à mieux comprendre les effets directs et les arrière-effets des années climatiques exceptionnelles, tant sur le rendement que sur la qualité de la récolte. Par ailleurs, les objectifs nationaux de réduction de l'utilisation des intrants phytosanitaires (Plan Ecophyto) appellent à explorer les voies de lutte biologique, notamment par une meilleure connaissance du comportement des ravageurs et des auxiliaires efficients en viticulture, mais aussi les voies technologiques comme l'amélioration des techniques de pulvérisation et les voies agronomiques en relation avec les pratiques basées sur le travail du sol ou l'enherbement, peu ou pas consommatrices de produits phytosanitaires. En outre, il est nécessaire de concevoir des méthodes et des outils d'évaluation agro-environnementale (à l'échelle de la parcelle et du paysage) des pratiques agronomiques innovantes assurant le contrôle du rendement, la régulation des bio-agresseurs et l'utilisation optimale des ressources en eau et en azote du sol.

Les équipes de recherche ont mis au point plusieurs dispositifs pour l'observation *in situ* des pratiques et des milieux sur le long terme (Observatoire méditerranéen de l'environnement rural et de l'eau), pour le recueil d'informations par télédétection (spatialisation de l'évapotranspiration de la vigne) et pour l'analyse de pratiques agronomiques spécifiques dans des plateformes (LIVE - *Low Input Vineyard Experimentation*) et domaines expérimentaux (Domaine du Chapitre, unité expérimentale de Pech Rouge). L'ensemble de ces dispositifs permet de collecter de grands jeux de données sur les pratiques agricoles, l'état physiologique de la vigne et l'état du milieu biophysique (sol, eau de surface et souterraine, atmosphère, microfaune). La modélisation constitue également un élément de la démarche scientifique pour comprendre et prédire le fonctionnement de la vigne, au niveau de la plante (modélisation tridimensionnelle de la plante en fonction des modes de conduite), de la parcelle (projet FertilCrop) et de l'ensemble du paysage viticole (projet Phyt'Eau Mod). Les modèles ainsi conçus constituent également la base du développement d'outils d'aide à l'évaluation agronomique et environnementale de la conduite de la vigne (projets Phyt'Eau Mod et PURE). Cette approche couplant expérimentation, observation et modélisation, est particulièrement précieuse pour traiter des interactions entre les différentes composantes du système complexe que représente la vigne dans son environnement biotique et abiotique. Plusieurs projets de recherche présentés dans ce chapitre sont conduits en partenariat avec l'interprofession viticole, les entreprises de conseil agricole, les industriels des agrofournitures ou les collectivités territoriales.

Jérôme Molénat (UMR LISAH)
& Thierry Simonneau (UMR LEPSE)

Conduite du vignoble, pratiques agronomiques, réduction des impacts

Ingénierie des paysages cultivés et aménagés pour une gestion durable des ressources en eau et en sol

Les équipes principales
UMR LEPSE **Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux** (Inra/Montpellier SupAgro) *15 scientifiques* *dont 5 impliqués dans la thématique*
UMR LISAH **Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème** (Inra/IRD/Montpellier SupAgro) *23 scientifiques* *dont 16 impliqués dans la thématique*
UMR System **Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens** (Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/Ciheam-IAMM) *20 scientifiques* *dont 7 impliqués dans la thématique*
UMT Ecotech-Viti (IFV/Irstea/Montpellier SupAgro-IHEV) *6 scientifiques*
Unité expérimentale du Domaine du Chapitre (Montpellier SupAgro/Inra) *7 ingénieurs et techniciens*
Autres équipes concernées par ce thème
Unité expérimentale de Pech Rouge (Inra) *6 scientifiques, 30 ingénieurs et technicienss*
UMR Innovation **Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation** (Inra/Montpellier SupAgro/Cirad) *50 scientifiques* *dont 4 impliqués dans la thématique*
UMR CBGP **Centre de Biologie pour la Gestion des Populations** (Inra/Cirad/Montpellier SupAgro) *52 scientifiques* *dont 2 impliqués dans la thématique*

Les travaux du **Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème (UMR LISAH - Inra, IRD, Montpellier SupAgro)** ont pour objectifs scientifiques de :

- développer des connaissances sur les transferts de masse et sur l'éco-dynamique des substances polluantes dans les sols et les bassins versants, en considérant leurs organisations spatiale et temporelle (qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique) ;
- élaborer des outils pour le diagnostic et la prévention des risques induits par les activités humaines, que ce soit sur les régimes hydrologiques ou sur l'évolution des ressources en eau et en sol dans les milieux cultivés ;
- contribuer à la définition de nouveaux modes de gestion durable des paysages cultivés.

Par ailleurs, le laboratoire forme des étudiants aux concepts et aux outils d'analyse et de modélisation, en matière d'organisation de l'espace, du sol et de l'hydrologie des milieux cultivés.

Les agrosystèmes viticoles constituent un objet d'étude privilégié du LISAH en raison des enjeux de gestion environnementale (eau, sol) qu'ils revêtent, et par le fait que ces agrosystèmes permettent de traiter de questions scientifiques prégnantes concernant :

- les relations entre pratiques agricoles — particulièrement celles d'entretien du sol (enherbement, désherbage chimique ou mécanique, etc.) — et genèse du ruissellement et de l'infiltration ;
- le fonctionnement évapo-transpiratif des couverts végétaux pérennes hétérogènes à différentes échelles, de la parcelle agricole au paysage ;
- le devenir de la contamination par les produits phytosanitaires dans les sols et paysages ;
- les déterminants de l'érosion des sols ;
- la spatialisation des propriétés naturelles (sol) et anthropiques (parcellaire, pratiques agricoles, aménagements hydro-agricoles) des paysages cultivés.

La finalité de ces travaux est de contribuer à l'ingénierie des paysages cultivés pour une gestion durable des ressources en eau et en sol. Face aux changements globaux (variations climatiques, nouveaux besoins agricoles et alimentaires, etc.), il s'agit de proposer des modes de gestion des paysages cultivés en optimisant l'organisation spatiale des activités agricoles (occupation des terres, rotations culturales, pratiques d'entretien du sol et de traitement des cultures, etc.) ainsi que des aménagements hydro-agricoles (réseaux de fossés, retenues collinaires, talus, etc.).

Le LISAH gère l'Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau (OMERE, *cf. ci-contre*) composé de deux bassins versants, dont le bassin versant viticole de Roujan situé dans l'Hérault. Par ailleurs, le laboratoire développe la plateforme logicielle *OpenFLUID* de simulation des flux dans les paysages. Le LISAH développe des partenariats avec des équipes scientifiques nationales et internationales, notamment au Maghreb (Tunisie, Maroc), mais également avec des acteurs socioéconomiques publics (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, etc.) et privés (bureaux d'étude).

L'Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau

▲ *Vue générale du bassin versant expérimental de Roujan* © C. Slagmulder/Inra

▲ *Dispositif de mesure du débit, de la qualité de l'eau et de la pluie à l'exutoire du site*
© O. Huttel/Inra

OMERE est un observatoire de recherche en environnement dont la finalité est de comprendre et d'évaluer l'effet des changements de pratiques agricoles et d'utilisation des terres ainsi que celui du changement climatique, sur l'eau et le sol à l'échelle des paysages agricoles méditerranéens. L'observatoire vise plus spécifiquement :

❶ à comprendre l'impact des activités agricoles sur les flux de masse dans les bassins versants élémentaires méditerranéens (régimes et bilans hydrologiques, allocation des ressources en eau, dynamiques d'érosion, évolution de la qualité des eaux ;

❷ à évaluer les intensités et vitesses d'évolution quantitative et qualitative des ressources en eau et en sol en fonction des changements d'utilisation des terres ;

❸ à appuyer le développement d'approches de modélisation des flux en milieu cultivé en associant étroitement observations et modélisation ;

❹ à fournir des bases scientifiques, des références et des outils de diagnostic à l'ingénierie agri-environnementale des paysages cultivés.

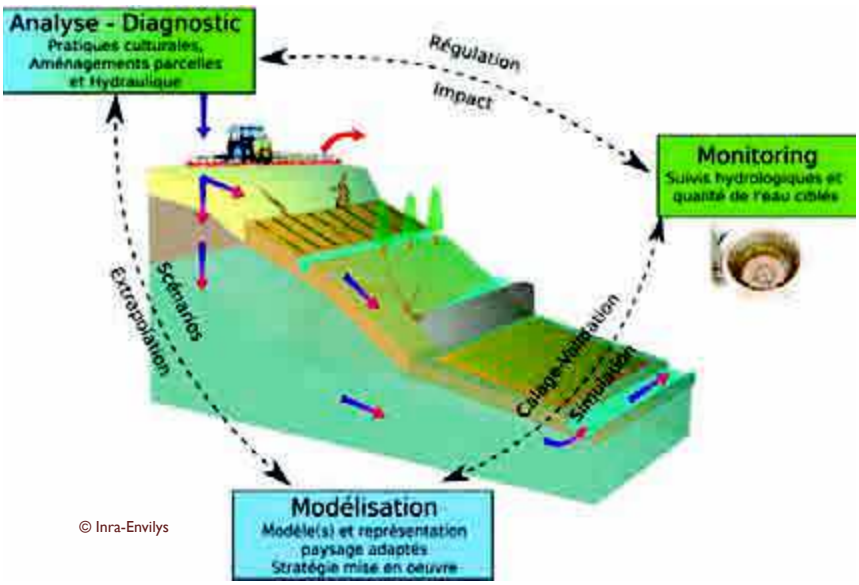
L'observatoire comprend deux sites : un bassin versant en Tunisie suivi depuis 1994 et un bassin versant viticole en France dans l'Hérault (commune de Roujan), suivi depuis 1992. Sur ce dernier, les relations entre les principales pratiques d'entretien du sol en viticulture (enherbement, labour mécanique, labour chimique) et la genèse du ruissellement et de l'infiltration sont étudiées ainsi que les déterminants de l'érosion des sols viticoles et l'évapotranspiration de la vigne en fonction de l'état hydrique des sols. L'observatoire contribue également à l'étude de la spatialisation des sols, des éléments du paysage d'intérêt hydrologique (fossés, talus, etc.) et des pratiques agricoles.

L'observatoire comprend des dispositifs de mesures hydrologiques, météorologiques, hydrochimiques et érosifs de la parcelle au bassin versant. Des observations et mesures agronomiques sont également réalisées. L'observatoire est cogéré par les UMR LISAH et HydroSciences Montpellier ainsi que par l'Institut national agronomique de Tunis et l'Institut national de recherche en génie rural, eau et forêts en Tunisie.

Contacts :
Jérôme Molénat, jerome.molenat@supagro.inra.fr
Damien Raclot, damien.raclot@ird.fr
Pour plus d'informations : www.obs-omere.org

Projet Phyt'eau BV Mod : diagnostic de la pollution de l'eau par les pesticides en milieu viticole

La culture de la vigne est particulièrement utilisatrice de produits phytosanitaires. En effet, bien qu'elle représente moins de 5 % de la surface agricole utile française, elle contribue à près de 15 % de la consommation en pesticides. C'est ainsi que, dans les régions viticoles, la contamination de l'eau par les pesticides est souvent élevée et provoque une dégradation de nombreuses ressources en eau.



© Inra-Envilys

Sur la base de travaux expérimentaux et de modélisation menés par l'UMR LISAH sur les processus de contamination des eaux par les pesticides en bassin versant viticole, le projet de recherche et développement Phyt'eau BV Mod* a été mené par l'UMR en partenariat avec le bureau d'étude Envilys et le laboratoire d'analyses Eurofins. Il a eu pour objet le développement d'un outil intégré de modélisation associé à une métrologie de terrain, dédié au diagnostic des pratiques phytosanitaires et de leurs conséquences sur la contamination des ressources en eau de surface. L'outil est développé sur la base du modèle hydrologique MHYDAS et de la plateforme de simulation paysagère OpenFLUID, tous deux créés par les chercheurs du LISAH. Le projet a fait l'objet d'une application à des bassins versants viticoles en Languedoc-Roussillon et a abouti à une offre de service baptisée « Observatoire des pollutions diffuses », récompensée par le 2e prix « Hydro innovation » lors du salon international de l'eau HydroGaïa en 2011.

** Outil intégré de diagnostic et d'aide à la décision pour les pollutions diffuses par les phytopharmaceutiques*

Contact : Marc Voltz, marc.voltz@supagro.inra.fr

▲ *Le plateau de préparation du matériel végétal, situé sur le campus de Montpellier SupAgro, permet le conditionnement de plantes en pots en fonction des exigences expérimentales*

Chaque année, les techniciens du LEPSE y préparent plusieurs milliers de pots destinés aux expérimentations de phénotypage, par exemple sur l'effet de la fertilisation azotée, sur la croissance, la variabilité génétique des réponses au déficit hydrique, etc.
© G. Bouteillier

Tolérance de la vigne à la sécheresse, aux fortes températures et aux faibles niveaux d'intrants

Face aux effets négatifs des changements climatiques sur la production végétale, le ***Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux*** **(LEPSE – Inra, Montpellier SupAgro)** s'est spécialisé dans la recherche de variétés tolérantes et de modes de conduite adaptés au maintien d'une production acceptable dans les climats chauds et secs.

L'équipe Efficience de transpiration et adaptation des plantes aux climats secs concentre ses efforts sur la vigne afin d'améliorer la tolérance des vignobles à la sécheresse, aux températures excessives et, plus récemment, à de faibles niveaux d'intrants (azote en particulier). Les travaux sont conduits avec des généticiens dans une perspective de sélection de cépages tolérants, avec des agronomes pour proposer de nouveaux modes de conduite et avec des biologistes moléculaires pour identifier des processus physiologiques qui joueraient un rôle-clé dans la tolérance aux contraintes étudiées.

La tolérance des plantes aux contraintes climatiques et aux réductions d'intrants est appréhendée de manière détaillée à l'échelle foliaire à travers l'analyse et la modélisation de la croissance, de la consommation en eau, de l'état hydrique et de l'activité photosynthétique. À l'échelle de la plante entière, des outils de caractérisation et de reconstitution de la structure spatiale de la vigne sont développés (par digitalisation, analyse d'images et modélisation) pour différents cépages et pour des systèmes de taille et de palissage contrastés. Ces outils permettent d'évaluer les conséquences du choix d'un mode de conduite sur le microclimat au sein de la plante, sur sa croissance et son développement. Ainsi, il est possible d'établir plusieurs types de classement des modes de conduite et des cépages selon leurs impacts sur l'efficience d'utilisation de l'eau (la quantité d'eau nécessaire pour un rendement donné), sur les risques d'échaudage des grappes ou encore sur la mise en place du nombre de baies nouées, l'une des composantes précoces les plus déterminantes du rendement.

Les expérimentations sont réalisées en conditions contrôlées (serres et chambres de culture du laboratoire) et dans les vignobles (parcelles des unités expérimentales ou des producteurs partenaires). Par ailleurs, le laboratoire développe de manière originale des plateformes de phénotypage (*cf. p. 12)* qui permettent la comparaison d'un grand nombre de cépages/porte-greffes différents (jusqu'à 1 600 plantes simultanément) dans des conditions climatiques contrôlées.

Ces travaux s'appuient sur des projets communs avec des partenaires locaux (UMR AGAP, SPO, System et Innovation), nationaux (UMR Écophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne, Bordeaux) et étrangers (universités des Baléares et de Lisbonne, Centre de Geisenheim en Allemagne, Institut national de technologie agricole en Argentine). Les travaux avec l'UMR AGAP permettent d'explorer les marges de progrès génétique tandis que les travaux avec l'UMR System visent l'optimisation des modes de conduite.

Cartographie de l'évapotranspiration de la vigne à l'échelle régionale

▲ *Dispositif de mesure de l'évapotranspiration sur le bassin versant de Roujan*
© L. Prévot/UMR LISAH

L'UMR LISAH a mis au point une méthode simple de cartographie de l'évapotranspiration de la vigne à partir d'images satellitaires. L'étude a porté sur la basse vallée de la Peyne, affluent de l'Hérault, où la vigne occupe plus de 70 % de la surface. Douze images ASTER ont été acquises entre juillet 2007 et octobre 2008. Ces images des températures de surface, de 90 mètres de résolution spatiale, ont été converties en cartes d'évapotranspiration journalière à l'aide de deux indices, le WDI* et le S-SEBI** qui n'avaient jusqu'à présent pas été utilisés sur vigne. Pour valider ces cartes d'évapotranspiration, un dispositif de mesures a été mis en place sur sept parcelles de vigne, représentatives de la variabilité pédo-paysagère de la vallée de la Peyne. D'une part, des mesures directes de l'évapotranspiration, par covariances turbulentes, ont été réalisées sur deux de ces parcelles. D'autre part, un suivi régulier de l'évolution de l'humidité des sols et du niveau des nappes a permis d'évaluer avec précision l'évapotranspiration journalière des sept parcelles, via le modèle de transferts hydriques HYDRUS 1D***.

Les cartes d'évapotranspiration issues des images satellitaires ont ainsi pu être validées avec succès, l'indice S-SEBI** étant légèrement plus précis (0,8 mm/jour) que l'indice WDI* (1,0 mm/jour). De plus, les cartes d'évapotranspiration ainsi obtenues présentent une structure spatiale stable dans le temps, semblable à celle de la carte des sols au 1:25000. Outre l'utilisation de ces cartographies d'évapotranspiration pour l'estimation des besoins en eau des vignes, par exemple pour l'irrigation, les perspectives de ce travail portent sur la gestion spatialisée de pratiques viticoles (par exemple l'aptitude à l'enherbement). Elles constituent par ailleurs une information potentiellement mobilisable pour la cartographie des propriétés hydrodynamiques des sols.

** WDI: water deficit index, Moran et al., 1994*
*** S-SEBI: simplified surface energy balance index, Roerink et al., 2000*
**** Simunek et al., 2005*

Contacts :
Frédéric Jacob, frederic.jacob@ird.fr
Philippe Lagacherie, philippe.lagacherie@supagro.inra.fr
Laurent Prévot, laurent.prevot@supagro.inra.fr

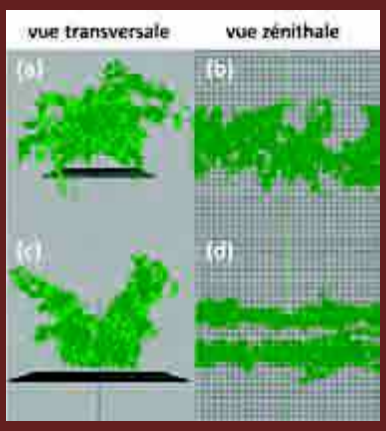
La modélisation pour évaluer les performances des modes de conduite au vignoble

La comparaison des modes de conduite sur des plantes pérennes de grande taille comme la vigne pose problème en raison (1) de la grande variabilité interannuelle du climat et (2) de la difficulté d'accès à des dispositifs où les modalités à étudier sont très nombreuses (au moins 50 modes de taille et de palissage sont recensés dans les vignobles). Une approche de modélisation tridimensionnelle du fonctionnement des plantes a donc été entreprise par le LEPSE pour simuler les performances suivant les multiples choix envisageables pour la taille et le palissage. Le modèle développé prédit le microclimat de chaque feuille (notamment le rayonnement qu'elle reçoit et sa température) et ses conséquences sur la photosynthèse et la transpiration (*cf. figure 1*). Ainsi, il est possible de classer plusieurs modes de palissage sur la base de leur efficience de transpiration (c'est-à-dire la quantité d'eau nécessaire pour une croissance donnée) (*cf. figure 2*). Cette approche de simulation a pu être validée en comparant les valeurs prévues par le modèle et les mesures réalisées sur une plante entière au vignoble à l'intérieur d'une chambre où la transpiration et la photosynthèse nette de l'ensemble de la plante étaient enregistrées (*cf. figure 3*). Ce travail fait l'objet d'une collaboration avec l'Institut national de technologie agricole de Mendoza en Argentine (INTA) et se poursuit par de nouvelles applications qui visent l'économie de l'eau et la réduction des effets négatifs du réchauffement climatique.

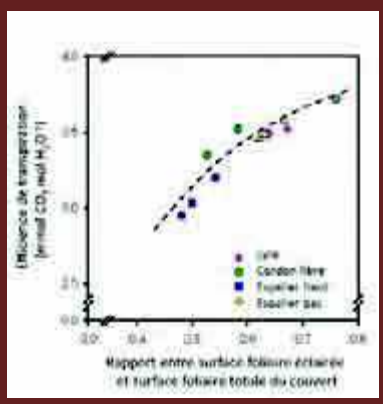
Contact : Éric Lebon, lebon@supagro.inra.fr

▲ *Fig 3. Serre mobile d'analyse climatologique de la vigne*
Les scientifiques de l'Inra préparent la serre mobile qui va permettre de mesurer la réponse physiologique de la vigne (transpiration, croissance) à certains paramètres climatologiques contrôlés (CO_2, température).
© psaila.net

▶ *Fig 1. Exemples de reconstruction de maquettes 3D de systèmes de conduite viticole de type « Cordon libre » (a,b) et Lyre (c,d)*
© Inra/LEPSE



▶ *Fig 2. Relation entre efficience de transpiration (assimilation nette/transpiration) simulée à l'échelle du couvert et proportion de feuillage exposé au rayonnement direct pour quatre systèmes de conduite viticoles*
Chaque point correspond à une plante individuelle placée au sein d'une scène virtuelle.
D'après Prieto *et al.*, 2013



Intensification écologique de la viticulture

L'UMR *Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens* (System – Cirad, Inra, Montpellier SupAgro, Ciheam-IAMM) conduit des recherches sur les systèmes de culture plurispécifiques. Les principaux modèles qu'elle étudie sont l'agroforesterie et la viticulture dans les zones méditerranéennes et tropicales. Elle explore l'hypothèse selon laquelle la diversité des espèces cultivées dans un même espace et le pilotage de leurs interactions favorisent l'intensification écologique. Elle produit des connaissances et des outils permettant d'évaluer et de concevoir des systèmes de culture alliant performances économiques et production de services environnementaux.

L'intensification écologique de la viticulture consiste à identifier des systèmes de culture permettant de bons compromis entre, d'une part, la production et la qualité des produits de la vigne et, d'autre part, de faibles impacts environnementaux et sanitaires. L'UMR System explore, en particulier, les marges de manœuvre offertes par un entretien du sol sans herbicides et basé sur des enherbements (partiels ou totaux, semés ou spontanés) combinés éventuellement avec des irrigations et fertilisations ciblées. En effet, l'enherbement impacte, à travers les bilans hydrique et azoté du sol, non seulement l'élaboration du rendement et de la qualité de la vigne, mais également l'exposition aux maladies cryptogamiques qui résulte de son développement végétatif.

L'UMR System élabore des indicateurs et des outils de modélisation permettant d'explorer *a priori* les compromis entre maîtrise du rendement et régulation des bioagresseurs. En effet, la conception de modes de production viticole moins dépendants des pesticides suppose de disposer d'outils permettant d'évaluer le potentiel de production permis par les ressources en eau et en azote du sol et les pertes liées aux bioagresseurs quand ils n'ont pas été maîtrisés. L'UMR participe, en partenariat avec l'IFV, à l'animation d'un réseau régional et national, EcoViti, qui rassemble six plateformes expérimentales de systèmes viticoles innovants à bas intrants phytosanitaires, de conception participative, dans le cadre du plan Ecophyto qui demande une réduction importante — de moitié — de l'usage des pesticides en agriculture.

L'UMR System étudie aussi, sur des réseaux de parcelles de viticulteurs, les modalités d'évolution des composantes biologiques, environnementales et techniques des systèmes de culture en transition vers l'agriculture biologique.

Depuis 2002, l'UMR pilote la plateforme d'expérimentation LIVE *(Low Input Vineyard Experimentation)* sur le Domaine du Chapitre (*cf. p. 27*). Elle sert de support à différents projets nationaux et européens (tels que les projets PURE ci-contre et FertilCrop, (*cf. p. 64*) et mobilise une équipe de six chercheurs, ingénieurs et enseignants-chercheurs ainsi que trois techniciens.

▼ *Profil cultural sur parcelle viticole (Domaine du Chapitre)* © UMR System

▲ *Raisin à maturité (variété Mourvèdre) sur un essai de système viticole à bas niveau d'intrants phytosanitaires au Domaine du Chapitre*
© Y. Bouisson/UMR System

Réduire l'usage des pesticides par la protection intégrée en viticulture

Le projet européen PURE* (FP7, 2011-2015) a associé 24 partenaires de 10 pays pour mettre au point des stratégies de protection intégrée visant à réduire la dépendance aux pesticides des principales filières de production végétale. Il s'agissait d'aider ces filières à se conformer aux réglementations européennes pour réduire leurs impacts sur la santé humaine et sur l'environnement tout en continuant à assurer une production alimentaire satisfaisante en quantité et en qualité.

L'UMR System a contribué aux activités dédiées à la viticulture et, en particulier, à l'évaluation de systèmes de culture viticoles à bas niveaux d'intrants phytosanitaires. Deux voies ont été explorées : (1) le recours à des outils d'aide à la décision pour la réduction, d'une part, du nombre d'applications et, d'autre part, des doses de pesticides, (2) l'utilisation systématique de produits de biocontrôle.

Afin d'évaluer la durabilité des stratégies innovantes de protection intégrée en viticulture, définies et expérimentées par les partenaires du projet, l'outil d'analyse multicritère DEXiPM a été adapté à la vigne. Cet outil décline les dimensions environnementale, économique et sociale de la durabilité en critères et sous-critères de façon à agréger en les pondérant dans un « arbre de décision » un ensemble d'indicateurs d'évaluation. Ces indicateurs qualitatifs ont été formulés pour être facilement recueillis sur le terrain.

Les résultats montrent que si la stratégie de biocontrôle est plus performante d'un point de vue environnemental, elle l'est moins d'un point de vue économique et le recours aux outils d'aide à la décision offre le meilleur compromis entre performances économique et environnementale et acceptabilité par les viticulteurs.

** Projet « Innovative crop protection for sustainable agriculture » (FP7, 7e programme-cadre de l'Union européenne)*

Contact : Raphaël Métral, raphael.metral@supagro.fr

Pour plus d'informations : www.pure-ipm.eu

Modélisation des pertes de récoltes dues aux ravageurs et maladies de la vigne

L'action-clé DAMAGE du métaprogramme SMaCH (*Sustainable Management of Crop Health*/Gestion Durable de la Santé des Cultures) de l'Inra regroupe des projets de recherche sur les pertes de récolte dues aux bioagresseurs (maladies et ravageurs) sur différentes cultures (vigne, caféier et cultures fruitières). L'UMR System, en collaboration avec l'UMR *Santé et Agroécologie du vignoble* (SAVE, Inra Bordeaux), coordonne le projet axé sur la vigne.

Au sein du Domaine du Chapitre, des données expérimentales ont été recueillies pendant trois saisons (2013-2015) sur les dynamiques des principaux bioagresseurs de la vigne — mildiou, oïdium, Botrytis et tordeuses de la grappe — et sur le rendement ainsi que ses différentes composantes. Pour cela, deux systèmes viticoles du programme EcoViti ont été testés sur une parcelle de cépage grenache : Innobio (prophylaxie par ébourgeonnage, effeuillage, etc.) et IPM -50 (sans produits classés toxiques). Un essai sur les capacités de la vigne à compenser des pertes précoces causées par des maladies ou ravageurs en début de saison a également été entrepris à Montpellier en parallèle avec des parcelles expérimentales du Bordelais.

Ces données seront mises en relation avec celles précédemment acquises par l'UMR SAVE dans le Bordelais, et utilisées pour créer et paramétrer un modèle permettant de relier situations de production viticole (climat et niveau de stress biotiques) et pertes de rendement. À terme, ce modèle devrait permettre de hiérarchiser les problèmes liés aux maladies et ravageurs.

Contact : Nathalie Smits, smits@supagro.inra.fr

Réduire la dépendance des exploitations viticoles aux pesticides

Afin de répondre aux objectifs du plan Ecophyto du ministère de l'Agriculture qui vise à réduire de 50 %, en France, l'utilisation des produits phytosanitaires d'ici 2025, les travaux de recherche et développement menés depuis 2013 par l'**UMT *Ecotech-Viti* (IFV, Irstea, Montpellier SupAgro)** ont pour but de réduire la dépendance des exploitations viticoles aux produits phytosanitaires tout en maintenant leur compétitivité pour une viticulture durable. Ces travaux s'articulent autour des thèmes suivants :

- développement d'outils d'aide à la décision en viticulture conventionnelle et biologique pour optimiser l'utilisation des intrants phytosanitaires ;
- évaluation des performances agroenvironnementales des technologies de pulvérisation pour encourager l'achat de pulvérisateurs performants et l'adoption de pratiques optimisées ;
- contribution au développement et à l'usage de technologies innovantes (capteurs de suivi des opérations, capteurs de mesure de végétation, etc.) pour aider les agriculteurs à sécuriser leurs applications ;
- développement de formations (initiales et continues) et d'actions de communication dans le domaine des technologies innovantes d'épandage des produits de protection des plantes.

Pour mener à bien ces travaux, l'UMT regroupe des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens spécialisés dans le domaine de la viticulture, des agroéquipements et des capteurs. Ces travaux sont réalisés en étroite collaboration avec les équipementiers (constructeurs de pulvérisateurs, de buses et de capteurs), les techniciens en agroéquipement des chambres d'agriculture et les professionnels agricoles. Ce projet structurant entre acteurs de la recherche, du développement et de l'enseignement, permet ainsi une valorisation et un transfert rapide des travaux de recherche.

Dans le cadre de cette UMT, un nouvel outil, la vigne artificielle EvaSprayViti (*cf. p. 64*), a été développé pour caractériser de façon reproductible les performances agroenvironnementales des pulvérisateurs viticoles et les pratiques d'utilisation de ces appareils. Les premiers résultats des travaux engagés avec cet outil confirment que l'optimisation de la pulvérisation et la mise en œuvre de la pulvérisation de précision sont des leviers très importants pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. En effet, des écarts de performance importants sont enregistrés selon le type de matériel utilisé et les pratiques d'utilisation. D'autre part, une réduction importante de l'utilisation des produits phytosanitaires en toute sécurité nécessite une approche globale à la croisée des chemins entre les travaux de recherche dans le domaine des technologies (agroéquipements, capteurs, technologies de l'information et de la communication [TIC]), de l'agronomie (sélection variétale, épidémiologie, systèmes de culture), de l'économie et de la sociologie (appropriation des innovations).

▼ *Pulvérisateurs avec panneaux récupérateurs* © IFV

▲ *Site de l'Irstea, centre de Montpellier* © C. Fatou

Impact de la gestion de la biodiversité dans les vignobles sur les communautés d'acariens prédateurs Phytoseiidae

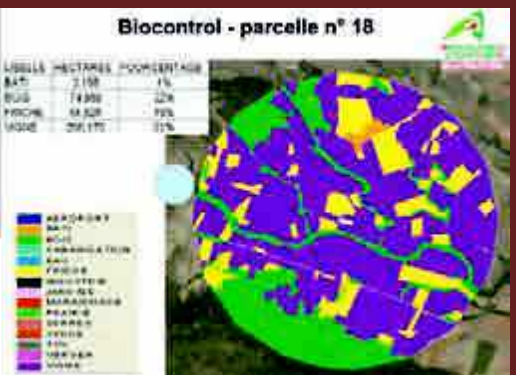
La diversification des agrosystèmes aurait pour conséquences (1) une ressource alimentaire limitée pour les ravageurs spécialistes et (2) une diversité et pérennité de ressources alimentaires et d'habitats supérieures pour les auxiliaires. Les travaux menés par le *Centre de Biologie pour la Gestion des Populations* (UMR CBGP) portent sur les acariens prédateurs généralistes (Phytoseiidae), auxiliaires les plus efficients en viticulture. Ils visent à caractériser le rôle des infrastructures agroécologiques à différentes échelles (parcelle, environnement proche des parcelles, paysage) pour proposer à terme des solutions de gestion des agrosystèmes.

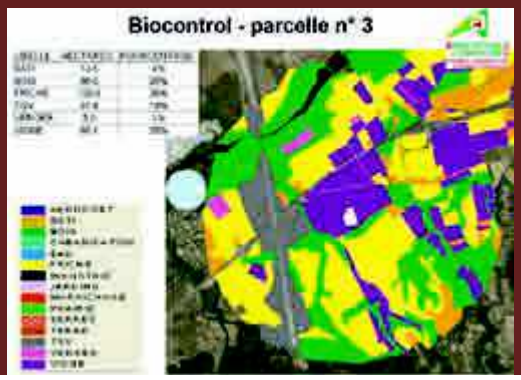
Des approches « parcelle centrée » (gestion agroforestière de vignes associées à des pins et des cormiers) montrent que la diversité végétale n'aboutit pas à une diversité des prédateurs. Cependant, cela ne remet pas en cause les applications en contrôle biologique car les espèces observées, à la fois sur les arbres et la vigne, sont des auxiliaires efficaces. Ces études ont également montré que le cépage a un effet plus important que la gestion agroforestière sur les densités de Phytoseiidae. Enfin, même si les arbres co-plantés constituent des réservoirs de prédateurs, cette influence est à moduler selon des facteurs comme la compétition, l'ombre des arbres et le pollen (quantité, nature) déversé sur la vigne et dont les effets sur les densités de Phytoseiidae restent encore à étudier. Plusieurs études sur l'effet de l'environnement proche de la vigne ont démontré la présence de ces prédateurs, notamment *Kampimodromus aberrans* sur le micocoulier, le figuier, le chêne pubescent et le cornouiller sanguin, faisant de ces espèces végétales de bons candidats pour une gestion raisonnée des agrosystèmes viticoles. Enfin, l'approche « paysage », initiée en 2014, tend à montrer une relation entre la complexité du paysage et les densités de Phytoseiidae et de pollen.

Les attentes en termes de gestion agroécologique sont importantes. Même si ces études ont permis certaines avancées, beaucoup d'inconnues restent à lever concernant les interactions entre facteurs agronomiques, écophysiologiques et impact sur les Phytoseiidae. Lever ces inconnues nécessite le développement de collaborations futures entre disciplines et objets d'étude différents.

Contacts : Marie-Stéphane Tixier, marie-stephane.tixier@supagro.fr
Martial Douin, martial.douin@supagro.fr
Ghais Zriki, ghais.zriki@supagro.inra.fr
Serge Kreiter, serge.kreiter@supagro.fr

Pour plus d'informations : www6.montpellier.inra.fr/cbgp





▼ *Dispositif de deux parcelles aux environnements contrastés dans les Pyrénées-Orientales*
© Chambre d'agriculture des Pyrénées Orientales

▲ *Phytoseiidae*
© G. Zriki/Montpellier SupAgro

Une exploitation languedocienne au service de la formation et du développement vitivinicole

Le **Domaine du Chapitre** est l'un des deux domaines expérimentaux de Montpellier SupAgro. Situé à Villeneuve-lès-Maguelone à 10 kilomètres du campus de La Gaillarde, le domaine s'étend sur 130 hectares dont 35 hectares de vignoble. Sept agents (Inra, Montpellier SupAgro) assurent la gestion, l'entretien des cultures et la commercialisation des productions. L'enseignement, l'expérimentation et le transfert des innovations vitivinicoles y sont abordés aux échelles de la parcelle et de l'exploitation.

Longtemps consacré exclusivement à la sélection de la vigne et à la diffusion des nouvelles variétés, le domaine est aujourd'hui engagé, en collaboration étroite avec le Domaine de Vassal, dans la conservation des ressources génétiques « vignes les plus rares » (conservatoire hors-sol). Le domaine accueille par ailleurs les parcelles d'expérimentation conduites par l'UMR AGAP sur les programmes d'étude de gènes d'intérêt agronomique et de sélection de géniteurs résistants. Enfin, au sein de l'UMT Géno-Vigne®, le domaine installe et conduit les parcelles d'étude de l'adaptation au changement climatique de cépages étrangers. Le domaine assure également, en partenariat avec l'IFV, la multiplication des variétés issues des programmes de sélection et leur diffusion au sein de la filière viticole.

Le Domaine du Chapitre collabore aussi depuis plus de 10 ans avec l'UMR System. Le vignoble de production est le support de programmes d'études des pratiques agronomiques viticoles, d'évaluation des performances de systèmes viticoles conventionnels et innovants, à l'échelle de la parcelle. Ce dispositif permet d'analyser différentes options agronomiques de réduction des intrants phytosanitaires en viticulture ainsi que l'impact des pratiques culturales retenues sur le milieu.

Depuis 2015, le domaine s'est engagé dans un projet ambitieux qui vise à créer un site opérationnel de la viticulture numérique à l'échelle de l'exploitation vitivinicole et d'y associer les entreprises porteuses des dernières évolutions technologiques développées en agriculture (suivi et conduite de la parcelle, pilotage des équipements et du matériel, organisation des travaux, gestion de l'exploitation). Piloté par l'UMR ITAP (*cf. p. 48*), ce projet fédère déjà plusieurs partenaires dont les entreprises Vivelys (société de conseil et de développement d'outils pour le secteur vitivinicole, hébergée par l'hôtel d'entreprises du Domaine du Chapitre) et SMAG (*Smart Agriculture*, éditeur de logiciels agricoles à Montpellier).

▲ *Vue du domaine du Chapitre*
© Montpellier SupAgro

▲ *Écoulage d'une cuve de vinification en rouge.*
© F. Dell'Ova/UEPR

Des connaissances pour maîtriser la qualité des vins

Élaborer des vins qui répondent aux attentes des consommateurs en prenant en compte les nouvelles exigences de qualité sanitaire, de réduction d'impact environnemental ainsi que les effets du changement climatique est un enjeu des travaux de recherche des équipes de la communauté vigne et vin d'Agropolis. Elles abordent ces questions en articulant la construction de connaissances fondamentales sur l'ensemble de la chaîne, de la vigne au verre, avec des travaux plus finalisés, focalisés sur des leviers d'action susceptibles de conduire à des innovations technologiques.

L'objectif de ces travaux est de générer des connaissances mobilisables pour améliorer la maîtrise de la qualité des produits, des procédés de vinification et de conservation des vins. Agir sur la qualité des vins suppose de bien cerner les modalités de la construction de celle-ci. Derrière les caractéristiques des vins, telles que la couleur, la saveur, l'astringence, etc., se cachent des molécules, des assemblages ou des interactions complexes entre molécules que les chercheurs s'attachent à décrypter. Dans ce cadre, les équipes développent des programmes pour comprendre les mécanismes impliqués dans la genèse de constituants clés de la qualité tels que les composés phénoliques, les arômes ou les polysaccharides. Les connaissances sur l'organisation de ces systèmes et de leurs réponses aux interventions technologiques (aux modalités de vinification par exemple) sont précieuses pour ajuster les itinéraires de production et de vinification. Elles sont aussi à la base d'une œnologie de précision qui s'appuie sur ces connaissances et les mathématiques pour proposer des outils de prédiction (*cf. p. 47*). Les programmes prennent également en compte les développements de technologies innovantes qui permettent d'élargir la palette d'outils proposés aux œnologues pour la vinification ou la conservation des vins. Les nouvelles contraintes liées à la réduction des intrants ainsi que les effets du changement climatique sur les caractéristiques des vins sont aussi intégrés dans ces démarches afin de mettre au point des outils et des démarches permettant d'en atténuer les effets (*cf. p. 57*).

Les microorganismes fermentaires sont aussi l'objet de toutes les attentions. Vu leur rôle-clé dans le déroulement des vinifications ainsi que leur impact sur la qualité des vins, les levures fermentaires sont au cœur de nombreux programmes des équipes. Comme dans d'autres domaines, les travaux sur l'exploration des génomes des levures sont depuis une dizaine d'années très intenses. Ils ont ici permis de révéler de manière remarquable combien les levures des caves s'étaient construites en relation avec les contraintes des milieux œnologiques pour nous donner aujourd'hui des germes particulièrement adaptés et performants en vinification. Ces démarches ont aussi apporté de nouveaux éclairages sur les bases génétiques des propriétés des levures œnologiques (aptitude à fermenter ou à former certains arômes) qui permettent d'envisager de nouvelles stratégies pour exploiter la biodiversité ou améliorer les souches. Le rôle des levures dans la formation des arômes des vins fait également l'objet de travaux, depuis les aspects les plus fins de leur biogenèse jusqu'à leur prise compte dans les stratégies de pilotage des fermentations.

L'ensemble des projets conduits sur ces thématiques bénéficie du soutien d'un ensemble de plateformes et de plateaux techniques (analyse des polyphénols, des arômes, analyse sensorielle, halle de fermentation) qui jouent un rôle essentiel dans le dispositif. Ces outils sont par ailleurs largement ouverts aux acteurs économiques et contribuent à consolider les liens avec les partenaires. De fait, de nombreux programmes de recherche sur ces thématiques sont réalisés dans le cadre de partenariats avec des entreprises ou des acteurs de la filière, créant ainsi des conditions particulièrement favorables au transfert des innovations issues des laboratoires.

Bruno Blondin (UMR SPO)
Jean-Michel Salmon (UE Pech Rouge)
& Rémi Guérin-Schneider (UMT Qualinnov)

Des connaissances pour maîtriser la qualité des vins

Comprendre les mécanismes impliqués dans l'élaboration de la qualité du vin

L'UMR *Sciences Pour l'Œnologie* (SPO – Inra, Montpellier SupAgro, UM) développe des recherches qui visent principalement à produire des connaissances pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'élaboration de la qualité du vin.

Une première thématique concerne la physiologie intégrative des levures œnologiques et la maîtrise de la fermentation. Les levures œnologiques présentent des particularités uniques au sein de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*, qui résultent d'une sélection par l'environnement œnologique et par l'homme. Les recherches menées par l'UMR visent à comprendre les mécanismes qui participent à ces processus évolutifs et à identifier les bases moléculaires des propriétés des souches. D'autre part, le fonctionnement intégré du métabolisme et les bases de la diversité métabolique sont étudiés. Les connaissances produites sont mobilisées pour élaborer des stratégies d'amélioration des souches.

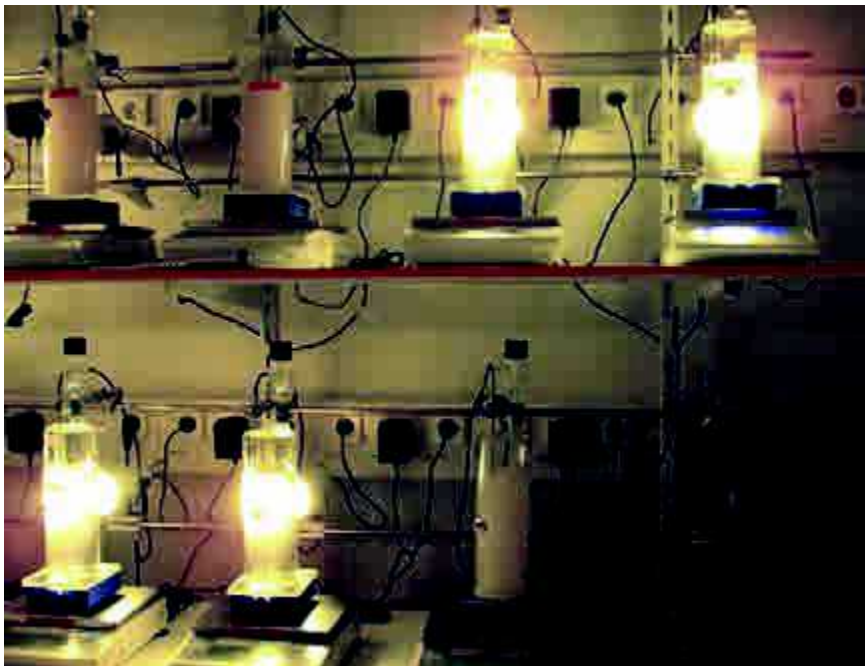
Le déroulement de la fermentation alcoolique est le résultat d'interactions entre les levures, la composition du moût et le mode de contrôle de la fermentation (actions possibles sur la température, l'addition de nutriments, etc.). L'objectif général est de décrire finement le déroulement de la fermentation alcoolique, à l'aide de systèmes de suivi en ligne, de le modéliser et d'élaborer de nouveaux modes de contrôle, afin d'optimiser les cinétiques fermentaires et les caractéristiques organoleptiques des vins. Les écosystèmes levuriens complexes, incluant des non-*Saccharomyces*, sont aussi appréhendés.

Une seconde thématique concerne les composés phénoliques qui constituent une large famille de métabolites jouant un rôle-clé dans la qualité des vins. Les recherches visent à mieux comprendre leurs caractéristiques structurales ainsi que les mécanismes qui génèrent ces molécules (voies de biosynthèse, réactions intervenant lors des procédés technologiques), les mécanismes d'interactions physicochimiques impliquant ces composés avec d'autres macromolécules (polysaccharides, protéines) et leur incidence sur la qualité des produits ou sur l'efficacité/la sélectivité des procédés technologiques mis en œuvre. Ces connaissances sont ensuite utilisées pour élaborer de nouvelles stratégies de maîtrise des procédés technologiques (extraction, stabilisation, etc.) et développer de nouvelles applications d'intérêt œnologique. Des applications sont aussi recherchées dans d'autres domaines, plus particulièrement pour l'élaboration de biomatériaux.

Les équipements d'intérêt collectif sont regroupés dans une plateforme analytique (plateforme et grand plateau technique régional) dédiée à l'analyse structurale et aux interactions des polyphénols ainsi que des plateaux techniques (salle d'analyse sensorielle, plateau d'analyse des composés volatils, halle de biotechnologie).

Des approches intégrées avec l'UE de Pech Rouge et l'UMT Qualinnov ainsi qu'un fort partenariat industriel permettent la réalisation de projets de recherche jusqu'à l'échelle pilote et préindustrielle.

▶ ***Contrôle automatique de la cinétique de fermentation alcoolique***
© C. Verriès/Inra



Les équipes principales
UMR SPO **Sciences pour l'œnologie** (Inra/Montpellier SupAgro/UM) *45 scientifiques*
UMT Qualinnov (IFV/Inra) *6 scientifiques*
Unité expérimentale de Pech Rouge (Inra) *6 scientifiques, 30 ingénieurs et techniciens*
Autre équipe concernée par ce thème
UMR Physiologie et Médecine Expérimentale du cœur et des muscles (UM/Inserm/CNRS) *51 scientifiques dont 5 impliqués sur la thématique*

Comprendre la biosynthèse des arômes au cours de la fermentation

Les arômes fermentaires, qui jouent un rôle important sur les caractéristiques aromatiques des vins jeunes, sont synthétisés par les levures. Ces arômes appartiennent à différentes familles chimiques, en premier lieu les alcools supérieurs et les esters. Si les voies métaboliques conduisant à leur synthèse sont, pour la plupart, bien identifiées, il restait de nombreuses interrogations sur leurs régulations et les moyens d'action pour influer sur la synthèse de ces composés. Pour répondre à ces questions, l'UMR SPO a effectué un travail de recherche pluridisciplinaire mené à la fois :

- au niveau de la levure, avec la mise en œuvre de différentes approches : étude des flux métaboliques à l'aide de marquage isotopique, analyse de l'expression des gènes (transcriptomique) ;
- au niveau de la fermentation, avec le suivi fin de la dynamique de synthèse (un point par heure) des principales molécules aromatiques grâce à l'utilisation de chromatographie en phase gazeuse en ligne et la réalisation de bilan gaz – liquide permettant de calculer la production totale des composés.

▲ *Chromatographie en phase gazeuse en ligne* © Inra

Ces travaux ont permis des avancées essentielles sur la compréhension du métabolisme avec, en particulier, (1) la démonstration de la part prépondérante du métabolisme carboné central par rapport à la voie d'Ehrlich* pour la synthèse des alcools supérieurs et des esters d'acétate et (2) le rôle-clé de l'acétyl-coenzyme A.

L'étude des effets combinés des principaux paramètres de fermentation (température, composition azotée et lipidique des moûts) a par ailleurs conduit à des résultats d'intérêt pratique, avec la préconisation de conditions de mise en œuvre des fermentations favorables à la production d'arômes fermentaires. Ce travail a été réalisé en collaboration avec la société Lallemand qui peut dorénavant conseiller les vinificateurs non seulement sur le choix de souches mais aussi sur les conditions optimales de mise en œuvre.

** Une des voies de dégradation des acides aminés, source d'arôme importante dans les produits fermentés*

Contacts :
Jean-Marie Sablayrolles, sablayro@supagro.inra.fr
Sylvie Dequin, dequin@supagro.inra.fr

Pour plus d'informations : www6.montpellier.inra.fr/spo

Les levures de vinification : génomes, histoire, évolution

La levure de vin par excellence appartient à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*. Cette espèce est associée à l'activité humaine depuis des millénaires et peut être isolée à partir d'environnements naturels. Au fil du temps, l'utilisation de levures pour la fermentation a conduit à la sélection de souches spécialisées présentant des caractéristiques phénotypiques uniques. Le développement rapide des approches de séquençage haut-débit a permis récemment de mieux comprendre l'histoire évolutive de ces souches et d'étudier les mécanismes ayant façonné le génome de cette espèce et son adaptation à une niche écologique.

L'UMR SPO a mené différents travaux dans ce contexte :

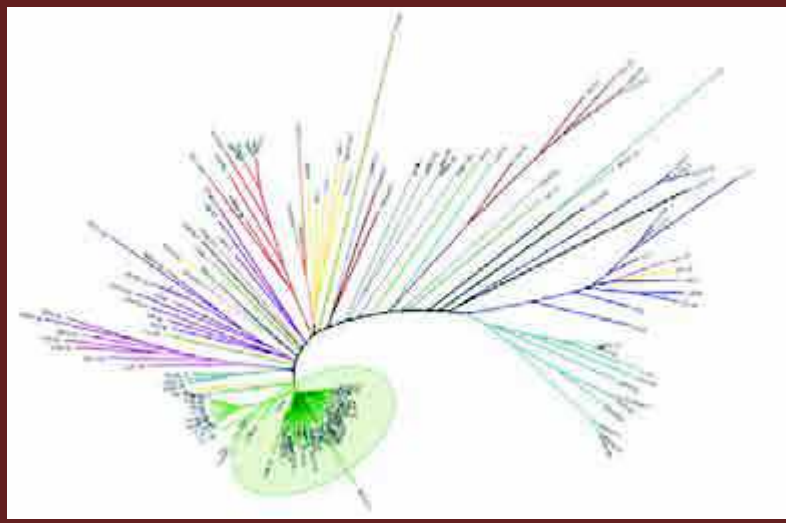
- en séquençant et en analysant le génome complet d'une première levure œnologique commerciale (Lalvin EC1118®) ;
- en réalisant des études de génomique des populations basées sur l'analyse comparative du génome de 74 souches de levure de diverses niches associées à l'activité humaine (vin, élevage en voile, rhum, pain, produits laitiers) et de huit isolats naturels de chêne ;
- en étudiant la diversité phénotypique de ces souches lors de la fermentation œnologique.

Ces travaux ont permis des avancées essentielles dans la compréhension de la structure de la population de *S. cerevisiae*, des modes de vie et des mécanismes adaptatifs grâce à la mise en évidence (1) de différents groupes génétiques correspondant aux différentes niches écologiques, (2) de transferts horizontaux de gènes spécifiques des levures œnologiques, provenant d'espèces éloignées de levures et jouant un rôle-clé dans l'adaptation à leur environnement, (3) d'une diversité de mécanismes (introgressions, transfert de gènes, amplifications, variations alléliques) contribuant à l'adaptation « niche-spécifique » et contribuant à la diversité génétique et phénotypique des souches.

Ces données génomiques représentent une ressource unique pour élucider les bases de l'adaptation à des niches écologiques et des propriétés technologiques des souches, offrant de nouvelles opportunités d'amélioration.

Contacts :
Sylvie Dequin, dequin@supagro.inra.fr
Jean-Luc Legras, legrasjl@supagro.inra.fr

Pour plus d'informations : www6.montpellier.inra.fr/spo



▲ *Arbre phylogénétique de* **Saccharomyces cerevisiae**
Le groupe des souches de vin est entouré. © J.-L. Legras

◀ **Saccharomyces cerevisiae**
© S. Marsit

Comprendre les interactions physico-chimiques des tanins et leur impact sur les caractéristiques des vins

De même que les transformations biologiques, biochimiques et chimiques, les interactions physico-chimiques interviennent tout au long de l'élaboration des vins et influencent la composition et les caractéristiques organoleptiques des produits finis.

Pour les vins rouges, les interactions des tanins ont un impact important sur la qualité des vins (astringence, limpidité, stabilité de la couleur, etc.) et sur l'efficacité de certaines opérations technologiques (extraction, collage, filtration, stabilisation, etc.).

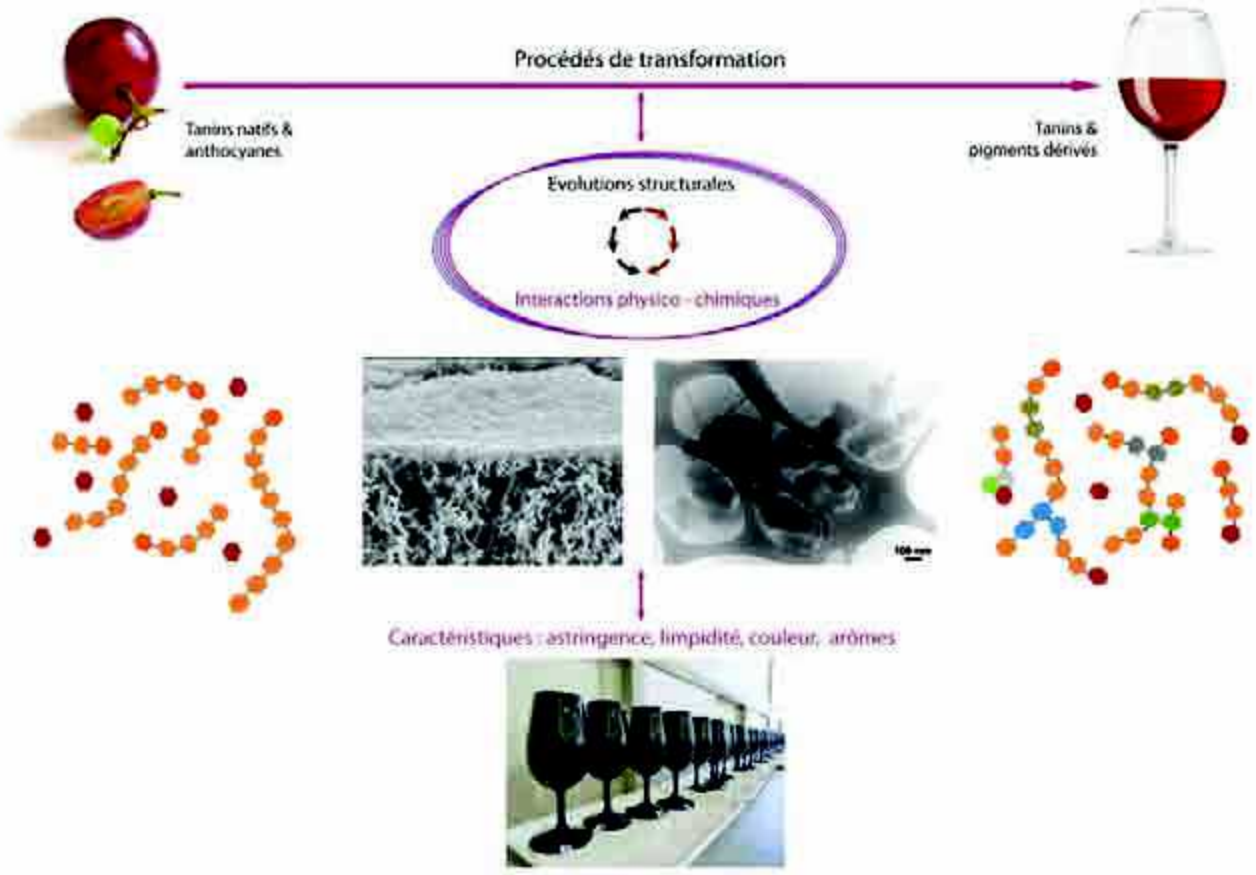
Ces interactions peuvent intervenir en solution ou aux interfaces (parois de cellules végétales et de micro-organismes, matériaux), et impliquer d'autres (macro)molécules du vin ou des composés exogènes (adjuvants de collage, additifs, protéines salivaires dans le cas de l'astringence).

Elles sont très influencées par le degré de polymérisation, la conformation et la nature des unités constitutives des tanins. Or les caractéristiques structurales des tanins extraits du raisin évoluent fortement dans les vins du fait de leur réactivité chimique. Ceci conduit à la formation de tanins et pigments dérivés (réactions tanins/anthocyanes) présentant des structures et des propriétés différentes de celles de leurs précurseurs et qui constituent la majeure partie des tanins dans les produits finis.

La sensation d'astringence par exemple, liée aux interactions des tanins, est souvent marquée dans les vins jeunes mais diminue lors de l'élevage et du vieillissement du fait de ces modifications structurales.

Les travaux de recherche développés à l'UMR SPO ont montré que ces évolutions sont très dépendantes de la composition initiale, du pH, de la gestion de l'oxygène dissous et, plus généralement, des procédés de transformation adoptés. Ces travaux ont également mis en évidence l'impact potentiel de ces évolutions sur la conformation des tanins et leurs propriétés physico-chimiques (interactions en solution ou aux interfaces). L'identification des structures et des mécanismes impliqués est utilisée pour développer des procédés et des produits innovants pour la maîtrise de la qualité.

Contacts : Aude Vernhet, aude.vernhet@supagro.fr
Céline Poncet-Legrand, poncetc@supagro.inra.fr
ou celine.poncet@inra.fr



▲ *Évolutions structurales des tanins et des anthocyanes lors de l'élaboration et du vieillissement des vins : impact sur leurs interactions physico-chimiques et les caractéristiques des vins*

© A.Vernhet/Montpellier SupAgro

Des marqueurs d'oxydation des tanins pour mesurer l'état d'oxydation des vins

La problématique de l'oxydation représente un enjeu de plus en plus important pour la filière œnologique. En effet, le réchauffement climatique (élévation du pH) et la réduction des intrants (réduction de la teneur en SO_2), favorisent les phénomènes d'oxydation qui modifient la qualité organoleptique des vins (couleur, astringence, arômes) de façon non maitrisée. Une compréhension fine des phénomènes d'oxydation est alors nécessaire pour évaluer leur impact sur la qualité des vins et, à terme, pour maîtriser celle-ci.

Aujourd'hui, on ne sait pas caractériser l'état d'oxydation d'un vin d'un point de vue chimique ni le mesurer par des méthodes simples à cause, vraisemblablement, de la très grande complexité de la composition moléculaire des vins.

Dans ce contexte, les recherches menées par l'UMR SPO visent à identifier des marqueurs d'oxydation qui permettraient de mesurer l'état d'oxydation d'un vin. Parmi les constituants du vin, les polyphénols représentent potentiellement de bons marqueurs d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Les tanins sont les polyphénols les plus abondants chez le raisin. Selon l'itinéraire technologique de vinification, ils sont plus ou moins présents dans les vins. Ces composés ont des structures complexes (polymères) et hétérogènes qui les rendent difficiles à analyser et, par conséquent, ont été peu étudiés vis-à-vis de l'oxydation.

Ces travaux ont permis de montrer, au sein des tanins, la présence de motifs structuraux marqueurs de l'oxydation et ainsi d'identifier plus de 60 marqueurs. L'automatisation de cette méthode est envisagée pour faciliter la recherche et la mesure systématique de ces marqueurs dans un grand nombre de vins. Cette analyse « haut débit » a pour objectifs, à terme, d'évaluer la part de l'oxydation des tanins dans l'état d'oxydation des vins et d'établir l'impact de celle-ci sur la qualité organoleptique des vins.

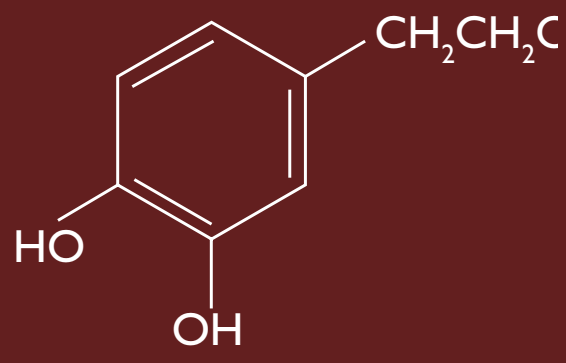
▲ *Séparation des composés phénoliques de vin avec l'apparition d'une coloration jaune due à l'oxydation des tanins*

© F. Veran/UMR SPO

Contacts :
Laetitia Mouls, laetitia.mouls@supagro.inra.fr
Hélène Fulcrand, helene.fulcrand@supagro.inra.fr

Les bienfaits des polyphénols du raisin

Les travaux conduits au sein de l'équipe *Nutrition-Diabète* (CHU Lapeyronie, Montpellier) en collaboration avec le *Laboratoire Physiologie et Médecine Expérimentale du Cœur et des Muscles* (PHYMEDEXP, Inserm-CNRS-CHU Arnaud de Villeneuve, Montpellier) visent à mieux comprendre les mécanismes impliqués dans le développement des maladies chroniques et, en particulier, du diabète de type 2. À ce titre, l'équipe s'intéresse au potentiel antioxydant et anti-inflammatoire des polyphénols de raisins rouges pour moduler l'insulinorésistance, complication de l'obésité et mécanisme clé dans la survenue d'un diabète de type 2. En effet, les polyphénols présentent la propriété de moduler l'insulinorésistance dans des modèles animaux et en culture cellulaire.



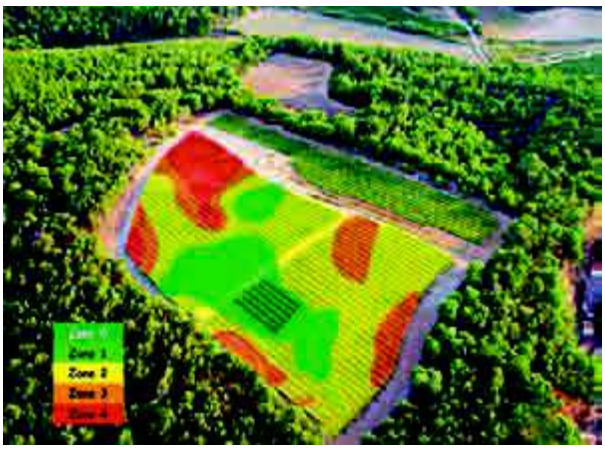
Des résultats encourageants ont été obtenus chez l'animal et chez l'homme dans certaines conditions. Il semblerait que les résultats obtenus chez l'homme, plus controversés, pourraient s'expliquer par des variations interindividuelles dans la transformation des polyphénols par le microbiote intestinal (flore bactérienne du tube digestif). En effet, ce dernier permet l'assimilation des polyphénols à 80 % et module l'inflammation via les lipopolysaccharides. Réciproquement, la composition du microbiote dépend de l'apport nutritionnel en polyphénols.

Les travaux menés par l'équipe visent ainsi à démontrer qu'un traitement avec une supplémentation en polyphénols à dose nutritionnelle peut améliorer la sensibilité à l'insuline de patients obèses, par rapport à une prise en charge standardisée de l'obésité. En effet, en l'absence de traitement « anti-obésité » ayant démontré un rapport bénéfice/risque satisfaisant, il est pertinent de rechercher d'autres moyens de lutte contre l'insulinorésistance, voire d'aide à la perte pondérale.

Ce projet est réalisé dans le cadre d'un partenariat avec l'Union GRAP'SUD, spécialisée dans la fabrication et la commercialisation de produits dérivés du raisin. La validation médicale de l'intérêt de la supplémentation en polyphénols permettrait une valorisation des produits dérivés de la viticulture régionale.

Contacts :
Ariane Sultan, a-sultan@chu-montpellier.fr
Catherine Bisbal, catherine.bisbal@inserm.fr

Pour plus d'informations sur le laboratoire PHYMEDEXP :
http://u1046.edu.umontpellier.fr



▲ *Zonage intra-parcellaire d'une parcelle Syrah de l'UE de Pech Rouge située dans le massif de la Clape en fonction de l'évolution de l'état hydrique des ceps entre floraison et maturité* © Inra/UEPR

◀ *Vue aérienne partielle de l'UE de Pech Rouge*
Elle montre les parcelles de vigne situées de la zone littorale (sols sableux et sables limoneux) ainsi que l'ensemble du bâti disponible (halles technologiques d'expérimentation, caves de vinification, atelier de conditionnement). © Inra/UEPR

Expérimentation, innovation, diversification et durabilité en viticulture et œnologie

L'unité expérimentale de Pech Rouge (UEPR) est la seule structure d'expérimentation et de transfert de l'Inra à vocation de recherche intégrée en viticulture-œnologie. Cette plateforme permet une approche transversale, de la parcelle de vigne au produit conditionné. Elle a pour missions de :

- concevoir et organiser les expérimentations émanant de la filière vitivinicole en synergie avec la recherche en amont ;
- structurer et mener des expérimentations ou des recherches en liaison avec la profession ;
- assurer le transfert et la valorisation des expérimentations les plus innovantes et pertinentes en favorisant l'échange d'informations avec les acteurs du développement et en participant à la formation des étudiants (caviste et œnologue).

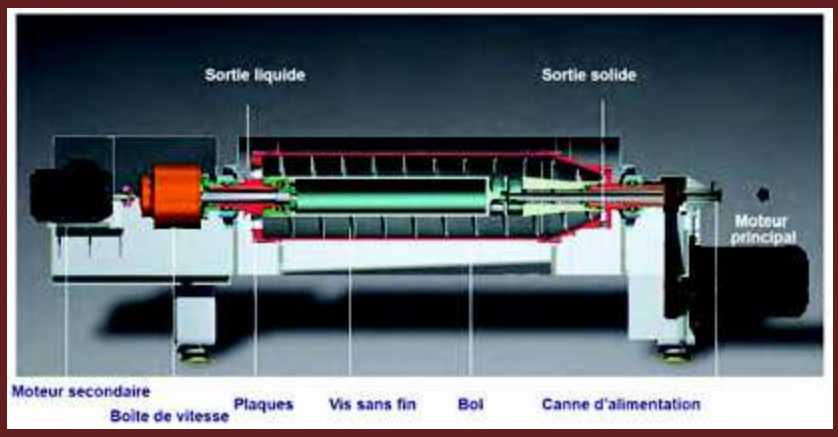
Les principales thématiques de recherche de l'unité sont les suivantes :

- l'écophysiologie de la vigne et la viticulture, notamment une meilleure connaissance et maîtrise de la qualité du raisin. En tant que plateforme d'essais viticoles à caractère régional, national et international, l'unité a, depuis 2010, orienté ses recherches en fonction du contexte agro-climatique et social du Sud de la France — températures élevées, sécheresses, élévation du pH et des contenus en potassium, diminution de l'acidité des raisins et des vins, irrigation, etc. — comparable à celui d'autres régions viticoles en Méditerranée et ailleurs — Portugal, Australie, Amérique du Sud, Californie. Les 38 hectares de vignes du dispositif parcellaire de l'unité sont distribués sur trois zones aux sols différents permettant d'obtenir des niveaux de contraintes hydriques variés — de modéré jusqu'aux sécheresses extrêmes ;
- l'œnologie et les procédés, avec pour objectifs de proposer et d'étudier des technologies innovantes applicables aux différentes phases de l'élaboration du vin. Les axes de recherche sont l'expression du potentiel qualitatif dans les baies de raisin ou les vins ainsi que le suivi en ligne et la maîtrise du déroulement de la fermentation alcoolique.

Ces recherches sont menées sur 5 000 m² de bâtiments (halles technologiques d'expérimentation, caves de vinification, atelier de conditionnement, chais d'élevage et de conservation) et abordées au travers d'études du couple « produit-procédé ». La connaissance du produit s'appuie sur les compétences analytiques de l'UEPR, de l'UMR SPO et des plateaux techniques associés dont celui d'analyse sensorielle. La connaissance des procédés et de leurs impacts sur la qualité des jus et du vin est au cœur de l'activité de l'équipe Technologies innovantes–Œnologie avec l'appui de réseaux et de partenariats (GMPA*, SPO, LBE**). L'équipe Viticulture–Qualité Raisin s'intéresse à la qualité du raisin. La connaissance fine des composés du vin, comme marqueurs de qualité, est abordée au travers de projets en partenariat avec l'UMR SPO et l'UMT Qualinnov (arômes et précurseurs, composés polyphénoliques et polysaccharidiques).

*UMR *Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires* (Inra/AgroParisTech)
**UR *Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement* (Inra)

Le décanteur centrifuge : une alternative attrayante au pressurage direct en vinification en blanc et rosé



▲ *Coupe transversale du décanteur centrifuge* © Alfa Laval

Introduit depuis quelques années dans la filière œnologique, le décanteur centrifuge horizontal à vis est une technologie qui a d'abord été expérimentée pour l'extraction des moûts de vendanges thermo-traitées, car il permet de séparer des solides en suspension dans un liquide. Après quelques modifications technologiques, il permet aujourd'hui d'extraire directement le moût des baies de raisin et peut ainsi remplacer avantageusement l'étape de pressurage. Pour évaluer son intérêt dans les étapes de vinification, l'UE de Pech Rouge, en partenariat avec la société Alfa Laval, expérimente, depuis 2007, le traitement de la vendange fraîche par cette technologie. L'atout principal du décanteur centrifuge est son utilisation en continu, et sa rapidité d'extraction des moûts (temps de séjour de la vendange dans le bol de l'ordre de la minute). Il peut donc être intégré en ligne sur une vendange éraflée, pour une vinification en blanc ou en rosé. Les rendements d'extraction, du même ordre de grandeur que ceux du pressoir pneumatique, permettent une extraction qualitative. Les caractéristiques de l'extraction peuvent donc être modifiées grâce aux paramètres de fonctionnement du décanteur centrifuge, mais également par l'installation d'équipements complémentaires en amont, comme un dispositif d'homogénéisation de la vendange ou une pompe doseuse. Cette dernière, en injectant des antioxydants avant l'ouverture des baies, limite, de façon rationnelle et efficace, l'oxydation des moûts. En effet, contrairement aux pressoirs pneumatiques traditionnels, où la protection contre l'oxydation du moût en cours de pressurage demande une construction/adaptation spécifique du pressoir (inertage total de la cage ou pulvérisation de sulfites à l'intérieur du pressoir), l'avantage majeur du décanteur centrifuge est qu'il est possible d'injecter en cours d'extraction en amont de l'appareil, divers additifs pour limiter l'oxydation du moût. Ces substances antioxydantes ont alors la possibilité d'agir dès la rupture de la compartimentation cellulaire. Cette faculté est primordiale car c'est lors de cette déstructuration cellulaire que les trois éléments nécessaires à la réaction initiale d'oxydation sont mis en contact — les composés phénoliques originaires du raisin, l'oxygène de l'air et les enzymes polyphénol-oxydases du raisin.

Contacts :
Jean-Michel Salmon, jmsalmon@supagro.inra.fr
Rémi Guérin-Schneider, remi.schneider@vignevin.com

La conservation des vins blancs et rosés en Languedoc-Roussillon

En Languedoc-Roussillon, le marché des vins est tourné à 40 % vers l'export. Sur le marché intérieur (60 % des volumes), les produits sont fortement présents en grande distribution. Les contraintes de ces orientations pour la production sont doubles : obtenir des vins correspondant aux profils-types demandés par les consommateurs et assurer une régularité du niveau qualitatif tout au long de la campagne de commercialisation, aspect d'autant plus problématique que les profils recherchés apparaissent « fragiles » en termes qualitatifs. Proposer tout au long de l'année des produits adaptés constitue un challenge et diverses pratiques ont émergé allant du « rafraîchissement » des vins à la vinification en différé de moûts conservés au froid. Toutefois, le problème de base reste lié aux modifications aromatiques et polyphénoliques des vins par oxydation au cours de la conservation.

Ce programme, financé par le Comité Interprofessionnel des Vins du Languedoc et le Conseil régional du Languedoc-Roussillon, aborde la problématique de l'oxydation de façon intégrative, depuis la conduite de la vigne jusqu'aux conditions de conservation et de conditionnement. Il se propose :

- d'évaluer les capacités intrinsèques de résistance à l'oxydation des cépages régionaux et les leviers viticoles (nutrition azotée, irrigation) à mettre en œuvre pour les amplifier, en intégrant l'étude des variétés résistantes Inra (site de Pech Rouge) ;
- de développer et d'évaluer au niveau technico-économique des itinéraires de production adaptés à ces variétés ;
- de tester de nouvelles technologies d'extraction qualitative des moûts.

L'UMT Qualinnov, au travers d'une approche multidisciplinaire alliant agronomie viticole, technologie, microbiologie et analyse, souhaite fournir des itinéraires vitivinicoles intégrés permettant à la fois d'élaborer les profils des vins adaptés aux marchés et de mieux les conserver au travers de la maîtrise des phénomènes d'oxydation. Cet état des lieux, jamais réalisé en Languedoc-Roussillon à cette échelle, permettra de mieux affiner et caractériser la composition de la matière première et ainsi d'adapter les itinéraires technologiques de vinification à appliquer en fonction de leur potentialité qualitative et de leur susceptibilité à l'oxydation.

▲ *Bouteilles de vin rosé présentées sur des étagères rétro-éclairées* © Inra

Contacts :
Jean-Michel Salmon, jmsalmon@supagro.inra.fr
Rémi Guérin-Schneider, remi.schneider@vignevin.com

Fournir aux professionnels des outils de caractérisation de la qualité pour le pilotage des itinéraires technologiques

L'UMT *Qualinnov* (IFV, Inra) développe des programmes de recherche et de développement afin de mettre au point de nouveaux outils de caractérisation de la qualité aromatique, polyphénolique et sanitaire des raisins et des vins.

Les objectifs visés par l'UMT sont de compléter les connaissances sur l'élaboration des caractéristiques qualitatives lors des processus de production et de transformation des raisins ainsi que de mettre à la disposition de la filière des outils et des méthodes permettant un pilotage de ces processus en fonction de la typologie du produit demandée.

L'UMT Qualinnov réunit pour cela des compétences en agronomie viticole, en œnologie et en chimie analytique afin de contribuer à l'élaboration de vins et de boissons uvales de qualité, adaptés aux demandes des consommateurs, tant sur le plan sensoriel (arômes, polyphénols) que sanitaire. Elle bénéficie également des installations expérimentales du site de l'UE de Pech Rouge — parcelles, plateformes expérimentales instrumentées, moyens analytiques — et d'un accès privilégié aux plateformes instrumentales de l'Inra de Montpellier.

Les travaux de l'UMT Qualinnov portent sur :

- **Les polyphénols** : contribution de la spectrophotométrie haut débit à la caractérisation et à la compréhension des déterminants de la qualité polyphénolique des vins :
  - adaptation de l'analyse couleur développée sur des vins rouges aux vins rosés ;
  - estimation globale des familles de polyphénols à partir du spectre UV–visible d'un vin en milieu acide ;
  - estimation de l'astringence par une méthodologie basée sur la précipitation de protéines ;
  - application de ces mesures sur les programmes communs engagés.
- **Les arômes** : compréhension des interactions entre composés précurseurs d'arômes et micro-organismes pour la valorisation du potentiel aromatique des raisins et des moûts :
  - turbidité : lien entre bio-accessibilité des stérols des tourbes, viabilité des levures, et métabolisme secondaire lié à la fermentation alcoolique ;
  - composition en azote : impact sur révélation / dégradation des précurseurs d'arômes de type acides aminés par les levures et les bactéries lactiques.

▼ *Mesure haut débit et automatisée des composantes de la couleur des vins rouges et rosés par spectrophotométrie UV-visible*
© M.A. Ducasse/IFV

Un plateau technique d'analyse sensorielle pour les vins et les jus de raisin

Le plateau technique d'analyse sensorielle a pour mission de mesurer et de contrôler les caractéristiques organoleptiques des vins et des jus de raisin. Il est impliqué prioritairement dans les programmes de recherche de ses deux unités de rattachement — l'UMR SPO et l'UE de Pech Rouge. Un jury expert constitué de 23 personnes sélectionnées et entraînées — non professionnels de la filière vitivinicole — lui sert d'outil de mesure. Cette originalité garantit l'objectivité de leurs analyses car les juges ne connaissent rien des objectifs des programmes de recherche. Les moyens matériels sont constitués de deux salles d'analyse sensorielle : une salle destinée au travail de groupe et une salle d'analyse de 16 cabines individuelles avec saisie en ligne des données. L'ensemble est géré par le logiciel FIZZ (Biosystèmes, Couternon, France).

Les méthodologies utilisées sont issues des normes d'analyse sensorielle et sont adaptées aux objectifs des programmes ; elles comprennent le profil conventionnel (analyse descriptive quantitative), les tests de différence, le *Napping* ainsi que la détermination de seuils de perception.

Le plateau a aussi une expertise dans le croisement des données sensorielles et physico-chimiques par corrélation ou analyse multi-tableaux (analyse factorielle multiple, etc.).

Le plateau a été impliqué sur différentes thématiques et a réalisé l'évaluation sensorielle de l'impact des procédés de vinification, (stabilisation, clarification, souches de levures, etc.), de l'effet de l'oxydation des vins en lien avec les matériaux de conditionnement, de l'impact de composés intrinsèques au vin (amertume des vins blancs, polyphénols, etc.), l'effet des pratiques viticoles (modes de conduite, contraintes hydriques, etc.) ainsi que des liens entre la typicité et les terroirs viticoles, de nouvelles variétés de vignes résistantes aux maladies cryptogamiques ou destinées à la production de vin à teneur réduite en alcool ou de jus à faible concentration en sucre.

L'équipe dispense également des formations auprès d'étudiants universitaires ou d'écoles d'ingénieurs.

© G. Bouteillier

▲ *Évaluation de vins par le jury expert dans les cabines individuelles* © A. Kerr

Contact : Alain Samson, alain.samson@supagro.inra.fr

Pour plus d'informations : www6.montpellier.inra.fr/spo/Structures-collectives/Analyse-sensorielle

La plateforme d'analyse des polyphénols

Les composés phénoliques (souvent appelés polyphénols) constituent une large famille de métabolites secondaires des végétaux. Ils participent aux mécanismes de dissémination et de défense des plantes et sont essentiels pour la qualité des produits végétaux. Ces molécules, particulièrement abondantes dans le raisin et le vin, comprennent les anthocyanes, pigments rouges du raisin, les acides hydroxycinnamiques, impliqués dans les phénomènes de brunissement enzymatique, les tanins et les stilbènes (comme le resvératrol).

La plateforme « Polyphénols » (PFP) offre un ensemble d'approches (spectrométrie de masse, résonance magnétique nucléaire, spectrophotométrie, chimiométrie) spécifiquement dédiées à l'analyse des composés phénoliques. Elle remplit une mission d'appui auprès de l'ensemble de la communauté scientifique et des industriels et apporte, à ses partenaires et clients, une aide technique et consultative, principalement en réponse à deux types de demande :

❶ identification et analyse structurale des composés phénoliques ;

❷ analyse rapide de la composition phénolique d'un grand nombre d'échantillons (métabolomique, phénotypage, notamment en lien avec des programmes de sélection génétique ou relatifs à l'étude de l'impact de l'environnement et des pratiques culturales sur la qualité des végétaux) ou de leurs produits de transformation (authentification, suivi de procédés, prédiction de propriétés).

La PFP est impliquée dans le projet européen Innovine (« Associer techniques innovantes et génétique pour une filière viticole européenne durable »). Elle contribue également à de nombreux projets industriels visant à établir les liens entre composition phénolique et qualité ou à prédire l'impact d'opérations technologiques sur ces caractéristiques. Parmi les travaux récents en appui à la filière, on peut citer l'analyse de la couleur des vins rosés (collaboration Centre du Rosé, IFV, UMT Qualinnov), la prédiction de la couleur des rosés d'assemblage (Société Nyseos), la prédiction de l'astringence des vins rouges (projet Pilotype) ou l'étude de l'impact du transfert d'oxygène au travers du bouchon (Société Nomacorc) ou de la bouteille (projet Novinpak, *cf. p. 42*) sur l'évolution des vins.

Contact : Véronique Cheynier, cheynier@supagro.inra.fr

Pour plus d'informations : https://www6.montpellier.inra.fr/spo/Structures-collectives/Plate-forme-Polyphenols

▲ *Vue de la plateforme d'analyse des polyphénols* © N. Sommerer

▲ *Exemple de quelques publications de chercheurs en sciences sociales à destination de la filière*

© Montpellier SupAgro

Approches en sciences sociales de l'innovation et transformation de la filière

Dans un monde du vin qui respecte particulièrement la « tradition », les chercheurs en sciences humaines de Montpellier font volontiers référence à des figures historiques, telles Jules Milhau qui, le premier, modélisa le prix du vin dès la première moitié du XXe siècle. C'était l'époque du vin du Midi, souvent « matière première », dont la destinée, écrite pour accompagner la révolution industrielle, avait été à jamais marquée par le traumatisme causé par la surproduction post-phylloxérique de 1907. Dès lors, les économistes allaient suivre les évolutions de la viticulture, dans un premier temps avec la prise en compte d'une division officielle en 1935, entre les vins d'appellation et les vins de table soutenus par le « statut viticole », promesse d'un soutien régulier par des politiques publiques indéfectibles, et jusqu'à l'époque actuelle avec ses nouveaux enjeux. C'est dans cette lignée qu'on analyse aujourd'hui encore les politiques publiques devenues de la compétence européenne depuis la première organisation commune du marché de 1970, avec ses aspects les plus actuels comme les droits de plantation récemment remis en question.

Il est difficile d'étudier les vins, depuis le grand vignoble du Languedoc, sans analyser en profondeur la reproduction de ses structures et acteurs, et notamment les caves coopératives, dont les vignerons de Maraussan furent des fondateurs visionnaires en 1901. De nouvelles analyses de la réalité coopérative du XXIe siècle se font jour : nouveaux modes de gouvernance, regroupements et filialisations de coopératives, recherche de nouvelles garanties, liées au développement local, à la responsabilité sociale des entreprises et à la production durable.

Au-delà, certains chercheurs focalisent leurs travaux sur les processus d'innovation et sont des « observateurs actifs » de ces changements. D'autres, plus centrés sur une approche managériale, analysent les phénomènes de « coopétition* » (*cf. p. 44*) et la construction de référentiels collectifs observables entre acteurs d'un même territoire…

Mais la sphère viticole s'est bientôt mondialisée et les économistes de Montpellier, déjà experts attentifs auprès de l'Organisation internationale de la vigne et du vin depuis 1924, se sont mis à étudier les évolutions impulsées depuis 20 ans par le « nouveau monde viticole » et l'émergence de l'Organisation mondiale du commerce. La mondialisation des marchés, contemporaine de changements profonds quantitatifs et qualitatifs dans la consommation nationale, a précipité les entreprises françaises du vin sur des rivages peu familiers, du marketing, de l'exportation vers de nouveaux marchés et de la « marque » longtemps discrète au regard de l'appellation d'origine dans la filière française. Ainsi, après des analyses régulières sur l'évolution de la consommation en France, sont apparues des études comparatives internationales sur les codes visuels, et des analyses sémiotiques nouvelles, qui révèlent l'impact de différentes conceptions d'étiquettes sur les achats des consommateurs asiatiques, aux repères culturels bien différents…

La mondialisation a également apporté son cortège de remises en cause d'axiomes bien installés dans la filière : d'abord parce qu'en observant les produits concurrents sur les marchés mondiaux, la France a remis en perspective les variables de ses équations qui relient le rendement des ceps à la rentabilité des unités de production ; ensuite parce que les voies de l'innovation que le vin n'avait cessé d'emprunter depuis l'antiquité sont apparues encore plus multiples : des vignes résistantes aux maladies cryptogamiques jusqu'aux levures orientant les fermentations, des vins d'AOC avec la recherche des effets « terroir » jusqu'aux vins à indication géographique — ou sans IG — aspirant à une compétitivité internationale, des vins plus adaptés à une demande de « naturalité » jusqu'à des pratiques viticoles permettant d'affronter des changements climatiques déjà ressentis et annoncés pour demain comme plus sévères encore…

Toutes ces mutations, ces innovations, les chercheurs de Montpellier les accompagnent et les favorisent, qu'ils soient analystes économiques, observateurs engagés au cœur des interactions systémiques (entre acteurs et entre disciplines), conseillers en marketing mobilisés par les entreprises, ou encore prospectivistes de l'Institut des hautes études de la vigne et du vin (IHEV) en charge d'anticiper l'avenir de la filière…

Hervé Hannin (Montpellier SupAgro-IHEV)

* Coopération à plus ou moins long terme avec les concurrents

Approches en sciences sociales de l'innovation et transformation de la filière

L'innovation pour les transitions agro-écologique et climatique

L'UMR *Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation* (Innovation – Inra, Montpellier SupAgro, Cirad) développe des travaux de recherche pluridisciplinaires en France et à l'international sur les processus d'innovation, qu'ils soient techniques, organisationnels ou institutionnels. Les recherches s'intéressent à l'ensemble du processus, depuis les motivations des acteurs pour innover et les manières concrètes de mettre en œuvre le changement, jusqu'aux effets de développement induits par ces innovations.

Les équipes principales

UMR Innovation
Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation
(Inra/Montpellier SupAgro/Cirad)
50 scientifiques
dont 4 impliqués dans la thématique

UMR Moisa
Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs
(Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/Ciheam-IAMM)
65 scientifiques
dont 8 impliqués dans la thématique

Wine business group
(Montpellier Business School)
8 scientifiques

L'UMR a toujours retenu le secteur de la vigne et du vin comme l'un de ses domaines d'étude de l'innovation. Les premiers travaux concernaient les conditions de la transition du secteur vers la qualité, à l'échelle des exploitations, des caves coopératives, de régions viticoles ou de marchés (indications géographiques). Les travaux se sont ensuite réorientés vers les innovations qui répondent aux enjeux des transitions agro-écologique et climatique. L'UMR joue ainsi un rôle important dans le renouvellement des recherches sur :

- le changement climatique : co-animation du projet LACCAVE Impacts et adaptations à long terme de la filière vitivinicole au changement climatique (*cf. p. 58*) ;
- l'engagement des viticulteurs dans les programmes de réduction d'usage des pesticides : projets DEPHY, réseau de démonstration, expérimentation et production de références sur les systèmes économes en phytosanitaire (*cf. p. 62*) et Panoramix, conception et valorisation de systèmes viticoles durables combinant variétés résistantes et méthodes de protection complémentaires (*cf. p. 63*) ;
- l'évolution des paysages viticoles face à ces enjeux dans les régions méditerranéennes : projet PATERMED *Paysages et terroirs méditerranéens* (*cf. ci-contre*).

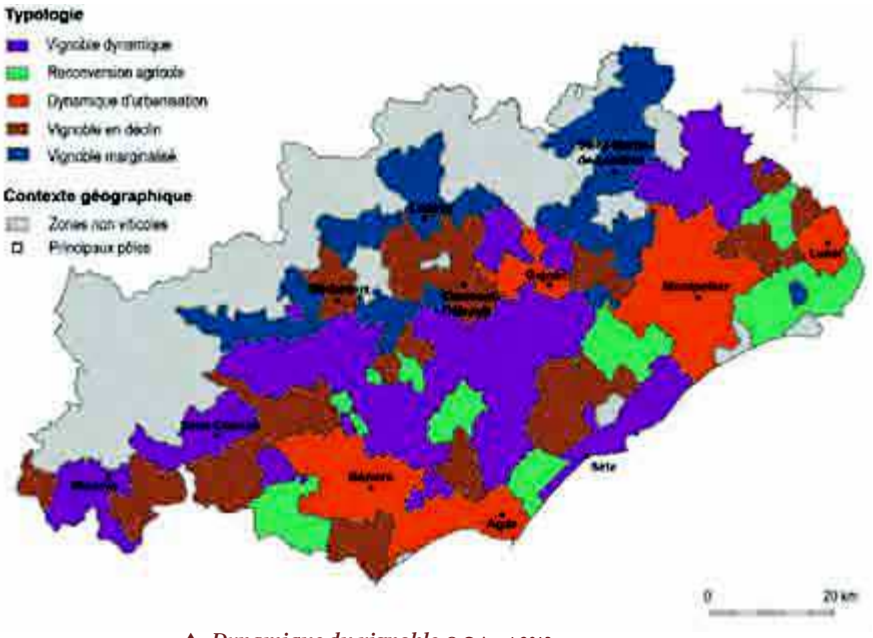
Les chercheurs de l'UMR participent à ces projets en partageant une vision systémique de l'innovation puis en approfondissant l'analyse d'une de ses dimensions propre à chaque discipline : économie, géographie, agronomie ou sociologie. Les processus d'innovation sont donc repérés, analysés et, parfois, accompagnés (projets de recherche-action), en s'appuyant sur un travail de suivis et d'enquêtes auprès de leurs acteurs (viticulteurs, chercheurs, conseillers, fournisseurs, etc.).

Les travaux confirment l'influence de l'innovation, et des réseaux d'apprentissage associés, sur la compétitivité des vignobles et leur capacité d'adaptation aux enjeux climatiques et écologiques. Dans tous les vignobles, le rôle de l'action collective et des interprofessions apparaît clairement sous des formes différentes, plus ou moins efficaces. Les travaux soulignent aussi que l'innovation s'inscrit dans différents modèles technologiques qui coexistent dans le secteur (labels AOP terroir, IGP technologique, agriculture biologique, etc.). Ils vont enfin jusqu'à proposer de nouvelles formes de collaboration entre la recherche agronomique et les autres acteurs de ce secteur, pour renforcer la nécessité de combiner connaissances pratiques et scientifiques en fonction des caractéristiques de chaque vignoble.

▲ *Vignes arrachées dans le Minervois* © E. Montaigne

Projet PATERMED : les paysages viticoles au cœur des systèmes agricoles de la France méditerranéenne

Le programme Paysages & Terroir Méditerranéens (PATERMED) (2010-2014) visait à analyser et promouvoir la qualité des paysages de la vigne et de l'olivier au sein des territoires du Midi méditerranéen. Les recherches engagées à Montpellier par les UMR Innovation et AGAP, en collaboration avec plusieurs équipes de recherche et partenaires socioprofessionnels* ont mis en lumière la qualité culturelle et opérationnelle de ces paysages à différentes échelles géographiques (du lieu jusqu'à la zone méditerranéenne française) et précisé les processus qui les transforment : urbanisation, fragmentation des espaces agricoles, maintien des activités viticoles et oléicoles, arrachages, questions environnementales, labellisation et indications géographiques, développement du tourisme et des activités récréatives, etc.



▲ *Dynamique du vignoble* © C. Arnal, 2013

Les études ont approfondi deux thématiques importantes pour un vignoble en reconversion comme celui du Languedoc : les conséquences agricoles, territoriales et paysagères de l'arrachage viticole ; l'utilisation des paysages de la vigne et de l'olivier dans les politiques de développement local, en particulier dans les territoires viticoles du Pic Saint-Loup et des Terrasses du Larzac.

Une contribution majeure de PATERMED est l'édition de l'*Atlas des paysages de la vigne et de l'olivier en France méditerranéenne* (Ed. Quæ, 2014) qui décrit les différents types de paysage et leurs évolutions face aux enjeux de l'urbanisation, de la valorisation des produits et de la protection de la biodiversité et du patrimoine.

Les résultats et les produits issus des travaux de PATERMED et, en particulier, cet atlas, offrent aux gestionnaires de territoires et aux responsables des filières viticoles des pistes de réflexion et une aide à la décision pour répondre aux enjeux paysagers, se plaçant ainsi au cœur de préoccupations partagées par de nombreuses collectivités territoriales.

*** UMR TELEMME - *Temps, Espaces, Langages, Europe Méridionale, Méditerranée* (Aix-Marseille Université / CNRS) ; UMR ESPACE - *Étude des structures, des processus d'adaptation et des changements de l'espace* (CNRS / Aix-Marseille Université / Université d'Avignon et des pays du Vaucluse / Université de Nice Sophia-Antipolis) ; UR LOTERR - *Centre d'étude et de recherche sur les paysages* (Université de Lorraine) ; Afidol - Association française interprofessionnelle de l'olive ; Syndicat des vins de Côtes de Provence ; INAO - Institut national de l'origine et de la qualité.**

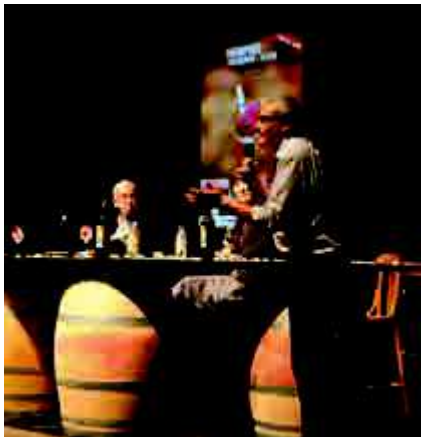
Contact :
Lucette Laurens, lucette.laurens@supagro.inra.fr

Pour plus d'informations : http://patermed.over-blog.com

Économie et gestion de la filière vigne et vin

L'UMR *Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs* (Moisa – Cirad, Inra, Montpellier SupAgro, Ciheam-IAMM) mobilise cinq disciplines des sciences sociales : économie, gestion, sociologie, sciences politiques, anthropologie. L'UMR est structurée en trois équipes : *Recherches sur les gouvernances, les consommateurs, les entreprises et les filières agro-alimentaires et rurales* ; *Coordination et politiques pour l'agriculture et l'alimentation durable*s ; *Agricultures en mutation, stratégies des ménages et gestion des ressources.*

L'UMR fédère ses recherches autour du thème commun du développement agroalimentaire et rural durable, tant au Nord qu'au Sud. Elle a une longue tradition de recueil de données primaires de qualité par enquêtes directes sur le terrain, renforcée par son important réseau de coopération internationale.



▲ *Intervention d'un chercheur auprès de vignerons lors d'une conférence de l'université de la vigne et du vin à Ferrals-les-Corbières*
© Montpellier SupAgro-IHEV

L'ancrage des équipes dans des institutions à forte composante technique a fourni une tradition de collaboration interdisciplinaire et de sensibilité aux dynamiques techniques.

Le thème du vin bénéficie d'une accumulation de connaissances et d'expertise sur l'économie de ce secteur depuis les années 1950. Les économistes mènent actuellement leurs travaux sur :

- la consommation du vin avec une participation à l'enquête nationale de FranceAgriMer renouvelée tous les 5 ans depuis 1980 ;
- les échanges internationaux, les marchés et la conjoncture mondiale avec la publication depuis près de 20 ans de la synthèse annuelle de Cyclope ainsi que de veilles économiques et concurrentielles ;
- les structures de production — population, famille, travail, installation des jeunes — avec (1) une évaluation des exploitations viticoles en cours selon le niveau d'utilisation des produits phytosanitaires et l'assurance récolte et (2) une évaluation de la performance économique et environnementale des entreprises viticoles et de la caractérisation du modèle économique qui différencie les vins avec AOP ou sans IG ;
- la politique vitivinicole européenne grâce à plusieurs évaluations, complétées par des travaux sur l'arrachage, les droits de plantation et leur impact sur l'évolution des exploitations viticoles et leurs revenus ;
- la première mise en marché avec des études sur la coopération et le négoce, les firmes multinationales et les groupes, le design des contrats dans la gestion de la qualité ;
- la dynamique des innovations à forte composante recherche : techniques de désalcoolisation et variétés résistantes aux maladies.

Les spécialistes des sciences de gestion s'intéressent aux sujets suivants :

- droit de la marque, notamment celle collective « Sud de France » ;
- conditionnement des produits et réactions des consommateurs à l'arrivée de nouveaux matériaux ;
- performance financière des entreprises, en particulier les coopératives, et lien gouvernance-performance ;
- cartographie de l'information économique viticole en région ;
- prospective appliquée à la filière.

L'équipe *Vin* fait également partie du réseau Vin Montpellier : groupe informel multi-institutionnel en économie et gestion d'échanges autour des recherches appliquées au vin, groupes d'experts de l'organisation internationale de la vigne et du vin, association internationale *Lien de la vigne*.

Analyse de la faisabilité commerciale du lancement de vin rosé sous emballage Novinpak®

Le projet Marketing et lancement bouteille *en PET* s'inscrit dans une collaboration entre l'UMR Moisa et l'entreprise Uccoar-Val d'Orbieu (Vinadeis). Ce volet du projet Novinpak®, étalé sur trois ans et focalisé sur les aspects R&D ainsi que sur la faisabilité technique, aborde en fin de programme les aspects marketing. L'étude de la faisabilité commerciale de ce conditionnement innovant vise avant tout à analyser les réactions des consommateurs potentiels, les avantages perçus et les craintes révélées. Il s'agit aussi d'identifier les conditions d'achat et de consommation d'un produit innovant et en rupture avec les codes sociétaux traditionnels du vin en France.

Sur les plans méthodologique et empirique, au-delà des relevés factuels et des analyses bibliographiques sur les nouveaux lancements et les innovations concernant les emballages du vin, quatre enquêtes ont été réalisées de mars à juin 2014 : deux *focus group* (experts et novices), des enquêtes *in situ* par entretien avec 49 consommateurs présents aux rayons des vins de grandes et moyennes surfaces, et une enquête via un questionnaire en ligne (148 répondants).

Le vin conditionné en PET jouit généralement d'une mauvaise — parfois très mauvaise — image, associée à du vin bas de gamme ou pour la cuisine. Mais le visuel de la bouteille Novinpak® est séduisant. La bouteille est jugée esthétique, « design », élancée et féminine. Le concept est estimé cohérent avec un lancement de vin rosé, car ce segment est le plus ouvert aux nouveaux lancements et aux innovations. Les attentes des consommateurs ne concernent que peu le critère éco-responsable de la bouteille. La qualité du vin opère comme une « compensation » du risque d'avoir opté pour une bouteille en plastique. L'attribut « praticité » (légèreté, solidité) est mieux identifié et valorisé par les consommateurs.

Contact :
Foued Cheriet, cheriet@supagro.inra.fr

Pour plus d'informations : www.novinpak.org

© Uccoar-Val d'Orbieu (Vinadeis)

Programme STRATECOOP LR 2013
Gouvernance, stratégie et performance des coopératives vinicoles du Languedoc-Roussillon

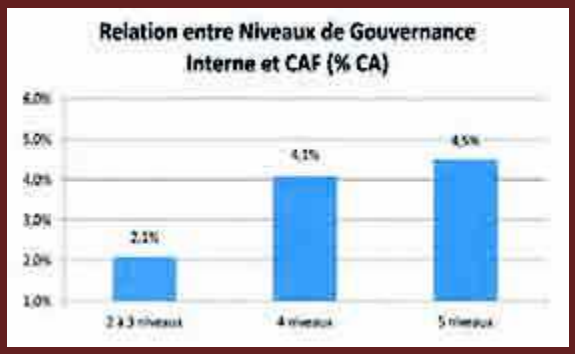
Dans un contexte marqué par de profondes mutations (arrachages, mondialisation des échanges, fusions) et par un système de gouvernance particulier lié au statut coopératif, cette étude, menée dans le cadre d'une thèse en gestion au sein de l'UMR Moisa, éclaire les transformations à l'œuvre dans la coopération vinicole du Languedoc-Roussillon à l'aune de la gouvernance, du positionnement stratégique et de la performance des entreprises. Elle offre ainsi aux professionnels de la coopération viticole non seulement un état des lieux précis mais surtout une véritable aide au pilotage et une approche prospective.

Elle s'est appuyée sur un partenariat fort avec Coop de France LR et la société Dyopta (traitement et analyse des données issues du casier viticole informatisé), et sur un financement de France AgriMer ainsi que du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural (CASDAR). Elle a porté sur un échantillon de 87 caves coopératives (45 % du nombre de caves de la région).

Le programme STRATECOOP LR 2013 a permis d'identifier les trajectoires les plus performantes pour la filière viticole régionale et pour la pérennité des exploitations adhérentes. Les résultats obtenus font apparaître certains choix de gouvernance et de positionnement commercial plus fructueux que d'autres, en termes de performances amont, aval et financière. Une typologie a pu être ébauchée qui reste à approfondir. Parmi les résultats, on peut citer les liens entre la dimension cognitive de la gouvernance (processus décisionnel s'appuyant sur des organes consultatifs parfois informels) et le niveau de performance financière à long terme.

Contact :
Louis-Antoine Saïsset, louis-antoine.saisset@supagro.fr

Pour plus d'informations : Saïsset L.-A., 2014. Gouvernance, investissements immatériels et performance des entreprises coopératives agricoles. Le cas des coopératives vinicoles du Languedoc-Roussillon. *Thèse en sciences de gestion, Montpellier SupAgro*. 607 p.



▲ *Impact de la gouvernance coopérative sur la performance financière de long terme*
Haut : niveaux de gouvernance interne : amélioration de la réflexion collective. Bas : lien entre niveaux de gouvernance interne et capacité d'autofinancement (CAF). Amélioration de la performance de long terme. © L.A. Saïsset, 2014

Projet Précovision (2009-2013)
Performance économique des exploitations viticoles et réduction des intrants phytosanitaires

Une méthode de benchmarking a été développée par l'UMR Moisa pour mesurer la performance économique d'exploitations viticoles et évaluer les possibilités de réduction des intrants phytosanitaires sans changer de technologie de production et en évoluant vers une technologie consommant moins de pesticides lorsque cela est possible.

Cette méthode permet une évaluation quantitative multidimensionnelle de la performance d'une exploitation par comparaison à l'ensemble de celles observées, mais aussi la caractérisation des plus performantes et l'identification de celles pouvant servir de référence. Cette méthode permet ainsi de proposer des voies d'amélioration pour les exploitations les moins performantes, notamment au niveau technique, pour réduire les coûts de production et l'utilisation d'intrants polluants. Pour les décideurs publics, ce cadre d'analyse permet de mesurer l'impact potentiel de la réglementation visant à réduire l'utilisation des pesticides selon le type de producteur du secteur viticole.

Son application aux données de l'enquête sur les pratiques culturales viticoles* en Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur a permis d'évaluer la réduction possible des quantités d'intrants phytosanitaires : au moins 1 passage et 15 % en moyenne des quantités utilisées sans changement de structure de production ; au moins 2 passages et 31 % en moyenne des quantités utilisées en évoluant vers une autre structure de production économiquement viable.

Actuellement, la performance des exploitations viticoles est modélisée en situation de réduction des intrants phytosanitaires pour celles en appellation d'origine protégée (AOP) et celles sans indication géographique (IG), ce qui permet de :

- caractériser les modèles économiques des exploitations en appellation d'origine protégée et celles sans indication géographique ;
- évaluer les possibilités de réduction des intrants phytosanitaires pour les exploitations en AOP et l'identification des facteurs de production limitants qui rendent cette réduction impossible sans changement des pratiques existantes ou de la technologie de production ;
- évaluer les gains économiques et environnementaux issus d'une spécialisation en vin AOP ou en Vin de table *versus* une coproduction des deux types de vins aux échelles de l'exploitation et des territoires.

Pour la partie empirique du projet, les données proviennent du réseau d'information comptable agricole (RICA France). Plusieurs scénarios de réduction des produits phytosanitaires seront mis en œuvre afin d'évaluer l'impact potentiel sur les exploitations selon le type de vin produit.

** Service central des enquêtes et études statistiques (SCEES), 2008*

Contact :
Isabelle Piot-Lepetit, isabelle.piot-lepetit@supagro.inra.fr

▲ *Plants de vigne* © M. Calleja

Les droits de plantation

En 1935, la France et l'Espagne mettaient en place des règles de contrôle des plantations de vigne, reprises « temporairement » par l'Organisation commune du marché du vin dans l'Union européenne, à l'exception d'une courte trêve (1970-1976). La disparition définitive de ces droits de plantation (actée dans la réforme de 2008) pour 2016 ou, au plus tard, 2018, a été abondamment motivée et autant rediscutée à l'approche de l'échéance, bon nombre de professionnels et d'élus craignant des conséquences désastreuses — plantations anarchiques, instabilité des marchés, des petits producteurs, etc. Les enjeux ont justifié une importante étude menée par l'UMR Moisa pour l'Association des Régions Européennes Viticoles et le Parlement européen (en collaboration avec des universitaires italiens).

Des études de cas sur de longues périodes au sein de l'Europe et du « Nouveau Monde »* ont permis :

1. d'analyser les modes de fonctionnement de ces règles ;
2. de tester la question des économies d'échelle associées à la taille de l'exploitation viticole en mobilisant en France les données du réseau d'information comptable agricole ;
3. d'observer au niveau européen la dynamique de croissance de ces exploitations ;
4. de répondre aux principales critiques du système de droits de plantation.

L'étude a montré que :

1. la taille de l'entreprise n'est pas prioritairement un facteur d'économie d'échelle ni de croissance des revenus ;
2. le prix des droits de plantation n'alourdit pas significativement le coût de la création d'un vignoble ;
3. un système de droits de plantation, s'il est utilisé de façon laxiste, n'évite pas la surproduction (cas d'Alentejo au Portugal), engendrant des conséquences négatives sur les régions vertueuses ;
4. l'absence de système de régulation des plantations dans le Nouveau Monde n'a pas évité le déséquilibre du marché ;
5. d'autres pays ont mis en place d'autres mécanismes de régulation du marché (Argentine) ;
6. le système de droits de plantation n'a pas « rigidifié » le vignoble, mais a permis des réallocations dans les régions pour lesquelles les débouchés semblaient en croissance (France, Italie, Alentejo).

Les études de cas sur l'Italie, l'Allemagne et la Hongrie ont confirmé ces résultats.

** Australie, Espagne, Portugal, Argentine*

Contact : Étienne Montaigne,
etienne.montaigne@supagro.fr

Pour plus d'informations :
Delord B., Montaigne E., Coelho A., 2015. *Vine planting rights, farm size and economic performance: Do economies of scale matter in the French viticulture sector?* Wine Economics and Policy. 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.wep.2015.03.001

Montaigne E., Coelho A., Delord B., Khefifi L., 2012. Étude sur les impacts socio-économiques et territoriaux de la libéralisation des droits de plantations viticoles. Tome 2. *Progrès Agricole et Viticole*. 129(6): 108-152.

Groupe de recherche sur le management du vin

Le groupe de recherche *Wine Business* de Montpellier Business School est composé d'enseignants-chercheurs rattachés au laboratoire *Montpellier Recherche en Management* (MRM). Les groupes de recherche jouent un rôle principal dans l'organisation et le développement des recherches à Montpellier Business School.

Les recherches du groupe *Wine Business* portent sur l'industrie du vin et ont vocation (1) à formuler des implications managériales pour les professionnels du secteur et (2) à connecter la recherche montpelliéraine au monde académique international.

Pour ce faire, ses réunions sont ouvertes aux professionnels du secteur invités par les membres. La valorisation de la recherche auprès des managers de terrain prend également corps dans l'organisation de *workshops*, à l'occasion d'interviews ou dans la production d'ouvrages. Les échanges et les visites de professeurs internationaux et de membres d'associations académiques prestigieuses facilitent la reconnaissance internationale.

Les projets de recherche concernent des champs disciplinaires variés comme l'entrepreneuriat, le management stratégique, le marketing ou la finance. Les publications académiques portent principalement sur les stratégies de « coopétition » entre petites et moyennes entreprises (PME), la perception du design des étiquettes de vin par le consommateur ou les canaux marketing innovants comme les sites web. Récemment, un ouvrage collectif s'est penché sur le management de la filière.

Les publications des chercheurs du groupe ont bénéficié de distinctions académiques comme des *Best paper award* de l'*Academy of Wine Business Research Conference* ou d'un prix de thèse décerné par l'Association pour les recherches en économie agroalimentaire. Plusieurs projets communs de recherche sont en cours dans divers domaines : les stratégies de « coopétition » des entreprises vitivinicoles, les attentes du consommateur de vin chinois, la mise en œuvre collective de la responsabilité sociétale d'entreprise, le rôle du vin comme un actif d'investissement dans un portefeuille financier, etc.

Responsabilité sociale des caves coopératives

Ce projet de recherche s'intéresse à la mise en œuvre d'un cadre de référence collectif en matière de responsabilité sociale des entreprises (RSE) porté par des caves coopératives.

Le collectif de caves coopératives étudié est l'association *Vignerons en Développement Durable* qui regroupe à ce jour 18 coopératives. Quinze d'entre elles ont participé à l'étude et 29 entretiens semi-directifs ont été réalisés de mars à juin 2015 avec les dirigeants salariés mais également les responsables qualité et/ou responsables vignoble en charge de la démarche RSE. L'objet de cette étude est de comprendre la façon dont des coopératives, parfois concurrentes, parviennent à se fédérer pour construire un référentiel collectif de RSE.

La diversité des parties prenantes impliquées dans la démarche collective — des vignerons coopérateurs aux salariés des coopératives — favorise le partage de bonnes pratiques et l'adoption d'outils innovants.

L'étude révèle que la réussite de l'implantation d'une démarche RSE dépend de l'engagement de trois types d'acteurs dans l'action collective — les dirigeants des structures coopératives, les exploitants coopérateurs et les employés. Elle montre que la stratégie collective de RSE s'articule à une stratégie de sauvegarde de l'identité coopérative en constituant un puissant outil de dialogue avec les parties prenantes clés. Les résultats de la recherche concernent les modalités de management de l'action collective ainsi que les effets sur l'implication des parties prenantes.

Le projet implique des chercheurs du *Wine Business Group* (Montpellier Business School) associés à des professionnels du secteur.

Contact :
Maryline Meyer, m.meyer@montpellier-bs.com

Pour plus d'informations : www.montpellier-bs.com/groupe/le-centre-de-recherche/groupes-de-recherche/wine-business

Des étiquettes de vin adaptées au marché chinois

Le programme 6, cofinancé par la Fondation nationale pour l'enseignement de la gestion des entreprises (FNEGE) dans le cadre du *Junior Professor Award* et par trois négociants bordelais (Maison Sichel, Cheval Quancard et Grandissime), a donné lieu à une mission en Chine (en 2014) visant à connaître les préférences des consommateurs chinois en matière de design d'étiquettes de vin.

▲ *Étiquettes de vin retenues pour l'étude quantitative*
© Celhay, Cheng et Li, 2015

Cette étude, réalisée par un enseignant-chercheur de *Montpellier Business School*, a permis :

- la réalisation d'une étude sémiotique sur le design des étiquettes de la catégorie « Vins importés » sur le marché chinois ;
- la création de huit étiquettes de vins représentatives des différents types d'étiquettes commercialisées sur le marché chinois ;
- la réalisation d'une étude de marché quantitative et d'un test des huit étiquettes créées auprès de 1 400 consommateurs chinois de vins importés ;
- la rédaction d'un rapport présentant aux trois négociants et à la FNEGE les résultats de l'étude de marché ainsi que des recommandations pour les aider à créer des étiquettes de vin adaptées au marché chinois ;
- la rédaction de deux articles académiques à partir des données collectées.

Contact :
Franck Celhay, f.celhay@montpellier-bs.com

▲ *Exemple de pré-test pour la sélection des étiquettes à tester*
© Celhay, Cheng et Li, 2015

Cinétique
Heures
0
20
40
60
H (ex: 50.2H)

Relever les défis du numérique pour la filière

Comme tous les autres secteurs d'activité, la filière vitivinicole fait sa révolution numérique. Cette révolution est une opportunité unique pour les acteurs de la filière vitivinicole puisqu'elle leur permettra de bénéficier d'informations à très haute définition et donc d'améliorer le suivi et la maîtrise de leur systèmes de production.

En effet, les nouvelles technologies apportent un accroissement considérable des observations qu'il est possible d'acquérir grâce à des réseaux de capteurs ou des stations de mesure interconnectées, à des systèmes de mesures embarqués sur machine ou sur piéton, ainsi qu'à des plateformes de télédétection (drones, avions, satellites). Des données relatives à la vigne et à son environnement (climat, sol, etc.), aux procédés de transformation et d'élaboration du vin ainsi qu'à sa commercialisation sont acquises avec une résolution spatiale et temporelle sans précédent. Il en résulte de très importants flux de données, de nature variée, qui, pour être utilisés et valorisés doivent être traités, analysés, partagés, diffusés et archivés. L'explosion des volumes de données disponibles est une grande richesse. Elle peut aboutir à un formidable outil d'aide à la décision pour les professionnels de la filière, à condition que ces derniers soient dotés de méthodes adaptées, pour faire évoluer leurs produits face à l'évolution du marché et du climat. Ces méthodes doivent répondre à un double défi.

D'une part, il faut relier l'ensemble des données amont (agronomiques et environnementales) et aval (procédés de transformation, données de consommation, etc.), en mobilisant des techniques avancées en intégration de données, connaissances (disciplinaires ou métier) et modèles. D'autre part, il est nécessaire d'extraire des connaissances à partir des données, par modélisation et/ou par inférence, sur des phénomènes dont la complexité était difficile à appréhender jusqu'à présent. Les outils et méthodes développés permettront d'explorer et de piloter de nouveaux systèmes et d'assurer la durabilité de la filière grâce à une démarche intégrative. Ils répondront aux besoins de représentation, de diagnostic, d'évaluation et d'aide à la décision pour des préoccupations variées, telles que la protection des cultures, l'évaluation environnementale, la gestion des intrants, la qualité des produits, etc. Ils proposeront aussi de nouvelles méthodes de conception de systèmes complexes, pour innover par exemple dans le type et le dimensionnement d'équipements, l'élaboration de nouveaux systèmes de culture, la création de variétés répondant à de nouvelles contraintes, la conquête de nouvelles parts de marché.

La communauté scientifique réunie au sein d'Agropolis est bien armée pour apporter des éléments de réponse aux grands enjeux de la révolution numérique. Ceux-ci soulèvent des questions de recherche pour l'ensemble de la filière vigne et vin et à différentes échelles qu'elles soient organisationnelles, spatiales ou temporelles. Plusieurs unités de recherche sont conscientes de l'importance des enjeux du numérique en Agronomie et Environnement. Elles orientent leurs travaux méthodologiques afin de relever, avec leurs partenaires nationaux et internationaux, publics et privés, les défis qui en découlent. Le rassemblement au sein d'Agropolis d'unités spécialisées en sciences de l'ingénieur, mathématique, informatique et d'unités de recherche thématiques en viticulture, écophysiologie, œnologie, etc., favorise l'interdisciplinarité et constitue un atout essentiel.

Un premier type de recherches concerne les problématiques liées à la mesure fournie par des dispositifs automatiques ou manuels. Elles englobent la conception (1) de nouveaux capteurs, (2) de méthodes pour s'assurer de la qualité des données et (3) de systèmes d'information innovants pour les organiser et les partager.

Un second type de recherches traite des enjeux spécifiques liés à l'afflux des données géo-localisées dans le cadre de la viticulture de précision : par exemple, la conception de méthodes d'échantillonnage ou de traitement de données spatialisées prenant en compte la connaissance métier.

Enfin, un dernier type de recherches rassemble différents travaux (1) d'exploration de grandes masses de données hétérogènes (spatio-temporelles) recueillies à la vigne ou à la cave, (2) de modélisation issue de données ou de connaissances et (3) de simulation.

Un pan important des travaux de la communauté, dans tous les domaines présentés dans ce chapitre, concerne la valorisation au travers de logiciels de simulation et d'aide à la décision, indispensables pour identifier de nouveaux usages et mettre en place des pratiques innovantes.

Brigitte Charnomordic (UMR MISTEA)
& Bruno Tisseyre (UMR ITAP)

Relever les défis du numérique pour la filière

Développement d'outils et de méthodes : de l'acquisition à l'utilisation de l'information pour l'aide à la décision

Les recherches menées par l'**UMR *Information-Technologie-Analyse environnementale-Procédés agricoles* (ITAP – Irstea, Montpellier SupAgro)** répondent aux besoins relatifs à l'acquisition et l'utilisation de l'information pour les sciences du vivant, en agriculture et en environnement. Ces recherches trouvent des applications importantes en viticulture, domaine dans lequel l'équipe a développé une expertise forte en instrumentation et en expérimentation de terrain.

L'UMR ITAP développe des outils et des méthodes couvrant toutes les étapes de l'acquisition à l'utilisation de l'information pour une aide à la décision :

- développement de nouveaux capteurs non destructifs basés sur les propriétés optiques des milieux (sol, fruits, feuilles, etc.) : l'équipe Capteurs optiques pour les milieux complexes développe des bases scientifiques et techniques pour la caractérisation des agro-écosystèmes, en mettant au point des capteurs optiques en vision artificielle hyper spectrale et spectrométrie proche infrarouge et les méthodes de traitement associées. Elle dispose d'un laboratoire d'optique instrumentale à la pointe de l'état de l'art ;
- conception de systèmes de décision adaptés à des procédés agro-environnementaux durables : l'équipe Modélisation et décision agro-environnementale développe des bases scientifiques et techniques pour élaborer des outils d'aide à la décision ou de diagnostic de l'état des systèmes et des approches d'agriculture de précision. Les méthodologies utilisées sont la logique floue, les systèmes dynamiques, les systèmes à évènements discrets et la géostatistique ;
- développement de méthodes et d'outils pour limiter l'utilisation des pesticides et leurs impacts sur l'environnement et sur la santé des opérateurs et des populations avoisinant les parcelles traitées. L'équipe Procédés, Environnement Pesticides, Santé étudie les procédés de pulvérisation, depuis la buse jusqu'au transport des pesticides à l'échelle d'un bassin versant ou d'un territoire. L'équipe s'appuie sur le plateau de recherche technologique ReducPol qui possède des moyens expérimentaux uniques en France dédiés à l'étude des phénomènes de pulvérisation et de transfert des pesticides dans l'environnement.

L'UMR entretient des échanges scientifiques réguliers avec plusieurs partenaires internationaux : le Centre Australien d'Agriculture de Précision, les universités de Sydney (Australie), de Talca (Chili), de Lleida, Pamplune, Madrid et Cordoue (Espagne), etc.

Une part importante de ses travaux de recherche concerne des recherches finalisées menées étroitement avec divers acteurs économiques : des sociétés privées — start up, très petites entreprises (TPE), PME, de taille intermédiaire (ETI), grands groupes —, des instituts techniques sur des projets collaboratifs (Arvalis, CTIFL*, IFV, ITB) ou des stations régionales d'expérimentation (CEHM)**.

Sur des missions d'appui aux politiques publiques, l'UMR mène des études pour les agences nationales (Onema, ADEME, Anses***), les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement ainsi que les collectivités territoriales.

Les équipes principales

UMR ITAP
Information-Technologie-Analyse environnementale-Procédés agricoles
(Irstea/Montpellier SupAgro)
25 scientifiques
dont 14 impliqués dans la thématique

UMR LIRMM
Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier
(UM/CNRS)
170 scientifiques
dont une dizaine impliqués dans la thématique

UMR MISTEA
Mathématiques, Informatique et Statistique pour l'Environnement et l'Agronomie
(Inra/Montpellier SupAgro)
18 scientifiques
dont 11 impliqués dans la thématique

UMT Ecotech-Viti
(IFV/Irstea/Montpellier SupAgro-IHEV)
6 scientifiques

Autres équipes concernées

Domaine du Chapitre
(Montpellier SupAgro/Inra)
7 ingénieurs et techniciens

UMR SPO
Sciences pour l'œnologie
(Inra/Montpellier SupAgro/UM)
45 scientifiques

Unité expérimentale de Pech Rouge
(Inra)
6 scientifiques, 30 ingénieurs et techniciens

UMR LEPSE
Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux
(Inra/Montpellier SupAgro)
15 scientifiques
dont 5 impliqués dans la thématique

* CTIFL : Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes
** CEHM : Centre expérimental horticole de Marsillargues
*** Onema : Office national de l'eau et des milieux aquatiques
ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

▲ *Acquisition d'une image de vigne par drone*
© G. Besqueut

AgroTIC Services : un interlocuteur technique sur les TIC pour les entreprises vitivinicoles

Le monde du numérique est en évolution constante et rapide. Afin de répondre aux besoins croissants d'accompagnement et de formation de la filière vitivinicole sur les thématiques des TIC, une unité d'appui a été mise en place : AgroTIC Services. Ce dispositif original et unique, porté par Montpellier SupAgro et l'UMR ITAP, est conçu pour être un partenaire clairement identifié des entreprises pour toutes questions relatives à l'utilisation de ces nouvelles technologies en agriculture et pour la filière vitivinicole en particulier.

Les actions pédagogiques, d'accompagnement et de veille réalisées par AgroTIC Services permettent aux entreprises de construire des projets en lien direct avec l'enseignement ou la recherche.

Ses actions sont structurées autour de quatre grands axes :
- la réalisation d'actions pédagogiques renforçant le lien entre enseignement et entreprises ;
- la réalisation de formations continues pour des professionnels du domaine agro ;
- la mise en place de séminaires à destination des acteurs de la recherche, des étudiants et des entreprises agro et TIC agro ;
- l'accompagnement individuel d'entreprises sur des projets de recherche et développement dans le domaine des TIC agro.

Contact :
Léo Pichon, leo.pichon@supagro.fr

Pour plus d'informations : www.agrotic.org/blog/agrotic-services

▲ *Le Spectron™, un capteur piéton pour le suivi de la maturation du raisin* © Pellenc SA

Développement de nouveaux capteurs piétons : exemple du spectron™

Le projet VINNOTEC (2007-2012) était un projet de R&D collaboratif porté par l'UMR ITAP, mutualisant les forces vives de la recherche publique et privée.

L'objectif de ce projet était l'intégration des TIC dans toutes les étapes du processus de culture de la vigne et de production de vin. Les TIC visent à garantir à la fois la précision spatiale et temporelle de l'information, la réactivité en temps réel par rapport au marché et la création de nouvelles bases de connaissances sur la vigne et le vin. Elles permettent l'émergence de nouveaux produits et services adaptés aux différents maillons de la chaîne de production, afin de caractériser au mieux, à l'aide de nouveaux capteurs, l'état de la vigne, du raisin et des fermentations. Cette caractérisation aide ensuite à optimiser l'itinéraire de production associé, via des services d'aide à la décision.

Ce projet a fait émerger un certain nombre d'outils et de services aujourd'hui commercialisés, ou sur le point de l'être, parmi lesquels des capteurs pour la vigne et pour le suivi des fermentations. Une des innovations proposée par le projet VINNOTEC est le Spectron™, un capteur portable pour le suivi de la maturation du raisin. Cet outil permet le suivi des paramètres de maturation du raisin (sucre, acidité, anthocyanes, etc.) directement dans les parcelles et en parfaite autonomie. Ce capteur repose sur les technologies de spectrométrie visible et proche infrarouge. Il est le fruit de près de 10 ans de recherche collaborative entre l'UMR ITAP et la Société Pellenc SA.

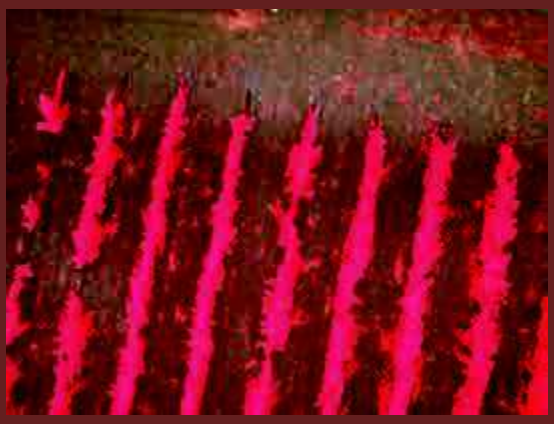
Le projet VINNOTEC, labellisé par le pôle de compétitivité Qualiméditerranée, a bénéficié du soutien de l'État (fonds unique interministériel, FUI), de la Région Languedoc-Roussillon, d'Oséo et du Fonds européen de développement régional (FEDER).

Contact : Alexia Gobrecht, alexia.gobrecht@irstea.fr

Pour plus d'informations : www.pellenc.com/agriculture/Spectrometre-Spectron.aspx

Spatialisation des données viticoles

Les données spatialisées à moyenne et haute résolution spatiale deviennent omniprésentes dans la filière viticole (GPS, capteurs embarqués, télédétection, etc.). Ce développement fait émerger une demande en outils de visualisation, de manipulation et de traitement avancé de l'information spatialisée. Les particularités techniques, sociales et économiques de la filière imposent de développer des méthodes spécifiques afin de mettre à disposition des professionnels des outils simples d'utilisation, robustes, peu onéreux — voire gratuits — et adaptés aux spécificités de leurs métiers. Les exemples ci-après illustrent les récentes avancées en la matière.



▲ *Acquisition d'une image de vigne par drone*

© G. Besqueut/UMR ITAP

Optimiser l'échantillonnage spatial

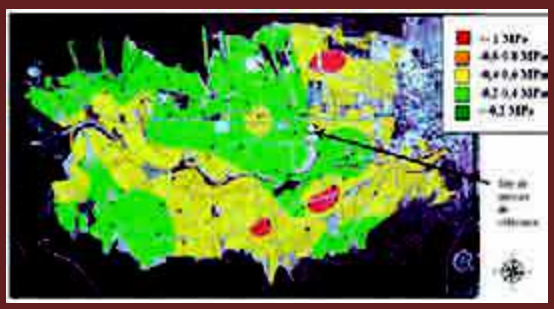
Que ce soit dans un contexte expérimental ou opérationnel, l'échantillonnage spatial est nécessaire pour caractériser l'état d'une parcelle à une date donnée. Le raisonnement du nombre et de la position des échantillons est essentiel pour produire une estimation de qualité. Les données à haute résolution spatiale (télédétection) aident à caractériser la variabilité spatiale du paramètre étudié et, ainsi, optimiser la position et le nombre de mesures à effectuer. Les recherches menées par l'UMR ITAP visent à produire des méthodes d'échantillonnage spatiales génériques, optimisées et spécifiquement adaptées aux paramètres viticoles comme l'estimation du rendement à l'aide de cartes d'expression végétative fournies par l'imagerie (drones, avions, satellites).

Optimiser les parcours lors des vendanges sélectives

Des travaux de recherche s'intéressent aux problèmes d'optimisation complexes avec des applications concrètes à la vigne et en cave (collaboration LIRMM, ITAP et MISTEA). En intégrant les données spatialisées, ces méthodes, qui font appel à la programmation par contraintes, répondent à des enjeux logistiques et organisationnels importants, tels que ceux posés par la vendange sélective. Celle-ci consiste à récolter séparément deux qualités de raisin dans une même parcelle avec une machine à vendanger comportant deux trémies. La localisation des zones de qualité et l'estimation des quantités à récolter sont connues. Le problème consiste à optimiser le trajet de la machine à vendanger tout en respectant de nombreuses contraintes : prise en compte du sens de traitement des rangs, capacité de stockage de la machine, etc.

Cartographier l'état hydrique de la vigne

Le suivi de la contrainte hydrique, à l'échelle de la parcelle, du vignoble ou du territoire, est incontournable pour aider les viticulteurs à prendre les décisions pour maîtriser la quantité et la qualité du produit fini. Depuis 2010, l'UMR ITAP, avec l'UE Pech Rouge et l'IFV, développe des modèles empiriques permettant d'extrapoler, de spatialiser et de cartographier l'état hydrique du vignoble. L'originalité de l'approche est de valoriser des données ponctuelles acquises dans le cadre d'un suivi opérationnel de l'état hydrique de la vigne. La méthode permet d'envisager une démarche innovante de production participative (*crowdsourcing*).
Ainsi, les viticulteurs pourront partager, consolider et enrichir une base de données spatiotemporelle de suivi de l'état hydrique de la vigne à l'échelle de leur territoire. Une telle approche permet l'apprentissage dynamique d'un modèle spatial qui s'affine au fur et à mesure de l'enrichissement de la base de données.



▲ ***Extrapolation d'une mesure d'état hydrique de référence (site de mesure de référence) à une date donnée et à l'échelle de l'aire d'apport de la coopérative***
Carte interpolée réalisée sur la base de données de références historiques – qualité de l'estimation sur les points de mesures non utilisés pour l'apprentissage du modèle (0,10 Mpa).

© UMR ITAP

Le projet GeoFIS

Afin de faciliter le transfert des résultats de leur recherche, les équipes d'Agropolis spécialisées dans le développement de méthodes opérationnelles ont développé une plateforme logicielle libre et open source GeoFIS. L'ambition est de proposer une boîte à outils, simple et évolutive, qui permette d'introduire de nouvelles fonctionnalités en matière de traitement de données spatialisées. GeoFIS vise à transférer rapidement des méthodes innovantes à travers une interface simple, utilisable par des professionnels ou des étudiants pour des applications spécifiques. À terme, les fonctionnalités développées dans le cadre du projet GeoFIS pourront être intégrées dans des logiciels de SIG sous forme de plugins.

Contact :
Bruno Tisseyre, bruno.tisseyre@supagro.fr

Pour plus d'informations sur GeoFIS : https://prezi.com/8f4gifhshycl/geofis/