

Les recherches
de l'Inra pour la
filière vigne et vin

2012



Les recherches à l'Inra

Les recherches de l'Inra sur la vigne et le vin concernent les trois grands champs d'activité de l'institut : l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. Menées dans un double but d'acquisition de connaissances et d'innovation, elles couvrent un large spectre thématique de la biologie de la vigne à la perception du vin par le consommateur – et de niveaux d'organisation – du gène à la région viticole. Elles mobilisent donc une large gamme de disciplines scientifiques, de la génomique aux sciences sociales, en passant par l'agronomie, la biochimie ou la microbiologie.

Objectifs de recherche

1 - Comprendre la biologie de la vigne :

- comprendre l'organisation du génome de la vigne et de ses bioagresseurs
- caractériser et conserver la diversité génétique
- identifier les bases génétiques et physiologiques de caractères d'intérêt agronomique (résistance aux maladies, qualité de la baie)
- créer un matériel végétal de qualité et adapté aux évolutions de la filière

2 - Concevoir des systèmes de culture durables :

- adapter la vigne à son environnement physique
- améliorer la prédiction des risques sanitaires et leur maîtrise, notamment par des approches d'agro-écologie
- évaluer et réduire l'impact de la viticulture sur l'environnement
- concevoir des systèmes de culture et développer des outils d'aide à la décision

3 - Maîtriser la qualité du vin :

- identifier les composés et les mécanismes responsables de la qualité et de la stabilité des vins
- maîtriser la fermentation alcoolique
- œnologie intégrée : concevoir des procédés et produits innovants

4 - Comprendre les stratégies des acteurs de la filière :

- définir les conditions d'une gestion intégrée de la qualité
- comprendre la diffusion des innovations et les dynamiques d'apprentissage
- comprendre les stratégies des entreprises et la construction des marchés
- suivre la consommation du vin en France
- décrypter la perception sensorielle du vin

Dispositifs expérimentaux

Unité expérimentale de Pech Rouge (Aude)

Expérimentation en œnologie et transfert des résultats de la recherche à la profession.

- Contact : Jean-Louis Escudier, escudier@supagro.inra.fr

Unité expérimentale viticole de Bordeaux

Viticulture de précision respectueuse de l'environnement et production intégrée de vin de qualité (Château Couhins, grand cru classé de Graves).

- Contact : Dominique Forget, forget@bordeaux.inra.fr

Collection de vignes et porte-greffes de Vassal (Hérault)

Préservation de la diversité façonnée par la nature et l'homme depuis des siècles.

- Contact : Blaise Genna, blaise.genna@supagro.inra.fr

Domaine expérimental du Chapitre (Hérault)

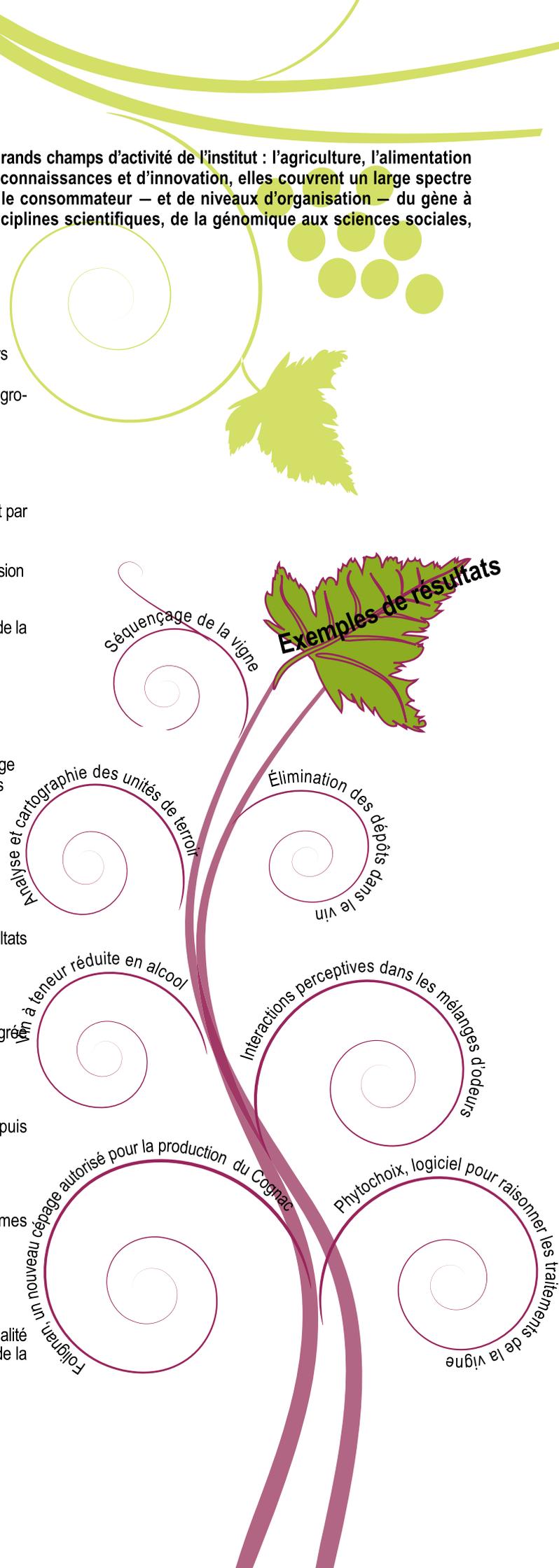
Création de nouvelles variétés et expérimentation de nouveaux systèmes de culture.

- Contact : Christophe Clipet, clipet@supagro.inra.fr

L'observatoire méditerranéen de l'environnement rural et de l'eau (Omère)

Étude de l'impact des actions anthropiques sur l'érosion des sols et sur la qualité de l'eau dans le bassin versant du Roujan (Hérault), où domine la culture de la vigne.

- Contact : Patrick Andrieux, andrieux@supagro.inra.fr



Séquençage de la vigne

Exemples de résultats

Analyse et cartographie des unités de terroir

Élimination des dépôts dans le vin

Vin à teneur réduite en alcool

Interactions perceptives dans les mélanges d'odeurs

Foligran : un nouveau cépage autorisé pour la production du Cognac

Phytochoix, logiciel pour raisonner les traitements de la vigne

L'Inra accompagne la transition vers une viticulture moins dépendante des pesticides : le cas de la viticulture biologique.

Les conversions en agriculture biologique (AB) se développent rapidement en viticulture sans que les connaissances et les outils permettant d'accompagner ce changement ne soient entièrement opérationnels.

L'Inra inscrit ses recherches dans l'accompagnement de la filière vers une viticulture biologique plus durable, en élaborant une démarche et des outils pour piloter la dynamique d'un système de culture viticole moins dépendant des pesticides. Ces outils reposent sur des indicateurs permettant d'évaluer le fonctionnement du système viticole, de sécuriser et piloter la prise de décision en particulier pour la protection du vignoble. Ils considèrent par exemple, les effets du passage au bio (dynamiques du rendement, de la vigueur, des mauvaises herbes, de la fertilité des sols, de la pression des bioagresseurs (maladies et insectes...), mais aussi les performances technico-économiques du vignoble d'une exploitation.



Vigne conduite en AB (source AIVB)

Le projet Aidy (www.inra.fr/viticulture-bio) est un projet multidisciplinaire qui analyse les trajectoires du vignoble sous les angles :

- biophysiques : du sol, de la vigne et de son environnement proche,
- des techniques sur chaque parcelle,
- organisationnelles : main d'œuvre et pratiques à l'échelle de l'exploitation,
- économiques encadrant la phase de conversion à l'agriculture biologique: avant, pendant les 3 ans réglementaires et après.

Nous faisons l'hypothèse que cette approche intégrée, de la parcelle à l'exploitation viticole, permet d'identifier des indicateurs pertinents pour l'analyse, le pilotage et l'évaluation de la conversion vers l'agriculture biologique, ou vers d'autres systèmes alternatifs, et de ce fait d'assurer une plus grande durabilité de cette conversion.

Ce projet est conduit sur des exploitations viticoles à différents stades de la conversion, en partenariat avec l'AIVB-LR et dans des parcelles expérimentales sur les domaines de Couhins (Pessac-Léognan), de Pech Rouge (Corbières) et du Chapitre (Hérault).

Cette démarche systémique à base d'indicateurs est par ailleurs utilisée dans d'autres projets, associant l'Inra, l'Institut français de la vigne et du vin (IFV), les chambres d'agriculture et les interprofessions, notamment le projet EcoViti qui vise à concevoir des systèmes viticoles innovants associant performances technico-économiques et faible utilisation des intrants.

(<http://www.vignevin.com/recherches/vigne-et-terroir/projet-ecoviti/>).

...



Fig 1 : Identifier des indicateurs de l'agrosystème viticole en transition

Trois types d'indicateurs identifiés et testés dans le projet Aidy pour accompagner la conversion à l'agriculture biologique.

Un indicateur est un outil qui renseigne sur un composant du système viticole difficile d'accès pour aider à son analyse et à sa gestion. On distingue les indicateurs d'analyse, de pilotage et d'évaluation.

Il est caractérisé par des critères d'accès, de mesure ou de calcul. Il est spécifique de son utilisation : Pour quoi ? Pour qui ? De quoi ? Comment ? Quels moyens ? Quand ? Où ?

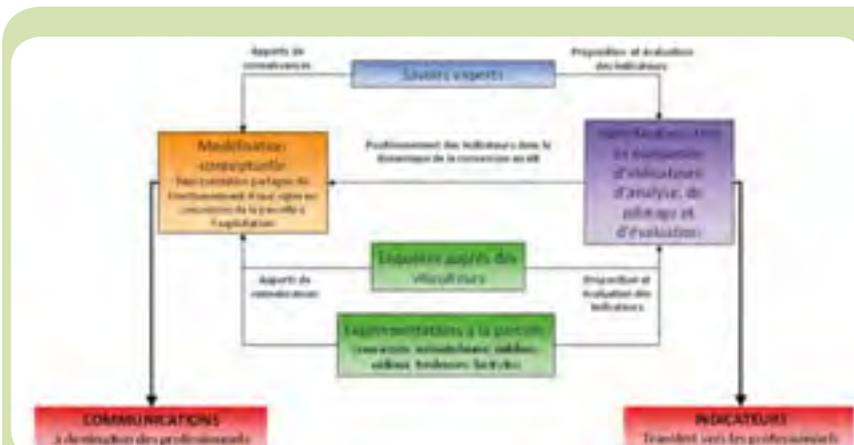


Fig 2 : Une démarche systémique pour conceptualiser l'agrosystème et intégrer les savoirs scientifiques et profanes

Démarche suivie dans le cadre du projet Aidy. L'identification d'indicateurs d'analyse, de pilotage et d'évaluation de la conversion vers l'agriculture biologique ainsi que l'élaboration d'une représentation partagée d'une vigne en conversion s'appuie à la fois sur l'élucidation des savoirs experts (scientifiques disciplinaires et des experts en viticulture), sur des enquêtes dans des exploitations viticoles et sur de l'expérimentation.

Quelques exemples d'indicateurs en cours de développement

► 1 - Indice de nutrition azotée

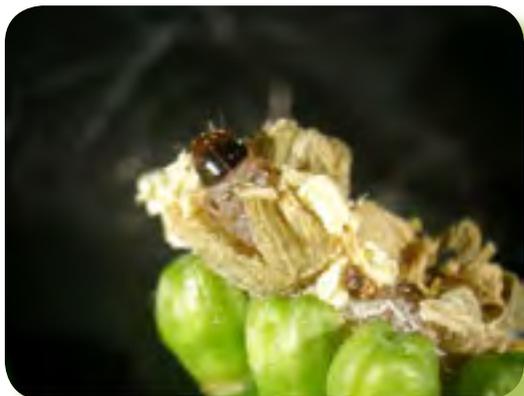
Vigne enherbée (source UMR System) - Afin d'analyser la dynamique des ressources eau et azote dans une vigne enherbée, une expérimentation est conduite au Domaine du Chapitre (Montpellier SupAgro – Hérault). Trois traitements sont en place depuis l'automne 2009 sur l'inter-rang : (i) enherbement spontané, (ii) travail du sol et (iii) couverture de luzernes. Plusieurs indicateurs sont suivis dont l'indice de nutrition azoté. Cet indicateur en cours de test renseigne sur le stress azoté de la vigne en cours de campagne.



Concurrence pour l'eau et l'azote entre la vigne et l'enherbement

► 2 - Nuisibilité potentielle des tordeuses G2 évaluée par la population larvaire G1

Les tordeuses représentent un problème majeur de l'état sanitaire de la grappe. Les larves conditionnent l'apparition de différentes pourritures nuisibles à la qualité du produit fini. Caractériser la nuisibilité des tordeuses de la grappe est donc un enjeu important pour un pilotage de la protection contre ces ravageurs. Nous cherchons à caractériser la nuisibilité à l'approche de la vendange (générations d'été du ravageur) par des indicateurs pertinents précoces : protection naturelle de la parcelle par les ennemis naturels et en particulier les parasitoïdes, dynamique de population de la génération de printemps.



Glomérule de génération 1 avec la larve de Cohyils

► 3 - Faune du sol (indice de structure «SI»)

La composante 'sol' (source UMR Éco&Sols) est aussi considérée à travers la caractérisation d'indicateurs physico-chimiques et biologiques de qualité des sols. Les organismes que nous étudions sont les microorganismes, les nématodes libres du sol et les vers de terre. Ils complètent les indicateurs physico-chimiques classiques comme la teneur en cailloux, la texture, la densité apparente, l'humidité à la capacité au champ, le pH, la teneur en calcaire, la teneur en carbone organique total, azote total et phosphore, potassium et cuivre assimilables, la capacité d'échange cationique et d'autres indicateurs physico-chimiques plus rares comme la porosité (micro, macro et totale) et la stabilité structurale.

Ces indicateurs ont été étudiés sur deux dispositifs expérimentaux :

- le premier consiste à étudier les effets à long terme de la viticulture biologique sur la qualité des sols. Sur la même zone pédoclimatique, 10 parcelles conduites en mode conventionnel ont été comparées à des parcelles conduites en mode biologique depuis 7 ans, 11 ans et 17 ans.
- le second vise à fournir des valeurs de référence pour ces indicateurs. Ici, 164 parcelles ont été échantillonnées sur 9 zones pédoclimatiques du Languedoc-Roussillon. Sur chacune des zones, différents itinéraires culturaux ont été rencontrés en termes de gestion du sol et de fertilisation. Un indicateur étudié est l'indice de structure du sol qui renseigne sur la complexité et la stabilité de la chaîne trophique du sol. C'est un indicateur de biodiversité.

Biomasse microbienne



Nématofaune



Vers de terre

► 4 - Coûts de production de raisins

À l'échelle de l'exploitation agricole, la conversion est évaluée sous l'angle des performances économiques. De nombreux indicateurs sont identifiés sur la base d'un dispositif d'enquêtes. Ces enquêtes sont conduites principalement auprès d'agriculteurs ayant convertis leur exploitation depuis un temps suffisant pour pouvoir retracer les différentes étapes et rendre compte des transformations et des résultats obtenus. Un indicateur testé à cette échelle est le coût de production de raisins.



Partenaires

UMR System,
UMR Innovation,
UMR Eco&Sols
USC GAIA
UMR Save,
UR Viticole Bordeaux
AIVB

Contacts

Anne Mérot - anne.merot@supagro.inra.fr
UMR System - Inra Montpellier
Denis Thiéry - thiery@bordeaux.inra.fr
UMR Save - Inra Bordeaux Aquitaine

Antifongiques, mode d'action et résistance : la pourriture grise de la vigne fait de la résistance.

***Botrytis cinerea*, champignon responsable de la pourriture grise, occasionne des dommages importants chez la vigne. Si l'emploi de fongicides constitue une méthode de lutte essentielle, leur utilisation fréquente est susceptible de sélectionner des souches fongiques résistantes dont le contrôle peut s'avérer délicat. Dans ce contexte, les travaux conduits à l'Inra de Versailles - Grignon ont pour objectif d'élucider le mode d'action des fongicides ainsi que les mécanismes de résistance. Le suivi spatio-temporel des résistances contribue par ailleurs à élaborer des stratégies anti-résistance en coordination avec la filière professionnelle.**

La pourriture grise provoquée par le champignon *Botrytis cinerea* peut mettre en péril le rendement de la récolte viticole. Elle altère également la qualité du vin par son goût « moisi-terreux ». Si les traitements prophylactiques peuvent s'avérer efficaces, la maladie est assez bien endiguée par l'application de fongicides. Cependant, lorsque leur utilisation n'est pas raisonnée, le champignon peut s'adapter et se développer : on parle alors de résistance biologique. On parlera de résistance au champ ou de résistance en pratique, lorsque les souches fongiques résistantes sont fréquentes dans les populations et/ou que leurs niveaux de résistance sont forts et que le fongicide perd de son efficacité.

Il est alors tentant d'augmenter la dose du fongicide pour contrôler les souches résistantes, de changer de molécule ou d'en réduire le nombre d'applications. La première solution augmenterait le coût économique et environnemental de la lutte dans un contexte où la réduction des intrants est plébiscitée et est en cela difficilement applicable. Les stratégies d'alternance présentent tout leur intérêt car de nombreuses matières actives, aux modes d'action distincts, sont disponibles et certaines ne sont pas concernées par la résistance. Enfin, la réduction du nombre d'applications de fongicides est sans doute le plus sûr moyen de réduire la pression de sélection des molécules à risque, mais ne peut s'admettre que lorsque la pression parasitaire, largement dépendante des conditions climatiques, le rend possible.

Dans ce contexte de raisonnement de la lutte anti-pourriture grise, l'équipe antifongiques, mode d'action et résistance (Amar) de l'Inra de Versailles - Grignon mène des études qui ont pour but de :

- évaluer l'évolution spatio-temporelle des résistances dans les populations de pourriture grise ;
- caractériser les souches fongiques résistantes ;
- déterminer les mécanismes de résistance ;
- développer des outils moléculaires et/ou biologiques pour détecter la résistance ;
- comprendre les mécanismes évolutifs permettant l'adaptation des populations aux fongicides ;
- raisonner des stratégies anti-résistance et des recommandations pour une gestion optimale des produits.

L'ensemble de ces connaissances apporte une vue globale des phénomènes de résistance et permet, en collaboration avec le monde viticole, de nourrir la réflexion sur les stratégies de traitement optimales pour limiter la sélection de résistances à un ou plusieurs produits et aider à conserver l'efficacité des fongicides à des doses acceptables, afin d'éviter la généralisation d'une (ou plusieurs) résistances dans un contexte de volonté sociétale de réduction d'application des fongicides.



Personnel de laboratoire effectuant des prélèvements de spores de *Botrytis cinerea*, in situ sur grappe à l'aide d'écouvillon stérile. Ce champignon est responsable de la pourriture grise de la vigne.

Antifongiques, mode d'action et résistance, quatre axes de recherche

- Évolution de la résistance dans les populations naturelles et impact sur les stratégies de lutte

Des échantillons de pourriture grise prélevés au champ sont testés pour leur résistance aux fongicides. Ce suivi, régulier, permet de détecter les résistances émergentes, de constater leur évolution spatio-temporelle sur un territoire et de tester le pouvoir sélectif des programmes de traitements dans les essais. Ces travaux renforcent notre connaissance des modes d'action fongicides et des résistances, expertise qui peut être directement valorisée pour les recommandations.

- Effet des fongicides sur *Botrytis cinerea*

L'effet des fongicides sur la physiologie de *B. cinerea*, l'agent de la pourriture grise, est d'abord évalué au moyen de tests de croissance et d'observations microscopiques réalisés en laboratoire. Les modifications induites par le fongicide au niveau de la cellule du champignon sont ensuite analysées par des approches biochimiques ou génomiques. Ces travaux permettent de comprendre la réponse globale de *B. cinerea* au traitement fongicide, et ils peuvent contribuer à identifier le mode d'action de nouveaux fongicides et à donner des indications sur de possibles mécanismes de résistance.

- Adaptation des individus de *Botrytis cinerea* aux fongicides
Déterminer les mécanismes de résistance aux fongicides, c'est identifier la ou les mutation(s) génétique(s) responsable(s) de la résistance et décrire leur impact sur le phénotype de résistance. Ces analyses concourent à développer des outils moléculaires facilitant la détection et la quantification de résistances au sein des populations de pourriture grise et à évaluer si les souches résistantes ont les mêmes capacités de croissance et de pathogénie que les souches sensibles. Des études biochimiques complémentaires permettent de comprendre comment la toxicité du fongicide est contournée et comment d'éventuelles interactions avec d'autres fongicides sont mises en œuvre.

- Adaptation des populations aux fongicides

Les fongicides exercent une pression de sélection intense et variée sur les populations de pourriture grise qui s'y adaptent rapidement. En complément de la description de l'évolution des fréquences de résistances dans l'espace et dans le temps, nous essayons de comprendre les mécanismes évolutifs qui sous-tendent ces changements populationnels. Par des méthodes de génétique des populations, nous déterminons comment et dans quelle mesure les fongicides sont un facteur structurant des populations de *Botrytis*.

Contacts

Anne-Sophie Walker - walker@versailles.inra.fr
Danièle Debieu - debieu@versailles.inra.fr
Unité Biologie et gestion des risques en agriculture
Champignons pathogènes des plantes
Inra Versailles-Grignon
<http://www.versailles-grignon.inra.fr/biogier>

Comprendre le mécanisme infectieux de *Botrytis cinerea*, champignon responsable de la pourriture grise de la vigne

Les maladies de la vigne causées par des champignons dont *Botrytis cinerea* affectent largement l'activité du secteur viticole et celui-ci endure de ce fait des pertes économiques conséquentes. Si de nombreux traitements fongicides sont appliqués pour contrôler ces agents pathogènes, ceci n'est pas sans impact économique inhérent au coût des traitements et cela pose des questions environnementales.

Dans un contexte de lutte raisonnée contre la pourriture grise, les travaux conduits à l'Inra de Versailles Grignon ont pour objectif de mieux comprendre les mécanismes d'infection des champignons pathogènes.

► *Botrytis cinerea* est un champignon microscopique responsable de la pourriture grise de la vigne.

Son action cause tout à la fois perte quantitative et dépréciation qualitative des récoltes, entraînant de ce fait des pertes économiques substantielles pour les secteurs professionnels de la vigne et du vin. De nouvelles réglementations incitent par ailleurs à une réduction des intrants. Dans ce cadre, une meilleure compréhension des mécanismes d'infection des champignons pathogènes et des réactions de défense de la vigne est essentielle.

L'unité de recherche en Biologie et gestion des risques en agriculture – Champignons pathogènes des plantes (Bioger-CPP, Inra Versailles-Grignon) a pour objectif d'acquiescer et d'approfondir les connaissances sur les champignons pathogènes, dont *Botrytis cinerea*, aussi bien au niveau de leurs cycles biologiques et de leurs processus infectieux que de leurs dynamiques évolutives et populationnelles et leur impact sur la production et la qualité des récoltes.

► *Botrytis cinerea*, un champignon modèle dont le génome a été séquencé et décrypté

Facilement cultivable en laboratoire, *B. cinerea* constitue un bon modèle d'étude car il se prête aisément à la génétique classique et moléculaire. Le décryptage et l'analyse de son génome, réalisés par le Génoscope (CEA, France) et le Broad Institute (USA) avec l'aide d'un consortium scientifique international coordonné par l'unité Bioger-CPP, ont été achevés en août 2011. Les outils bio-informatiques et les banques d'ADNc (gènes exprimés) développés à l'Inra ont prédit environ 14 000 gènes. Ces connaissances et outils permettent désormais de mener des études fonctionnelles à haut débit pour identifier les déterminants génétiques du processus infectieux de *B. cinerea*.

► *Botrytis cinerea* sécrète des phytotoxines, effecteurs de la nécrotrophie

B. cinerea présente la particularité de tuer rapidement les cellules végétales qu'il infecte (on parle de pathogène nécrotrophe) notamment grâce aux toxines qu'il produit. Ceci facilite la colonisation des tissus morts dont il se nourrit grâce aux nombreuses enzymes de dégradation qu'il sécrète.

La comparaison du génome de *B. cinerea* avec les génomes d'autres espèces fongiques a révélé un enrichissement en gènes du métabolisme secondaire, impliqués dans la synthèse de petites molécules bioactives (pigments, antibiotiques, toxines). Ainsi, le génome de *B. cinerea* présente 42 gènes codant pour des enzymes clés du métabolisme secondaire dont seulement 19 sont présents chez l'espèce voisine *Sclerotinia sclerotiorum*, responsable de la pourriture blanche notamment chez le colza.

Les gènes impliqués dans la synthèse de phytotoxines (botrydial et acide botcinique) ont été identifiés. Les souches mutantes de *B. cinerea* qui ne produisent aucune de ces deux toxines ont une capacité très réduite de colonisation des tissus végétaux alors que l'absence de l'une ou l'autre des toxines ne réduit pas significativement le pouvoir pathogène du champignon. Ceci souligne le rôle redondant de ces deux toxines dans le processus d'infection.



Conidiophore portant des spores de *Botrytis cinerea* observé en microscopie à balayage.

► Étude du transcriptome du champignon et de la vigne en condition d'interaction

L'accès aux génomes de la vigne (2007) et de *B. cinerea* (2011) permettra à terme de révéler les spécificités de l'infection de la vigne par l'un de ses pathogènes majeurs. L'objectif est d'obtenir une vue intégrée des fonctions cellulaires et métaboliques spécifiques de l'infection, tant au niveau des mécanismes d'infection fongiques qu'au niveau de la mise en place des réactions de défense de la vigne.

En collaboration avec le monde scientifique (et plus particulièrement avec l'Inra de Dijon) et professionnel de la vigne et du vin, des analyses sont en cours afin d'identifier les gènes qui interviennent dans l'interaction entre la vigne et *B. cinerea*. L'utilisation de puces à ADN spécifiques permet d'identifier les gènes mis en jeu au cours du processus d'infection. Les fonctions de ces gènes sont ensuite explorées grâce aux outils de génétique et de validation fonctionnelle disponibles pour ces deux organismes. Le transcriptome, c'est-à-dire l'ensemble des molécules servant de matrice pour la synthèse des protéines ou l'ARN messager, de chaque organisme est étudié dans différentes conditions physiologiques, notamment au cours de leur interaction. (Ce projet est financé par l'Agence nationale de la recherche et le Comité national des interprofessions des vins d'appellation d'origine).

Au final, les travaux de l'Inra éclairent de façon déterminante les mécanismes fongiques mis en jeu au cours de l'infection des baies de raisin. Ils ouvrent la voie à la réduction des intrants dans la lutte contre *B. cinerea*, agent de la pourriture grise de la vigne, par des stratégies complémentaires qui pourraient reposer sur des gènes marqueurs de l'infection comme outils d'aide à la décision ou des déterminants moléculaires de *B. cinerea* essentiels à l'infection comme cible potentielle de nouvelles molécules antifongiques.

Contacts

Muriel Viaud - viaud@versailles.inra.fr
Unité biologie et gestion des risques en agriculture
Champignons pathogènes des plantes
Inra Versailles-Grignon
<http://www.versailles-grignon.inra.fr/bioger>

Le court-noué : la maladie virale la plus dommageable pour la vigne nécessite des connaissances fondamentales sur sa transmission et la biologie du virus

La maladie du court-noué affecte les deux tiers du vignoble français, soit plus de 450 000 ha, l'impact économique étant estimé à 0,3 – 1 milliard d'euros par an. La prophylaxie et la lutte reposent principalement sur la certification du matériel végétal et sur des pratiques culturales visant le contrôle des populations du nématode vecteur : dévitalisation des ceps avant arrachage, jachère d'au moins 8 ans, traitements nématicides et désinfection du sol. Néanmoins, avec l'interdiction d'un nombre croissant de pesticides et dans le cadre du contrat d'objectif « ÉcoPhyto 2018 », il y a nécessité à rechercher sans a priori des alternatives à la lutte chimique pour contrôler cette virose.

Dans ce contexte, les recherches menées au sein de l'équipe « Virologie et vection », de l'unité mixte de recherche « Santé de la vigne et qualité du vin » de l'Inra de Colmar et de l'université de Strasbourg, ont pour objectif de comprendre sur le plan fondamental les interactions entre le virus du court-noué, son nématode vecteur, la vigne et leur environnement. Ces données permettront de dégager de nouvelles stratégies de lutte contre cette virose.

La maladie du court-noué est répandue dans la quasi-totalité des vignobles du monde. Il y a une variabilité importante de sensibilité des cépages, mais aucune résistance génétique n'a été mise en évidence, y compris dans l'ensemble des vitacées. En France, les deux tiers du vignoble sont touchés (source FranceAgriMer 2004), et 30% avec une prévalence sévère. Les principaux symptômes sont : un jaunissement et une déformation des feuilles, un raccourcissement des entre-nœuds et une dégénérescence progressive des ceps provoquant à terme leur mort. Elle peut engendrer jusqu'à 80% de perte de récolte et réduit significativement la qualité des moûts, en particulier à cause du millerandage des grappes.



Raccourcissement des
entre nœuds
(symptôme de court-noué)



Déformations foliaires
(symptôme de « fanleaf »)



Effets sur le rendement : petites grappes et
millerandage des baies



Foyer de court-noué dans une parcelle
du vignoble alsacien - cépage Sylvaner.



Symptômes de court-noué
sur plante entière.



Jaunissement de l'ensemble du cep

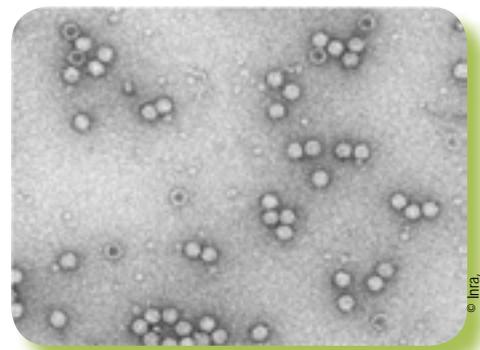
Les principaux agents responsables du court-noué en France sont le Grapevine fanleaf virus (GFLV) et l'Arabis mosaic virus (ArMV), qui appartient au genre Nepovirus (nematode transmitted polyhedral viruses). Ces virus ont des particules de 30 nm de diamètre (0,00003 mm) qui se présentent sous une forme quasi-sphérique. Elles hébergent le génome du virus qui porte les informations nécessaires à sa multiplication, à son mouvement dans la plante et à sa propagation dans l'environnement. Ces deux népovirus, cousins germains, sont transmis spécifiquement de vigne à vigne par deux espèces de nématodes ectoparasites, *Xiphinema index* pour le GFLV et *Xiphinema diversicaudatum* pour l'ArMV, selon un mode de transmission non circulant et non multipliant. Cependant, le nématode peut survivre dans le sol et y rester virulifère pendant plus de 4 ans en l'absence de toute plante-hôte, ce qui rend difficile l'élimination du pathosystème court-noué par le repos du sol. Cette exclusivité de transmission fait de ces couples népovirus-nématodes deux modèles intéressants pour l'étude de la transmission des phytovirus par nématodes. ...

Nous cherchons ainsi à caractériser les bases moléculaires de la spécificité de vection de ces népovirus. L'analyse de la transmissibilité de virus recombinants entre le GFLV et l'ArMV a montré que la spécificité d'interaction du GFLV et l'ArMV avec leurs nématodes respectifs est déterminée par la protéine de la coque de la particule virale (protéine de capsid). Afin de caractériser finement les régions de la capsid impliquées dans la vection, la détermination de la structure tridimensionnelle (3D) de la particule virale a été réalisée. La résolution de la structure du virus à l'échelle atomique a permis de mettre en évidence, à la surface de la particule virale, une cavité qui pourrait être le site d'accrochage du virus au niveau de l'appareil alimentaire du nématode. L'ensemble de ce travail constitue une avancée majeure pour l'élucidation du mécanisme moléculaire de la transmission des népovirus par nématodes. Les perspectives de cette étude consisteront à rechercher le récepteur du GFLV chez le nématode vecteur par des approches immunologiques, biochimiques et moléculaires.

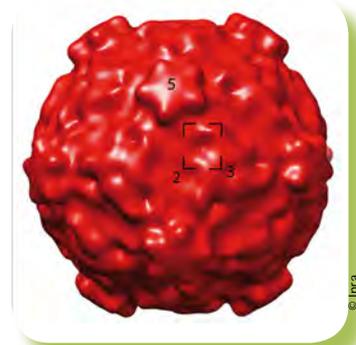
Au niveau de la connaissance approfondie des traits de vie du GFLV, nous continuons à caractériser la diversité génétique des populations de GFLV et d'ArMV au vignoble, pour éclairer nos connaissances sur leur évolution et prévenir ainsi les possibles changements de dissémination et de pathogénicité de ces virus. Nos études de variabilité ont montré qu'il y avait des événements naturels de recombinaison, soit dans une même espèce virale, soit entre les deux espèces GFLV et ArMV. Les virus générés par ces événements de recombinaisons ont des propriétés biologiques identiques aux virus déjà étudiés chez la vigne. L'ensemble de ces informations a généré des connaissances sur la parenté génétique entre GFLV et ArMV et mis en exergue des pressions de sélection différentes sur les gènes de ces virus. Les connaissances acquises sur la variabilité génétique, ainsi que l'obtention d'une collection de variants, seront exploitées pour étudier le pouvoir pathogène du GFLV. Des applications potentielles de ces études fondamentales pourraient être soit l'élaboration de stratégies basées sur l'inhibition de l'interaction entre le népovirus et son nématode vecteur, soit l'exploitation chez la vigne du mécanisme général de défense contre les virus qu'on appelle «ARN interférence» et qui consiste en la dégradation spécifique du génome du virus, en faisant exprimer de courtes séquences virales chez la plante transgénique.

Contacts

Gérard Demangeat, gerard.demangeat@colmar.inra.fr
 Olivier Lemaire, olivier.lemaire@colmar.inra.fr
 « Santé de la vigne et qualité du vin »
 équipe « Virologie et vection »
 Inra Colmar – Université de Strasbourg (UDS)
<http://www4.colmar.inra.fr/svqv>



Le vecteur du GFLV : le nématode *Xiphinema index*. La barre correspond à 1 mm



Structure tridimensionnelle de la particule d'ArMV. Les axes de symétrie sont indiqués (2, 3 et 5). La zone encadrée pourrait correspondre au site d'interaction avec le nématode. La barre correspond à 0,000005 mm.



Observation en microscopie optique de nématodes (*Xiphinema* sp.), vecteur du virus de la maladie du court noué de la vigne. Ce namatode mesure de 1 à 3 mm de longueur pour 50 µm de diamètre.

Le court-noué ; alternatives à la lutte chimique : vers la gestion intégrée de la santé de la vigne vis-à-vis du court-noué

Parmi les stratégies de défense dont disposent les plantes contre les virus, l'ARN interférence (ARNi) joue un rôle majeur. Elle s'apparente à de l'immunité acquise pour les plantes, bien que celles-ci soient dépourvues d'anticorps et que les mécanismes en jeu soient très différents. Sur le plan agronomique, cette voie est encore très peu exploitée contre les viroses des cultures, en particulier chez les espèces pérennes soumises à des pressions d'inoculum pluriannuelles. La compréhension approfondie de ce mécanisme chez la vigne permettra d'envisager de nouvelles approches favorisant l'induction de cette défense naturelle vis-à-vis de ses virus et en particulier du Grapevine fanleaf virus (GFLV) pathogène important de la vigne, agent du court-noué. D'autres approches sont menées de front, en particulier la recherche de gènes de résistances au nématode et au virus, ainsi que le déploiement au vignoble d'itinéraires techniques innovants. La combinaison appropriée de toutes ces voies doit permettre à terme de diminuer le potentiel infectieux «court-noué» des sols viticoles, tout en restaurant la biodiversité et en promouvant la viticulture biologique.

► Quelles sont les voies alternatives à la lutte chimique en développement à l'Inra ?

Certaines muscadines (vigne américaine; *Muscadinia rotundifolia*) possèdent un haut niveau de résistance au nématode vecteur, résistance partiellement héritée dans des hybrides intergénériques avec la vigne cultivée. L'un de ces hybrides, « Nematex Alain-Bouquet », a été inscrit au Catalogue en 2011. Si ce dernier retarde très significativement l'apparition de la maladie, il ne confère toutefois pas de résistance totale au court-noué, car il est lui-même pleinement sensible au virus. Cette alternative est néanmoins intéressante et pourrait être associée aux jachères antagonistes des nématodes vecteurs.

C'est ainsi que la recherche participative que nous développons au travers du comité local de suivi (CLS) de l'essai de porte-greffes transgéniques de Colmar a contribué à lancer un projet portant sur le développement d'itinéraires techniques innovants en vignoble. Celui-ci fait appel à des espèces herbacées ayant des propriétés antagonistes vis-à-vis des nématodes vecteurs du court-noué. Elles sont testées lors du repos du sol (jachère cultivée) entre deux implantations successives de vigne, voire en inter-rang, dans l'objectif de sélectionner celles qui auront un effet défavorable vis-à-vis des nématodes vecteurs du court-noué. Un réseau d'expérimentations est en cours de mise en place au niveau national impliquant des parcelles Inra et des parcelles de vigneron (coordination IFV).

► Que va nous apprendre l'ARN interférence chez la vigne, induite par transgénèse ?

Cette stratégie de résistance dérivée du pathogène est évaluée en situation agronomique réelle, hors-confinement, après que des essais préliminaires aient été effectués en serre. Les premières expérimentations réalisées en Champagne (96-99) ont montré l'intérêt de cette stratégie : en effet trois lignées se sont montrées indemnes de virus à l'issue de cet essai. L'objectif scientifique initial du 2^e essai, démarré en 2005 à l'Inra de Colmar, était de vérifier si la résistance identifiée précédemment et conférée par le porte-greffe protégeait efficacement le greffon non transgénique de l'infection généralisée par le GFLV. Ce second essai a mis en évidence, au mieux, un léger retard à l'infection virale, mais aucune résistance n'est observée après 3 ans d'évaluation. Des conditions pédo-climatiques différentes et/ou des différences entre les populations virales naturelles d'Alsace et de Champagne sont peut-être à l'origine de cette différence de comportement entre les deux sites.

Si la résistance au virus était l'objectif initial de l'obtention de ces porte-greffes génétiquement modifiés, l'essai a en réalité pris une toute autre dimension suite à une démarche unique de recherche participative, co-construite au sein du CLS depuis 2005. Non seulement le CLS a été à l'origine

des recherches sur les jachères nématicides (cf. ci-dessus), mais les questions de recherche posées par l'essai ont été revues, si bien qu'aujourd'hui il constitue une référence unique au monde pour répondre à des questions sur les risques potentiels liés à l'utilisation des OGM. Notamment, l'essai permet d'étudier le mouvement potentiel de molécules d'origine transgénique (le matériel biologique, constitué d'un porte-greffe transgénique et d'un greffon non transgénique, est extrêmement bien adapté pour cela), et les impacts environnementaux, comme le mouvement éventuel de transgènes dans la microflore du sol. Evidemment, cet essai est mené hors de tout partenariat privé, afin de garantir son indépendance absolue.

Nous avons ainsi montré l'absence de mouvement des produits du transgène du porte-greffe transgénique vers le greffon non transgénique (protéines et ARN messager) au terme des 4 ans d'essai. De la même façon, nous avons montré que les populations indigènes de GFLV ne subissaient pas de pression de sélection due au transgène viral (pas d'apparition de variants moléculaires spécifiques ou de recombinants dans les plantes transgéniques exprimant la capsid du GFLV). Néanmoins, les analyses d'impact environnemental doivent se poursuivre avec de nouvelles technologies de séquençage à très haut débit sur les virus et les bactéries du sol, en partenariat avec le CNRS. Ces expériences, dont la vocation première est d'enrichir l'expertise publique sur les OGM, reste cependant conditionnées à la reprise de cet essai unique au monde, victime de vandales en août 2010.

...



Assemblage du greffon conventionnel Pinot Meunier sur le porte-greffe génétiquement modifié exprimant une séquence du GFLV.

► **Comportement du porte-greffe Nemadex Alain-Bouquet (obtention Inra Montpellier) 12 ans après la plantation dans une parcelle de vigne fortement contaminée par le court-noué.**



Essai hors-confinement de l'Inra de Colmar. Cet essai co-construit avec le CLS a pour objectif initial d'évaluer la résistance de ces assemblages en condition agronomique réelle, d'en étudier le mécanisme et la durabilité, et suite à la consultation citoyenne organisée via le CLS il traite d'autres questions comme les transferts des produits des transgènes entre compartiment OGM et non-OGM, ainsi que les impacts sur l'environnement. Les pieds transgéniques, au centre de la parcelle photographiée, ont été détruits par des vandales en août 2010.



Plants de Cabernet Sauvignon (au centre) greffés sur SO4. Les pieds sont dépérissants ou morts. Ils sont encadrés par le Nemadex AB, assemblé avec le même cépage.

► **Quid à plus long terme ?**

Les résultats obtenus sur la parcelle de Colmar, même s'ils restent préliminaires du fait de l'acte de vandalisme dont nous avons été les victimes, nous encouragent à développer des recherches sur les mécanismes fondamentaux de la mise en place, du fonctionnement et de la régulation des mécanismes d'ARN interférence chez la vigne, en particulier face aux stress biotiques et abiotiques.

La transformation d'hybrides porte-greffes (déjà éprouvés vis-à-vis du nématode vecteur) avec de nouvelles constructions inductrices d'ARN interférence (déjà validées sur un hôte herbacé), permettrait de combiner la résistance contre le vecteur et celle contre le virus, dans un objectif de durabilité. Cette étude, très originale, sera menée en confinement dans une perspective d'acquisition de connaissances sur la robustesse et la durabilité d'une telle association de résistances.

La combinaison, dans une approche intégrée, de la résistance partielle au vecteur, de ces nouveaux itinéraires techniques, et de la résistance au virus procédant de l'ARN interférence, pourrait s'enrichir à beaucoup plus long terme d'une composante de résistance génétique au GFLV si des allèles intéressants étaient identifiés chez certains cépages, lignées ou accessions de *Vitis vinifera*. Le séquençage du génome de la vigne par l'Inra en 2008 permet d'accélérer la recherche de tels allèles de résistance.



Cabernet Sauvignon greffé sur SO4 (premier plan) et Cabernet Sauvignon greffé sur Nemadex AB (second plan). On observe une différence significative de développement en faveur du porte-greffe Nemadex AB

Contacts

Nathalie Ollat, nathalie.ollat@bordeaux.inra.fr
Daniel Esmenjaud, daniel.esmenjaud@sophia.inra.fr
Marion Claverie, marion.claverie@vignevin.com
Jean Masson, jean.masson@colmar.inra.fr
Gérard Demangeat, gerard.demangeat@colmar.inra.fr
Olivier Lemaire, olivier.lemaire@colmar.inra.fr
<http://www4.colmar.inra.fr/svqv>

L'enroulement viral de la vigne et ses insectes vecteurs, les cochenilles

L'enroulement viral de la vigne est une maladie en expansion au sein des vignobles français et mondiaux. Si elle ne réduit guère la longévité des plants, elle peut néanmoins réduire fortement les rendements, la maturité des grappes et, de ce fait, la qualité des moûts. Elle est causée par plusieurs virus différents, dont la plupart sont transmis par des cochenilles. Plusieurs espèces de ces insectes hémiptères, en ponctionnant la sève de la vigne, sont de redoutables vecteurs des virus de l'enroulement et d'autres virus impliqués dans le syndrome du « bois strié », selon des modalités encore mal connues.

Dans ce contexte, les recherches menées au sein de l'équipe « Virologie et vection », de l'unité mixte de recherche « Santé de la vigne et qualité du vin » de l'Inra de Colmar et de l'Université de Strasbourg, ont pour objectif de comprendre le rôle des différentes espèces de cochenilles dans la transmission des virus de vigne à vigne par des études de laboratoire et de terrain. Les connaissances attendues nourriront la réflexion sur les stratégies de lutte respectueuses de l'environnement, en collaboration avec la filière vitivinicole.

L'enroulement de la vigne est une maladie à causes complexes. Actuellement nous connaissons plus d'une dizaine de virus filamenteux différents, que l'on nomme Grapevine leafroll-associated virus (GLRaV), parmi lesquels les GLRaV 1, 2 et 3 sont présents dans le vignoble français. Si le vecteur naturel du GLRaV 2, un clostérovirus, est inconnu, les GLRaV 1 et 3, des ampélovirus comme la plupart des autres GLRaVs, sont transmis par des cochenilles appartenant à deux familles, les coccides (lécanine et pulvinaires) et les pseudococcides (cochenilles farineuses). De plus, des vitivirus associés au « bois strié » sont également transmissibles par cochenilles. Dans les vignobles du Grand Est, le GLRaV 1 est le plus abondant, mais les GLRaV 2 et 3 sont aussi présents, tandis que les cochenilles communément détectées sont la lécanine *Parthenolecanium corni*, la farineuse du platane *Phenacoccus aceris*, la farineuse bohémienne *Helio-coccus bohemicus* et les pulvinaires (*Pulvinaria vitis* et *Neopulvinaria innumerabilis*).

Le principal mode de dispersion à grande échelle des virus de l'enroulement et du bois strié, à l'instar de tous les virus et phytoplasmes de la vigne, est lié à la reproduction végétative et à l'activité humaine : bouturage et greffage, commercialisation et échange de plants et de bois. De plus, les porte-greffes peuvent être des porteurs asymptomatiques des virus de l'enroulement. Certes, la sélection sanitaire des plants certifiés réduit fortement la prévalence des GLRaV 1 et 3 ; toutefois l'échange de plants standard, pouvant héberger un virus, et la sélection massale constituent encore des modes de diffusion de la maladie. A cela s'ajoutent les vecteurs naturels, qui peuvent disséminer au sein d'une parcelle et entre parcelles adjacentes les virus éventuels.

C'est pourquoi l'aménagement de la lutte contre l'expansion de la maladie requiert (1) une amélioration sanitaire de la filière des plants de vigne, par le développement de méthodes de détection de virus plus sensibles et plus spécifiques, adossées à une meilleure connaissance des virus et de leur variabilité, et (2) une connaissance plus précise des relations biologiques qui s'établissent entre virus et cochenilles vectrices. L'équipe « Virologie et vection » de l'Inra de Colmar, en collaboration avec les Inter-professions viticoles du Grand Est, l'IFV et FranceAgriMer, développe des recherches avec pour but :

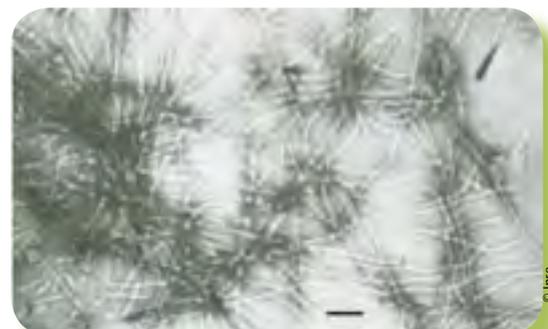
- ▶ de caractériser la spécificité vectrice des cochenilles vis-à-vis des ampélovirus de l'enroulement et des vitivirus du bois strié ;
- ▶ de déterminer les paramètres biologiques et les mécanismes de la transmission virale par cochenilles ;
- ▶ d'étudier la dispersion des cochenilles et des virus au sein d'une parcelle et entre parcelles. ...



Symptômes d'enroulement viral sur Pinot noir en Alsace



Cochenille farineuse *Phenacoccus aceris* sur vigne en Bourgogne



Particules d'un virus de l'enroulement vues au microscope électronique (la barre correspond à 100 nm, soit 1/10.000e de mm)

Biologie de la transmission par cochenilles

► Spécificité de transmission

Selon les régions climatiques, la vigne peut être infestée par plusieurs espèces de cochenilles. De même, plusieurs espèces virales sont impliquées dans l'enroulement de la vigne et le bois strié. Il est donc très important de définir quelles combinaisons espèce vectrice – espèce virale sont efficaces pour la vection, grâce à des expériences de laboratoire. Un travail de thèse (Jean Le Maguet ; financement CIVC, BIVB, CIVA, FranceAgriMer, ANRT) sur *Ph. aceris* démontre que cette espèce, abondante en Bourgogne, est apte à transmettre efficacement les GLRaV 1 et 3, les vitivirus GVA et GVB, ainsi que des ampélovirus non signalés en France (GLRaV 4, 5, 6, 9) mais susceptibles d'y être introduits. D'autres études montrent l'aptitude de *Pa. corni* et de *Pu. vitis* à transmettre le GLRaV 1 et le GVA.

► Paramètres de la transmission

L'interaction entre virus et cochenille vectrice est vraisemblablement de type semi-persistant, c'est-à-dire avec des durées d'acquisition et d'inoculation de l'ordre de l'heure à quelques jours, et une rétention dans le vecteur de plusieurs jours. Nous cherchons à caractériser ces durées minimales et optimales, facteurs importants pour la compréhension de l'épidémie. Nous avons également montré que le virus reste détectable dans les larves de cochenilles hivernant sous l'écorce des cepes. De plus, la transmission du GVA par *Pa. corni* en association avec le GLRaV 1 suggère une assistance mutuelle entre ces deux virus en co-infection lors de la transmission. Pour aborder cette question, il sera nécessaire de

développer des techniques pour étudier les cochenilles vectrices au laboratoire telles que l'acquisition de virus sur membrane, ou la détection des virus dans le vecteur par microscopie optique et électronique.

► Infectivité virale de cochenilles prélevées au vignoble

Afin de savoir si des cochenilles infestant des plants naturellement enroulés sont effectivement aptes à acquérir et inoculer les virus, des insectes ont été prélevés sur des pieds connus pour héberger un virus ou une combinaison de virus, puis transférés au laboratoire sur des plants sains. Ce travail a montré que les deux premiers stades larvaires de *Pa. corni* et de *H. bohemicus* sont effectivement infectieux et contribuent ainsi à l'épidémie au vignoble.

► Étude spatio-temporelle de la dispersion des cochenilles et des virus

Enfin, des observations et expérimentations ont lieu au vignoble. Une parcelle bourguignonne, saine à la plantation, a été suivie sur plusieurs années : présence des cochenilles et des symptômes d'enroulement, complétées par des tests de détection virale et de caractérisation moléculaire. Il ressort de ce travail (thèse J. Le Maguet) que la dispersion progressive de vecteurs et de GLRaV 1 s'est effectuée à partir de parcelles adjacentes, fortement contaminées, et que *Ph. aceris* est responsable de cette expansion. D'autres expériences portent sur l'aptitude des jeunes larves de *Pa. corni* à être dispersées par le vent entre parcelles voisines et sur la progression au cours du temps des vecteurs et des virus sur une parcelle d'essai. Ces connaissances seront à intégrer dans la réflexion sur la prophylaxie de l'enroulement.

Contacts

Etienne Herrbach, etienne.herrbach@colmar.inra.fr
Olivier Lemaire, olivier.lemaire@colmar.inra.fr
UMR Santé de la vigne et qualité du vin
équipe Virologie et vection
Inra Colmar – Université de Strasbourg
<http://www4.colmar.inra.fr/svqv>

Des outils d'aide à la décision en protection du vignoble

Malgré les progrès considérables réalisés pour connaître et maîtriser les maladies des plantes et de la vigne, celles-ci constituent toujours une menace permanente pour les cultures et le vignoble notamment.

Elles occasionnent aujourd'hui encore des pertes parfois considérables lorsqu'elles ne sont pas bien identifiées, puis maîtrisées.

Identifier, surveiller et contrôler les maladies de la vigne : un des objectifs du portail web Inra « e-phytia® »

La menace que représente pour les producteurs les maladies des plantes est d'autant plus prégnante que de nouveaux paramètres sont venus influencer leur développement : des systèmes de production souvent plus favorables, le réchauffement climatique, l'émergence de bioagresseurs autochtones ou introduits, la nécessité de réduire les intrants, en particulier les pesticides... A cela s'est ajoutée, pour de nombreuses productions, la disparition de structures et de personnes ressources assurant le diagnostic de terrain en France. Pourtant, l'identification précoce et fiable des maladies des cultures constitue toujours un pré-requis essentiel à la mise en place de méthodes de protection pertinentes. Dans ce contexte, et dans la mouvance du plan Écophyto 2018, le diagnostic et la surveillance des maladies au champ, la diffusion de connaissances et d'expertises en protection des plantes sont toujours des enjeux prépondérants, garants de la durabilité des systèmes de production. Ces enjeux ont constitué les principaux objectifs de notre travail.

De façon concomitante, nous avons dû développer un logiciel permettant d'agréger et de structurer les connaissances et les expertises en protection des plantes (« @greco® »), et construit progressivement plusieurs applications à vocations complémentaires. Ces différentes applications sont regroupées dans le nouveau portail Inra en protection des plantes e-phytia® (<http://ephytia.inra.fr/index.php>). Celui-ci est structuré en 3 sous-portails plus ou moins finalisés.

Di@gnoplant® est le sous-portail le plus élaboré actuellement. Il héberge plusieurs outils permettant à des utilisateurs variés (techniciens, producteurs...) d'identifier les maladies de plusieurs cultures (tabac, cultures légumières, vigne...). Pour cela, il propose le profil de maladies de chaque culture, et donne accès à deux modules de diagnostic, en mode guidé et/ou en mode image. Une fois l'identification réalisée, l'utilisateur a accès à des fiches très exhaustives portant notamment sur les symptômes et la biologie du bioagresseur responsable, mais aussi sur les méthodes de protection à mettre en œuvre.

Des versions mobiles de Di@gnoplant® sont en cours d'optimisation sur supports smartphones et tablettes (aux standards Apple et Android). Elles permettront très prochainement de réaliser du diagnostic-conseil au champ. En plus, des variantes « pro » offriront la possibilité de prendre en photo et de géolocaliser une plante malade, un symptôme particulier, un bioagresseur, avec 3 options possibles :

- ▶ faire identifier à distance la maladie ou le bioagresseur responsable ;
- ▶ signaler sa présence dans un endroit donné ceci par exemple dans le cadre d'un réseau d'épidémiologie-surveillance ;
- ▶ ou bien alerter de l'existence d'un bioagresseur émergent en cas de suspicion.

Le second sous-portail est essentiellement consacré aux bioagresseurs des cultures (champignons, bactéries et phytoplasmes, virus, viroïdes, insectes et acariens...). Il devrait compiler à terme un ensemble de connaissances, de méthodes et d'expertises permettant de les caractériser. Plusieurs modules sont en cours de construction comme par exemple un sur les nématodes des cultures, un autre donnant les clés nécessaires à la caractérisation des principaux Lépidoptères affectant les cultures sous serres... Ce sous-portail sera surtout destiné aux personnels des laboratoires de diagnostic, aux ingénieurs des instituts techniques, aux étudiants, aux enseignants désireux d'identifier un bioagresseur... Soulignons que c'est dans ce sous-portail que l'on peut déjà utiliser l'application généraliste sur les bioagresseurs des cultures Hypp (Hyper base de données en protection des plantes) reprenant sous une forme relookée et actualisée les anciennes bases de données Hypp3, Hypp A et Hypp Z.

Enfin, le troisième sous portail, en cours de réflexion, devrait accueillir des connaissances et des expertises portant notamment sur les méthodes de protection alternatives et les systèmes de production novateurs.

E-phytia® est déjà opérationnel pour plusieurs cultures, et bientôt pour la vigne.

.../.



Représentation synthétique de l'organisation prévue et des services rendus par le portail Inra e-phytia® en protection des plantes

Concevoir des règles de décision pour limiter l'usage des produits phytosanitaires : l'exemple du processus Mildium®

La consommation d'intrants phytosanitaires dans le vignoble français représente en moyenne un indice de fréquence de traitement (IFT) de 13,6 (données 2006). Près de 90% de ces intrants sont des fongicides et plus de 70% sont destinés à combattre uniquement deux bio-agresseurs : le mildiou et l'oïdium. Ces valeurs moyennes masquent néanmoins de très fortes variabilités des pratiques entre régions de production, mais également au sein de zones climatiquement homogènes. La gestion du nombre de traitements contre ces deux maladies constitue donc un des leviers d'action permettant d'atteindre les objectifs de réduction quantitative des intrants fixés par le plan Ecophyto 2018.

Les viticulteurs possèdent de nombreux indicateurs permettant d'évaluer le risque parasitaire. Ils sont néanmoins parfois difficiles à hiérarchiser et à être traduits en règles de décision, au regard des contraintes opérationnelles des exploitations. L'objectif de notre travail est de proposer des règles de décisions d'application des traitements explicites, opérationnelles, en rupture avec la pratique classique, et permettant une réduction significative de l'usage des fongicides.

La méthodologie suivie est celle d'une conception par l'expérimentation, qui constitue une approche pluridisciplinaire associant recherche et développement. La démarche comprend plusieurs étapes :

- La conception d'un prototype théorique ; elle est réalisée sur la base d'éléments bibliographiques, d'expertises et d'expérimentations préliminaires. Elle repose sur des choix tactiques de maîtrise des bio-agresseurs.
- La formalisation très précise du prototype à l'aide d'un langage mathématique permettant d'étendre l'utilisation au-delà des concepteurs.

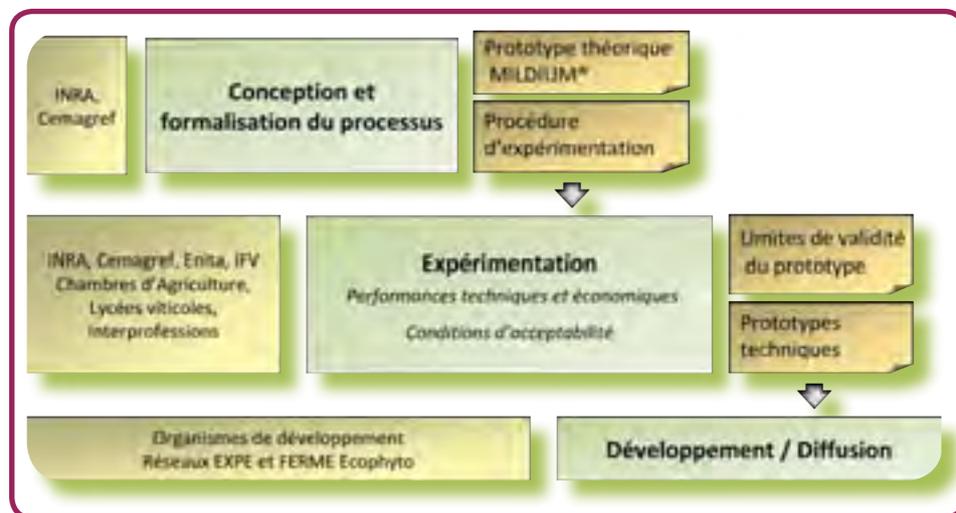
- La mise en œuvre expérimentale du prototype dans des contextes agro-climatiques variés. Le réseau expérimental ainsi constitué a pour objectif d'évaluer ses performances techniques et son coût de mise en œuvre. Il permet également d'identifier les limites de validité et de construire ainsi, avec les opérateurs du développement, des prototypes techniques destinés à être diffusés.

Le prototype Mildium® permet d'adapter le nombre et le positionnement des traitements aux épidémies parcellaires. Il est basé sur un nombre très restreint de traitements obligatoires, complétés par des traitements optionnels. Ces traitements facultatifs sont décidés sur la base d'indicateurs de risque parcellaire (observations) et micro-régionaux (modèles, réseaux d'observation). Par souci d'opérationnalité, Mildium® est conçu pour assurer la gestion conjointe des deux bio-agresseurs, et le nombre d'observations à la parcelle est limité (3 par an).

Mildium® est mis en œuvre dans le cadre d'un réseau expérimental national depuis 2008, grâce à la participation de nombreux partenaires techniques viticoles. En 2011, il est constitué de 60 parcelles réparties sur 23 départements.

Les résultats obtenus sur le réseau de 2008 à 2010 montrent que l'application expérimentale de Mildium® permet une réduction moyenne d'IFT de 50% pour l'oïdium et 30% pour le mildiou, quelle que soit la pression parasitaire, avec cependant des variations selon les régions. Les performances techniques de la récolte (niveaux de maladie, rendement, qualité) sont très peu ou pas affectées par la mise en œuvre du processus pour plus de 85% des situations. Les 15% de situations d'échecs permettent d'identifier les limites du processus et de proposer des améliorations. Enfin, le coût de mise en œuvre ne constitue pas un frein potentiel à l'adoption du processus.

Les prototypes techniques construits sur la base de Mildium® sont actuellement en cours de diffusion grâce notamment à l'appui des réseaux Expe et Ferme Ecophyto.



Représentation graphique de la démarche utilisée pour concevoir le prototype Mildium®

Contacts

Laurent Delière - ldeliere@bordeaux.inra.fr
Inra-Enitab Save - Inra Bordeaux
Santé et agroécologie du vignoble
www.bordeaux.inra.fr/umrsv

Conditionnement des vins et boissons avec maîtrise des gaz dissous pour les innovations de la filière viti-oeno (Condinov)

Le projet concerne la maîtrise physico-chimique et organoleptique du vin et des produits de la vigne au cours du conditionnement : verre et bag in box à une échelle expérimentale de 20 à 100 l d'une part et à une échelle industrielle de 10 à 100 hl d'autre part.

Le projet concerne la maîtrise physico-chimique et organoleptique du vin et des produits de la vigne au cours du conditionnement : verre et bag in box à une échelle expérimentale de 20 à 100 l d'une part et à une échelle industrielle de 10 à 100 hl d'autre part.

Ce projet porté par le centre Inra de Montpellier, en lien avec l'IFV et financé à 50% par la DGAL, a permis la réalisation d'un atelier de conditionnement à l'unité expérimentale Inra de Pech-Rouge comprenant les outils suivants :

- ▶ **1 - Ligne de mise en bouteille pour petits volumes de vin avec maîtrise des gaz dissous sur les 3 éléments de la chaîne :**
 - ▶ palette de filtration-contacteur membranaire avec cuve de préparation du vin, 2 carters de préfiltration et filtration et un contacteur membranaire,
 - ▶ tireuse monotête avec inertage de la cuve de tirage et remplissage avec ou sans inertage préalable de la bouteille,
 - ▶ boucheuse monotête avec possibilité de coupler vide et gaz inerte en plusieurs cycles avant bouchage afin de réduire le taux d'O₂ de l'espace de tête.

Les teneurs en O₂ et CO₂ sont ajustées par barbotage de gaz dans la cuve de préparation ou/et par contacteur membranaire. Le vin est poussé dans le circuit palette jusqu'à la cuve de la tireuse grâce à une surpression de gaz neutre exercée sur la cuve de préparation.

Cette ligne permet d'atteindre une mise en bouteille homogène de lots expérimentaux avec une teneur en O₂ < 0,7 ± 0,2 mg/bouteille couplé à une teneur en CO₂ ± 50 mg/l ajustée au type de vin.

- ▶ **2 - Ligne monobloc de mise en bouteille 2200 bouteilles/h** comprenant dans l'ordre : 1 rinceuse de bouteilles, 1 inerteuse de bouteilles par azote liquide avant tirage, 1 tireuse par gravité, 1 tête de bouchage - capsulage avec balayage de l'espace de tête.
- ▶ **3 - Ligne Bag in box 390 poches 5l/h** avec cuve tampon sous pression d'azote régulée automatiquement et asservie à une tireuse semi-automatique avec mise sous vide de la poche et balayage à l'azote du goulot et du robinet.

Le contrôle analytique des gaz dissous au conditionnement profite également des dernières avancées technologiques. La mesure de l'oxygène par luminescence et du gaz carbonique par spectroscopie laser ne détruit pas l'échantillon. De plus, concernant l'oxygène, des points de contrôle ont pu être intégrés in line de la cuve de préparation jusqu'à la cuve de la tireuse.

Ligne de conditionnement lots expérimentaux palette de filtration avec contacteur membranaire RS IW -Inoxpa



Tireuse Perrier



Boucheuse Arol

Pour en savoir plus

- ▶ Vidal J.C., Moutounet M. La maîtrise des apports d'oxygène au conditionnement. 48^e Congrès national des œnologues de France, Limoux 30 mai 2008. Revue française d'œnologie n° 229, 19-29, www.infowine.com.
- ▶ Vidal J.C., Moutounet Impact of Operating Conditions during Bottling and of Technical Cork Permeability on the Oxygen Content and Evolution of Bottled Sauvignon Blanc Wine. www.infowine.com, 2011 3/2 1-16.
- ▶ Vidal J.C., Vidal Vila M., Waidelich G Exact Management of Dissolved Gases of Wines by Membrane Contactor. 33th World Congress of Vine and Wine, PII 01 29P, Tbilissi, 2010.
- ▶ Blank A., Vidal J.C. Development of a Membrane Contactor for the Exact Management of Dissolved Gases. 9th International Symposium of (Enology, Bordeaux, 2011.

Partenaires

Montpellier SupAgro
IFV
Société Lallemand

Contacts

Jean-Claude Vidal – vidaljc@supagro.inra.fr
Coordinateur du projet
Jean-Louis Escudier – escudier@supagro.inra.fr
UE Pech Rouge - Inra Montpellier

Vigne & Vin

Comment les levures responsables de la vinification se sont-elles adaptées aux conditions œnologiques ?

Pour répondre à cette question, le séquençage du génome de la levure *Saccharomyces cerevisiae* EC1118, une des souches les plus utilisées dans l'industrie du vin, a été réalisé et son génome comparé à celui de la souche de laboratoire S228c. La comparaison montre que le génome de la souche EC1118 présente plusieurs réarrangements, dont le plus surprenant est l'acquisition de trois larges régions chromosomiques comprenant 34 nouveaux gènes, qui proviennent d'autres espèces de levures, notamment *Zygosaccharomyces bailii* et *S. pastorianus*, principaux contaminants du vin.

S. cerevisiae joue un rôle primordial dans l'élaboration du vin. Elle est responsable de la transformation des sucres en alcool et contribue à ses propriétés sensorielles. Or, le moût de raisin est un milieu peu favorable : acide, riche en sucres et en alcool, pauvre en azote et dépourvu d'oxygène. Les souches utilisées en vinification résultent donc d'une forte sélection.

L'un des gènes étudié dans ce travail s'est révélé homologue au transporteur de fructose de *S. pastorianus* *Fsy1*. *S. cerevisiae* étant généralement dépourvue de cette fonction, elle confère un sérieux avantage aux souches œnologiques en fin de fermentation, lorsque la majorité du sucre disponible est du fructose. Deux autres gènes codent des transporteurs de dipeptides homologues à ceux d'une famille de transporteurs d'oligopeptides fongiques (FOT). Les niveaux d'azote étant très faibles en fin de fermentation, ces transporteurs permettent aux levures œnologiques d'élargir leur utilisation d'oligopeptides, leur conférant là encore un avantage nutritionnel important.

L'étude de la fonction des autres gènes et de leur contribution à l'adaptation des souches œnologiques est en cours. Ces résultats apporteront des avancées sans précédent sur les mécanismes moléculaires qui contribuent à l'adaptation des levures œnologiques. D'un point de vue industriel, ces avancées sont aussi essentielles pour offrir de nouvelles perspectives d'amélioration des qualités organoleptiques des vins.

De façon plus générale, ces données soulèvent aussi des questions sur la fréquence de tels événements d'adaptation chez l'espèce *S. cerevisiae*. Un large programme de séquençage de souches industrielles est ainsi en cours. L'étude de ces génomes permettra de préciser l'importance et la fréquence de ces événements dans l'évolution et l'adaptation de ces levures à des environnements particuliers.



Germination de spore de levures *Saccharomyces cerevisiae* (microscopie électronique)



Grappe de raisin

Partenaires

Génoscope - CEA Évry
UMR Microbiologie de l'alimentation au service de la santé - Inra Jouy-en-Josas
UMR Santé de la vigne et qualité du vin Inra Colmar
USC Écologie microbienne - Université Lyon
Université Lisbonne - Portugal

Références

- Damon C et al. 2011
A novel fungal family of oligopeptide transporters identified by functional metatranscriptomics of soil eukaryotes. ISME J, in press.
- Galeote V et al. 2011
Amplification of a *Zygosaccharomyces bailii* DNA segment in wine yeast genomes by extrachromosomal circular formation. PloS One, 6(3) : e17872.
- Novo M et al. 2009
Eukaryote-to-eukaryote gene transfer events revealed by the genome sequence of the wine yeast *Saccharomyces cerevisiae* EC1118. Proc Natl Acad Sci USA, 106(38) : 16333-16338.

Contacts

Sylvie.Dequin@supagro.inra.fr
UMR Sciences pour l'œnologie
Inra Montpellier - Montpellier SupAgro - UM1

Contrôle prédictif et optimisé de la fermentation alcoolique

Améliorer le contrôle de la fermentation alcoolique est un enjeu essentiel auquel de plus en plus de vinificateurs sont sensibilisés. L'UMR Sciences pour l'œnologie et l'unité expérimentale de Pech Rouge disposent d'une batterie de 30 fermenteurs de 1 l et de 16 cuves de 100 l avec un suivi automatique - et à distance - de la cinétique fermentaire. Ce dispositif a été récemment complété par 4 cuves de 100 litres équipées avec un suivi automatique (fréquence maximale : 1 analyse par heure), de l'évolution des principaux alcools supérieurs, esters et composés soufrés. L'ensemble constitue un dispositif sans équivalent permettant d'envisager de nouvelles stratégies de contrôle de la fermentation à la fois à court et moyen-long terme

Le contrôle des fermentations œnologiques vise à assurer un bon achèvement des fermentations mais aussi de plus en plus à optimiser des critères technologiques tels que la quantité d'énergie frigorifique pour la régulation de température et l'utilisation des cuves.

De nouvelles stratégies de fermentation ont pu être élaborées grâce à un suivi en ligne de la vitesse instantanée de fermentation. Elles ont d'ores et déjà abouti à :

- développer, en collaboration avec la société Vivelys, un système industriel permettant le suivi en ligne de la fermentation ainsi que son contrôle avec des fonctionnalités telles que la détection des carences en azote assimilable des mouts et l'optimisation des ajouts d'oxygène ;
- élaborer un modèle cinétique de la fermentation basé sur les principaux mécanismes limitant cette vitesse de fermentation et validé dans un très grand nombre de situations œnologiques.

Un simulateur, basé sur ce modèle, est actuellement commercialisé (logiciel Sofa® de la société Intelliœno). Il inclut aussi un module d'aide à la décision à base de logique floue, proposant des solutions optimisées de gestion de la cuverie et des ressources frigorifiques.

- créer une base de données de près de 5000 fermentations conduites à l'échelle laboratoire et pilote.

Cette base de données est en cours d'évolution vers une base de connaissance, utilisable à l'échelle industrielle, avec des fonctionnalités telles que la détection de dysfonctionnements et la recherche des causes par une approche basée sur l'utilisation d'ontologies.

La synthèse des arômes fermentaires (alcools supérieurs et esters) pendant la fermentation alcoolique est un phénomène majeur pour la qualité des vins, en particulier pour les vins jeunes. Avoir accès aux cinétiques de production de ces molécules est donc un enjeu important.

La mise au point d'un nouvel outil de suivi en ligne dans des cuves à l'échelle pilote (100 l) nous a permis de mesurer les concentrations de ces molécules avec une fréquence très élevée (une mesure toutes les heures) et d'accéder ainsi à un suivi très fin de leur dynamique de synthèse.

Une étude menée en parallèle a permis de mieux comprendre et modéliser les équilibres entre phases gaz et liquide et de calculer les bilans de production des composés d'arôme. En particulier, nous avons pu démontrer que, pour certaines molécules, principalement des esters, les quantités perdues dans la phase gaz sont très importantes (jusqu'à 60% de la production totale).

Ce travail ouvre de larges perspectives, non seulement en terme d'amélioration des connaissances du métabolisme levurien mais aussi en terme de stratégies de contrôle des fermentations.



Salle de fermentation

Publications

- Goelzer A., Charnomordic B., Colombié S., Fromoion V., Sablayrolles J.M., 2009. Simulation and optimization software for alcoholic fermentation in winemaking conditions. *Food Control*, 20, 635-642.
- Sablayrolles J.M., 2009. Control of alcoholic fermentation in winemaking. Current situation and prospects. *Food Res. Int.*, 42, 418-424.
- Morakul S., Athes V., Mouret J.R., Sablayrolles J.M., 2010. A Comprehensive Study of the Evolution of Gas-Liquid Partitioning of Aroma Compounds during Wine Alcoholic Fermentation. *J. Agric. Food. Chem.*, 58 (18), 10219-10225.
- Morakul S., Mouret J.R., Nicolle P., Trelea C., Sablayrolles J.M., Athes V., 2011. Modelling of the gas-liquid partitioning of aroma compounds during wine alcoholic fermentation and prediction of aroma losses. *Process Biochem.*, 46, 1125-1131.

Contacts

Jean-Marie Sablayrolles - sablayro@supagro.inra.fr
UMR Sciences pour l'œnologie - Inra Montpellier
Evelyne Aguera - aguera@supagro.inra.fr
UE Pech Rouge - Inra Montpellier

Partenaires

UMR Sciences pour l'œnologie -
Inra Montpellier - Montpellier SupAgro - UM1
UE Pech Rouge - Inra Montpellier
UMR Génie et microbiologie des procédés
Alimentaires - Inra Versailles Grignon
Vivelys
Intelliœno

Fijus-R@isol : une gamme de jus de raisin à plus grande valeur nutritionnelle

Le projet Fijus-R@isol, porté par la société Foulon-Sopagly, premier producteur européen de pur jus de raisin, et co-labellisé par les pôles de compétitivité Qualiméditerranée et Vitagora, a pour ambition de créer une gamme de jus de raisin présentant une plus grande valeur nutritionnelle (teneur en sucre réduite, riche en polyphénols, acidité maîtrisée), mais également de mettre en place une filière « jus de raisin ».

Depuis toujours, une image colle au jus de raisin, celle d'un produit trop sucré destiné essentiellement à la consommation des enfants.

► Pour redonner de la noblesse au jus de raisin

Ainsi, la communauté européenne a supprimé l'aide à l'élaboration du jus de raisin depuis le 1^{er} août 2008. Anticipant ce contexte, la société Foulon-Sopagly a proposé aux autres participants ce projet sélectionné lors du 6^e appel à projets du Fonds unique interministériel (FUI). En plus de Foulon-Sopagly, la SAS Roquecourbe et la SCA Vignoble de la Voie d'Héraclès, mais également l'Institut coopératif du vin (ICV), trois unités Inra (UE Pech Rouge, UMR Sciences pour l'œnologie, UMR Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales) et des acteurs de l'Institut fédératif de recherche «Santé-STIC», participent à ce projet qui s'étale sur 5 ans.

L'objectif premier du projet est d'être capable de créer une matière première diversifiée qui permette l'émergence de toute une palette de produits nouveaux. « Notre ambition est de repenser totalement la mécanique du secteur du jus de raisin, en s'écartant de celle du secteur du vin. Nous souhaitons redonner sa noblesse à ce produit qui est resté trop longtemps à la traîne du vin » explique Aurélie Sivry, responsable R&D de Foulon-Sopagly, qui parle de Fijus-R@isol comme d'une véritable première.

Pour atteindre cet objectif, le programme de recherche et développement de Fijus-R@isol se focalise sur cinq thématiques :

- la sélection de nouveaux cépages, spécifiques du jus de raisin recherché, à l'issue du contrat, ce qui justifie la longueur exceptionnelle du projet (5 ans) ;
- l'optimisation des pratiques culturales adaptées au jus de raisin ;
- l'optimisation des procédés d'extraction des polyphénols ;
- l'étude d'un procédé membranaire permettant de maîtriser l'acidité des jus de raisin obtenus ;
- l'étude clinique permettant d'obtenir une allégation santé pour le nouveau produit pur jus de raisin naturellement riche en polyphénols, l'objectif étant de démontrer que la consommation régulière de jus de raisin pourrait être un anti-oxydant efficace.

Les différents développements de ce projet sont financés à hauteur de 2,2 M€ par le FUI (1 M€), les deux conseils régionaux Bourgogne et Languedoc-Roussillon et plusieurs de leurs départements. A cette occasion, deux technologies, déjà exploitées sur d'autres supports que le jus de raisin, sont testées. L'une porte sur le contrôle du pH, qui intéresse tout particulièrement les conditionneurs pour maîtriser l'acidité des jus de raisin à l'aide d'un procédé membranaire. L'autre vise à optimiser l'extraction des polyphénols.



► Retombées attendues

Avec le pur jus de raisin naturellement riche en polyphénols, un doublement de la consommation française de jus de raisin, se traduira par un volume supplémentaire de jus de raisin de 400 000 hectolitres soit un gain en CA de 20 M€ pour la filière (viticulteur, cave et fabricant de jus de raisin). Le développement est estimé à 50 000 hectolitres à 5 ans. En termes de surface, cette augmentation nécessitera 2 000 hectares dédiés, soit un maintien de plus de 65 exploitations de 30 hectares sur la région Languedoc-Roussillon.

Les embauches effectives à 5 ans, après la réalisation du projet, seront de 12 personnes : 2 chez les caves coopératives partenaires et 10 chez Foulon-Sopagly, pour un effectif actuel de 58 personnes. Ce projet induira également des retombées économiques régionales liées au maintien, à la diversification et à la modernisation de l'activité viticole du Languedoc-Roussillon, mais également des retombées scientifiques pour les partenaires.

Références

- Mikolajczak M., Veyret M., Williams P., Doco T., Escudier J-L. 2011. Jus de raisin: Comment extraire le maximum du potentiel de la baie de raisin. Revue Française d'œnologie (en presse).
- Ojeda H., Escudier J-L., Albagnac G., Sivry A., Guyot P. 2009. Diversification des produits de la vigne : création d'une filière « Jus de Raisin ». Revue des Oenologues et des techniques vitivinicoles et œnologiques N°130 :30-35. Janvier 2009.
- Ojeda H., Rigal P., Mikolajczak M., Samson A., Pages B., Schneider R., Archambault G., Caille S., Escudier JL. 2007. Raisins verts : de la récolte à la transformation. Application à l'élaboration de verjus. Le Progrès Agricole et Viticole N°8 : 153-159.

Partenaires

UE Pech Rouge - Inra Montpellier
UMR Sciences pour l'œnologie - Inra Montpellier
UMR Agap - Inra Montpellier
IFR100 Inserm Dijon,
ICV Lattes
Foulon-Sopagly - Maçon
SAS Roquecourbe - Puichéric
SCA Vignoble de la voie d'Héraclès - Vergèze

Contacts

Jean-Louis Escudier – escudier@supagro.inra.fr
Hernan Ojeda – ojeda@supagro.inra.fr
UE Pech Rouge - Inra Montpellier
Aurélie Sivry – asivry@foulon-sopagly.fr
Foulon Sopagly - Maçon

La viticulture est une des cultures fortement consommatrices de produits phytosanitaires. Les études portant sur une réduction du recours aux produits phytosanitaires concernent essentiellement l'évaluation de techniques prises individuellement (**résistance variétale, produits alternatifs, utilisation de modèle ou de seuils de décisions, amélioration de techniques d'application...**) mais peu celle d'une combinaison de différentes méthodes (éventuellement à effet partiel). Il apparaît pourtant clairement que l'objectif affiché à terme d'une réduction de 50% des produits phytosanitaires ne pourra être atteint que par l'assemblage de différentes techniques complémentaires. Par ailleurs, les programmes de recherche portant sur la compréhension des interactions bioagresseurs-vigne-environnement sont nombreux, avec des connaissances scientifiques en constante progression. Néanmoins, ces avancées sont encore difficiles à valoriser dans le cadre de la construction d'itinéraires culturels innovants.

En 2011, l'Inra de Bordeaux-Aquitaine a implanté un dispositif expérimental de longue durée, permettant de tester des systèmes viticoles « bas intrants » offrant des ruptures par rapport aux pratiques viticoles actuelles majoritaires en France. L'objectif de ce projet est de comparer les performances et la durabilité de ces différents systèmes de culture mais également de constituer un dispositif expérimental de référence permettant la mesure des dynamiques d'évolution des différents composants biotiques des systèmes (populations de bio-agresseurs et auxiliaires, écosystèmes microbiens, physiologie de la vigne, etc.) afin d'améliorer la compréhension de leurs fonctionnements.

Ce dispositif permet la comparaison de trois systèmes qui illustrent les différents niveaux de rupture identifiés dans l'étude Écophyto R&D, et doit ainsi permettre de les documenter plus précisément. Ces systèmes sont définis selon les objectifs de réduction des produits phytosanitaires et par types de combinaisons retenus pour atteindre ces objectifs.

► **Système RES** : il est construit autour de l'utilisation d'une variété résistante au mildiou et à l'oïdium. Cette variété obtenue grâce aux programmes de sélection de l'Inra est actuellement en cours d'évaluation au stade 3. Ce système a pour objectif d'exclure totalement l'utilisation des pesticides (de synthèses et minéraux) en combinant la résistance génétique à des méthodes culturales et prophylactiques (élimination d'inoculum, éclaircissage sanitaire, etc.). Il illustre une rupture totale vis-à-vis de l'utilisation de pesticides.

► **Système INT** : il s'agit d'un système de culture conventionnel (emploi de produits phytosanitaires) mais utilisant tous les outils de la viticulture de précisions et susceptible d'accueillir les innovations de la recherche permettant de limiter les intrants (outils d'aide à la décision, etc.). Il est l'exemple d'une rupture quantitative dans l'emploi des pesticides.

► **Système BIO** : il est basé sur le cahier des charges de l'agriculture biologique. Il a pour objectif de limiter l'utilisation des intrants (produits cupriques, soufre). Il traduit une rupture qualitative et quantitative de l'utilisation des produits phytosanitaires.

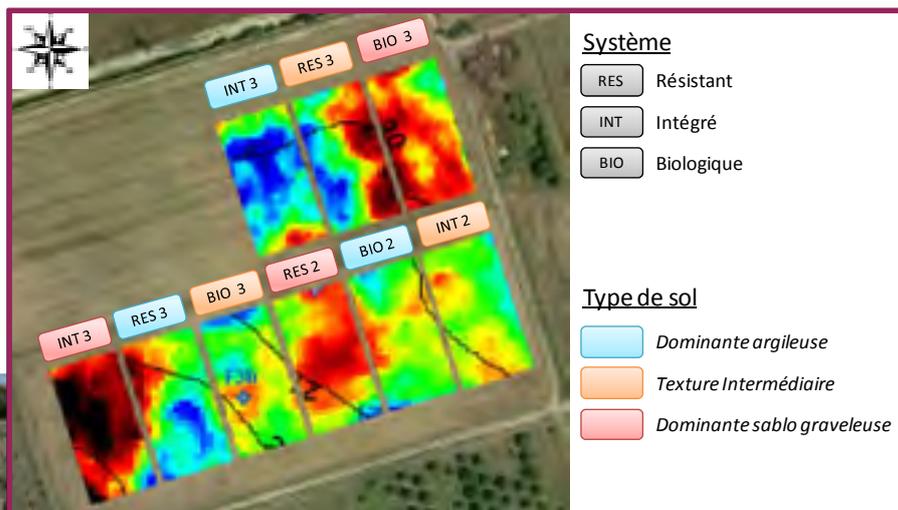
Le dispositif, d'une superficie totale de 1.8 ha, est implanté sur le site Inra de « La Grande Ferrade » à Villenave d'Ornon, en milieu périurbain en zone d'appellation « Pessac Léognan ». Il est randomisé avec trois répétitions pour chaque système. La taille des parcelles élémentaires est de 20 ares (20 rangs X 68 ceps). La parcelle a été préalablement cartographiée en fonction de la résistivité du sol. L'hétérogénéité observée a ainsi pu être contrôlée par le dispositif.

Les systèmes sont pilotés par des jeux de règles de décision basés sur des observations, des analyses et des seuils d'interprétation. Ces règles concernent l'entretien du sol, la conduite du végétal, la fertilisation et la gestion des bio-agresseurs.

L'évaluation multicritère porte sur des paramètres agronomiques (rendement, qualité des moûts et des vins, dynamique d'évolution des bio-agresseurs, physiologie des plantes, etc.), environnementaux (pression phytosanitaire, consommation de carburant, émissions de gaz à effet de serre, etc.) mais également socio-économiques (coût des intrants, temps de travaux, répartition de la charge de travail, etc.).

Ce dispositif est intégré dans le réseau national Écoviti en partenariat avec l'IFV et les chambres d'agriculture. Il bénéficie du soutien financier de l'Inra, du conseil régional d'Aquitaine, de France AgriMer, du ministère de l'Agriculture et de l'Union Européenne à travers le projet Pure.

Vigne & Vin



Contacts

Laurent Delière - Ideliere@bordeaux.inra.fr
 Inra-Enitab Save - Santé et Agroécologie du Vignoble
 Inra Bordeaux
www.bordeaux.inra.fr/umrsv

Les stimulateurs de défense des plantes (SDP), un enjeu pour la viticulture de demain

Dans le cadre de recherche sur des méthodes alternatives ou complémentaires à la lutte chimique, les stimulateurs de défenses des plantes s'avèrent une piste intéressante. Toutefois devant la multiplicité des produits biologiques, ou non, vantant les mérites d'une stimulation des défenses des plantes, et devant l'intérêt que les viticulteurs expriment pour les SDP, il paraît urgent de disposer de connaissances et d'outils qui permettent d'évaluer l'efficacité de ces stimulateurs afin de connaître leur potentiel de protection dans le cadre de nouvelles méthodes de lutte.

Dans ce contexte, l'étude des SDP a été entreprise à l'Inra de Bordeaux Aquitaine avec comme objectif la compréhension de la mise en place des défenses de la vigne et de leur optimisation au vignoble. Trois questions principales ont été particulièrement abordées.

► 1 - Quelle méthode pour évaluer l'efficacité des stimulateurs de défenses ? Une triple approche « BioMolChem »

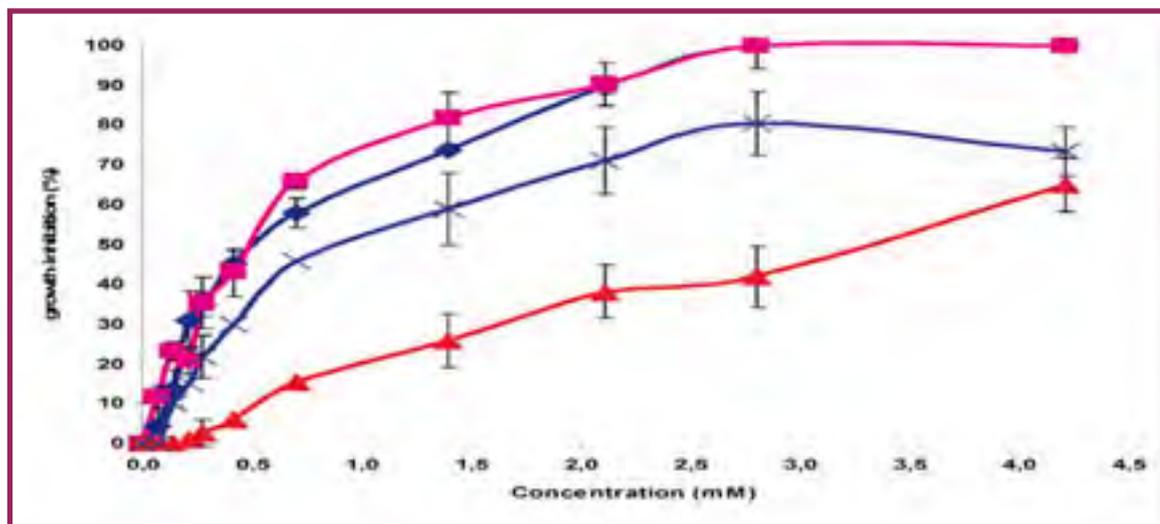
La littérature fait état de nombreux travaux sur l'efficacité des stimulateurs de défenses de plantes, mais souvent dans des conditions expérimentales plutôt éloignées de la réalité et conduisant à l'obtention de résultats contradictoires dans l'agro-système considéré. Pour une meilleure évaluation de l'efficacité des défenses de la vigne vis-à-vis de deux parasites majeurs que sont l'oidium (*Erysiphe necator*) et le mildiou (*Plasmopara viticola*), nous avons mis au point un système in vitro-vivo simple qui nous permet de classer aisément les SDP selon leur efficacité biologique, moléculaire et biochimique.

* **Bio** : Le test ultime de l'efficacité des défenses d'une plante est avant tout biologique et se caractérise par sa capacité à limiter, voire stopper le développement d'un parasite. Après traitement des feuilles, avant inoculation, il est possible de déterminer à l'aide de courbes dose-réponse l'efficacité de chaque SDP sur différents pathogènes. Ainsi, en choisissant des souches de mildiou ou d'oidium appartenant à différents groupes phénotypiques ou génotypiques, il a été possible de démontrer que selon l'espèce, et selon la variabilité intrinsèque d'une espèce, l'efficacité d'un SDP peut varier considérablement. En particulier pour les deux groupes génétiques d'oidium de la vigne A et B, une différence significative de l'efficacité de SDP sur la vigne a été mise en évidence avec certains phosphonates.

* **Mol** : Une plante soumise à une agression met en œuvre différents mécanismes, qui conduiront in fine à différents niveaux de protection mécanique et chimique. Il est possible d'obtenir une vue partielle des défenses mises en place en suivant l'expression de gènes marqueurs impliqués dans ces processus de protection. 25 gènes de *Vitis vinifera* potentiellement impliqués dans les défenses ont été choisis et des amorces spécifiques ont été dessinées et utilisées pour suivre le niveau d'expression de ces gènes par RT-q-PCR au cours du temps. Selon les niveaux de surexpression ou de répression, il est possible d'établir des corrélations entre les variations qualitatives et quantitatives de ces profils d'expression et l'efficacité de protection observée contre les pathogènes. Ainsi en absence d'inoculation, le niveau d'expression des gènes de vigne est-il plus important après l'application d'un SDP. En outre, le pathogène agit sur le niveau d'expression de la plante en réprimant de nombreux gènes impliqués dans les défenses (PR-protéines, voie de signalisation hormonale...).

* **Chem** : La vigne est connue pour ses capacités à synthétiser de nombreux polyphénols dont les phytoalexines qui peuvent être impliquées dans la lutte contre les parasites. L'analyse qualitative et quantitative de polyphénols par HPLC de feuilles inoculées ou non, ont montré que globalement les polyphénols totaux augmentent de manière significative en présence de pathogène, mais sans réel effet sur le développement de ce dernier. En outre, après une stimulation par un SDP et une inoculation, seuls les profils quantitatifs sont modifiés, avec une accumulation de certains stilbène, dont pterostilbène, laquelle est parfaitement corrélée avec le niveau de défense de la feuille de vigne observée.

.../.



Exemple de différence de courbe dose-réponse de l'efficacité d'un stimulateur selon la variabilité intra et inter-espèces

► 2 - Quel niveau de défense et quelle efficacité en conditions de laboratoire ?

L'utilisation de la méthode « BioMolChem » a permis d'étudier le comportement de la feuille de vigne face au mildiou et à l'oïdium après différentes stimulations. En déterminant des DE50 (dose efficace à 50% sur le développement du pathogène) et des DI100 (dose inhibant à 100% la croissance du pathogène) pour chaque SDP, nous avons ainsi classé plus d'une vingtaine de molécules, produits inorganiques ou produits biologiques potentiellement stimulateurs des défenses de la vigne, avec une efficacité parfois contre plusieurs pathogènes simultanément.

La cinétique d'expression des gènes d'intérêt (PCR quantitative) a mis en évidence l'existence de nouvelles voies de signalisation chez la vigne, et certaines surexpressions de gènes sont bien corrélées à la protection des feuilles. Elles révèlent que la vitesse à laquelle les gènes sont surexprimés semble plus importante que le niveau de surexpression. Les différents patrons d'expression obtenus en présence des différents SDP ou de pathogènes permettent de comparer l'efficacité des produits et de mieux comprendre comment les défenses de la plante se mettent en place et agissent sur le développement de l'agent pathogène.

Que peut-on attendre des SDP au vignoble ?

À terme, les outils développés visent à mieux appréhender les limites des SDP et à envisager leur utilisation en tant que méthodes complémentaires. En effet, il est plausible de développer leur usage soit sur des variétés partiellement résistantes aux maladies, soit en association ou en alternance avec des traitements fongicides, afin de limiter le contournement variétal, diminuer les intrants pesticides et limiter la résistance aux fongicides.

Depuis trois ans, sur de petites parcelles élémentaires, différents SDP ont été testés après une inoculation artificielle de mildiou ou d'oïdium de la vigne, afin d'évaluer le potentiel réel de protection d'un SDP, seul, face à une forte attaque de parasite. L'utilisation de la méthode « BioMolChem » a permis d'établir des corrélations préliminaires entre l'expression de gènes de défenses et la présence de certains stilbènes connus ou inconnus avec des niveaux de protection foliaires ou des grappes. Aujourd'hui, des stratégies d'efficacité en association avec des fongicides à dose réduite ou en alternance sont à l'étude.

Exemple d'efficacité au vignoble d'essai sous forte pression parasitaire de mildiou



SDP-1

Fongicide

SDP-2

Contrôle non traité

À terme, la compréhension des stimulations des défenses de la vigne et leur efficacité contre les principaux agents pathogènes permettra d'innover dans la lutte contre les bio-agresseurs, tout en intégrant une diminution des intrants fongicides, en adéquation avec la directive générale du Grenelle de l'environnement et le plan Écophyto 2018. Ces premières études révèlent la complexité des mécanismes mis en œuvre pour placer la vigne en état de défense, et la grande variabilité des réponses obtenues selon les cépages considérés et les conditions environnementales. L'intégration des SDP dans des stratégies durables pourra s'envisager dans le futur et fait actuellement l'objet de projets de recherches financés par le fonds unique interministériel (FUI) : Defestim et Neoprotec, auxquels nous participons.

Contacts

Marie-France Corio-Costet - coriocos@bordeaux.inra.fr
UMR Santé et agroécologie du vignoble
Inra - Bordeaux Aquitaine
https://www.bordeaux-aquitaine.inra.fr/sante_vegetale

Des stratégies adaptatives d'entretien du sol des parcelles viticoles pour de bons compromis entre performances agronomiques et environnementales

En régions méditerranéennes, les fortes variations inter-annuelles de pluviométrie rendent difficile le maintien de performances agronomiques et environnementales stables dans les vignobles. Le modèle biodécisionnel **Verdi** permet de simuler les effets de différentes stratégies d'entretien du sol. On met en évidence que, sur des séries d'années climatiques contrastées, des stratégies adaptatives (1) permettent de faire varier fortement la nature, le nombre et les dates des interventions techniques et (2) conduisent à des résultats agronomiques (développement végétatif, rendement, qualité des produits) et environnementaux (maîtrise du ruissellement) plus réguliers que des stratégies continues (sol nu permanent, enherbement permanent).

► Comment régulariser les performances de parcelles viticoles dans un contexte climatique variable ?

Dans les régions méditerranéennes, les cultures sont soumises à de fortes variations inter annuelles de climat, en particulier de pluviométrie. Cela entraîne des variations (1) de performances agronomiques (rendement, qualité des produits), liées à la disponibilité des ressources du sol et aux accidents climatiques, ou à des épidémies et attaques parasitaires, et (2) de performances environnementales (diffusion de produits fertilisants et pesticides polluants dans l'eau, l'air et le sol). Pour régulariser les performances de leurs systèmes de culture dans un contexte fortement variable, les agriculteurs sont amenés à les faire évoluer. Dans le cas des cultures pérennes comme la vigne, il est impossible d'utiliser les successions d'espèces ou les dates et densités de semis comme leviers d'action. Cependant, même en l'absence d'irrigation, il reste des marges de manœuvre sur la plupart des opérations qui composent un itinéraire technique viticole. Si on souhaite limiter les conséquences de fortes variations de pluviométrie, les principaux leviers techniques se situent au niveau de l'entretien du sol. En effet, l'état de surface du sol affecte l'équilibre entre ruissellement, infiltration et évapotranspiration (Gaudin *et al.*, 2010). La présence d'un couvert herbacé, spontané ou semé, limite le ruissellement mais entraîne également des prélèvements supplémentaires d'eau (Celette *et al.*, 2008) et d'azote (Celette *et al.*, 2009). Il est donc possible d'envisager des successions d'état de surface du sol des parcelles viticoles, obtenues grâce à des séquences d'interventions techniques, qui ajustent les flux entrants et sortants d'eau de façon à régulariser l'accès à l'eau de la vigne dans un contexte de fortes variations de la pluviométrie. L'étude a été ciblée sur la gestion de l'enherbement, dont on peut faire varier les caractéristiques de différentes manières : choix du matériel végétal, surface couverte, période d'activité.

► Un outil de simulation de stratégies de gestion de l'entretien du sol

L'intérêt d'une gestion adaptative de l'enherbement a été évalué en comparant par simulation les effets de différentes stratégies d'entretien du sol exposées à des séries d'années climatiques contrastées. A cette fin, le modèle de bilan hydrique WaLIS (Celette *et al.*, 2010) a été couplé avec un modèle décisionnel d'entretien du sol au sein du modèle Verdi (Ripoche *et al.*, 2011). Chaque jour, le modèle de bilan hydrique simule les flux d'eau entrants et sortants d'une parcelle viticole, en tenant compte de ses caractéristiques. Le modèle décisionnel d'entretien du sol permet de lier les décisions d'interventions techniques, d'une part à l'état du système piloté (sol, vigne, enherbement), et d'autre part, au climat passé et prévu. Des contraintes temporelles et d'organisation permettent de hiérarchiser les différentes interventions de l'itinéraire technique.

Trois modalités d'entretien du sol ont été combinées : sol nu désherbé mécaniquement, enherbement permanent de l'inter-rang, enherbement temporaire de l'inter-rang. Différents types d'ajustements ont été testés. Des ajustements tactiques conduisaient à détruire l'enherbement temporaire au printemps au moment où le stock d'eau accessible à la vigne dans le sol se rapproche d'un seuil bas qui entraînerait une contrainte hydrique excessive pour la vigne. Des ajustements stratégiques permettaient de changer de modalité d'entretien du sol d'une année à l'autre. Ainsi, trois stratégies d'entretien du sol ont été comparées : sol nu permanent, enherbement de l'inter-rang permanent, stratégie mixte comprenant des ajustements stratégiques et tactiques permettant de moduler les périodes d'enherbement en fonction du contexte. Les simulations ont été réalisées sous des séquences d'années climatiques contrastées. Pour les trois stratégies, chaque année de simulation a été évaluée d'un point de vue productif et environnemental via une analyse multicritère.

► Une stratégie adaptative conduit à de fortes variations du nombre et des dates des interventions techniques

L'introduction d'une composante décisionnelle dans le modèle Verdi conduit à ce que les itinéraires techniques simulés varient selon les années climatiques. Par exemple, le nombre de désherbages mécaniques varie de deux à cinq par an dans la stratégie « sol nu permanent », et le nombre de tontes de l'enherbement varie de un à cinq par an en fonction de la pluviométrie. Dans la stratégie mixte, les adaptations stratégiques et tactiques conduisent à plus de variations des itinéraires techniques. Les dates de semis de l'enherbement temporaire varient de mi à fin octobre.

...



Vigne enherbée

Pendant les années sèches, le nombre de tontes est inférieur ou égal à un tandis que, pendant les années humides, trois à quatre tontes sont nécessaires. L'enherbement n'est pas détruit pendant les printemps humides ou consécutifs à un hiver humide. Il est détruit tardivement (fin mai 2006) avec un printemps sec et plus tôt après un hiver sec (début avril 2007 et fin mars 2008).

► Les performances sont plus régulières avec une stratégie adaptative d'entretien du sol

La stratégie adaptative d'entretien du sol conduit à des durées très variables de la période d'enherbement temporaire. Son intérêt apparaît quand plusieurs années sèches se succèdent. L'enherbement hivernal réduit le ruissellement par rapport au sol nu en cas de pluies de forte intensité et permet donc de meilleures performances environnementales. Sa destruction, d'autant plus précoce que les ressources hydriques sont faibles, permet d'atténuer les variations inter-annuelles de trajectoire de contrainte hydrique subies par la vigne. Cela se traduit par des performances productives plus régulières que l'enherbement permanent.

Ces travaux montrent que malgré l'absence d'irrigation, il existe une marge de manœuvre pour réguler les flux d'eau dans une parcelle viticole grâce à une gestion adaptative de l'entretien du sol. On peut ainsi obtenir une fréquence plus élevée d'années présentant de bons compromis entre les performances productives de la vigne et les performances environnementales, qu'en reproduisant chaque année le même itinéraire technique (Ripoche et al., 2010). D'autres marges de manœuvre pour réguler les flux d'eau

peuvent être identifiées à l'échelle des bassins versants, par exemple avec la réalisation d'infrastructures favorisant la recharge des nappes superficielles.

Ainsi, dans le contexte de forte variabilité inter-annuelle de la pluviométrie dans les régions viticoles méditerranéennes, préconiser une stratégie fixe d'enherbement à partir d'une espèce ou d'un mélange n'est pas satisfaisant.

Tous les éléments de flexibilité (y compris le changement de matériel végétal) qui permettent de changer de modalité d'entretien du sol en fonction de l'état observé et prévisible des ressources en eau du sol doivent être envisagés. A cet égard, le modèle de bilan hydrique WaLIS, dont les qualités prédictives sont démontrées dans une large gamme de conditions (Delpuech *et al.*, 2010), permet d'explorer une gamme de scénarios adaptés à chaque contexte.

Sur le terrain, les agriculteurs font d'ores et déjà preuve d'adaptabilité dans la mise en œuvre de leurs systèmes de culture, en particulier en fonction des conditions climatiques. Nous proposons ici d'introduire un indicateur d'état des ressources hydriques du sol en fin d'hiver et au printemps pour déterminer chaque année la durée d'activité de l'enherbement (spontané ou semé) et la surface couverte les plus appropriées pour maîtriser au mieux la trajectoire de contrainte hydrique subie par la vigne.

Contacts

**Christian Gary - Christian.Gary@supagro.inra.fr,
Aude Ripoche, Florian Celette, Aurélie Metay,
Yvan Bouisson et Rémi Gaudin
UMR System - Inra Montpellier
Montpellier SupAgro
Cirad**

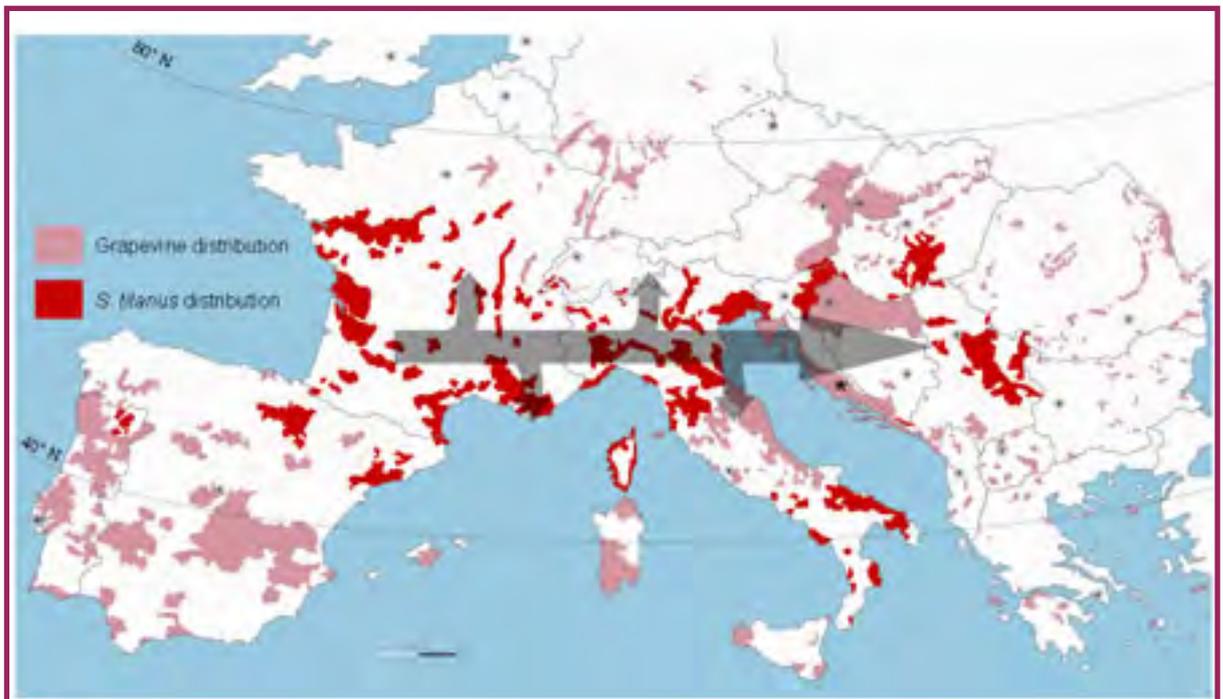
Températures hivernales et extension géographique de la flavescence dorée

Les jaunisses de la vigne sont un complexe de maladies graves répandues dans le monde entier et causées par différents phytoplasmes (bactéries sans paroi).

On retrouve ces pathologies en Europe, au Moyen-Orient, en Australie et en Amérique.

Parmi les phytoplasmoses auxquelles est confrontée la viticulture européenne, la flavescence dorée est sûrement la plus dommageable. Elle est transmise spécifiquement de cep à cep par un vecteur unique, la cicadelle *Scaphoideus titanus*.

La flavescence dorée (FD) est une maladie de la vigne apparue dans la première moitié du XX^e siècle en Armagnac et a été responsable de la destruction rapide d'une grande partie de ce vignoble. La maladie s'est ensuite propagée de manière épidémique, à une vitesse de 5 à 10 km par an, dans les Landes et le Gers, avant d'atteindre les Hautes Pyrénées et le Lot et Garonne. Elle est actuellement présente dans la majorité des pays du Sud de l'Europe.



La flavescence dorée suit en Europe une route d'expansion figurée par les flèches grises. Cette expansion des foyers de maladies est liée à l'installation de populations du vecteur, *Scaphoideus titanus*.

L'implantation de la maladie dans un nouveau vignoble est dépendante de la présence de son vecteur, seul capable de propager la maladie de vigne à vigne. La répartition géographique de la maladie dépend donc de celle de son vecteur, *Scaphoideus titanus*. A l'échelle européenne, on retrouve cette cicadelle d'Ouest en Est, du Portugal à la Serbie, et du Nord au Sud, de l'Auxerrois en France aux Pouilles en Italie. Des facteurs climatiques pourraient expliquer cette distribution. Une hypothèse est que *S. titanus* est bien adapté aux hivers froids, conformément à son origine nord-américaine, et que la reprise du développement des oeufs nécessite des températures hivernales suffisamment basses. La synchronisation entre l'éclosion des oeufs et la phénologie de sa plante hôte, donc son succès reproducteur, dépendrait alors de cette exigence.

Comprendre l'évolution probable de la distribution de *Scaphoideus titanus*, c'est prédire les zones où la FD est susceptible d'apparaître.

L'Inra de Bordeaux s'est donc intéressé à l'influence des températures hivernales sur la biologie de *S. titanus* et son implication dans l'installation de populations de vecteurs dans les vignobles méridionaux. Pour cela, des oeufs de populations sauvages ont été exposés à des simulations hivernales différentes afin de répondre à cette question.

Les résultats obtenus permettent d'éclairer un peu mieux le processus épidémiologique de la FD. Les températures hivernales déterminent la présence plus ou moins tardive .../.

des larves, la durée de l'étalement des éclosions ainsi que la date du pic d'éclosion. Ce paramètre est très important dans la prévision des premières éclosions afin d'ajuster au mieux la lutte contre les larves avant qu'elles n'aient eu le temps d'acquérir le phytoplasme. La date du premier traitement est actuellement fixée à environ 30 jours après la première éclosion quelle que soient les conditions climatiques de l'hiver précédent. Cependant les dynamiques d'éclosion varient selon les températures hivernales. Les relevés de températures hivernales devraient alors être pris en compte pour adapter la lutte contre le vecteur, notamment en ce qui concerne les dates d'application des traitements

Des températures hivernales élevées ne sont pas une entrave à la levée de diapause. On ne peut donc plus expliquer la limitation de l'extension de *S. titanus* dans les vignobles du Sud de l'Europe par une absence d'éclosion due à un manque de froid. En revanche, l'étalement et l'absence de protandrie (apparition des mâles avant celle des femelles) qu'elles causent peuvent en partie l'expliquer. L'absence de protandrie est préjudiciable à la prolifération de l'insecte. En effet, chez les insectes

avec une stratégie de reproduction semblable à *S. titanus* (les mâles pouvant s'accoupler plusieurs fois et la femelle une seule fois), la protandrie assure un maximum de femelles fécondées par les "meilleurs" mâles. En l'absence de protandrie, les femelles ont moins de choix quant à la qualité du partenaire et un pourcentage plus faible de femelles se trouvera fécondé. Cela conduit inévitablement à une diminution du succès reproducteur du vecteur (nombre de descendants ainsi que de leur qualité : fécondité, capacité devection, capacités de dispersion). Ces données devront utilement être considérées dans les modèles populationnels en construction sur ce vecteur ainsi que dans la prévision des risques. Il serait utile d'ajuster aussi la définition des zones de lutte obligatoire en fonction du succès reproducteur du vecteur.

Quid du réchauffement climatique ?

Le réchauffement des hivers pourrait réduire l'aire de distribution de *S. titanus* au Sud, par exemple en faisant disparaître les zones des populations les plus au Sud à faible effectif de vecteurs comme dans le Sud de l'Italie.

Contacts

Julien Chuche - julien.chuche@yahoo.co
Denis Thiéry - thiery@bordeaux.inra.fr
Inra-Enitab Save
Santé et agroécologie du vignoble
Inra Bordeaux Aquitaine
www.bordeaux.inra.fr/umrsv

UMT Qualinnov2 : Maîtrise des déterminants de la qualité organoleptique des vins

Nouveaux dispositifs mis en place en 2006, les unités mixtes technologiques (UMT) permettent de conduire des projets associant les acteurs de la recherche et du développement en mutualisant moyens et savoir-faire.

Les UMT permettent ainsi un effet synergique et une meilleure interface entre la recherche et le développement, afin que les connaissances et innovations en émanant soient plus adaptées aux évolutions de l'agriculture. Pour cela, elles associent sur un même site tout ou partie d'équipes d'un institut technique et d'un organisme de recherche.

L'UMT Qualinnov2 fait suite à l'UMT Qualinnov1 (2006-2011) qui a permis de proposer des outils et méthodes de maîtrise de la qualité des boissons uvales. Ce nouveau volet s'articule autour de deux axes qui reprennent les deux thématiques phares de l'UMT précédente, à savoir les qualités aromatiques et polyphénoliques. Ces deux axes s'avèrent en effet ceux pour lesquels la maîtrise et le pilotage de la typologie des vins manque d'éléments, alors même qu'ils constituent les paramètres majeurs d'adaptation des produits au marché.

Axe 1 : Maîtrise de la qualité aromatique

Les objectifs de cet axe sont avant tout de fournir des éléments de maîtrise et de pilotage des itinéraires techniques de production au vignoble et en cave pour orienter la typologie de produit. Elles serviront également d'appui à des études sur de nouvelles stratégies de sélection, ainsi qu'à la mise au point de tests standardisés d'aptitude aromatique de levures commerciales. Il s'agira de mettre en œuvre divers itinéraires scientifique et technique qui permettent de donner des clés pour la valorisation aromatique des raisins par la maîtrise des interactions potentiel aromatique/micro-organisme/composition en nutriments et facteur de survie du milieu. Un focus tout particulier sera mis sur la nutrition azotée des levures, ainsi qu'à la maîtrise de la turbidité dans les moûts.

Axe 2 : Maîtrise de la qualité polyphénolique

Les objectifs de ce nouvel axe sont de développer des méthodes d'analyse haut-débit des teneurs en diverses familles de polyphénols et ainsi que d'un outil de mesure de deux de leurs propriétés essentielles dans la qualité des vins : la couleur et l'astringence.

Axe 3 : Actions de transfert

Ce transfert se fera par la valorisation des résultats issus du programme au travers de publications et de communications, aussi bien scientifiques que techniques. L'accent sera particulièrement mis sur une communication au moment des salons techniques qui rythment la filière. Il se fera aussi par la mise à jour progressive de l'outil d'aide à la décision « choix des micro-organismes en œnologie », accessible en ligne sur le site de l'IFV www.vignevin.com, et dans lequel l'UMT permettra d'insérer des données sur l'aptitude aromatique des souches issues de ses propres expérimentations.

L'UMT Qualinnov2 bénéficie des installations expérimentales de l'UE de Pech Rouge (parcelles viticoles, plate-formes expérimentales, moyens analytiques) et d'un accès privilégié aux plates-formes instrumentales de l'UMR Sciences pour l'œnologie (fermentations, polyphénols, analyse sensorielle) pour réunir les compétences en :

- chimie analytique
- génie des fermentations et des techniques séparatives appliquées à l'œnologie
- écophysologie de la vigne et viticulture.

L'objectif de l'UMT est de fournir à terme aux professionnels de la filière des indicateurs, objectifs et fiables, pour une conception raisonnée et un pilotage des itinéraires technologiques dans un objectif de produit prédéfini.

Partenaires

UE Pech Rouge - Gruissan
Inra Montpellier
Jean Michel Salmon - jmsalmon@supagro.inra.fr

Institut français de la vigne et du vin (IFV)
Rémi Guérin-Schneider - remi.schneider@supagro.inra.fr

Vigne & Vin

Vins de qualité à teneur réduite en alcool (VDQA)

La mondialisation a remis en cause la géographie viticole, les modes de consommation et le marketing du vin. cette évolution a été concomitante à une préoccupation croissante pour la santé, le bien-être et le plaisir que l'on retrouve dans les comportements alimentaires des consommateurs. en France, la consommation annuelle de vin a diminué de moitié en 40 ans. la crise viticole touchant aussi les vins de qualité, la sortie de crise passe par l'élaboration de produits mieux adaptés aux attentes et aux goûts des consommateurs. or les vins de qualité actuels se caractérisent par un degré d'alcool trop élevé (12, 14 voire 16% vol.) en contradiction avec les politiques de santé publique et de sécurité routière. Dans ce contexte, l'enjeu du projet VDQA était de contribuer à la pérennité de la viticulture française en appréhendant les contextes de consommation émergents et en développant une recherche intégrée permettant d'élaborer des vins de qualité à teneur significativement réduite en alcool (6 à 12% vol.)

Les échanges avec les acteurs de la filière sur les stratégies envisageables et les verrous scientifiques à lever ont conduit à proposer comme axes prioritaires de recherche du projet :

- les questions socio-économiques soulevées dans les sociétés modernes par l'introduction de vins à teneurs réduites en alcool et leur adaptation au marché ;
- le rôle de la teneur en alcool sur la perception sensorielle et l'appréciation de la qualité ;
- les procédés de désalcoolisation basés sur la volatilité ou la diffusion de l'éthanol et des composés volatiles ;
- la réduction du rendement de conversion des sucres en éthanol au cours de la fermentation par les levures oenologiques ;
- la diversification variétale des vignes dont les baies présentent une teneur en sucre réduite.

Le programme, financé par l'Agence nationale pour la recherche (ANR), a fédéré les compétences de 12 partenaires publics et privés répartis dans trois ateliers thématiques :

1 > Atelier technologique :

- sélection de stratégies innovantes permettant de réduire la teneur finale des vins en éthanol ;
- identification des paramètres permettant leur choix raisonné ;
- maîtrise de leur mise en oeuvre à l'échelle industrielle (désalcoolisation partielle des vins finis ou en cours de fermentation, réduction du rendement de conversion des sucres en éthanol par la levure, sélection de cépages accumulant moins de sucres à maturité).

Animé par Hervé Hannin
Institut des hautes études sur la vigne et le vin
Montpellier SupAgro.

2 > Atelier sensoriel :

- description quantitative des modifications de perception sensorielle en fonction du niveau de réduction de la teneur en alcool ;
- évaluation expérimentale de l'effet de l'information relative à la réduction de la teneur en alcool sur l'appréciation du produit et le comportement du consommateur.

Animé par Pascal Schlich
Centre européen des sciences du goût
Inra Dijon.

3 > Atelier socio-économique :

- analyse des questions soulevées dans les sociétés modernes par l'introduction de vins à teneur réduite en alcool au moyen d'une approche associant sociologie de la consommation et marketing.

Animé par Magali Bes
UE Pech Rouge
Inra Montpellier

Une étude de prospective sur le thème « alcool et filière vigne et vin » a mis en synergie les connaissances accumulées dans les trois ateliers.

Principaux résultats

Quatre cépages qualitatifs (2 blancs et 2 rouges) résistants aux maladies fongiques ont été sélectionnés. Ils possèdent à maturité une teneur en sucre correspondant à 10 degrés d'alcool potentiels et répondent à l'objectif du Grenelle de l'environnement avec une réduction de 50% des intrants phytosanitaires. Compte-tenu des procédures réglementaires nécessaires à l'homologation, ces nouveaux cépages devraient être mis à disposition des viticulteurs en 2014.

Une souche de levure présentant une déviation du flux de carbone vers la voie des pentoses phosphates a par ailleurs été sélectionnée. L'effet sur le rendement de conversion des sucres en éthanol s'est révélé trop faible dans le cadre du projet mais cette souche présente des qualités fermentaires justifiant la poursuite de son étude.

Différentes technologies de réduction de la teneur finale en alcool ont été étudiées : diminution de la teneur en sucre du moût, désalcoolisation du moût en cours de fermentation ou sur vin fini. Les conditions de transfert vers la profession ont été précisées et l'accès aux techniques de désalcoolisation ne constitue plus un verrou au développement des produits à teneur réduite en alcool.

La réduction d'alcool dans un vin n'est pas perceptible tant qu'elle reste inférieure à 3% vol. D'un point de vue aromatique, les vins sont moins « puissants » mais cela laisse parfois la place à la dominance de notes fruitées en fin de bouche. Une enquête a montré que la teneur en alcool perçue ou attendue d'un vin de qualité se situe entre 10 et 13% vol. pour les rouges et entre 9 et 12% vol. pour les blancs et rosés.

Le consommateur tend à ne plus considérer le produit comme un vin lorsque son titre alcoolique est inférieur à 9% vol.

.../.

Bien qu'en dégustation à l'aveugle, des vins réduits de plus de 3% vol. puissent être préférés au vin témoin, les consommateurs français déprécient les vins annoncés comme VDQA. Ce phénomène est même plus net pour les vins rouges que blancs. Cependant, derrière cette tendance moyenne se cache une forte segmentation : soit l'attente vis-à-vis des VDQA n'est pas négative (femmes, jeunes, non-connaisseurs) et la dégustation révèle une préférence pour les VDQA ; soit il existe un *a priori* négatif fort (hommes, connaisseurs en vins âgés) et la dégustation le confirme ou l'aggrave. Ainsi les VDQA sont appréciés des femmes actives urbaines de 30-50 ans ou par des personnes âgées qui retrouve le vin de table d'antan léger et équilibré. Les VDQA semblent donc correspondre aux attentes de nouveaux consommateurs ne disposant pas de culture du vin. Par ailleurs, le vin allégé plaît s'il est produit par un viticulteur à grande notoriété ou s'il est inscrit dans une logique qui sécurise le consommateur.

Les résultats de ce programme ouvrent donc de sérieuses pistes pour l'innovation dans les marchés du vin, à condition de préparer le consommateur à découvrir des produits véritablement nouveaux, agréables à boire et respectant ses attentes (vins frais, aromatiques, désaltérants).

Ce projet a permis de délimiter les niveaux de désalcoolisation acceptables et de préciser l'efficacité et l'effet sur les caractéristiques du produit des différentes techniques de réduction de la teneur finale en alcool. Il ouvre enfin de réelles perspectives de développement de boissons moins alcoolisées. Il a en effet largement contribué à faire agréer la désalcoolisation partielle des vins comme « nouvelle pratique œnologique », mise en place à compter du 1^{er} août 2009 mais dans la limite de 2% vol actuellement. Nouvelle pratique grâce auquel les domaines Auriol (Lézignan Corbières) ont pu lancer une nouvelle génération de vins moins caloriques (60 calories pour un verre de 12 cl) et plus légers en alcool (9-9,5% vol.) que les vins traditionnels. Cette nouvelle gamme de vins est commercialisée depuis la récolte 2009 pour un positionnement dans le rayon « vin » ou « bio ». Elle est déclinée en 25 cl à vis pour rejoindre le rayon « snacking » à côté des plats cuisinés allégés. A l'international, le concept est étudié pour les clubs de sport ou fitness.

La consommation « nomade » (camping, pique niques) est aussi abordée en proposant de nouvelles formes de contenants, telles que la canette.

Ce projet a été valorisé par la publication des articles :

- ▶ Diban N, Athès V, Bes M, Souchon I. 2008. Ethanol and aroma compounds transfer study for partial dealcoholization of wine using membrane contactor. *Journal of Membrane Science*, 311(1-2) : 136-146.
- ▶ Heux S, Cadière A, Dequin S. 2008. Glucose utilization of strains lacking PGI1 and expressing a transhydrogenase suggests differences in the pentose phosphate capacity among *Saccharomyces cerevisiae* strains. *FEMS Yeast Research*, 8(2) : 217-224.
- ▶ Meillon S, Urbano C, Schlich P. 2009. Contribution of the Temporal Dominance of Sensations (TDS) Method to the sensory description of subtle differences in partially dealcoholized red wines. *Food Quality and Preference*, 20(7) : 490-499.

Coordinateur du projet

Jean-Louis Escudier – escudier@supagro.inra.fr
UE Pech Rouge - Inra Montpellier

Vinnotec : développement de technologies de l'information et de la communication pour répondre aux nouveaux enjeux de la filière vitivinicole

Pour faire face aux difficultés que vit le secteur viticole aujourd'hui, la filière et même les vignobles se réorganisent, par la fusion de structures créant ainsi des unités de gestion plus grandes. Si les entreprises viticoles veulent rester compétitives, elles devront mettre en oeuvre des outils de management adaptés à la dimension nouvelle des structures. Cette situation crée de nouveaux besoins pour la filière vitivinicole et par là même des opportunités de développement de produits et de services innovants dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TIC). C'est cette opportunité qu'ont voulu saisir des entreprises du secteur, en Languedoc Roussillon, en s'associant autour d'un projet Vinnotec. Au coeur des outils et services proposés, les TIC garantissent 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 connaissance sur la vigne et le vin. Développés pour les différents maillons de la chaîne de production, ces nouveaux produits visent à caractériser au mieux l'état de la vigne, du raisin et des fermentations, pour optimiser l'itinéraire de production associé.

Vinnotec est un projet de recherche et développement collaboratif, monté dans le cadre du pôle de compétitivité Qualimediterranée, qui a pour objectif principal le développement d'outils innovants et de méthodes d'aide à la décision, au vignoble et en cave, répondant à la nouvelle demande de la filière vitivinicole. L'objectif est de développer des outils et des services innovants pour accompagner la modernisation des pratiques de ce secteur.

Vinnotec regroupe 13 partenaires appartenant à 4 structures de recherche publique et 9 structures privées afin de proposer aux professionnels du vin des outils et services leur permettant d'affronter les évolutions touchant le secteur. Dans un contexte de fusion des structures de production (exploitations et surtout caves coopératives), les façons de travailler évoluant, ces outils permettent d'acquérir les informations nécessaires au pilotage des nouvelles organisations émergentes et d'optimiser les processus de production du raisin et du vin.

La partie recherche est coordonnée par le Cemagref avec trois autres organismes publics (Inra, IFV, Montpellier SupAgro), tandis que les trois équipementiers sont les porteurs industriels du projet. Le projet englobe 10 actions, dont les principales sont la mise au point de capteurs de terrain et d'outils informatiques d'aide à la décision. Vinnotec a bénéficié d'un financement du Fond unique inter-ministériel (FUI), d'une aide directe du Conseil régional Languedoc-Roussillon, ainsi que d'une subvention européenne d'Oséo via le Fonds européen de développement régional (Feder).

Le projet se structure autour de 4 axes faisant toujours intervenir plusieurs partenaires (publics et privés) :

► 1 > Développement de capteurs de terrain permettant l'évaluation objective des données agronomiques pertinentes et ceci à différentes échelles (caméras multispectrales aéroportées, capteurs piétons pour le suivi de la maturation du raisin, systèmes de saisie et de transfert de l'information...).

► 2 > Résoudre les problématiques des caves, tels que la qualification de la qualité de la vendange, permettant des vinifications sélectives ou encore le suivi en continu du processus de fermentation avec de nouveaux capteurs en ligne.

► 3 > Intégrer dans des systèmes d'aide à la décision la quantité importante d'informations nouvelles, générées dans les deux premiers axes. Ces systèmes intègrent de nouvelles règles de décisions couplées à la connaissance experte indispensable à l'exploitation des données mesurées.

► 4 > Mise en oeuvre opérationnelle des expérimentations menées sur une plate-forme d'essai commune à l'UE Inra de Pech Rouge. Une base de données unique, par la richesse des mesures effectuées et leurs résolutions temporelle et spatiale, est créée. Cette base, commune aux partenaires, est un outil exceptionnel pour une avancée de rupture sur le développement des TIC pour la viticulture et plus généralement pour l'agriculture.

Vinnotec, des prix et des produits

► CEnoview®, première application industrielle de Vinnotec, est un service déjà proposé aux professionnels de la filière viticole par l'ICV et Infoterra. CEnoview® permet de cartographier la variabilité intra-parcellaire en terme de vigueur, de surface foliaire, de stress hydrique ou de poids des baies.

Cette cartographie repose sur l'association de photos aériennes et d'images satellites, de techniques d'analyses multispectrales de l'image et enfin de techniques d'interprétation développées conjointement avec l'Inra et Montpellier SupAgro. CEnoview® fournit ainsi, aux viticulteurs et acheteurs, une vision complète de la vigueur des vignes et de l'effet « terroir » des parcelles observées avant les récoltes.

Couplé avec des mesures ponctuelles, comme la composition des baies, c'est un véritable outil d'aide à la décision pour la qualification des lots de vendange. « En analysant la plus ou moins grande homogénéité de la parcelle, il est possible d'établir un classement des parcelles en fonction de leur qualité et d'orienter ainsi l'allotement des récoltes » souligne Jacques Rousseau, responsable vignes et vins à l'ICV. En Languedoc-Roussillon, les vignerons de Mont-Tauch testent CEnoview® depuis plusieurs campagnes de vendange et, sur les 50 hectares de Merlot étudiés, les résultats sont probants.

► Le Spectron™, un capteur piéton pour le suivi de la maturation du raisin

Développé par la Société Pellenc dans le cadre d'une recherche partenariale avec le Cemagref et l'IFV, le Spectron™ a été primé par une médaille d'or au palmarès de l'innovation 2009 du Sitevi.

Le Spectron™ est un spectromètre Pellenc autonome, compact, léger, portable et géo-localisé (GPS),



Spectron™ Pellenc

destiné au suivi de la maturité du raisin à la parcelle, par mesures non destructives et instantanées, couplé à un logiciel de modélisation de la cinétique de maturation et de prédiction de la date optimale de récolte. Le Spectron™ fonctionne avec une batterie au lithium-ion rechargeable. Cette analyse est réalisée directement à la vigne par un opérateur piéton par la simple mise en contact de l'extrémité de la tête du Spectron™ avec les grappes en appuyant sur la gâchette de l'outil. L'opérateur est ainsi en mesure d'effectuer plusieurs milliers d'acquisitions. Le Spectron™ mesure 4 paramètres : sucre, acidité, anthocyanes, teneur en eau. L'affichage des paramètres se fait en temps réel avec un indice de confiance. Ainsi le vigneron décide en toute autonomie de sa date optimale de vendange.

► Le jury des trophées de l'innovation Vinitech 2008 a décerné à Néotic le trophée de bronze au module nomade de suivi de lots via sa solution Agréo Vins. Le module nomade de suivi de lots permet à l'utilisateur une saisie déportée sur « Pocket PC », directement depuis le chai et en temps réel.

Agréo Vins, conçu, développé et édité par Néotic, est un outil de gestion technique, qualitative et réglementaire des productions viticoles. Agréo Vins accompagne les vignerons, négociants, caves coopératives et unions de caves durant toutes les étapes de l'élaboration des vins : gestion de cuverie, enregistrements des entrées de raisin, moût ou vin, suivi des opérations de vinification réalisation des assemblages, suivi analytique de l'évolution des vins et préparation à la mise en bouteille ou à la sortie vrac. La mise à jour des données relatives au suivi des lots est alors immédiate et disponible pour l'ensemble des utilisateurs liés au chai. Ce nouveau produit s'inscrit dans le cadre du projet Vinnotec, qui permet à l'entreprise Néotic et à ses partenaires de mettre en oeuvre un vaste programme de recherche et développement sur la filière vitivinicole.

► Le projet Vinnotec a également reçu le 27 novembre 2008, des mains du préfet de la région Languedoc-Roussillon, le trophée du Décideur européen 2008, organisé par le magazine Objectif LR.

Partenaires

Institut coopératif du vin (ICV)
Néotic, Vivelys,
Ondalys (associés à Pellenc SA, Sodimel, Inter-Rhône)
Vignerons du Mont Tauch,
Caves de Chusclan
Cemagref, Inra Montpellier, Montpellier SupAgro,
Institut français de la vigne et du vin (IFV)

Contacts

Nicolas Saurin - nicolas.saurin@supagro.inra.fr
UE Pech Rouge - Inra Montpellier

WINETech « Nouvelles technologies en viticulture et élaboration du vin »



Le projet WINETech a pour priorités principales le transfert de technologie et l'amélioration des réseaux de coopérations entre entreprises, caves et centres de recherche et de technologies dans le secteur vitivinicole.

WINETech participe à la création d'un réseau européen de gestion de projets innovants dans la filière vitivinicole, depuis la détection des besoins jusqu'à leur mise en œuvre. 7 régions de 3 pays européens sont concernées : l'Espagne (Galice, la Rioja, Castille et Léon, Castilla-La Mancha), le Portugal (Alentejo, Nord) et la France (Languedoc-Roussillon). 11 partenaires font partie du projet. Sa structure a été établie en accord avec deux typologies : partenaires représentatif du secteur entrepreneurial et partenaires appartenant au secteur scientifico-technique et de recherche du domaine vitivinicole. Côté français, l'unité expérimentale de Inra Pech Rouge travaille en partenariat avec le groupe ICV.

Le projet s'est fixé pour objectifs de :

- ▶ Détecter les besoins technologiques de la filière
- ▶ Identifier l'offre scientifico-technologique existante
- ▶ Faciliter l'accès des entreprises aux capacités de recherche & développement et innovation (R&D+i) de l'environnement scientifico-technologique
- ▶ Valoriser les connaissances et travaux des chercheurs
- ▶ Créer un lieu de rencontres ouvert aux autres acteurs de la filière

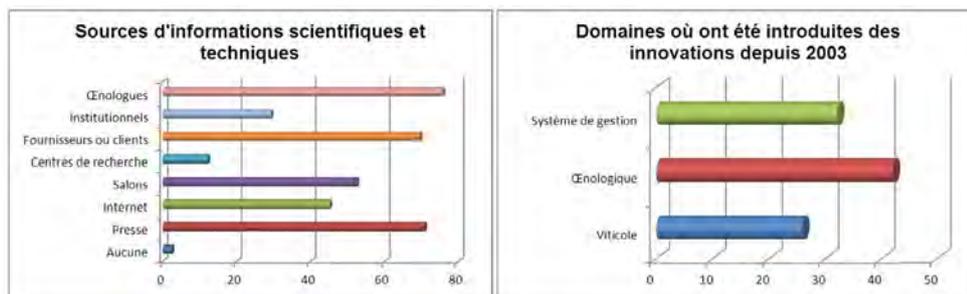


Les résultats de l'enquête WINETech - Région Languedoc-Roussillon

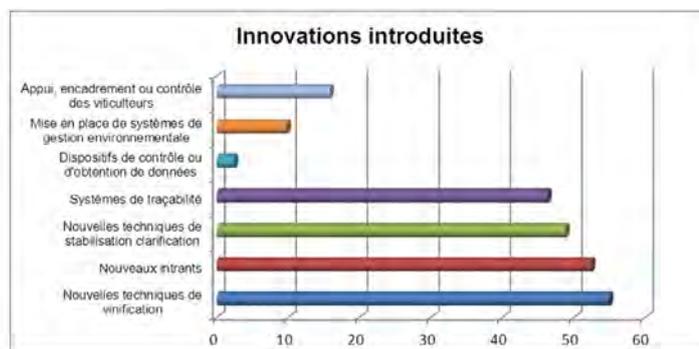
Les résultats montrent que l'innovation dans les entreprises de la région LR joue un rôle important et incontournable.

La situation actuelle :

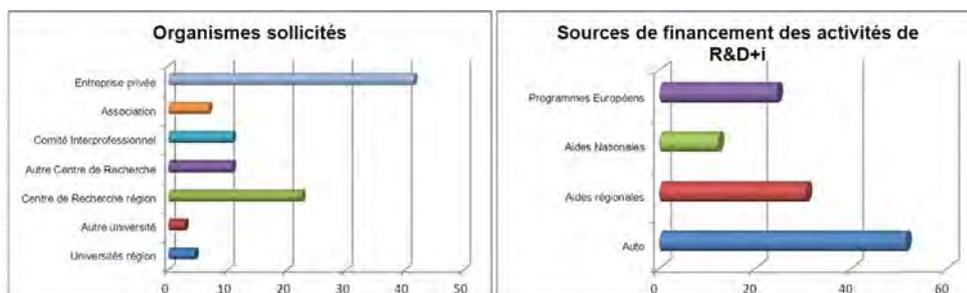
- ▶ Les sources d'informations institutionnelles sont peu utilisées.
- ▶ L'innovation viticole a été moins importante ces dernières années.



Les innovations semblent poussées par les fournisseurs

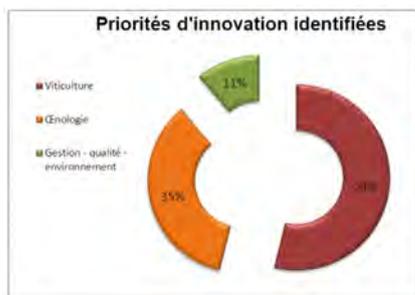


- ▶ Entreprises privées et, dans une moindre mesure, centres de recherche régionaux sont les premiers sollicités
- ▶ Le financement est essentiellement interne donc lié à la santé financière des entreprises



Les besoins du futur :

- ▶ Le secteur viticole reprend le leadership, situation de "balancier" assez classique
- ▶ Étonnamment, la qualité et l'environnement sont délaissés



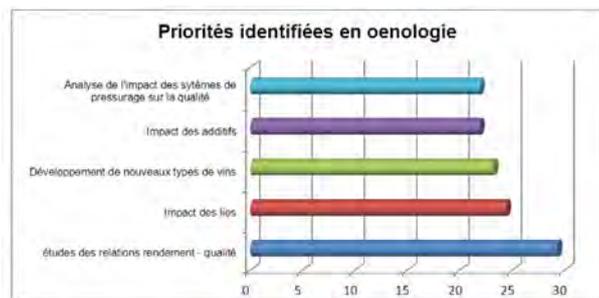
Les besoins du futur dans le domaine viticole (54%) :

- ▶ Améliorer les rendements par la gestion de l'eau, l'innovation variétale et la gestion phytosanitaire
- ▶ Rémunérer les apports à une valeur la plus juste et la plus indiscutable possible



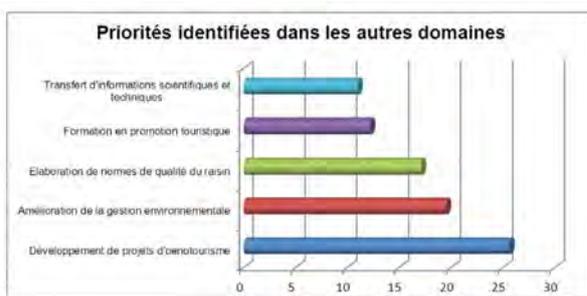
Les besoins du futur dans le domaine œnologique (35%) :

- ▶ Une situation où il n'apparaît pas de priorité unique claire
- ▶ Là encore la motivation économique semble dominante rendement, nouveaux produits et additifs



Les besoins du futur dans les autres domaines (11%) :

- ▶ L'œnotourisme est en tête même si la réglementation est jugée trop contraignante et les projets complexes à monter (au-delà de la promenade dans les vignes).



Partenaires

Instituto Galego da Calidade Alimentaria (INGACAL)
 Fundación Empresa-Universidad Gallega (FEUGA)
 Cámara Oficial de Comercio e Industria de La Rioja
 Fundación de la Universidad de La Rioja (FUN.UNIRIOJA)
 Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural
 Gobierno de La Rioja
 Fundación General de la Universidad de León y de la Empresa (FGULEM)
 Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)
 Cooperativas Agro-alimentarias Castilla-La Mancha
 Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo (ADRAL)
 União das Associações Empresariais da Região Norte (UERN)
 Institut national de la recherche agronomique (Inra)

Conclusions

- ▶ Améliorer la communication sur :
 - ▶ Les savoir-faire existants,
 - ▶ Les échanges entre entreprises,
 - ▶ La réglementation et ses contraintes éventuelles.
- ▶ Mettre des moyens sur la R&D+i liée à l'augmentation des rendements en conservant la qualité ou pour le moins en améliorant les techniques qui permettent de l'évaluer.
- ▶ Accompagner les entreprises dans le financement de leurs projets :
 - ▶ Connaissance des circuits de financement ou d'aides,
 - ▶ Aide au montage de dossiers ...
- ▶ Approfondir la thématique "nouveaux produits" :
 - ▶ Diversité des possibilités,
 - ▶ Savoir-faire transférables,
 - ▶ Actions de R&D+i à envisager,
 - ▶ Marchés et communication.

Contacts

Flor Etchebarne - flor.etchebarne@supagro.inra.fr
 UE Pech Rouge - Inra Montpellier

Étude du lien au terroir : de la représentation conceptuelle à la représentation perceptuelle. Mise en évidence de l'importance de certains choix techniques.

La typicité des vins rouges d'AOC « Anjou Villages Brissac » a été étudiée en mettant en relation la diversité des milieux et des pratiques avec la diversité des styles de vins.

Cette étude a été conduite par Yves Cadot, dans le cadre d'une thèse au sein de l'unité Vigne & vin d'Angers (UMT Vinitera, Inra Angers-Nantes)

Typicité : du concept à la perception

Dans le cas des vins revendiquant un lien au terroir, la typicité correspond à des propriétés caractéristiques de la famille permettant aux vins de se distinguer des autres familles. Ces propriétés doivent être remarquables et partagées. Le terroir correspond à des facteurs naturels (sols, sous-sols et climat) mais prend en compte également les facteurs biologiques (cépages, porte-greffes) et les savoir-faire.

Le lien causal entre typicité et terroir a été étudié par l'analyse des relations entre le concept de typicité (qui engendre des choix techniques, liés -ou non- au terroir) et la perception sensorielle de la typicité (qui résulte de la mise en oeuvre des choix techniques, liés -ou non- au terroir). Le degré de concordance entre ces deux représentations de la typicité peut être considérée comme un « indicateur de progrès ». Une enquête a été menée auprès des vigneronnes de l'appellation, permettant d'étudier la typicité sensorielle et les liens au terroir, du point de vue du concept. Le mode d'élaboration des vins (depuis l'origine des parcelles jusqu'à la mise en bouteille) a pu ainsi être pris en compte. Les vins ont ensuite été décrits sensoriellement par un jury expert (la référence) et par un jury de professionnels de la filière.

Les producteurs de l'AOC Anjou-Villages Brissac ont une image conceptuelle de la typicité des vins plutôt consensuelle. Une grande majorité considère la typicité comme étant liée au sol/sous-sol et au climat de l'année, et pour certains, au cépage et aux itinéraires techniques. Il est intéressant de noter que s'il existe quelques divergences sur les facteurs de production explicatifs des caractéristiques sensorielles des vins, il existe un réel consensus sur le résultat attendu d'un point de vue sensoriel.

Sensoriellement, la typicité des vins est perçue selon un gradient, où les limites entre catégories ne sont pas clairement définies. La prévision de la typicité est possible à partir des descripteurs issus des deux jurys (expert et professionnels), mais seuls les descripteurs visuels sont constants pour les trois millésimes étudiés. Les professionnels sont peu consensuels, sauf pour l'évaluation de l'intensité colorante des vins. L'idéal de typicité a été calculé, pour chaque juge et chaque millésime. Il confirme le peu de consensus entre juges. Soit les vins, globalement, correspondent au profil sensoriel recherché, mais alors le consensus entre les juges est faible, soit les juges paraissent plus consensuels, mais alors ce sont les vins produits qui ne correspondent plus aux attentes des producteurs.

Lorsque l'on s'intéresse à la relation entre la typicité des vins et les caractéristiques du terroir, la hiérarchie révélée dans le concept s'inverse :

- ▶ La variable sol n'est associée ni aux descripteurs sensoriels, ni à la typicité théorique (AOC) ou perçue (gradient de typicité).
- ▶ La variable cépage est associée à la typicité théorique et à quelques descripteurs sensoriels, mais elle n'est pas explicative du gradient de typicité.



- ▶ Certaines variables œnologiques sont associées fortement à la typicité théorique. Elles sont également associées à des descripteurs sensoriels, et participent à la typicité perçue. Il s'agit de la qualité de la vendange, de la date de vendanges, du mode de vinification et d'élevage.

Typicité : des actes techniques au vin

Après avoir démontré que la typicité du vin était expliquée en premier lieu par les facteurs techniques du terroir, en particulier la date de vendanges et la durée de cuvaison, nous avons voulu vérifier cette relation en inversant le dispositif d'étude. À partir de vendanges de niveaux de maturité différents, et en faisant varier les durées de cuvaison, les vins produits expérimentalement sont-ils différenciables d'un point de vue sensoriel ? Ces différences sensorielles s'expliquent-elles par la composition biochimique des vins et des vendanges (en particulier les composés phénoliques) ?

- ▶ Dans un premier temps, nous avons étudié l'évolution, lors de la maturation, de la localisation cellulaire des tanins condensés de la pellicule, en nous appuyant sur l'expertise du laboratoire GenHort de l'Inra d'Angers. Pour la première fois, une évolution de la localisation et de la typologie de cellules avec et sans tanin a été mise en évidence. La composition en tanins des vendanges est dépendante (i) du climat de l'année (ii) du niveau de maturité (iii) faiblement de la parcelle.

- ▶ Dans un deuxième temps, nous avons étudié l'évolution, lors de la maturation, de la composition et de l'extractibilité des composés phénoliques. Nous avons montré que la composition en tanins condensés évoluait, mais que son interprétation était difficile. Concernant l'évolution de l'extractibilité des composés phénoliques, celle-ci est plus dépendante du niveau de maturité que de la durée de cuvaison. Cependant, la « typologie » des tanins extraits dépend, là encore, avant tout, du millésime. .../.



Voies de progrès

Les principaux résultats de cette étude seront prochainement présentés aux vignerons de l'AOC, avec comme objectifs de leur proposer des « voies de progrès », et de leur offrir de les accompagner dans leur mise en place. En effet, le diagnostic réalisé sur cette AOC, s'il peut paraître a priori déstabilisant, doit être considéré comme une source d'innovation dans la mesure où il devrait permettre de concilier des objectifs individuels, d'entrepreneurs, à un objectif collectif, inhérent à la notion d'appellation. Ce travail permettra de renforcer l'identité de l'AOC, et de lui donner les outils pour s'adapter aux différentes évolutions liées au contexte changeant (réglementaire, climatique, sociétal). Finalement, il s'agit, pour les vignerons, de transformer des contraintes et des faiblesses en des atouts d'autant plus décisifs qu'ils concilieront des objectifs individuels et collectifs.

► Enfin, dans un troisième temps, nous avons mesuré l'incidence du niveau de maturité et des conditions de vinification sur la typicité des vins. Nous avons pu montrer que la typicité des vins obtenus pouvait être modélisée à partir de la composition en polyphénols de la vendange. L'ensemble de ces résultats confirme l'importance du choix de la date de récolte et du mode de vinification sur la typicité des vins produits.

Lors de cette étude, la typicité conceptuelle et la typicité perceptuelle, utilisés comme leviers, ont permis de comprendre la construction collective et individuelle de vins revendiquant une identité liée à une indication géographique. Les écarts entre ces deux représentations de la typicité, en lien avec les itinéraires techniques, ont abouti à :

- (i) l'analyse du consensus comme indicateur des logiques individuelles et collectives
- (ii) la mise en évidence d'actes techniques déterminants
- (iii) la proposition de voies de progrès permettant aux acteurs de la production de dégager collectivement des formes de qualification propices à la révélation du lien au terroir.

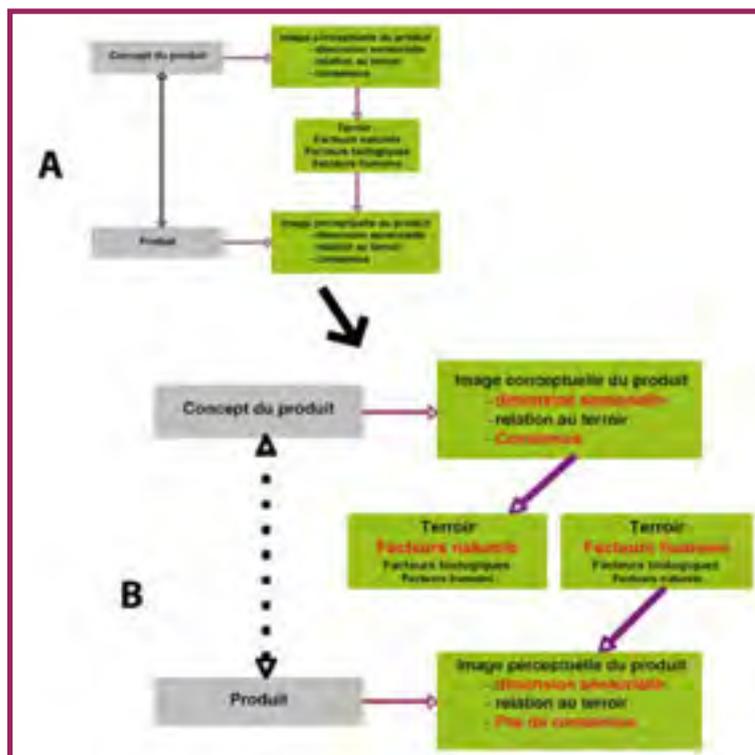
L'ensemble des travaux de cette étude a fait l'objet de 8 communications lors de congrès internationaux, de 6 articles scientifiques dans des revues internationales, de trois articles dans des revues professionnelles, d'un article dans une revue plus généraliste et d'une série de huit articles sur le site de l'interprofession.

Cette étude a été menée en collaboration avec :

- l'UMR SPO - Inra Montpellier
- l'UE Pech Rouge - Inra Montpellier
- l'UMR GenHort - Inra Angers Nantes
- le syndicat de l'AOC Anjou-Villages-Brissac Val de Loire

Contacts

Yves Cadot - yves.cadot@angers.inra.fr
UE Vigne et vin - Inra Angers Nantes



Capture des arômes fermentaires : un co-produit valorisant pour la filière vinicole

Grâce à une technologie mise au point par l'UE de Pech Rouge (Inra, Montpellier), avec la cave coopérative d'Arzens. D'un contrat européen, et mis en application à la cave de Néviau, il est possible de capter les arômes qui se dégagent de ses cuves de vinification. Ces arômes ainsi piégés, sont extraits dans de l'alcool par le groupe Grap'Sud (union de trois distilleries coopératives). Grap'Sud sur demande assure les productions pilotes. Les études ont démontré l'impact positif, tant au niveau olfactif que gustatif, de ces arômes issus de la fermentation, lors de leur ajout dans certaines boissons comme les vins sans alcool et les sodas, premier secteur d'utilisation de tels arômes. Ces arômes apportent à ces boissons une saveur fruitée, un caractère fermentaire et lui procure de la fraîcheur. A côté du verjus issu de la récolte de raisin vert, il s'agit là d'un nouvel ingrédient naturel proposé à la filière agro alimentaire

Fort de son expérience dans le domaine de l'extraction et du fractionnement de molécules naturelles issues du raisin, du moût ou de co-produits vinicoles, l'UE de Pech Rouge a élargi son champ d'expérimentation avec la mise au point d'un procédé de capture des composés volatils d'arôme à partir des gaz de fermentation libérés pendant la fermentation des moûts et des marcs. Ce sont les Ateliers du Lézignanais qui ont fabriqué les dispositifs de capture des arômes de raisin. Pendant les quelques jours que durent la fermentation alcoolique, 100 litres de moût dégagent 5 000 litres de CO₂ soit pour une cuve de 1 000 hectolitres, 5 millions de litres de CO₂ libérés. Ce CO₂ entraîne des arômes qui s'échappent donc dans l'atmosphère, où ils sont définitivement perdus. Au départ, grâce à des recherches antérieures, l'UE de Pech Rouge a entrepris la mise au point d'un capteur pour fixer certains de ces arômes dans le but de les analyser.

Pour démarrer la mise en œuvre du projet, il a préalablement fallu fabriquer 14 capteurs d'arômes (chapeaux) pour réaliser suffisamment de répétitions et exploiter les résultats. Il a fallu également fabriquer le dispositif pour conduire les arômes capturés jusqu'à une cuve de collecte du produit. Dix dispositifs de récupération d'arômes fermentaires ont ensuite été installés à la cave coopérative de Néviau, afin de pouvoir faire les essais sur différents moûts de raisin. Quatre dispositifs ont de plus été installés à la distillerie de Rieux Minervois pour faire des essais sur des cuves de fermentation d'extraits de pellicule de raisin (rouge et blanc). L'élution des arômes capturés a été réalisée par le groupe Grap'Sud avec de nouveaux prototypes multicarouches. Cette récupération nécessitant de l'alcool,

elle ne peut pas être réalisée dans les caves mais uniquement dans les distilleries. Cent vingt hectolitres de moût en fermentation ont ainsi permis la production de un litre d'arômes concentrés. Dès la première campagne d'essais, qui a vu le jour grâce à un financement du Conseil régional Languedoc-Roussillon, la qualité des arômes récupérés a été démontrée et la production a pu être lancée.

La société Grap'Sud utilise ce nouveau produit dans des boissons rafraîchissantes sans alcool (BRSA), afin d'élargir la gamme des boissons issues du raisin. La production de ces arômes fermentaires en Languedoc lui permet de disposer d'une base aromatique évaluée positivement sur les produits en développement, donc mieux adaptée que les formulations commerciales testées par les aromaticiens, et d'un arôme identitaire « filière vinicole », produit unique et spécifique non-élaboré par les aromaticiens à ce jour. Selon la formulation d'une boisson sans alcool, il faut compter environ 100 litres d'arômes pour 1 million de canettes. De manière générale, le coût d'aromatization trop élevé est souvent le frein au développement de nouveaux produits agroalimentaires.

Pour une commande minimum de 100 kg, le prix d'un arôme naturel de raisin varie entre 15 et 28 €/kg suivant le cépage (Riesling, Chardonnay...). Cette nouvelle innovation de capture des arômes fermentaires va donc rapidement être rentable pour la société Grap'Sud. Comme pour la production du verjus, elle a aussi permis de créer une ressource financière d'appoint pour les vignerons coopérateurs de Néviau.

Partenaires

UE Pech Rouge - Gruissan - Inra Montpellier
Groupe Grap'Sud - Cruviers-Lascours
Ateliers du Lézignanais - Lézignan
Distillerie de Rieux-Minervois,
Vignerons coopérateurs de Néviau, Transferts LR,
Conseil régional Languedoc-Roussillon

Contacts

Magali Bes - bes@supagro.inra.fr
UE Pech Rouge - Inra Montpellier
Grap'Sud

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

LUMR Lisah a mis au point une méthode simple de cartographie de l'évapotranspiration de la vigne à partir d'images satellites. La combinaison de cartes de températures de surface et de taux de ouverture du sol par la végétation, obtenues avec une résolution spatiale de 90 mètres, permettent d'estimer l'évapotranspiration journalière des parcelles de vigne avec une précision d'1 mm/jour, à l'échelle de petites régions viticoles (centaine de km²). Cette méthode pourra être utilisée pour la quantification des besoins en eau de la vigne et la gestion spatialisée de pratiques viticoles (enherbement).

Le statut hydrique de la vigne est connu pour avoir une influence déterminante sur la production viticole, tant en termes de quantités qu'en termes de qualité. Si les méthodes de détermination du statut hydrique de la vigne sont opérationnelles à l'échelle de la parcelle, il existe un besoin important pour sa quantification à l'échelle de petites régions - quelques dizaines de km² - aussi bien pour la gestion d'aires de production (conduite des vignes, récolte, irrigation...) que pour se préparer à faire face à l'action du changement climatique (modifications de la répartition temporelle de la pluviométrie par exemple). Les recherches menées depuis plusieurs dizaines années par différentes équipes dans le monde, dont des équipes françaises, ont permis la mise au point de méthodes de cartographie de l'évapotranspiration des couverts végétaux à partir d'images de télédétection dans l'infrarouge thermique. Toutefois, ces méthodes n'avaient jamais été utilisées de manière probante sur des couverts viticoles, en grande partie à cause de leur complexité géométrique (cultures en rangs). Ceci a motivé le lancement d'un projet de recherche visant à la cartographie de l'évapotranspiration de la vigne à partir d'images satellite, dans la région Languedoc-Roussillon. Cette région présente en effet deux caractéristiques *a priori* favorables : la vigne y est une quasi-monoculture et son alimentation hydrique est fortement limitée lors de la saison estivale, habituellement très sèche. ...



Figure 1. Dispositif de mesure directe de l'évapotranspiration par covariances turbulentes, installé sur la parcelle n° 7 lors des acquisitions d'images ASTER

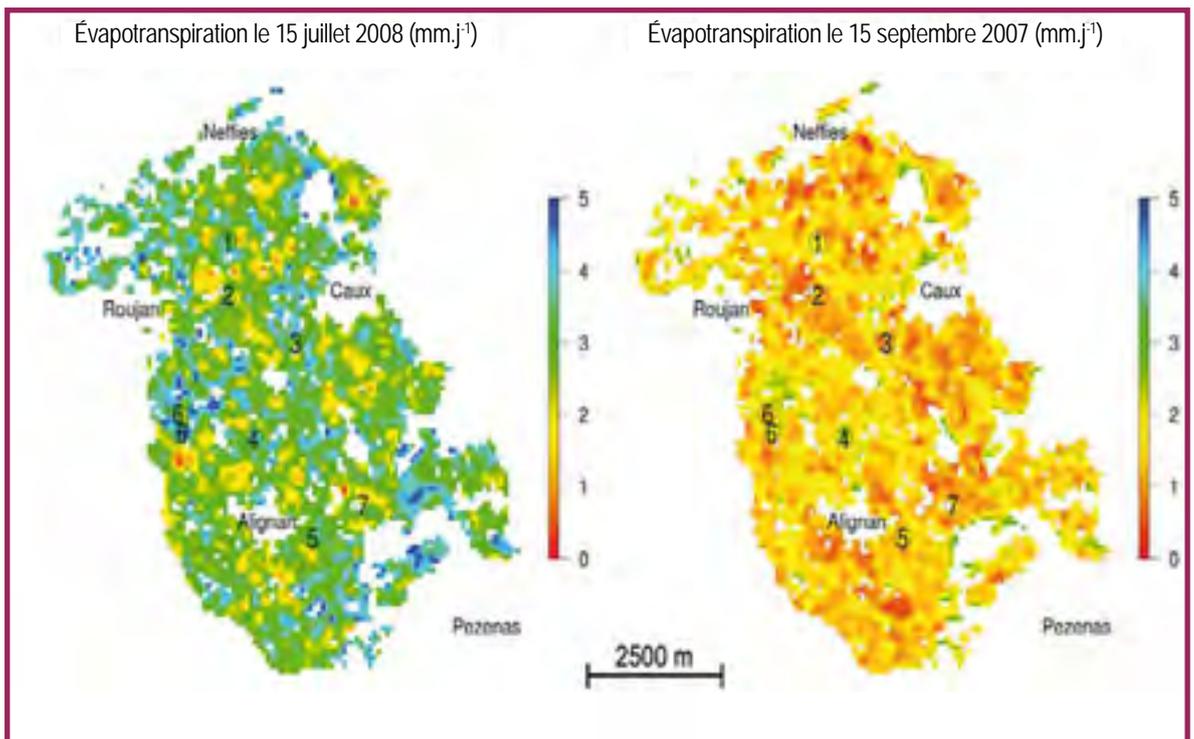


Figure 2. Cartographies de l'évapotranspiration sur la basse vallée de la Peyne, obtenues pour deux dates, avec la localisation des 7 parcelles de validation. Seules les parcelles de vigne sont représentées

Résultats

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. Au cours de la période juillet 2007 à octobre 2008, douze images ASTER ont été acquises. Les images de température de surface, à 90 mètres de résolution spatiale, ont été converties en cartes d'évapotranspirations journalières à l'aide de deux indices, le WDI (water deficit index, Moran *et al.*, 1994) et le S-SEBI (simplified surface energy balance index, Roerink *et al.*, 2000) 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 (mesures neutroniques) et du niveau des nappes (mesures piézométriques), conduit sur les sept parcelles, a permis d'évaluer avec précision leur évapotranspiration journalière, via le modèle de transferts hydriques HYDRUS 1D (Simunek *et al.*, 2005). Les cartes d'évapotranspiration issues des images satellites 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 1:25 000.

Perspectives / impact à terme

Outre l'utilisation de ces cartographies de l'évapotranspiration des vignes pour l'estimation de leurs besoins en eau, par exemple pour l'irrigation, les perspectives de ce travail portent sur la gestion spatialisée de pratiques viticoles (par exemple aptitude à l'enherbement). Elles constituent par ailleurs une information potentiellement mobilisable pour la cartographie des propriétés hydrodynamiques des sols.

Partenaires

Ce travail a été soutenu par le PNTS (programme national de télédétection spatiale) et a fait l'objet de la thèse de Doctorat de Mauricio Galleguillos, financée par le CONYICIT (Chili) et par le département EA. La programmation de l'acquisition des images ASTER a été obtenue via un appel d'offre NASA-JPL, en collaboration avec le Département de Géographie de l'Université du Maryland et le laboratoire USDA / ALARC (Arid Land Agricultural Research Center) de Phoenix, Arizona. Les expérimentations ont largement bénéficié du dispositif de mesures de l'ORE Omere (<http://www.umar-lisah.fr/omere>).

Bibliographie

- ▶ Galleguillos, M., 2010. Spatialisation du statut hydrique de la vigne sur un bassin versant méditerranéen par télédétection optique. Thèse de Doctorat, Supagro, Montpellier, 213 p.
- ▶ Galleguillos, M., Jacob, F., Prévot, L., Lagacherie, P. and Liang, S., 2011. Mapping daily evapotranspiration over a Mediterranean vineyard watershed. *Geoscience and remote sensing letters, IEEE*, 8(1): 168-172.
- ▶ Galleguillos, M., Jacob, F., Prévot, L., Lagacherie, P. and French, A., Comparing two simplified models for inferring daily evapotranspiration from ASTER over a Mediterranean vineyard watershed. *Remote Sensing of Environment* (accepté)

Contacts

Laurent Prévot - laurent.prevot@supagro.inra.fr
 UMR Lisah - Inra Montpellier
 IRD - Montpellier SupAgro

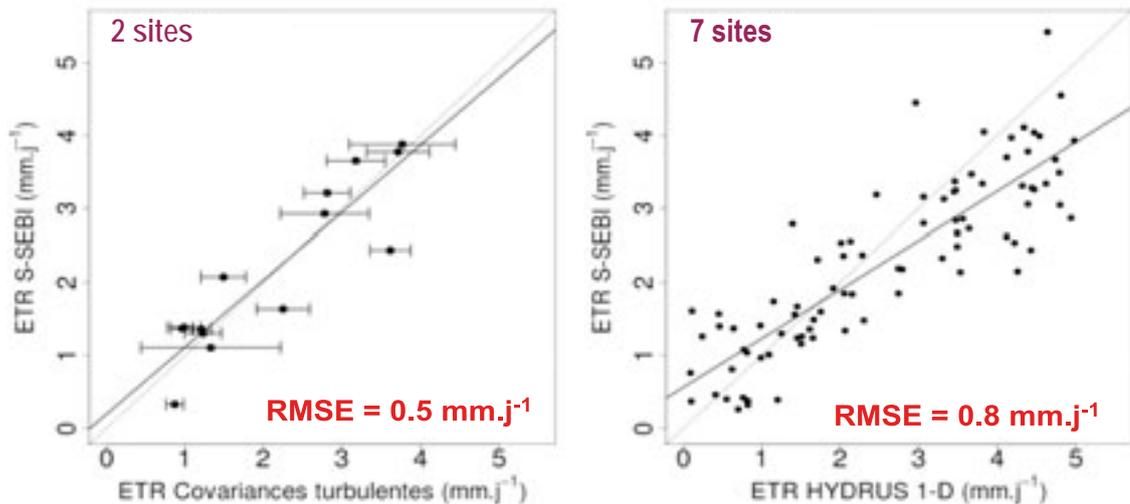


Figure 3. Validation des cartographies de l'évapotranspiration (ETR) par comparaison avec les mesures sur parcelles de vigne. L'évapotranspiration estimée par l'indice S-SEBI est comparée avec la mesure directe par covariances turbulentes (a) et avec son estimation par le modèle de transferts hydriques HYDRUS-1D (b).

Irrigation qualitative de précision de la vigne

Le changement climatique et la crise vitivinicole en cours imposent une adaptation évolutive des techniques culturales pour les vignobles méditerranéens. L'élévation des températures moyennes, accompagnée d'une augmentation significative de l'évapotranspiration, génèrent une sécheresse croissante au cours du cycle, qui est induite par un bilan hydrique fortement et précocement déficitaire (figure 1). Les vignerons sont confrontés de plus en plus au dilemme entre accepter les conséquences des contraintes hydriques sévères, ou irriguer pour contourner les graves problèmes de diminution des rendements et de la qualité des vendanges. Sur la base des connaissances scientifiques développées principalement au cours des 15 dernières années, il est possible aujourd'hui de proposer aux vignerons des modèles d'irrigation raisonnée en fonction du contrôle de

l'état hydrique, élément explicatif fondamental du fonctionnement physiologique de la vigne, vis-à-vis des objectifs de production (rendement, qualité, type de vin...) (Ojeda 2007). Cette approche, utilisée de plus en plus dans les pays où l'irrigation est une technique incontournable pour la viticulture, commence à devenir une demande tangible d'une grande partie de la filière viticole européenne (figure 2). Ce modèle contemple les effets des niveaux de contraintes hydriques sur le rendement et la qualité des raisins et des vins et les seuils optimaux pour la vigne en fonction des stades phénologiques. Sur cette base il est possible de raisonner des stratégies d'irrigation en fonction et des objectifs sur des vignobles commerciaux en s'adaptant aux particularités de chaque terroir car il a un caractère universel.

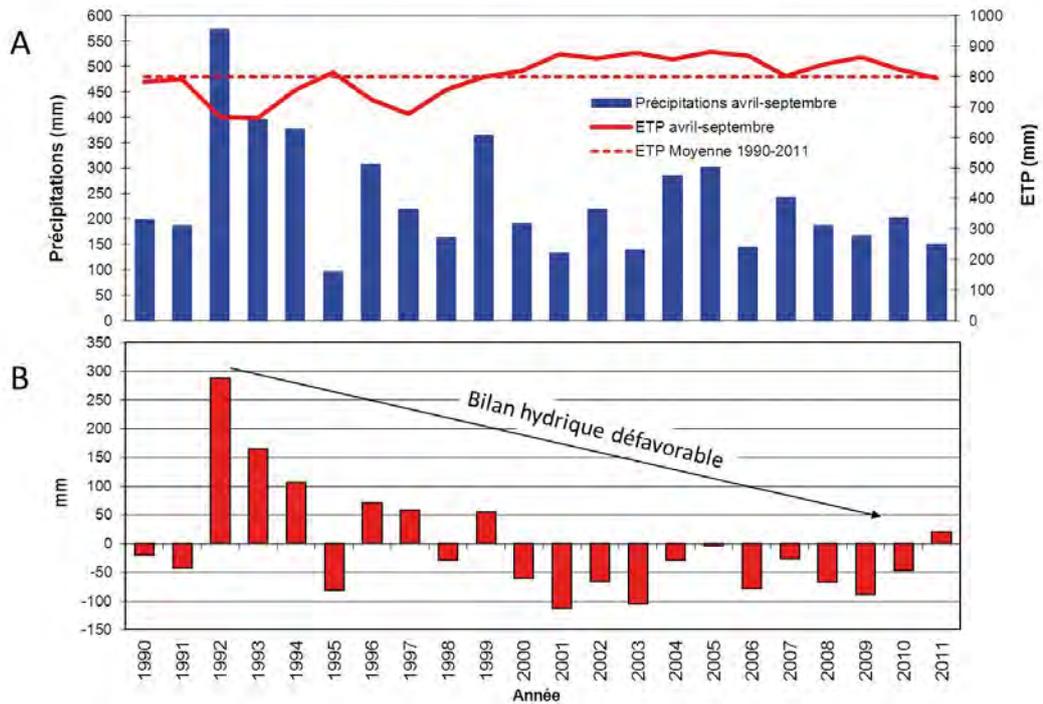


Figure 1 : A : Evolution de l'évapotranspiration potentielle totale (ETP) et des précipitations ; B : Evolution de l'Indice de Sécheresse (IS: Tonietto et Carboneau 2004). Période avril - septembre. Années 1990-2011. Inra, unité expérimentale de Pech Rouge, Gruissan

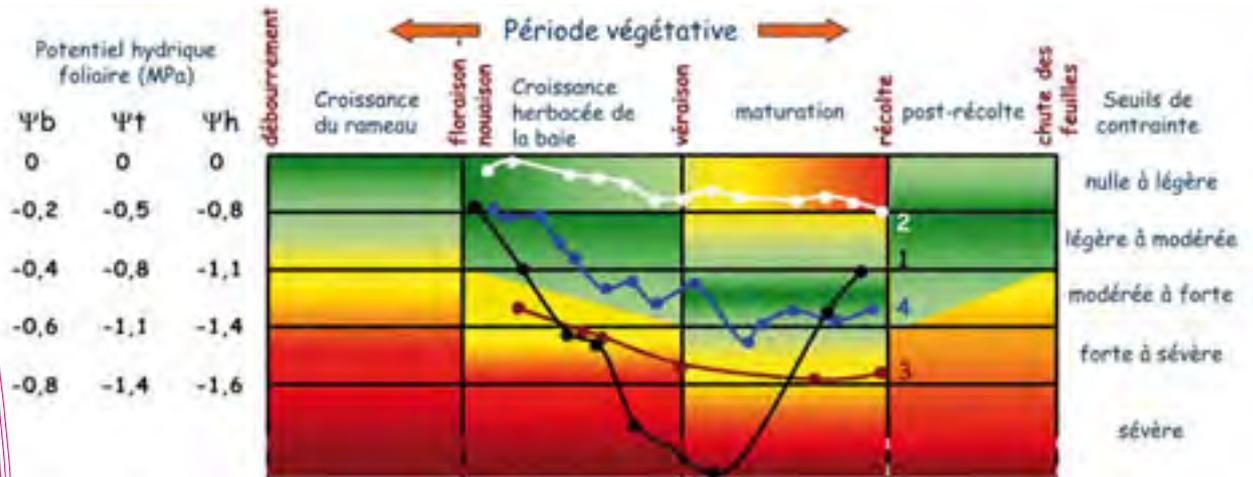


Figure 2: Différents exemples d'évolution de l'état hydrique dans vignobles commerciaux (les nombres des photos de la partie haute de la figure correspondent à ceux des courbes d'évolution de l'état hydrique de la partie basse de la figure).

► **1 Vignoble de Syrah** dans un terroir non irrigué du sud de la France avec une contrainte hydrique très sévère et précoce. On observe le faible développement des rameaux et la sur-exposition des grappes (les potentiels hydriques descendent brusquement après la floraison, en restant dans une zone de sécheresse sévère pendant une grande partie de cycle végétatif. La montée des potentiels vers la date de récolte, dû à l'influence du vent marin, permet la récupération partielle des réserves du vignoble pendant la période post-récolte, et assure sa survie une année à l'autre).

► **2 Vignoble de Sauvignon** de la région d'Osoyoos, à l'Est du Canada, avec un arrosage excessif, principalement après la véraison, favorisant l'excès de vigueur estivale (développement exagéré d'entre-cœurs), la perturbation de la maturation normale du raisin et l'excès de notes herbacées des vins (pendant tout le cycle végétatif les potentiels hydriques montrent une contrainte hydrique nulle à légère).

► **3 Vignoble de Merlot** de la région de Toscane, Italie, soumis à un déficit hydrique excessif par un dysfonctionnement du système d'arrosage. Après la véraison, les plantes présentent des symptômes de jaunissement et début de chute de feuilles de la base des rameaux. (l'état hydrique a toujours évolué dans les zones jaunes et rouges du modèle).

► **4 Parcelle de Cabernet-Sauvignon** de la vallée du Maipo, dans la zone centrale du Chili, avec un très bon équilibre végétatif après la véraison dû à un contrôle parfait de l'état hydrique : on n'observe pas une croissance anormale des entre-cœurs par un arrosage excessif, ni un jaunissement des feuilles par l'excès de sécheresse (les potentiels hydriques se sont toujours maintenus dans les zones vertes du modèle). Les valeurs de contrainte hydrique sont exprimées en megapascals (MPa).

La concordance entre les différents potentiels (Ψ_b : potentiel de base; Ψ_t : potentiel de « tige » au zénith et Ψ_h : potentiel de feuille au zénith) est calculée sur la base des travaux de Carbonneau 2002, Sibille *et al.* 2007.

Le contrôle de la contrainte hydrique est un outil fondamental pour gérer le rendement et la qualité des vins. Pour arroser d'une manière correcte et précise, il est indispensable de caractériser l'état hydrique du vignoble avec une méthodologie de confiance qui reflète, sans aucun doute, la réalité de la culture, et adapter les fréquences et quantités d'eau à apporter en fonction des conditions du millésime et des objectifs du vignoble (Figure 3). La détermination du potentiel hydrique est, pour l'instant, la seule technique qui réunit ces caractéristiques, avec des solides seuils de référence de signification universelle. Cependant, d'autres techniques plus économiques ou faciles de mettre en œuvre peuvent être utiles à condition de raccorder ses

mesures aux valeurs fournies par la chambre à pression. Dans les zones où l'irrigation n'est pas indispensable, en l'occurrence dans une grande partie du vignoble européen, le contrôle de l'état hydrique est réalisé, de façon limitée, à travers le travail du sol et de la conduite du vignoble. Dans ce cas, l'état hydrique du vignoble, par rapport aux réserves en eau utile du sol, est un des facteurs majeurs pour expliquer la notion de variabilité du terroir.

Dans les zones avec faibles précipitations où l'irrigation est une technique incontournable pour la culture de la vigne, ou dans les zones à forte sécheresse comme la majorité des pays viticoles du « nouveau monde », ou dans les zones à forte sécheresse occasionnelle, il est fondamental de connaître avec précision les réponses de la vigne à l'état hydrique pour mieux choisir les stratégies d'irrigation à suivre en fonction des objectifs de production.

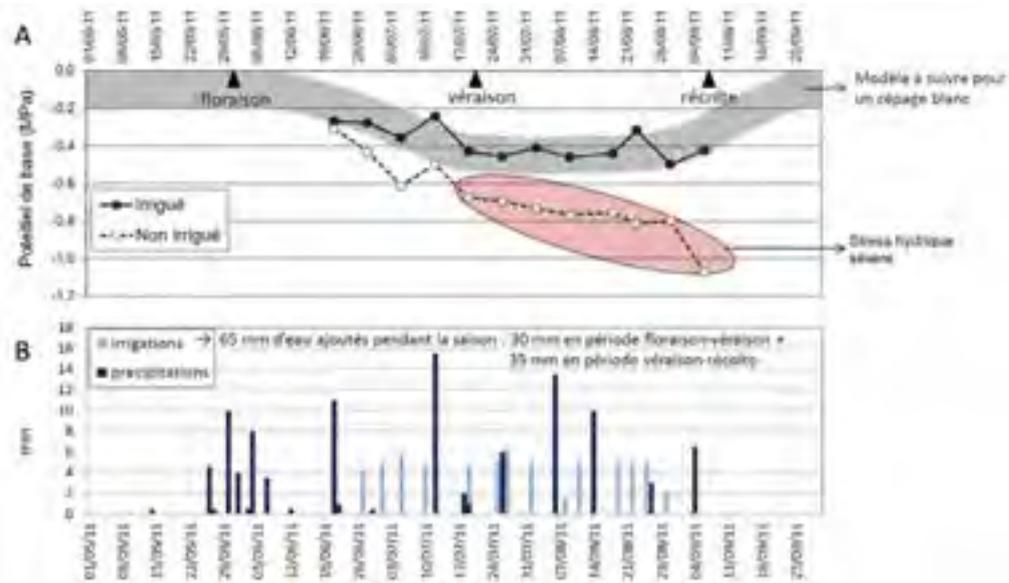


Figure 3 : Evolution des valeurs de potentiel hydrique foliaire de base (A), irrigations appliquées et précipitations (B) d'une parcelle de Vignier située dans le Domaine de Pech Rouge (Gruissan) pendant la saison 2011

Références

- Carbonneau A. 2002. Gestion de l'eau dans le vignoble : théorie et pratique. Le Progrès Agricole et Viticole. 21,455-467.
- Ojeda H. Irrigation qualitative de précision de la vigne. Le Progrès Agricole et Viticole N°7 2007
- Sibille I., Ojeda H., Prieto J., Maldonado S., Lacapere J-N., Carbonneau A. 2007. Relation between the values of three pressure chamber modalities (midday leaf, midday stem and predawn water potential) of 4 grapevine cultivars in drought situation of the southern of France. Applications for the irrigation control. Proceedings of XV International Symposium of GESCO: 685-695, Porec – Croatia, 20-23 /6/07.
- Tonietto, J., Carbonneau, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agricultural and Forest Meteorology 124: 81-97

Contacts

Hernan Ojeda - hernan.ojeda@supagro.inra.fr
UE Pech Rouge - Inra Montpellier

L'étude du génome de la vigne au service des priorités de la filière viticole : l'unité de recherche en génomique végétale du Centre Inra de Versailles-Grignon

Conduite par l'Inra dans le cadre d'une collaboration franco-italienne, le décryptage de la séquence des chromosomes de la vigne, publié en 2007, constitue aujourd'hui un espace de travail collaboratif. Cette plateforme, hébergée par l'unité de recherche en génomique végétale du centre Inra de Versailles-Grignon, a pour objectif de développer des connaissances sur l'adaptation de la vigne à son environnement ainsi que des outils pour répondre efficacement à des enjeux importants pour la filière viticole.

A l'heure actuelle, la viticulture doit faire face à de nombreux changements :

- ▶ le changement climatique qui a le potentiel d'affecter les équilibres cépage-terroir mais peut-être également l'incidence des agents pathogènes actuels du vignoble ;
- ▶ la nécessité de développer des méthodes de productions agricoles et donc viticoles respectueuses de l'environnement et durables ;
- ▶ une consommation qui change de profil en termes de produits et de rythme de consommation.

Le tournant de la génomique qui consiste en l'étude de la fonction de l'ensemble des gènes d'une espèce, offre des approches extrêmement efficaces pour développer des connaissances scientifiques solides sur les mécanismes moléculaires impliqués dans l'adaptation de la vigne à son environnement physique (climat, sol) et biotique (agents pathogènes) mais également dans l'élaboration de la qualité de la vendange.

Contributeur majeur de cette aventure, l'unité de recherche en génomique végétale (URGV) de l'Inra de Versailles-Grignon a notamment coordonné la partie française du projet franco-italien de décryptage du génome de la vigne (*Vitis vinifera*) et développé de nombreuses ressources publiques : cartes génétiques et physiques, banques de grands fragments d'ADN, marqueurs et autres... Ces résultats représentent des outils fondamentaux pour la recherche et le développement de la filière viti-vinicole.

Retour en arrière, le développement de ressources génomiques chez la vigne (*Vitis vinifera*)

Le programme international sur la génomique du raisin (IGGP), lancé en 2001, vise à coordonner les efforts internationaux pour le développement de ressources génomiques du genre *Vitis*. Au cours des quatre dernières années, plus de 380 000 séquences complètes ou partielles de gènes exprimés chez la vigne ont été soumis à des bases de données publiques et des cartes génétiques et physiques du génome de la vigne ont été développées.

En savoir plus, www.vitaceae.org

L'IGGP, basé sur l'engagement de scientifiques bénévoles, a ainsi permis à la communauté de passer d'une situation quasi-nulle en termes de ressources génomiques (2001) à la création d'un consortium franco-italien public (Inra, Génoscope, université de Milan, université d'Udine – Institut de génomique appliquée et université de Padoue), visant à séquencer le génome de la vigne (2005). En août 2007, le projet franco-italien de séquençage aboutissait à la publication de la séquence du génome de *Vitis vinifera*.

The French-Italian Public Consortium for Grapevine Genome Characterization, 2007, The grapevine genome sequence suggests ancestral hexaploidization in major angiosperm phyla, *Nature*, 449:217.



Salle de séquençage, Centre national de Génotypage (Evry, 91)



Chargement d'un séquenceur, Centre national de Génotypage (Evry, 91)

► Comprendre les fonctions et des modalités de régulation des gènes de la vigne

Actuellement, environ 30 000 gènes sont prédits sur la séquence du génome de la vigne. L'URGV s'est attaché à améliorer l'annotation de ces gènes en produisant des banques de gènes transcrits (cDNA) c'est-à-dire activés dans certaines conditions ou certains organes. Ces banques représentent des outils précieux pour déterminer la séquence précise des gènes, étape préliminaire à la compréhension de leur fonction et de leur régulation. De nombreux gènes appartiennent à des familles multi-géniques qui se sont formées par duplication d'un gène en plusieurs copies dans le génome. Chacune des copies a ensuite évolué, conduisant soit à la modification de la fonction du gène, soit à une régulation spécifique dans un organe ou à un stade développement particulier ou sous un stress donné. Il est donc crucial lorsqu'on veut comprendre le rôle d'une famille de gènes dans un caractère physiologique d'en étudier l'ensemble des membres en parallèle. Ainsi, l'ensemble des membres de familles de gènes (environ 500 gènes en tout) intervenant dans l'élaboration de molécules importantes dans l'élaboration de la qualité de la vendange (arômes, polyphénols) ou dans la résistance aux maladies est soigneusement expertisé (correction manuelle des erreurs d'annotation automatique). Ces travaux sont réalisés en collaboration avec des équipes qui réalisent des expériences pour déterminer la fonction biochimique ou moléculaire de ces gènes.

► Vers l'obtention de variétés de vigne résistantes aux maladies

L'URGV utilise la séquence du génome de la vigne pour aider à l'identification de versions efficaces de gènes de résistance aux maladies chez *Muscadinia rotundifolia*. En effet, en réponse aux agents pathogènes, les plantes ont la capacité d'activer des réactions de défense dont l'efficacité dépend de deux facteurs clés : la reconnaissance de l'agresseur par les produits des gènes de résistance et la rapidité de l'activation des défenses par une cascade de signalisation. Pour identifier les versions des gènes de résistance portées par *M. rotundifolia*, une banque de grands fragments d'ADN du cultivar Regale a été créée et ces fragments sont alignés sur la séquence du génome. Les fragments d'ADN de Muscadine se superposant à des gènes de résistance aux maladies chez *V. vinifera* (qui les possède dans des versions non efficaces) sont actuellement en cours de séquençage.

► Étudier la diversité génétique de la vigne

Enfin, l'URGV est impliquée dans l'étude du polymorphisme du génome dans le genre *Vitis* à travers le séquençage à très haut débit d'une trentaine de génotypes différents et la recherche de variations dans ces séquences. Ce projet utilise maintenant les nouvelles générations de méthodes de séquençage et demande de fortes collaborations à la fois avec des plateformes possédant ces outils comme le Centre national de génotypage (CEA) et des plateformes de bio-informatique pour l'analyse des résultats comme l'unité de recherche Génomique-Info (Inra Versailles-Grignon). L'ensemble des résultats sera utilisé pour développer une puce permettant d'analyser le polymorphisme sur 20 000 zones du génome à la fois dans des collections de génotypes de vigne.

Contacts

Anne-Françoise Adam-Blondon - adam@evry.inra.fr
 UMR Génomique végétale
 Inra, CNRS, université Evry-Val d'Essonne
 Inra Versailles-Grignon
www.versailles.inra.fr/urgv

L'unité de recherche Génomique-Info de l'Inra Versailles-Grignon : Une unité de bio-informatique impliquée dans la recherche sur la vigne

L'unité de recherche en Génomique-Info de l'Inra Versailles-Grignon conduit des projets qui émanent du séquençage du génome de la vigne. Elle partage, avec ses partenaires professionnels et scientifiques, son expertise en intégration de données de génétique et génomique, annotation de gènes et d'éléments répétés dans les génomes, analyse de la variabilité génétique et génomiques et conception de bases de données et de programmes informatiques d'analyses.

Comprendre la variabilité génétique naturelle chez la vigne (*Vitis vinifera*) et ses liens avec la variation des caractères est un enjeu majeur des projets de génomique qui ont émergé depuis la publication de la séquence du génome de la vigne (2007).

L'unité de recherche Génomique-Info (URGI) de l'Inra Versailles-Grignon est une unité dédiée à la génomique des plantes – et tout particulièrement la vigne – et de leurs bioagresseurs. Choisie par la communauté scientifique internationale de recherche sur la vigne, l'URGI héberge ainsi la séquence du génome de référence de la lignée PN40024, obtenue à l'Inra de Colmar après une série d'autofécondations du Pinot Noir. L'analyse de cette séquence de très haute qualité a permis de décrypter les quelques 27000 gènes de la vigne.

A partir de cette séquence, de nouveaux projets de recherche ont vu le jour et sont menés grâce au développement de nouvelles technologies haut-débit qui permettent d'explorer en profondeur les données de génétique et de génomique

Dans le cadre de ces projets, face à l'afflux de données qu'il est nécessaire de stocker et d'analyser, l'URGI apporte son expertise dans la conception de bases de données et le développement de programmes séquentiels d'analyses dédiés à l'étude des génomes (annotation des gènes, détection et analyse du polymorphisme moléculaire, recherche de séquences répétées...).

Elle offre à ses partenaires l'appui bioinformatique nécessaire pour gérer l'ensemble de ces données. Cet appui est dispensé sous la forme de nouveaux outils d'analyses et de bases de données permettant l'intégration et l'interopérabilité de leurs données issues de ces analyses, de formations aux outils et une aide personnalisée.

L'URGI propose ainsi un système d'information complet (GnplS) qui intègre des données de génomique et de génétique : données d'expression de gènes, de ressources génétiques et intégration de données de phénotypage physiologique, biochimique et organoleptique dans le but de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans des processus aussi complexe que la résistance aux maladies, la maturation des baies ou l'expression des qualités aromatiques du vin.

L'Unité de recherche Génomique-Info, partenaire de nombreux projets innovants dans le domaine de la vigne, à l'échelle nationale et internationale, en particulier :

► **Muscars**, un projet de génomique comparative entre une espèce proche de la vigne, la muscadine (*Muscadinia rotundifolia*) et *Vitis vinifera*. La muscadine est étudiée car présentant une source de résistance à de nombreux pathogènes. L'objectif de ce projet est d'accélérer l'identification de gènes conférant des résistances aux maladies chez les Vitacées. Ce projet est financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) et par le Comité national des inter-professions des vins d'appellation d'origine (CNIV) ;



Muscadine

► **GrapeReSeq** a pour objectif de développer des outils permettant la caractérisation de la variabilité génétique dans différentes espèces de vignes (genre *Vitis*) sauvages et cultivés. Ce projet européen est financé par l'ANR et par les ministères allemand et espagnol de la recherche.

Contacts

Nathalie Choise - nathalie.choise@versailles.inra.fr
UR Génomique-Info
Inra Versailles-Grignon
<http://urgi.versailles.inra.fr>

Institut national
de la recherche
agronomique
147 rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07
tél : +33(0)1 42 75 90 00
www.inra.fr



Les acteurs de l'inra pour la filière vigne et vin

9 des 14 départements scientifiques
dans 7 centres principaux :

Angers
Bordeaux
Colmar
Dijon
Montpellier
Paris
Versailles

Collaborations

- ▶ Angers
ESA : École supérieure d'agronomie
Institut français de la vigne et du vin
(Unité mixte technologique « Vinitera »)
- ▶ Bordeaux
Universités Bordeaux 1 et Bordeaux 2,
Enitab : École nationale d'ingénieurs des
travaux agricoles de Bordeaux
- ▶ Colmar
Université Louis Pasteur de Strasbourg
- ▶ Dijon
Enesad : Établissement national d'enseigne-
ment supérieur agronomique de Dijon
- ▶ Montpellier
Montpellier SupAgro, Université Montpellier 1
Institut français de la vigne et du vin
(Unité mixte technologique « Qualinnov »,
Unité mixte technologique « Geno Vigne »
Réseau mixte technologique
« Produits fermentés et distillés »)
- ▶ Versailles
CEA - Institut de génomique

Vigne & Vin

