INTRODUCTION

Jean-François ROUSSILLON - Président de la Station Régionale I.T.V. Midi-Pyrénées

L'innovation,..... l'introduction du nouveau.

Une évolution rapide des marchés, une concurrence croissante et inquiétante d'autres pays, font que l'innovation est au coeur de tous les discours. Présentée souvent comme une solution miracle, elle demeure malheureusement bien trop souvent théorique, ou non maîtrisable par nos entreprises.

Si l'innovation n'est pas la recette miracle à tous les problèmes actuels de la filière viticole, certaines évolutions peuvent permettre d'optimiser notre production.

Les solutions existent.

Depuis toujours, la Recherche/Développement française viti-vinicole est productive et leader incontesté en matière d'innovation. Mais, notre profession a-t-elle su réellement en disposer ?

Ces nouveaux outils doivent être mis facilement à la disposition de la viticulture et de l'oenologie. Chacun doit pouvoir se les approprier pour faire évoluer et adopter son potentiel de production.

Et même si souvent l'innovation génère des usages nouveaux, ils ne doivent pas pour autant nous effrayer.

Du vignoble, avec l'émergence de nouvelles variétés, jusqu'au chai avec le développement de nouvelles techniques d'analyses et d'appréciation de la qualité, l'innovation est un levier important de la croissance de nos entreprises.

Nous sommes heureux de relever ce défi aujourd'hui en Midi-Pyrénées, en favorisant la rencontre entre chercheurs et industriels de la filière.

Station Régionale ITV
Midi-Pyrénées

Sommaire

Quel avenir pour nos cépages ?

Adaptation au marché, résistance aux maladies : l'émergence de métis et de nouvelles variétés p. 5
Dr Nathalie Ollat- INRA Bordeaux

Séquençage du génôme de la vigne : quelles perspectives pour notre viticulture p. 8
Dr Hélène Bergès - INRA Toulouse - Centre National de Ressources Génomiques Végétales

L'innovation au vignoble pour mieux raisonner la production

Système d'Information Géographique : application concrète à la protection raisonnée du vignoble p. 13
Marc Raynal - ITV France Aquitaine

Análisis de la Respuesta de la Viña a la Aplicación de la Técnica de «Partial Rootzone Drying» (PRD) p. 18
Dr Joan Girona - IRTA - Barcelone

Etat des lieux de l'utilisation de l'imagerie en Agriculture p. 25
Christophe Guizard - CEMAGREF - Montpellier

Application des nouvelles technologies dans la viticulture espagnole : prévision de récolte et zonage de la conduite du vignoble au niveau parcellaire p. 38
Joan Estève - RAIMAT - Groupe Codorniu - Lleida

Capteurs aux champs : estimation de rendement par le REV (Rendement Estimé par le Volume) p. 40
Eric Serrano - ITV France Midi-Pyrénées

L'innovation au chai

Estimation de la qualité de la vendange au chai : système de la vision p. 48
Sylvie Roussel - ONDALYS

La mesure de l'oxygène dissous au chai : nouveau critère de l'assurance qualité p. 51
Michel Moutounet - ENSA/INRA - Montpellier

Electrochimie analytique et oenologie p. 55
Maurice Comtat - Laboratoire de Génie Chimique - Université Paul Sabatier - Toulouse

Vins à teneur réduite en alcool : aspects réglementaires et présentation des différentes techniques p. 58
Philippe Cottereau - ITV Rhône-Méditérannée

Les limites de l'innovation

Aspect pratique en cave coopérative : exemple de l'IRTF p. 64
Jean-Luc Favarel - Les Vignerons de Rabastens

Quel avenir pour nos cépages ?

Adaptation au marché, résistance aux maladies : l'émergence de métis et de nouvelles variétés

Dr Nathalie Ollat - INRA Bordeaux

Au nom de l'ensemble du groupe Vigne du Département Génétique et Amélioration des Plantes de l'INRA

*** Introduction**

De tout temps, la vigne cultivée a été soumise à amélioration génétique. Il est maintenant bien démontré que la plupart des cépages cultivés aujourd'hui, ceux que nous qualifions de traditionnels, voire de nobles pour certains, sont issus du croisement naturel entre d'autres cépages plus anciens. Ainsi le Cabernet Sauvignon est un fils du Cabernet franc et du Sauvignon blanc. Les cépages sont donc pour la plupart des métis. Au fil des siècles, la main experte de l'Homme a réalisé un patient travail de sélection pour ne retenir que les meilleurs parmi de nombreux descendants.

Au cours des siècles, l'amélioration des connaissances en génétique a permis à l'Homme de mieux diriger les croisements afin de combiner les caractères qui l'intéressaient le plus. Ceci a conduit pour la plupart des plantes et des animaux d'intérêt agronomique à une augmentation de certaines performances (ex : rendement) et parfois à la perte d'autres qualités (ex : rusticité). La vigne a, comme toutes les autres plantes, intéressé les améliorateurs. La voie génétique a été choisie au cours du 19ème siècle pour faire face à l'introduction de nouveaux parasites qui ont fortement et brusquement menacé le vignoble. Les porte-greffe utilisés aujourd'hui en sont le produit. Le grave problème des maladies cryptogamiques comme le mildiou et l'oidium a également motivé la création d'hybrides résistants. Mais le résultat en matière de qualité des raisins n'a pas été satisfaisant, ce qui a conduit à une méfiance certaine vis à vis de ces obtentions. Puis une réglementation très stricte en matière de culture des hybrides est venue limiter fortement la valorisation de la voie génétique pour contrôler les problèmes sanitaires du vignoble. En même temps, le développement de l'utilisation de pesticides a permis le contrôle des maladies les plus graves. En France, cette situation et la suprématie du système de l'Appellation d'Origine Contrôlée, ont conduit à un manque d'intérêt certain des professionnels de la viticulture pour de nouvelles variétés, quelles qu'elles soient, ce qui a eu comme conséquences le développement limité des recherches en matière de génétique de la Vigne.

*** Les principes généraux de l'amélioration génétique et de la sélection**

Pour une grande partie, les caractéristiques d'un être vivant (plante, animal etc...) sont déterminées par ses gènes. Pour un être humain, la couleur des yeux est déterminée génétiquement. Pour une vigne, la couleur des baies, la résistance à l'oïdium ou à la sécheresse sont contrôlées, au moins en partie, génétiquement. Les plantes, comme les animaux, reçoivent leur information génétique pour moitié de leur père et pour moitié de leur mère. Pour que l'amélioration génétique classique soit possible, il faut qu'un caractère existe sous plusieurs formes, c'est à dire qu'il y ait une variabilité dans une population d'individus suffisamment proches les uns des autres pour que des croisements soient possibles entre ces individus. Cette population d'individus constitue ce qu'on appelle les ressources génétiques. Lors du croisement (ou hybridation) entre ces individus, il y a brassage de l'ensemble des gènes et les descendants peuvent avoir hérité ou non de la forme intéressante du caractère. Il est alors nécessaire de trier pour ne retenir que les descendants qui présentent la forme favorable, c'est la sélection. La succession croisement – sélection consti-tue l'immense majorité de l'amélioration génétique qui a été réalisée depuis longtemps d'abord par les agriculteurs, puis par les améliorateurs. Aujourd'hui, les connaissances en génétique permettent, dans certains cas encore limités, d' isoler le gène qui contrôle le caractère et de l'introduire dans le génome de la plante à améliorer. C'est une démarche plus spécifique et plus ciblée.

Pour la vigne, les ressources génétiques sont très nombreuses. Botaniquement, la vigne fait partie du genre Vitis qui comprend les Vitis « vrais » ou Euvitis (*Vitis vinifera, V. Berlandieri, V. riparia* etc...) et les Muscadines. Les Euvitis peuvent se croiser très facilement entre eux. Les porte-greffe résultent de croisements entre Euvitis. Les croisements entre Euvitis et Muscadines sont possibles mais bien plus difficiles. Le niveau de classification inférieur au genre est l'espèce.

Vitis vinifera, Vitis berlandieri, Vitis rupestris sont des espèces différentes. Au sein de ces ressources génétiques Vigne, il existe une très grande variabilité. Par exemple il existe, au sein du genre Vitis, de nombreux gènes de résistance aux maladies.

Il est très important de savoir que dans l'immense majorité des cas le résultat d'un croisement est un hybride. Chez la vigne, un croisement donne toujours naissance à de très nombreux descendants qui sont tous des hybrides. Lorsque les deux parents appartiennent à deux espèces différentes, on obtient des hybrides interspécifiques. Par exemple la plupart des porte-greffe sont des hybrides interspécifiques. Lorsque les deux parents appartiennent à la même espèce, on obtient un hybride intraspécifique. Par exemple, au cours des dernières décennies, l'INRA a créé beaucoup de nouvelles variétés de vigne dénommées « métis ». Ces métis sont issus de croisement entre cépages appartenant tous à l'espèce *Vitis vinifera*, ce sont tous des hybrides intraspécifiques.

Le processus de sélection qui consiste à trier parmi tous les descendants d'un croisement ceux ou celui qui présentent la meilleure combinaison des caractères intéressants (ex variété rouge, à baies petites, port ascendant des rameaux, peu sensible à la pourriture etc...) se fait en plusieurs étapes. Chez la vigne, cette sélection peut durer 25 ans avant qu'une nouvelle variété puisse être inscrite au catalogue et autorisée à la culture. C'est pourquoi il n'est pas possible pour les améliorateurs de proposer des solutions à court-terme face à des changements économiques brusques ou à l'émergence d'une nouvelle maladie. Les améliorateurs doivent anticiper sur l'avenir, ce qui crée parfois un décalage entre des besoins à court-terme des professionnels et les solutions à long terme que peuvent proposer les généticiens. Ainsi les variétés nouvelles de vigne qui commencent à être reconnues aujourd'hui sont issues de croisements réalisés dans les années 60 !!!.

*** Les objectifs de l'Amélioration Génétique de la Vigne**

Depuis 50 ans, le objectifs poursuivis par les améliorateurs pour la vigne ont peu changé : amélioration de la résistance aux maladies et qualité (au sens large). Mais le contexte de la viticulture a fait que pendant cette période, les variétés moins sensibles ou résistantes aux maladies n'intéressaient pas ou peu les professionnels (du moins la majorité d'entre eux). L'accent a donc été mis sur « l'amélioration » de la qualité, c'est à dire la typicité pour des variétés de cuve, la diversification pour les variétés de table et l'adaptation au milieu pour les porte-greffe. Sans parler de la sélection clonale, 13 variétés de cuve dont le Marselan et le Folignan, 10 variétés de table dont Danuta, 2 porte-greffe (Fercal et Gravesac) ont été inscrits au catalogue par l'INRA depuis 1980 et connaissent un certain succès. Comme indiqué précédemment, les croisements pour obtenir ce matériel ont tous été réalisés fin des années 50 ou au début des années 60. Le volet « résistance aux maladies » a été timidement représenté par l'inscription de 4 variétés de raisins de table pour les jardiniers amateurs, mais les recherches sur ce sujet n'ont pas cessé.

Même si aujourd'hui l'acceptation de variétés résistantes n'est pas toujours généralisée et leur culture est toujours aussi réglementée, pour ne pas dire impossible, ces objectifs sont maintenant clairement prioritaires pour les améliorateurs. Les objectifs actuels sont donc de créer des variétés de raisins de cuve, de table et des porte-greffe qui soient durablement résistants aux principaux parasites et dont les caractéristiques qualitatives soient indiscutables. Pour les raisins de cuve et de table, une résistance à l'oïdium et au mildiou sont recherchées. Pour les porte-greffe, outre la résistance au phylloxéra, c'est une résistance à la transmission du virus du court-noué qui est le paramètre prioritaire.

Certains objecteront que le mildiou et l'oïdium sont correctement contrôlés par les traitements chimiques et qu'il serait plus important de s'intéresser aux maladies du bois contre lesquelles il n'existe pas de solution à ce jour. Il est important de rappeler que la protection phytosanitaire du vignoble consomme à elle seule la majeure partie des produits chimiques utilisés en agriculture, que ce soit en France et en Europe.

Malgré le développement de stratégies de traitements raisonnées, les traitements systématiques sont encore la règle majoritaire.

Les conséquences négatives de cette utilisation massive de produits chimiques sont maintenant con-nues du plus grand nombre d'entre nous. Le premier groupe de problèmes est lié à la santé des applicateurs et la dégradation de l'environnement (pollution des nappes, apparition de souches de pathogènes résistantes).

Les aspects économiques interviennent ensuite. D'une part, ces traitements représentent un coût colossal pour le viticulteur. D'autre part, il est sûr que ces aspects prendront de plus en plus d'importance pour l'image et la commercialisation des vins, surtout dans une situation de concurrence sévère.

*** Quelles variétés seront proposées au cours des 20 prochaines années par l'INRA?**

Il est important de dire que toutes les variétés qui seront proposées à l'inscription au cours des 20 prochaines années en France par l'INRA ont été et seront obtenues par des méthodes classiques d'amélioration génétique, c'est à dire une succession d'étapes de croisement et de sélection.

Actuellement, des variétés de raisins de cuve et de table résistantes au mildiou et à l'oïdium sont recherchées. L'objectif est de combiner plusieurs résistances trouvées dans les ressources génétiques Vitis. Les premières phases de sélection au vignoble sont en cours pour des variétés de raisins de cuve et de table combinant des résistances venant des Muscadines et des Euvitis. D'autres croisements sont en cours. Les premières variétés de cette génération seront proposées à l'inscription à partir de 2015. Mais, des croisements basés uniquement sur des résistances trouvées chez les Euvitis avaient été réalisés dans les années 80 et sont en cours d'expérimentation dans plusieurs vignobles en France, malgré les difficultés réglementaires que cela représente.

Côté porte-greffe, un porte-greffe présentant un niveau de résistance élevée à Xiphinema index, le nématode vecteur du virus du court-noué, et ayant présenté un retard à la réinfection par le virus en sol fortement infecté, a été sélectionné à Montpellier par Alain Bouquet. Il est bien sûr très résistant au phylloxéra. La résistance à ces parasites a été introduite à partir des Muscadines. Ce porte-greffe va être expérimenté à l'échelle du vignoble français au cours des 5 prochaines années pour évaluer son adaptation à différents sols et les interactions porte-greffe/ greffon. Si les résultats positifs se confirment il pourrait être inscrit après 2010. Des travaux sont en cours dans le cadre d'un réseau national pour proposer à long terme une gamme complète de porte-greffe résistants à la transmission du court-noué et bien adaptés à différents types de sol (notamment tolérance à la chlorose élevée) et permettant de contrôler vigueur et productivité.

*** Conclusion**

Malgré le peu d'intérêt qu'ont porté les professionnels français aux nouvelles variétés de vigne, la recherche nationale française a maintenu au cours des 50 dernières années, une activité de recherche dans ce domaine. Aujourd'hui d'autres pays en Europe et ailleurs sont bien plus en avance que nous, en ce qui concerne la culture de variétés plus résistantes aux maladies. Il est aujourd'hui capital que les professionnels français soient convaincus de l'intérêt de ce type de matériel végétal et travaillent étroite en collaboration avec les chercheurs pour que ces variétés soient les plus qualitatives possibles, mais aussi pour lever les verrous réglementaires et changer les mentalités.

Nous n'y arriverons bien et vite qu'ensemble.

Séquençage du génôme de la vigne : quelles perspectives pour notre viticulture ?

Dr Hélène Berges - INRA Toulouse - Centre National de Ressources Génomiques Végétales

L'INRA et la génomique au service de la vigne : de nouveaux outils pour l'amélioration des cépages et la gestion des ressources génétiques.

Les équipes du département de Génétique et d'Amélioration des plantes (DGAP) de l'INRA travaillant sur la vigne mènent des recherches dans deux grands domaines :

* l'analyse des ressources génétiques dont l'INRA est dépositaire (porte-greffes, cépages)
* l'analyse des bases génétiques de divers caractères d'intérêt agronomique tels que la résistance aux maladies, la composition de la baie, sa qualité

Dans ces deux domaines, les outils de la génomique permettent des avancées des connaissances et le développement de nouvelles applications, notamment pour l'identification des cépages et la création de nouvelles variétés.

La Génomique et les ressources génétiques

Les ressources génétiques de la vigne dont l'INRA a la charge, représentent un énorme patrimoine scientifique, économique et culturel. Plus de 3000 cépages de vigne (*Vitis vinifera*) ainsi que des espèces apparentées provenant du monde entier, sont conservés sur plusieurs sites :

* au conservatoire du Domaine de Vassal, à Marseillan près de Sète (Centre INRA de Montpellier), sont conservés quelques 7000 types génétiques différents dont environ 5000 de *Vitis vinifera* et diverses espèces du genre *Vitis* ou de genres voisins
* les conservatoires des stations INRA de Bordeaux et de Colmar regroupent plusieurs centaines de clones des principaux cépages de ces deux régions

L'informatique et les techniques de marquage moléculaire (étude directe de l'ADN) sont de puissants outils de gestion de cette vaste biodiversité. Les marqueurs moléculaires permettent d'établir les empreintes génétiques des cépages, véritables «code-barres» qui en facilitent l'identification. Ils permettent de mieux caractériser les liens de parentés entre cépages.

C'est ainsi qu'ont été montrés les liens entre des cépages très différents : Chardonnay, Pinot, Gouais. Ces mêmes techniques ont aussi montré des apparentements plus forts entre cépages d'une même zone géographique (cépages bourguignons, par exemple) qu'entre cépages de zones différentes (Bordelais, Bourgogne, Sud-Ouest). Ces outils sont des aides très précieuses pour la gestion des collections. Des applications pratiques sont déjà développées au service des viticulteurs : identification des cépages à partir de bois, vérification de l'homogénéité de lots de plants de vigne, etc.

La Génomique et l'amélioration de la vigne

Les techniques de marquage moléculaire ont aussi permis des progrès considérables dans l'analyse des bases génétiques de caractères d'intérêt agronomique : la carte génétique de la vigne est commencée. Elle va permettre de mieux comprendre le génome de la vigne et son fonctionnement. La fonction de certains gènes a déjà été identifiée (gènes de résistance à l'oïdium, gènes contrôlant le développement du pépin, gènes contrôlant la teneur en sucre et la taille de la baie), d'autres sont en cours d'identification. Ces connaissances seront très utiles pour la création de nouvelles variétés mais aussi pour mieux comprendre la physiologie du développement et de la maturation de la baie de raisin, et ses interactions avec les systèmes de culture.

L'équipe d'Anne-Françoise Adam-Blondon, chercheur à l'INRA (URGV-Evry), est impliquée dans le projet de séquençage du génome de la vigne. Ce projet est un programme international de recherche « *Mieux comprendre la vigne* », basé sur le séquençage du génome de la vigne et l'exploitation des données correspondantes. Coordonné par l'INRA en lien avec le GENOSCOPE-Centre national de séquençage d'Evry et le CRA (Conseil pour la recherche et l'expérimentation en agriculture) italien, ce programme international a pour objectif le séquençage complet du génome de la vigne afin d'explorer, notamment, les déterminants génétiques de la résistance de la vigne aux maladies et de la tolérance aux facteurs environnementaux (sécheresse, froid,…). Disposer de la séquence complète du génome permettra en outre de mieux comprendre les mécanismes physiologiques et génétiques

impliqués dans la maturation des baies ou l'expression des qualités aromatiques. Ce programme sera ouvert ultérieurement aux autres pays intéressés.

Le Centre National de Ressources Génomiques Végétales

L'exploration des génomes représente un enjeu majeur pour la connaissance appliquée au règne végétal. La génomique est définie comme l'étude exhaustive des gènes :

* localisation au sein du génome (cartes génétiques et physiques)
* séquençage
* identification de leur fonction biologique
* variabilité au sein d'individus d'une même espèce

Elle permet d'identifier des « gènes d'intérêt » des végétaux pouvant intervenir dans la résistance aux pathogènes (virus, bactéries, champignons), la qualité (saveur des fruits et légumes, composition en acides gras ou vitamines, qualité boulangère..), mais également dans les performances agronomiques (précocité, architecture, rendement…). En tenant compte de la diversité existant entre tous les individus d'une même espèce et les formes sauvages apparentées, la génomique permet d'approfondir la connaissance des principales voies métaboliques dans les plantes et de rationaliser la sélection de nouvelles variétés. Les nombreux programmes de génomiques développés depuis quelques années, aussi bien par les entreprises privées que les laboratoires publics, ont entraîné la création et la prolifération de ressources génomiques.

Ces collections sont principalement représentées par des clones bactériens, définis comme une population de bactéries possédant des molécules identiques d'un ADN recombinant provenant d'une espèce végétale. Le fragment d'ADN est inséré dans un vecteur de clonage. La molécule d'ADN recombinant issu de ce clonage ayant été introduite dans une cellule bactérienne hôte où elle se réplique.

Ces collections génomiques sont majoritairement :

* des clones BACs. Les Bacterial artificial chromosome (BAC) sont des vecteurs utilisés pour le clonage de fragments d'ADN (taille d'insertion de 100 à 300 kb, moyenne de 150 kb) dans des cellules d'*Escherichia coli*. Les BACs sont la source de clones d'ADN la plus utilisée pour les programmes de séquençage de génome de taille importante
* des clones d'ESTs (Expressed Sequences tags). Ce sont des courts fragments d'ARN messagers, spécifiques de tissus ou de conditions, qui sont amplifiés et clonés. Ils représentent des marqueurs de séquences exprimées

Ces ressources génomiques végétales constituent un enjeu stratégique majeur pour l'identification de gènes d'intérêt.

Le développement des nombreux projets génomiques chez les végétaux, a généré une quantité considérable de collections génomiques. La majorité de ces collections était conservée au sein des instituts qui les ont construites. France, il n'existait pas de structure gérant ce patrimoine génomique.

C'est dans ce contexte qu'a été décidé la création d'un centre unique en France chargé de la conservation et de la valorisation des ressources génomiques végétales.

Le CNRGV a pour but de réunir l'ensemble des collections de matériels génomiques déjà existants et à venir, des plantes cultivées et les plantes modèles (Vigne, Riz, *Arabidopsis Thaliana*, Blé, Luzerne, Tournesol, Colza, Tomate, Maïs, Melon…), de les entretenir, de les valider, et d'en assurer la distribution auprès de la communauté scientifique régionale, nationale et internationale.

L'objectif du CNRGV est de gérer ces ressources génomiques au profit de l'ensemble de la collectivité, en vue d'une valorisation la plus large possible, en mettant en place les procédures de qualité nécessaires à leur multiplication, leur stockage, leur référencement et leur diffusion.

Les missions principales du CNRGV sont :

* Collecter, valider et entretenir les ressources génomiques végétales
* Diffuser les échantillons biologiques
* Produire et diffuser des outils génomiques à façon l'information biologique relative à ces échantillons.
* Etre à la pointe de technologies liées à l'analyse des génomes
* Proposer des formations en génomique et accueillir des équipes.

Depuis le 1er janvier 2004, le CNRGV (unité de recherche de l'INRA-DGAP) est installé dans des locaux provisoires sur le site d'Auzeville et a débuté son activité.

Le CNRGV est composé d'une équipe hautement qualifiée d'ingénieurs spécialisés dans les domaines de compétences complémentaires (Génomique, BioRobotique et Informatique). Le laboratoire est doté de technologies de pointe en génomique et d'équipements automatisés garantissant un traitement haut débit et standardisé des collections.

Le CNRGV possède déjà une collection de BAC de la vigne : BAC library of Vitis vinifera Cabernet Sauvignon (Adam-Blondon AF et al., (2005) Construction and characterization of BAC libraries from major grapevine cultivars. Theor Appl Genet.110 (8):1363-71) et propose des services associés à cette ressource (criblage de la banque).

L'innovation au vignoble pour mieux raisonner la production

Système d'Information Géographique : application concrète à la protection raisonnée du vignoble

Marc Raynal- Christian Debord - ITV France Aquitaine

Résumé

Depuis plus d'un siècle, les maladies cryptogamiques imposent au viticulteur de protéger son vignoble contre le mildiou, l'oïdium et le black-rot.

Les modèles de comportement des principales maladies permettent une évaluation des risques d'épidémie pour mieux positionner les interventions dans une optique de développement durable.

L'ITV France Aquitaine, utilise depuis 1992 un logiciel de modélisation qui évalue les risques d'épidémie pour mieux positionner les interventions.

La mise en place d'un SIG répond à l'exigence de capitaliser les données de dix années de modélisation pour établir un outil d'aide à la décision dans un environnement distribué. Ainsi, une cartographie de la prévision des risques d'épidémies sur le vignoble, est à la disposition des viticulteurs sur le site de l'interprofession bordelaise (CIVB), depuis 2003. L'expérience cartographique est maintenant étendue aux vignobles Charentais et Midi-pyrénéens via une interface web.

Mots clefs :
modélisation, aide à la décision, maladies de la vigne, protection du vignoble, épidémiologie, géostatistique

Contexte du projet Modélisation des maladies de la vigne

A l'heure actuelle, un certain nombre d'éléments de la biologie des principales maladies cryptogamiques de la vigne sont connus.

L'enjeu de la recherche consiste à prévoir le développement épidémiologique des champignons pour optimiser les interventions phytosanitaires. Le vigneron attend des acteurs de la protection du vignoble une information à la fois claire et pertinente sur l'évolution observée des différentes maladies sur l'ensemble du vignoble ainsi que sur l'évaluation du risque épidémiologique pour les jours à venir afin d'établir une stratégie de traitement.

En partenariat avec le CIVB (Conseil Interprofessionnel des Vins de Bordeaux), ITV France adapte ainsi, depuis 1992 sur le Bordelais, des outils d'aide à la décision de traitements élaborés par la société SESMA (Société d'Etude des Systèmes et de Modélisation Avancée), pour analyser le développement des maladies en cours de campagne, et contrôler en permanence au vignoble la pertinence de ces prévisions.

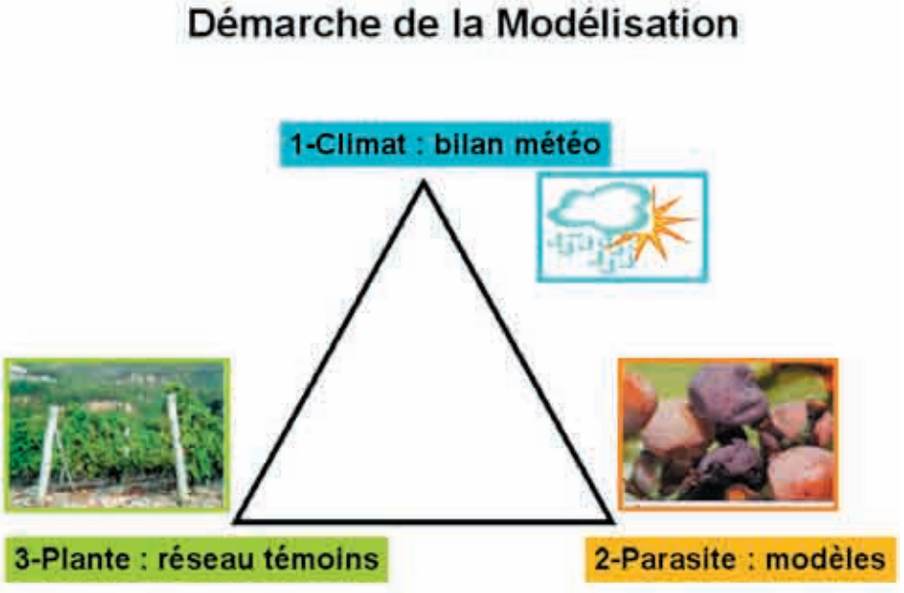


Figure 1 : le système climat-plante-parasite

La modélisation consiste à étudier les interactions du système *climat-plante-parasite* : le climat joue un rôle de stimulus pour le développement du parasite qui s'attaque à une plante plus ou moins réceptive en fonction de son stade de croissance phénologique.

Ces informations synthétisées, sont transmises chaque semaine au CIVB qui les met en ligne en accès gratuit, sur son site professionnel. Des prévisions météo, établies quotidiennement par grand secteur du vignoble pour les cinq jours à venir, sont ainsi mises à disposition des viticulteurs.

Figure 2 : le bulletin d'avertissement sur le site du CIVB

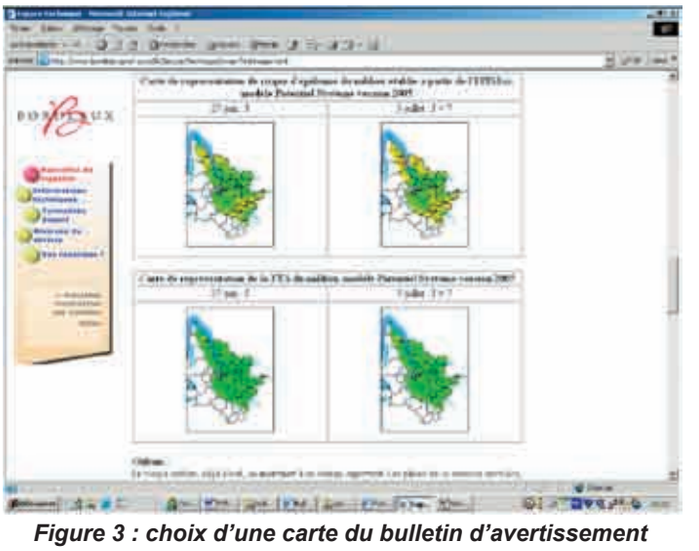


Figure 3 : choix d'une carte du bulletin d'avertissement

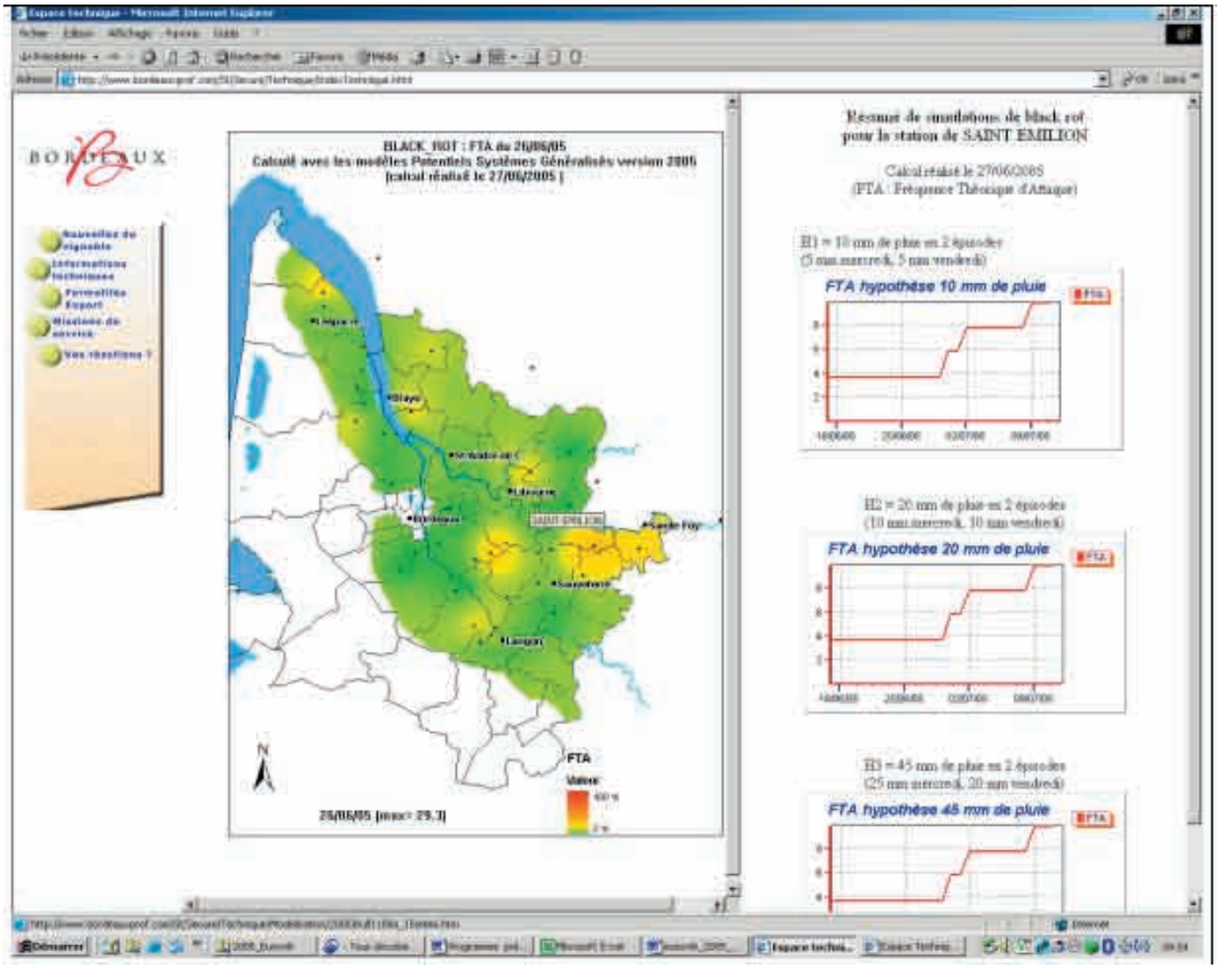


Figure 4 : interrogation de la prévision sur Saint-Emilion pour le black-rot en fonction de 3 scénarios climatiques

Chaque lundi pendant la campagne viticole, une équipe technique intègre ces prévisions aux données enregistrées par les stations météo du réseau DEMETER (DEveloppement METéorologique en Espace Rural). Des calculs prévisionnels du risque de développement des maladies sont alors établis pour les 7 jours à venir.

Chaque modèle fait ainsi l'objet d'une exploitation en continu: en fonction de sa fiabilité, la simulation qu'il délivre s'insère dans ce système d'information global (météorologie, situations parcellaires, dégâts réels, itinéraires techniques) dont l'analyse est déclinée par le technicien pour le viticulteur.

L'ITV France Aquitaine en créant son SIG dispose d'un outil capable à terme, de générer quotidiennement à la fois des cartes du risque de développement des maladies cryptogamiques sur le vignoble aquitain et des cartes d'observation du développement de ces mêmes maladies afin d'estimer le crédit que l'on peut accorder aux modèles.

Ces éléments de validation sont accessibles aux partenaires désireux d'accéder à ces comparatifs.

Méthodologie

Le SIG est d'abord un Système d'Information organisé en réseau qui s'appuie sur des logiciels aux fonctions spécifiques.

Le réseau modélisation : constitué par l'ITV de Bordeaux depuis 1992 en Gironde puis en Aquitaine. Il s'appuie sur :

* les modèles de prévision des risques conçus par la société SESMA
* 50 parcelles témoin réparties sur le vignoble suivies hebdomadairement par des agents ITV ou partenaires
* 38 stations météorologiques dont les relevés horaires alimentent les modèles par une ligne téléphonique

Une base de données : développée sous *Oracle*, elle s'adapte aux protocoles d'observation mis en œuvre, intègre l'observation du développement des maladies ainsi que toutes les données climatiques ou issues des calculs des modèles.

Un moteur cartographique: interface entre la base de données et les modèles, le logiciel *ArcView* sert de moteur à une production de masse de cartes par programmation.

Celles ci sont calculées par interpolations de variables d'indices issues des réseaux de stations ou de parcelles stockées en base de données.

Un module géostatistique : chaque maladie et chaque paramètre ayant un comportement propre, il est apparu indispensable d'initier une étude géostatistique, en relation avec la société Géovariances, pour justifier les résultats obtenus par interpolation.

Une méthodologie a été dégagée pour une production intégrée dans la chaîne de traitement *ArcView* avec le logiciel *Isatis*. Nous utilisons comme méthode d'interpolation, un krigeage simple avec des variogrammes calculés sur les données historiques.

La saison est divisée en 4 phases en fonction du stade de développement de la vigne. A chaque phase et à chaque variable du modèle correspond une méthode d'interpolation spécifique.

Des Interfaces clientes : Les agents d'ITV France disposent d'une série d'outils développés sur le réseau informatique local pour piloter les différents modules :

* une interface de saisie des données terrain dans la base de données
* une interface de gestion d'une vidéothèque montrant le développement dans le temps d'une épidémie
* une interface de visualisation de la base de données
* un tableau de bord intégrant les utilitaires batch d'alimentation de la base et de production cartographique
* un site intranet qui permet de choisir et de visualiser ses cartes

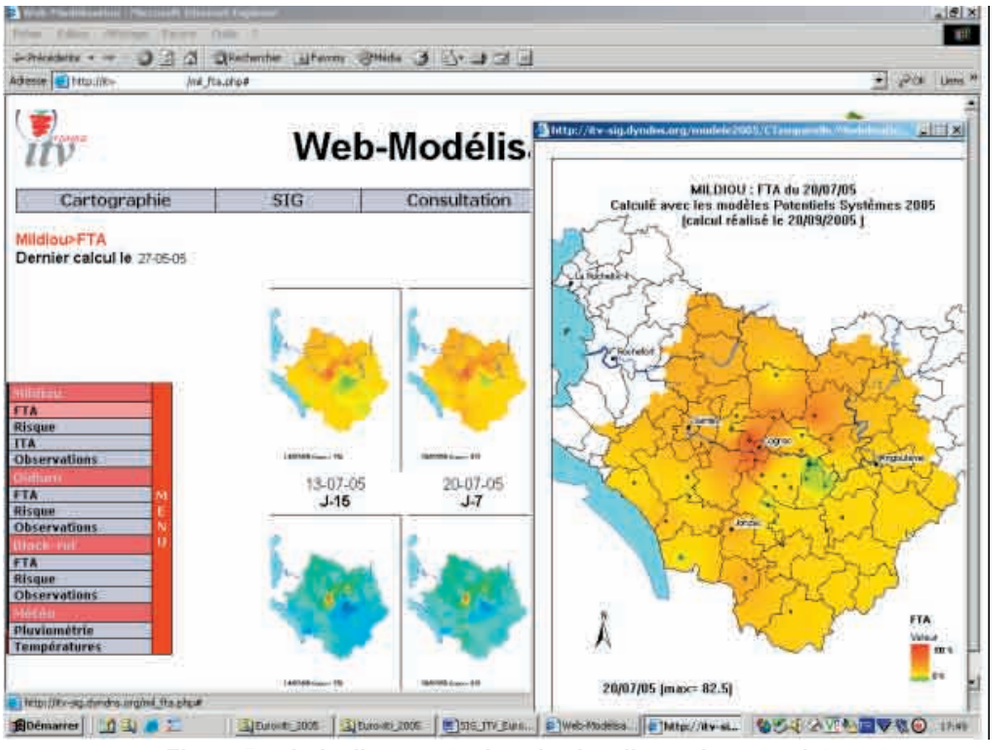


Figure 5 : choix d'une carte dans le visualiseur de cartes intranet

Des Interfaces de saisie nomade : Des GPS différentiels équipés d'outils de saisie vont permettre aux agents de collecte d'entrer directement l'information lors des visites des parcelles témoins. Une spatialisation intra-parcellaire du phénomène deviendrai possible. Ces outils seront opérationnel pour la campagne 2006.

Développements vers un système régional

L'animation d'un réseau de plus en plus vaste nécessite de s'orienter vers des outils internet

Une information distribuée : L'ITV France Aquitaine met à disposition son infrastructure pour d'autres centres partenaires de Charentes via un site Intranet. Basé sur les technologie *ArcIMS* et *Php (pages internet dynamiques)*, il s'intègre dans la gamme logicielle et permet de mutualiser des informations de vignobles voisins. Des actions similaires sont en cours pour les unités de Midi-Pyrénées et Val de Loire.

Deviennent alors possibles :
* intégration des calculs des différents modèles dans une base de données commune
* saisie des observations terrains pour n'importe quel observateur ayant accès à internet
* restitution des informations sous forme de cartes pour n'importe quel partenaire ayant accès à internet

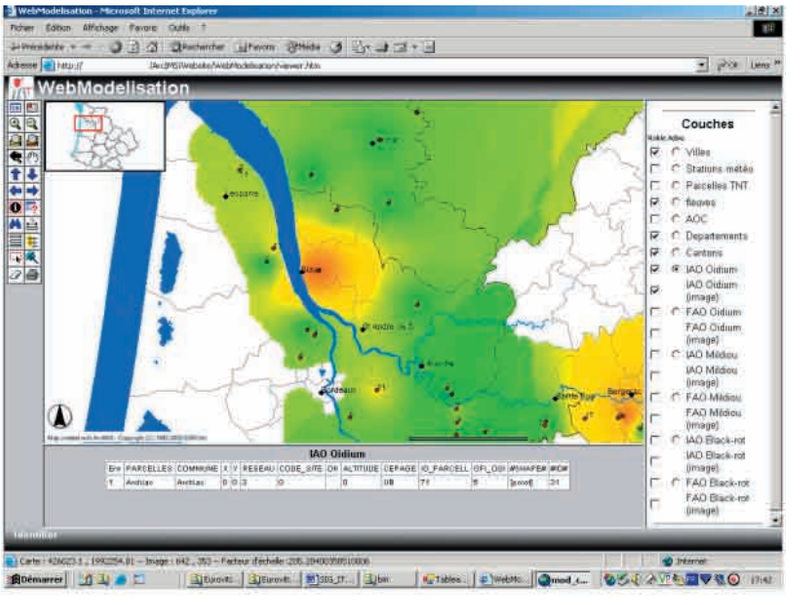


Figure 6 : site IMS dédié aux utilisateurs partenaires

Conclusion

La mise en SIG d'un système d'information complexe apporte une homogénéisation de la gestion des données et de nouvelles perspectives dans les missions de l'ITV :

* recherche : la cartographie devient un nouvel outil de compréhension de l'épidémie
* suivi de l'épidémie : la spatialisation permet une description du phénomène en cours
* communication : synthèse d'information technique diffusée sur Internet

Cette première application SIG au sein de l'ITV laisse entrevoir de nombreuses possibilités d'utilisation de ces outils dans les problématiques de viticulture et plus particulièrement de viticulture de précision.

Remerciements

Le travail a pu être réalisé grâce à l'aide du CIVB (Conseil Interprofessionnel des Vins de Bordeaux) et de l'ONIVINS (Office National Interprofessionnel des VINS).

Merci à tout le personnel ITV France (Bordeaux, Segonzac, Gaillac, Angers), aux partenaires (CA33, CA24, CA 64, CA16, CA17, viticulteurs), et nombreux stagiaires...

Análisis de la Respuesta de la Viña a la Aplicación de la Técnica de «Partial Rootzone Drying» (PRD)

Dr Joan Girona - IRTA - Barcelone

Resumen

La rentabilidad económica del cultivo de la viña para vino tanto depende de la producción total (kg/ha) como de la calidad de la uva producida. En muchas zonas donde se cultiva la viña, el balance hídrico (lluvia – demanda hídrica del cultivo) es altamente deficitario, y tan solo con aportes de agua de riego se pueden obtener producciones económicamente interesantes. No obstante un exceso de agua de riego tiene un impacto negativo sobre la calidad. La técnica del «Partial Rootzone Drying»(PRD) se ha propuesto como una estrategia que permite mantener buenas producciones, reduciendo el vigor excesivo de las cepas, no afectando el tamaño del grano y mejorando, generalmente, la calidad de los vinos resultantes. Aunque existen diferentes ensayos experimentales que prueban la bondad del PRD frente a un riego convencional, no parecen estar lo suficientemente estudiadas las posibles implicaciones que otros motivos (volumen de suelo mojado, mayor eficiencia del sistema de riego al aplicar el agua, mejor ajuste del agua aportada a la demanda real del cultivo, etc.) diferentes a los expresados por los promotores científicos del PRD (señales químicas producidas en las raíces, incremento de las raíces finas, etc.). En este trabajo se analizan diferentes trabajos y se discuten las posibles causas por la que se observa este buen comportamiento del PRD.

Introducción

El cultivo de la viña para la elaboración de vinos presenta una peculiaridad importante referente a los efectos de los aportes de agua de riego, que son necesarios para obtener buenas producciones, aunque a la vez deben ser “moderados” para evitar que el “exceso de agua de riego” pueda afectar negativamente sobre la calidad del vino resultante. Esta afirmación, que especialmente en el manejo de viñas comerciales es una realidad, presenta en un análisis más científico una gran indenifición sobre lo que significa el término moderación.

Existe un buen número de trabajos que ilustran los efectos del déficit hídrico en diferentes fases del ciclo anual en viña, y sus repercusiones en producción, crecimiento vegetativo y composición del mosto (Matthews, et al., 1987 y 1990; Matthews y Anderson, 1988 y 1989; McCarthy, 1997 y 2000) y que Goodwin (2002) sintetiza en un trabajo de revisión. Además de aportar información científica relevante, estos trabajos ponen de manifiesto el posible interés práctico que puede tener el aplicar estreses moderados en ciertos momentos del ciclo anual. Con este objetivo se han propuesto diferentes estrategias de riego, de las cuales, las de Riego Deficitario Controlado (RDC)(Chalmers et al., 1981; Mitchell et al., 1984), Riego Deficitario Sostenido (RDS)(Girona et al., 2002a) y “Partial Rootzone Drying” (PRD)(Loveys et al., 2000) serian las más destacadas. En todas estas estrategias se pretende genéricamente reducir el crecimiento vegetativo, mejorar la producción, mejorar la calidad del mosto obtenido y disminuir el gasto de agua de riego.

En el presente trabajo se hace una revisión de la información disponible sobre PRD, y una análisis de los posibles factores involucrados en las respuestas obtenidas.

Repaso de la información disponible

**** Sistemas de riego***

La figura 1 ilustra diferentes modalidades de sistemas de riego localizado, donde se diferencian los diseños que corresponden a dos estrategias de riego: tradicional y PRD. El riego localizado tradicional (o el más habitualmente utilizado en el riego de la viña) con uno o dos laterales por fila de cepas, presenta un volumen de suelo mojado mucho mayor en el caso de dos laterales, y mantiene abiertos de forma permanente todos los laterales y emisores cuando el sistema está en funcionamiento. El diseño para PRD, con dos laterales por fila de cepas, mantiene un lateral abierto y otro cerrado, y los alterna con una frecuencia quincenal, de tal forma que mantiene una porción de la raíz en suelo húmedo y otra en suelo seco, o en proceso de pérdida de disponibilidades hídricas.

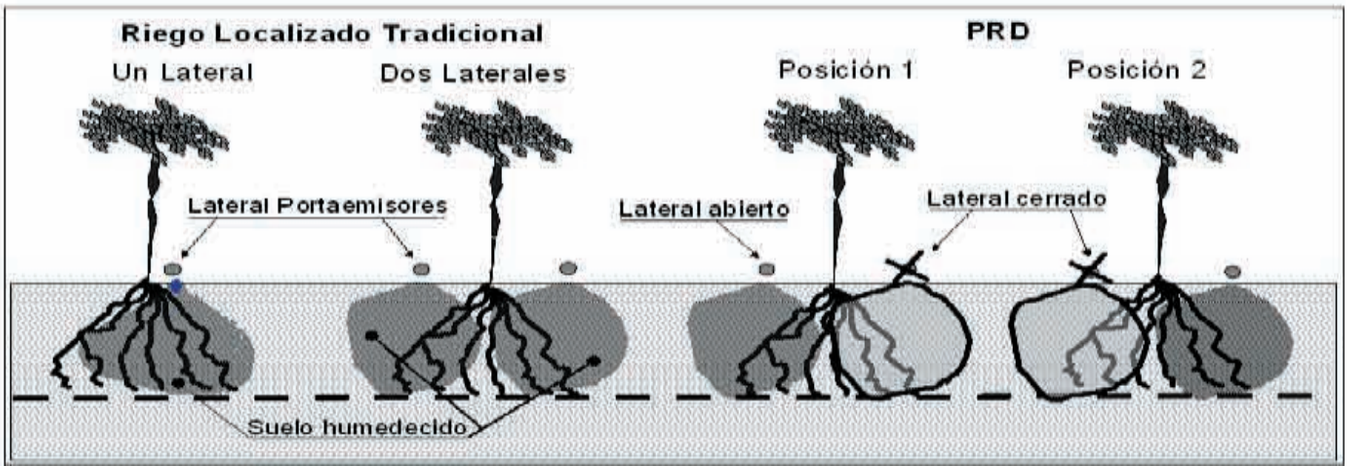


Figura 1 : esquema del diseño de sistema de riego localizado para el riego localizado tradicional y el PRD

*** Primeros trabajos en PRD**

Para conseguir las condiciones alternantes de suelo húmedo y suelo seco que se busca en el PRD, los primeros ensayos se realizaron en maceta, dividiendo la raíz en dos partes y colocando cada parte en una maceta diferente (figura 2A)(Stoll et al., 2000), mientras que cuando se trasladaron los experimentos al campo, éste se acondicionó con unas láminas de plástico que separaban las dos partes de las raíces (figura 2B)(Dry et al., 1996; Stoll et al., 2000).

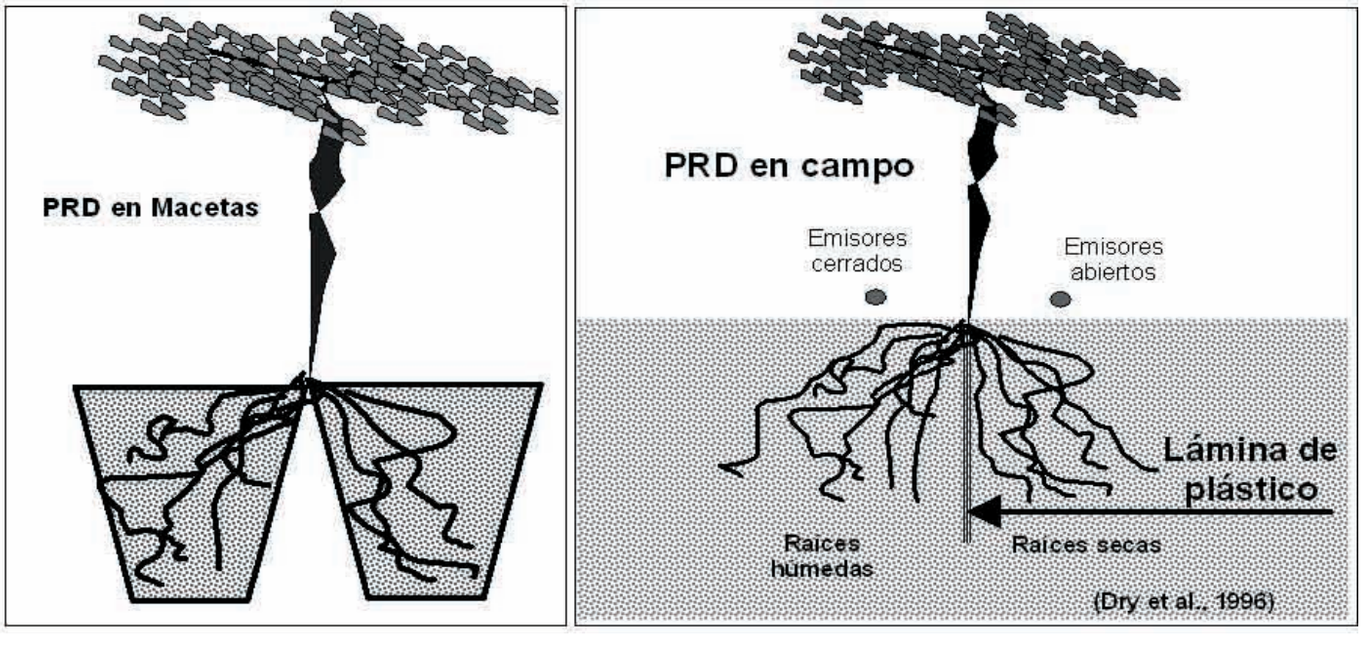


Figura 2 : diseños experimentales (A) PRD en maceta y (B) PRD en campo, según Dry et al., (1996)

Los primeros resultados de estudios fisiológicos para analizar la respuesta de la planta al PRD indican que al cambiar el lado (o maceta) que se riega, existe una rápida bajada del contenido hídrico del suelo en la maceta no regada, que va acompañada de un incremento puntual del ácido abcísico (ABA) y una reducción también puntual de la conductancia estomática (g_s) (Stoll et al., 2000), y se observa también una puntual bajada del crecimiento vegetativo (Dry et al., 2000). Todos estos efectos tienen una vuelta a valores normales pocos días después, no obstante el potencial hídrico de hoja ($?_h$) no se ve alterado por estos cambios (Dry et al., 2000) (tabla 1).

Parámetro	Comportamiento
Contenido hídrico del suelo (CHS)	⇩
Conductancia estomática (g_s)	⇩⇧
Ácido Abcísico (ABA)	⇧⇩
Crecimiento vegetativo (Cr-Veg)	⇩⇧
Potencial hídrico de hoja (Ψ_h)	=

Tabla 1 : comportamiento relativo de los parámetros fisiológicos de la vid a la técnica del PRD y una estragio de riego total, en maceta o condiciones de campo con confinamiento de raíces (Stoll et al., 2000, Dry y al., 2000)

Los símbolos expresados en la tabla indican : Flecha grande = cambio unidireccional importante en el sentido de la flecha, Flechas pequeñas juntas = cambio en un sentido seguido de recuperación en el sentido opuesto y aproximadamente de la misma magnitud ; Igual = No existe cambio apreciable enel parámetro.

Estos resultados concuerdan con los trabajos de Zhang y Davies (1989) en los que se analizaba el papel del ABA como regulador del cierre estomático y del crecimiento vegetativo al producirse el desecamiento de una parte del suelo. Es importante, no obstante indicar que el pico de ABA, así como el resto de cambios indicados con doble flecha en la tabla 1, se produjeron en el plazo de 4 ó 5 días, y que pocos días después habían vuelto a la normalidad en el caso de las macetas. Cuando los ensayos se realizaban en el campo, esta respuesta (mucho más limitada) se producía en el plazo de horas (Stoll et al., 2000).

* **Efectos del PRD sobre la producción**

Al analizar los resultados productivos de diferentes trabajos de PRD en viña (tabla 2) se puede observar como cuando se disminuyen los aportes hídricos al 50% se mantiene la producción, mientras que cuando no se disminuyen las cantidades de agua de riego, se registra un aumento considerable de producción. Todo ello con efectos mínimos o no existentes en la calidad del mosto obtenido.

Parámetro Cultivar →	CS(1)	Sh(1)	CS(2)	Mon(3)
Riego (mm)	⇩ 50%	=	⇩ 50%	=
Producción	=	⇧	=	⇧
Calidad	=	=	=	⇩
Crecimiento vegetativo (Cr-Veg)	⇩		⇩	⇧
Conductancia estomática (g_s)	⇩		⇩	=
Potencial hídrico de hoja (Ψ_h)				

Tabla 2 : comportamiento de la respuesta productiva PRD y riego localizado tradicional

Los símbolos expresados en la tabla indican : Flecha grande = cambio unidireccional importante en el sentido de la flecha, Flechas pequeñas juntas = cambio unidireccional reducido o de magnitud indicada ; Igual = No existe cambio apreciable en el parámetro. CS = Cabernet Sauvignon ; Sh = Shiraz ; Mon = Monastrell ; (1) Dry et al., 2000 ; (2) Dry et al., 1996 ; (3) ; De La Hera et al., 2002.

Estos ensayos se realizaron en campo y pertenecen a diferentes variedades y situaciones geográficas, pero en ninguno de ellos se hace mención explícita a que se produjeran los efectos de incremento de ABA y reducción de g_s y crecimiento vegetativo en la línea de lo observado en los experimentos de macetas. Únicamente en el trabajo de Stoll et al., (2000) se hace referencia a que en condiciones de campo también se podía detectar un cambio en el contenido de ABA, aunque muchísimo menor que el observado en condiciones de maceta.

Hay que considerar que el diseño del PRD introduce algunas variaciones importantes por lo que se refiere al manejo del agua, como son un incremento muy importante del volumen de suelo mojado y una reducción drástica en algunos casos del agua de riego aportada. Bajo estas condiciones cabe preguntarse si en realidad lo que el PRD hace es que debido al mayor volumen de suelo mojado y se mejora la eficiencia de aplicación de agua de riego, lo que coincidiría plenamente con los resultados de la tabla 2.

*** Otros ensayos de PRD en viña**

Los diseños originales para PRD con dos laterales separados de la línea de cepas pueden presentar un problema de manejo y circulación por la parcela, por lo que se han propuesto soluciones de diseño de sistemas de riego alternativas a la original situando los dos laterales juntos, con los emisores situados alternativamente entre cepas (figura 3), con lo que el PRD no se produce entre los lados perpendiculares a la fila de cepas, sino entre los dos lados de la cepa en la misma fila (como ilustra la figura3).

En un ensayo de PRD con la variedad Merlot (Girona et al., 2002b) se observa como con la reducción del riego en un 60% no se ve afectada la producción, incrementando ligeramente la calidad del mosto obtenido, a la vez que se reduce el crecimiento vegetativo (tabla 3). Fisiológicamente se observa una reducción ligera, pero mantenida a lo largo del ciclo anual, del potencial hídrico de hoja, y una casi nula afección sobre la conductancia estomática. Estos mismos resultados podrían esperarse, como mínimo durante el primer año de ensayo, en una estrategia de riego deficitario sostenido (Girona et al., 2002a).

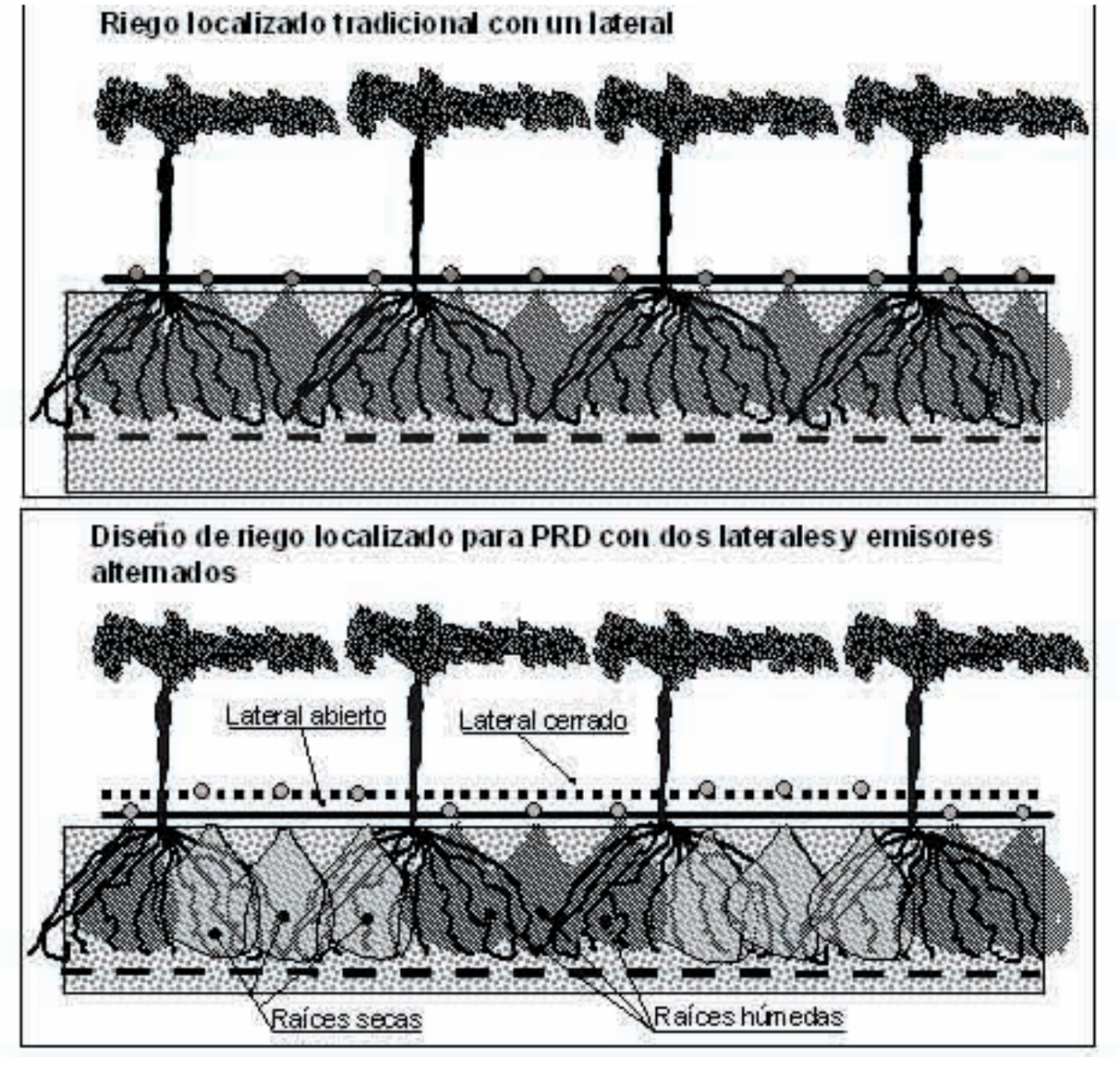


Figura 3 : Sistema de riego localizado A) tradicional con un lateral y B) específico para PRD con dos laterales y emisores alternados entre cepas

Estas sospechas sobre las causas que realmente motivan la respuesta de la viña al PRD se ven acentuadas con los resultados del trabajo de Santos et al. (2002), donde utilizando la variedad "Castelao" obtiene prácticamente los mismos resultados al aplicar PRD y RDS, ambos con una reducción del 50% de los aportes hídricos aplicados al tratamiento de referencia. Obsérvese además como existe un efecto mucho mayor al no aplicar riego (NR) (tabla 3).

Cultivar →	Merlot(1)	Castelao(2)		
Parámetro	PRD	PRD	RDS	NR
Riego (mm)	⇩ 60%	⇩ 50%	⇩ 50%	0
Producción	=	⇩	⇩	⇩
Calidad	⇧	⇧	⇧	=
Crecimiento vegetativo (Cr-Veg)	⇩	⇩	⇩	⇩
Conductancia estomática (g_s)	=			
Potencial hídrico de hoja (Ψ_h)	⇩			

Tabla 3 : comparativa de la respueta productiva PRD y riego localizado tradicional en un ensayo de la variedad Merlot, junto a RDS (Riego Deficitario Sostenido) y No riego en un ensayo de la variedad Castelao.

Los símboles expresados en la tabla indican : Flecha grande = cambio unidireccional importante en el sentido de la flecha, Flechas pequeñas = cambio unidireccional reducido o de magnitud indicada ; Igual = No existe cambio apreciable en el parámetro. (1) Girona et al., 2002b ; (2) Santos et al., 2002.

Discusión

En los trabajos originales de PRD se propone que el beneficio de esta técnica se centra en la inducción del aumento de ABA que ocasiona un cierre estomático (g_s ↓) y limita el crecimiento vegetativo, mientras que el potencial de hoja (?$_h$) no se ve afectado. Estos resultados, que se presentan muy ligeramente en los ensayos productivos realizados por los promotores de esta técnica, no se han observado en otros ensayos de campo en condiciones de suelo menos "controladas" que los utilizados en los ensayos previos.

No obstante, existe una característica común a todos ellos y es que con reducciones importantes de agua de riego se pueden obtener las mismas producciones que al utilizar el riego de referencia, e incluso que se puede aumentar la producción utilizando la misma cantidad de agua de riego. Sí utilizando PRD se observa una mejora substancial en la eficiencia en el uso del agua, pero no se puede relacionar esta mejora con la variación del estado fisiológico de la planta, y especialmente su contenido en ABA, posibles escenarios que nos expliquen estos resultados podrían ser :

* Existe un incremento en la eficiencia de aplicación de agua de riego (debido al mayor volumen de suelo húmedo)
* Existe un incremento de raíces activas que aseguran una mayor actividad radicular que beneficia el estado hídrico de la parte aérea
* Existe una sobre irrigación con referencia a la demanda real de la viña, ya sea por que tienen una copa muy pequeña o porque la carga de frutos es lo suficientemente baja para que no exista una demanda y competencia entre ellos
* Existe poca información que nos permita explicar estos resultados, especialmente las interacciones posibles entre los escenarios anteriores.

En un intento de dar respuesta a este último escenario se analizan todas las situaciones posibles que podrían darse al combinar los factores diferenciales que se han observado entre el PRD y el riego convencional :

* volumen de suelo mojado
* Volumen de agua aplicada en riego
* Alternancia de suelo humedecido por el riego

Este análisis (tabla 4) nos permite detectar que la comparación de PRD ((2) en la tabla 4) con riego tradicional ((7) en la tabla 4), según se realizó en los ensayos iniciales (tanto los de maceta como los de campo), es una comparación múltiple ya que los factores alterados son los tres enumerados anteriormente, y que por ello es realmente difícil poder asignar los posibles beneficios del PRD a una sola causa. También se observa que de todas las combinaciones posibles más del 50% están por explorar.

	Volumen de suelo mojado			
	Normal		Doble	
	PRD	Tradicional	PRD	Tradicional
Riego Total [z]	¿? (1)	REF (2)	✓ (3)	¿? (4)
Riego Deficitario	✓ (5)	¿? (6)	✓ (7)	¿? (8)

Tabla 4 : situaciones posibles en la combinatoria de los factores que intervienen al comparar PRD y riego localizado tradicional

[z] Riego total basado en la aplicación del 100% de la ETc .; El signo✓ identifica los casos estudiados y comparados con el referencia (REF). ¿? Se utiliza para los casos no estudiados. [1], [2], .. El número en cada situación se utiliza en el texto como referencia explícita.

Parecería interesante disponer de información suficiente que nos permitiera comparar resultados de todos los casos presentados en la tabla 4, y a su vez que esta información proviniese de un cultivo en las mismas condiciones (situación geográfica, tipo y profundidad de suelo, variedad, edad de la plantación, densidad de plantación, conducción de la viña, carga de frutos (racimos, uvas), etc.) ya que estas condiciones pueden ser más importantes en el resultado que los casos de análisis de la tabla 4. De entre todas las situaciones posibles hay algunas de ellas que se corresponden con casos más comunes, como son RDS (que se correspondería al caso [6] en la tabla 4) y el riego con microaspersión (que se correspondería al caso [4] en la tabla 4).

Desde una visión práctica se podría concluir que el PRD ha mejorado la eficiencia productiva del agua aportada por riego en la mayoría de casos estudiados aunque las razones diferentes razones por las que el PRD funciona en los diferentes casos (y condiciones de cultivo) analizados no sea coincidente. No obstante, desde una visión más técnico-científica quizás el aporte más importante del PRD es simplemente poner de manifiesto que el manejo adecuado de las disponibilidades hídricas de la viña, así como en otros cultivos, es de vital importancia para orientar la producción. El PRD, como en su día ocurrió con el RDC, son una avanzadilla en el conocimiento de cómo jugar con el estrés hídrico de la planta para obtener unos resultados específicos, aunque existan, especialmente desde un aspecto más agronómico, o vitícola es este caso, grandes lagunas de conocimiento práctico.

Referencias citadas

Chalmers, D.J., Mitchel, P.D. y L. Van Heek, 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(3):307-312.

De La Heras Orts, M.L., Pérez Prieto, L.J., Fernández, J.I., Martínez Cutillas, A., López Roca, J.M., Gómez Plaza, E., 2002. Partial Rootzone Drying (PRD). Una experiencia española para la variedad "Monastrell". Fruticultura Profesional nº 131: 70-76

Dry, P., Loveys, B., Botting, D. y Düring, H., 1996. Effects of partial root-zone drying on grapevine vigour, yield, composition of fruit and use of water. Proceedings of the Ninth Australian Wine Industry Technical Conference. Adelaide: 128-131.

Dry, P., Loveys, P.R., Stoll, M., Steward, D., y McCarthy, M.G., 2000. Partial rootzone drying – an update. The Australian Grapegrower and Winemaker. Annual Technical Issue 2000. 35-39.

Girona, J., Mata, M., Del Campo, J., y Arbonés, A., 2002 (a). Vineyard response to different irrigation stratetegies. First year results. VII Congress of the European Society of Agronomy, Cordoba 2002. 93-94.

Girona, J., Civit, J., Marsal, J., Mata, M., Arbonés, A., Del Campo, J., Esteve, J., y Ferré, J., 2002 (b). Respuesta de la variedad "Merlot" a la técnica del PRD. Resultados del primer año. Informe.

Goodwin, I., 2002. Water management – a tool for vineyard managers. Manuscript.

Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M. y McCarthy, M.G., 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. Acta Hort. 537:187-197.

Matthews, M.A., Anderson, M.M. y Schultz, H.R., 1988. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. Vitis 26:147-160.

Matthews, M.A. y Anderson, M.M., 1988. Fruit ripening in Vitis vinifera L.: Responses to season water deficits. American Journal of Enology and Viticulture 39(4):313-320.

Matthews, M.A. y Anderson, M.M., 1989. Reproductive development in grape (Vitis vinifera L.): Responses to seasonal water deficits. American Journal of Enology and Viticulture 40(1):52-60.

Matthews, M.A., Ishii, R., Anderson, M.M. y O'Mahony, M., 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. Journal of the Science of Food and Agriculture 51:321-335.

McCarthy, M.G., 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (Vitis vinifera L.). Australian Journal of Grape and Wine Research 3:102-108.

McCarthy, M.G., 2000. Development variation in sensitivity of Vitis vinifera L. (Shiraz) berries to soil water deficit. Australian Journal of Grape and Wine Research 6(2):136-140.

Mitchell, P.D., Jerie, P.H. y Chalmers, D.J., 1984. The effects of regulated deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109:604-606.

Santos, T.P., Souza, C.R., Canceiçao, N., Amaral, P., Lopes, C.M., Rodríguez, M.L., Maroco, J.P., Pereira, J.S. y Chaves, M.M.., 2002. Grapevines responses to different irrigation strategies – Growth, yield and fruit quality. Proceedings Symposium Hispano-Luso de Relaciones Hídricas. Pamplona.

Stoll, M., Loveys. B. y Dry, P., 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. Journal of Experimental Botany 51(350):1627-1634.

Zhang, J. y Davies, W.J., 1989. Abcisic acid produced in dehydratating roots may enable to plant to measure the water status of the soil. Plant, Cell and Environment 12:73-81.

Etat des lieux de l'utilisation de l'imagerie en Agriculture

Christophe Guizard - CEMAGREF - Montpellier

*** Résumé**

L'application des techniques de vision artificielle dans l'industrie est aujourd'hui une réalité, son application dans l'agriculture ne fait que démarrer. L'image est une source d'information fabuleuse que l'on n'a pas encore totalement exploitée, l'interprétation des images par un ordinateur laisse présager une multitude d'applications. Elle permet d'aller parfois au-delà de la performance humaine, mais les limites demeurent et on n'est pas encore arrivé à reproduire le schéma cognitif de l'être humain. Après une présentation de la vision humaine et des grands principes de la vision par ordinateur, les exemples d'applications seront présentés pour appréhender les futures applications du nouveau millénaire.

*** Introduction**

La vue est l'un des cinq sens avec l'ouïe, l'odorat, le goût et le toucher. À la place de «vue», il est préférable de parler de «perception visuelle». La perception est «l*a fonction par laquelle un organisme prend connaissance de son environnement au moyen des ses sens (...). Elle est le résultat d'activités très complexes de traitement d'informations, réalisées soit en parallèle, soit en étapes successives*» (1). Ce terme porte en lui toute la complexité de la vision artificielle qui, ne l'oublions pas, est issue du domaine de l'intelligence artificielle.

Nous utilisons tous les jours notre vue pour décider, découvrir et appréhender le monde. Mais notre système de perception n'est pas aussi parfait qu'on le croit, nous sommes tous sujets à des interprétations erronées de notre environnement et ces erreurs sont amplifiées par ce que l'on appelle les « illusions d'optiques ».

Ces illusions dépendent de notre système de perception mais elles illustrent aussi notre culture et l'apprentissage de notre monde environnant. Dans l'illusion Figure 1 il est difficile d'admettre que les lignes sont toutes parallèles, de même dans la figure suivante (Figure 2) il faut une bonne dose d'imagination pour se convaincre que les teintes des carrés A et B sont les mêmes. L'a priori est tellement fort que la vérification ne peut se faire qu'en comparant les teintes à l'aide d'un outil de dessin.

Figure 1 : Les lignes sont parallèles

Cette dernière illusion montre à quel point notre système de perception est piégé par ce qu'il souhaite voir, ou par ce qu'il a appris.

C'est en partie pour supprimer cette subjectivité dans le jugement que les systèmes de vision artificielle trouvent leur justification en industrie.
En effet la subjectivité et la non constance dans notre jugement associé aux grandes cadences de production nécessite l'utilisation de nouvelle technique pour garantir la qualité de la production industrielle.

Figure 2 : Le carré B est de la même « couleur » que le carré A (E.H. Adelson)

L'IMAGE NUMERIQUE

L'image numérique date des années 60 où des scientifiques découvrent les possibilités photoélectriques des CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductors) utilisés dans la fabrication des mémoires d'ordinateurs. Le CCD (Charge Coupled Device ou DTC dispositif à transfert de charges) viendra plus tard, vers la fins des années 1960 lorsque des chercheurs du Laboratoire Bell aux USA montreront la supériorité technologique de ces systèmes devant les CMOS, et ce n'est que depuis peu que le CMOS revient en force en raison de coûts de fabrication extrêmement bas et de constantes améliorations technologiques le rendant suffisamment performant pour un usage grand public et voire industriel.

**** L'image et son interprétation***

La vision numérique exploite le comportement de la matière en présence d'un spectre électromagnétique, le plus fréquemment de l'Ultra Violet à l'Infra-rouge (200nm à 1100nm).

Deux phénomènes sont alors exploités : l'effet photo voltaïque qui va donner naissance au capteur (caméra) et le phénomène d'absorption de la matière qui permettra à la lumière d'être renvoyée vers le capteur et qui servira à caractériser la matière en analysant la partie du spectre qui a été absorbée.
La compréhension de ces éléments fondamentaux permet de comprendre pourquoi la maîtrise de la lumière est si importante lorsqu'on travaille en imagerie numérique.
L'analyse de ce qui est renvoyé par la matière permettra non seulement de trouver, par exemple, la dimension d'un objet mais elle permettra par la même occasion de connaître sa constitution.

Ainsi un objet sera rouge parce que sa matière absorbera toutes les autres « couleurs » sauf le rouge ou un choc sera détecter sur un pomme parce qu'il libèrera plus d'eau et que l'eau absorbe plus une certaine longueur d'onde (Figure 3 de 930nm à 1300nm). On voit donc dans ce dernier exemple qu'on ne détecte pas le choc lui même mais la conséquence du choc.
Ceci explique, en partie, pourquoi

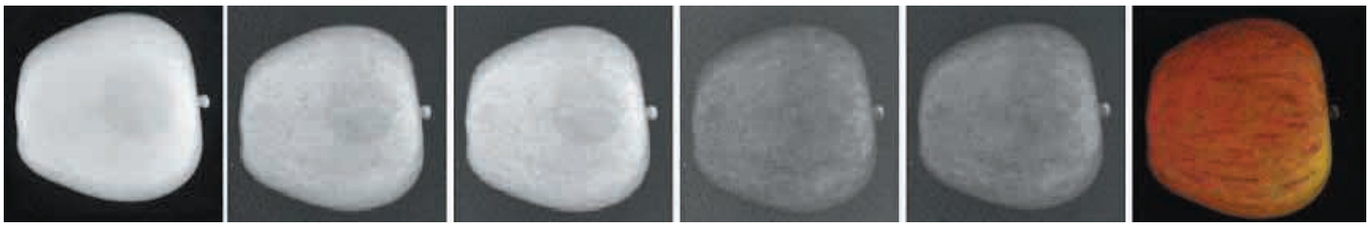


Figure 3 : pomme vue sous différentes longueurs d'onde (de gauche vers la droite 930nm, 1200nm, 1300nm, 1400 nm, 1600 nm, Couleur)

une photo argentique «type 24x36» ne donnera pas le même résultat spectral que la prise de l'information directe via un capteur numérique. Par contre, il n'y aura pas de différence si l'on souhaite mesurer la dimension d'un objet sur l'image.

Pour obtenir une image sur l'ordinateur il faut donc recueillir la lumière renvoyée par l'objet, la transformer en signal électrique puis quantifier ce signal soit forme de données informatiques pour pouvoir être exploité par un ordinateur (Figure 4).
Le capteur sera constitué d'une

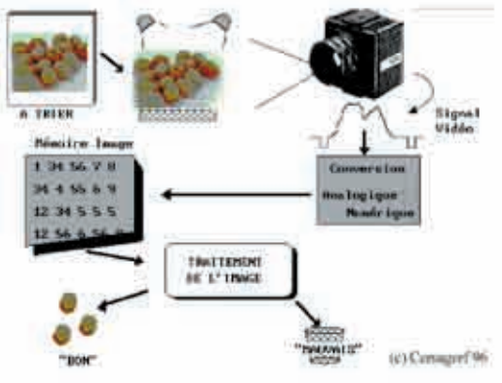


Figure 4 : principe général

matrice de cellules sensibles à la lumière, appelés « pixels « (contraction de picture element) et capables de créer un courant électrique en présence d'un photon. Chaque cellule délivrera séquentiellement un signal électrique proportionnel à l'énergie photonique reçue qui sera numériser et stocker pour un traitement ultérieur. Toute cette séquence se déroule en une fraction de seconde, généralement autour de 20ms par image (ce temps dépend du standard utilisé).

L'image numérique, bi-dimensionnelle, peut être considérée comme un immense tableau de données, de quelques centaines de milliers de cellules à plusieurs millions. Ce tableau sera ensuite analysé, cellule par cellule, par un logiciel afin d'en comprendre son contenu.

On dira qu'on procède : au traitement des images lorsqu'on lui applique des opérateurs pour améliorer ses contrastes ou réduire le bruit de fond, et à l'analyse d'image lorsqu'on cherche à interpréter son contenu.

Les algorithmes de calcul mis

en œuvre sont de complexité très variable, ils vont du simple comptage, en passant par les histogrammes, par les extractions des contours, de formes ou d'objets. Tous ses algorithmes sont de gros consommateurs de ressources systèmes qui dépend fortement de la résolution de l'image.

Ces algorithmes permettent l'extraction d'une quantité impressionnante d'informations, qu'il faudra ensuite trier et sélectionner en fonction de l'objectif recherché. Pour opérer ce traitement, on fait généralement appel à des techniques de traitement de l'information plus ou moins sophistiquées. Cette richesse est aussi une pénalité, car il n'existe malheureusement pas de méthodes génériques permettant de reproduire le schéma cognitif humain, aussi a-t-on tendance à dire qu'en vision artificielle : **chaque cas est un cas particulier**.

*** Les verrous actuels**

Il existe un ensemble de verrous techniques et scientifiques qui touchent essentiellement deux aspects, si l'on exclut les applications elles-mêmes :

* le capteur (camera)
* les algorithmes de calcul

**** Le capteur***

Le capteur ou plus précisément la caméra, est un ensemble électronique d'une certaine complexité. Comme tout capteur, il doit répondre à des caractéristiques précises, en termes de résolution, de sensibilité, de stabilité et de rapport signal sur bruit. Ces caractéristiques sont dictées par le marché, or, le marché industriel ou professionnel est beaucoup trop faible en comparaison à des marchés de masse rendant le premier dépendant du second. Malheureusement il est difficile d'utiliser les produits « grand public » dans des applications professionnelles essentiellement pour des raisons de soutien technique qui est plus proche de la « hot line » des téléphones mobiles que du support au développement des produits industriels…
Les capteurs suivent donc la technologie grand public avec un retard généralement de 1 à 2 ans. Par contre conjointement à l'offre « classique » se développe une offre spécialisée utilisant de nouvelles surfaces sensibles constituées de matériau autre que le silicium (limité au visible et au proche-infrarouge). Ces matériaux comme l'InGaAs, HgCdTe ou InSb permettent de travailler dans des bandes spectrales très intéressantes notamment pour l'agriculture.

**** Les algorithmes***

Une fois l'image acquise, les limites des systèmes proviennent essentiellement des difficultés qu'ont les algorithmes à extraire des informations pertinentes dans des scènes complexes.
De très nombreux algorithmes existent, ils sont classés souvent par famille : on trouve des algorithmes chargés d'améliorer globalement l'image, c'est l'apanage des filtres, des algorithmes chargés de segmenter les images, terme barbare qui signifie trouver des zones intéressantes – l'objet par exemple -, d'autres algorithmes se chargent d'extraire certaines caractéristiques propres à ces zones, comme la description du contour des formes, les textures, etc.

A cet ensemble vient se greffer les algorithmes permettant d'identifier, de classer et de prendre des décisions. Ces algorithmes sont, pour la plupart, issus du domaine du traitement des données (statistiques, intelligence artificielle…).

Comme on le voit, les algorithmes sont la clé de l'interprétation du contenu de l'image, sans cette clé, il n'est pas possible d'appliquer les techniques de vision à un procédé industriel. Malheureusement « cette clé « n'est pas un sésame et un grand nombre de limites sont encore présentes. En général, les systèmes exploitent souvent un compromis entre la qualité de l'image initiale d'une part, la complexité des algorithmes d'autre part, et leur reproductibilité.

Plus l'image sera « parfaite « plus le traitement sera performant, notamment en termes de rapidité, ce qui est primordial lorsqu'on cherche à contrôler des milliers de produits à l'heure. Ce compromis est souvent atteint grâce au savoir-faire et à l'expérience de celui qui met en œuvre l'application. La mise en œuvre consiste, dans la plupart des cas, à trouver le meilleur éclairage possible, la meilleure manière de l'implanter et la meilleure manière de positionner le ou les produits devant le système de prise de vue, etc. Cette optimisation, souvent empirique, permet de simplifier les algorithmes utilisés en mettant en évidence le défaut recherché, la zone à analyser, en évitant les problèmes de non-invariance en rotation ou translation, etc. Ce savoir-faire permet de résoudre certains problèmes complexes à moindre coût, mais leurs résolutions sont presque toujours liées à une expérience individuelle, donc éphémère.

L'IMAGE EN AGRICULTURE

Les conditions « agricoles » ne sont pas des conditions très favorables à l'installation de systèmes de vision numérique, on a tendance à comparer les applications agricoles à des applications qui suivent des contraintes militaires sans en avoir leurs budgets. En effet les systèmes doivent pouvoir fonctionner dans des conditions difficiles et surtout dans un environnement d'éclairement

généralement non maîtrisé.

*** Au Champ**

L'utilisation des systèmes de vision dans les champs se heurte essentiellement à des problèmes d'éclairement de la scène. Pour le moment les systèmes utilisés ont besoin d'un éclairement stable, il est donc nécessaire de trouver des solutions qui permettent de s'affranchir de la lumière du soleil.

Sachant que l'énergie du soleil peut dépasser le kilowatt sur un mètre carré il faut des systèmes puissants.

Généralement il s'agit de lumière impulsionnelle de forte énergie, car l'éclairage en continu demanderait beaucoup trop d'énergie

*** A pied**

Le système le plus simple que l'on peut imaginer est le dessin qu'on a aujourd'hui remplacé par photo, qu'elle soit numérique ou argentique. Ce type d'image est utilisé depuis très longtemps et sert bien souvent à la constitution de banque de référence pour les scientifiques ou les techniciens, on pourra citer ici l'ampélographie.
On se sert de l'image pour établir une référence visuelle et ensuite comparer l'échantillon à la référence.

Ce sont, par exemple, les chartes photographiques établies par les centres techniques. Malheureusement la comparaison étant visuelle elle est entachée d'erreurs et comporte une grande part subjectivité.

Au-delà de l'outil de comparaison visuelle on peut aussi exploiter l'image pour quelle donne des informations plus quantitatives, comme la taille, le nombre ou le poids de certains produits. Ainsi mesurer le diamètre d'un arbre ou d'un cep de vigne est possible par simple photographie.
On peut aussi utiliser « l'image » pour comptabiliser les fruits dans les arbres. Des expérimentations ont été menées dans ce sens par le Cemagref de Montpellier en collaboration avec le CEHM de Marsillargues. Elles sont prometteuses et pourraient intéresser les assurances agricoles comme c'est déjà le cas au Canada avec l'évaluation prévisionnelle des récoltes pour calculer la prime de l'assurance en cas de calamité. Le système actuel (Figure 5) est encore au stade prototype.
En viticulture, le projet REV engagé avec l'ITV Midi-Pyrénées, les Vignerons de Rabastens et la société Ondalys (ex Agromérix), est aussi une illustration intéressante de ce type d'outil. Ici l'objectif et d'apprécier le poids des grappes par une simple photographie.

Figure 5 : système de comptabilisation automatique des pommes sur un arbre

**** Sur l'engin de récolte***

Figure 6 : maquette REV ITV Midi-Pyrénées - Vignerons de Rabastens - Ondalys - Cemagref

Un certains nombre de travaux ont été engagés fin des années 1980, l'idée étant d'installer des systèmes intelligents dans les machines, soit pour contrôler la récolte soit pour optimiser en continu les paramètres de réglages des machines. C'est durant ces années que sont nées les premiers robots agricoles.

**** Magali/Citrus***

Ces travaux financés au travers de projets européens ont permis dans les années 1989 le développement du concept de la robotique agricole. Magali le robot cueilleur de pomme et Citrus son homologue pour les orangeraies devaient permettre la récolte automatique des fruits sur l'arbre. Le robot était constitué d'une palte-forme automotrice qui se guidait seule en suivant le palissage des arbres. Sur cette plate-forme était montée un ou deux bras robotisés couplés à un système de vision couleur. Une des difficultés majeures était d'identifier les fruits sur l'arbre, sachant que ces derniers étaient d'une couleur proche de la couleur de feuilles dont difficile à localiser. Il fallait aussi aller les chercher en évitant le plus possible les branches qui se trouvaient sur le passage du bras. Paradoxalement le système Magali a donné de meilleurs résultats que celui pour les oranges même si la couleur des fruits dans ce dernier cas rendait la détection plus facile. Le problème venait essentiellement du système de récolte qui ne pouvait pas se glisser dans le branchage des orangers, contrairement aux pommiers qui étaient palissés donc de faible épaisseur. Il y a eu d'autres expériences aux USA et au Japon mais aucune n'a vraiment donné de solution commerciale.

**** Machine à vendanger***

Figure 7 : prototype de récolte des oranges (Citrus)

Sur la machine à vendanger, la société New Holland est titulaire d'un brevet (US006009186A 1998) qui consiste à monter un système de vision embarquée au-dessus de la benne pour caractériser la propreté de la vendange. Le système utilise la vision proche-infrarouge car elle permet de bien discriminer les feuilles et autres résidus, en travaillant sur la teneur en eau. Bien que datant des années 1996 ce système ne semble toujours pas être utilisé aujourd'hui. D'autres constructeurs ont fait des expérimentations notamment pour régler le système de battage mais la plupart du temps ces essais ont été sans lendemain.

**** Guidage d'engin***

Le guidage d'engin permet de soulager l'opérateur lors de certains travaux, il peut ainsi être plus attentif au travail de l'outil et laisser le tracteur avancé suivant une trajectoire prédéfinie. Ce problème de guidage automatique intéresse depuis longtemps les militaires qui voient, dans le futur, des engins pouvant se déplacer sur le champ de bataille de manière autonome. Une illustration de cet intérêt est donnée par le concours que la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) aux USA qui organise depuis quelque temps un concours destiné à montrer qu'il est possible à un véhicule d'aller d'un point à un autre de manière complètement autonome dans un environnement réel, semé d'embûches.

Le concours, doté de 2 Millions de dollars a été finalement remporté en 2005 par le prototype de l'université de Standford . Le ministère de l'armée américaine c'est fixé 2015 comme date pour avoir un véhicule militaire autonome.
Sur les tracteurs on utilise aujourd'hui des systèmes de

Figure 8 : vainqueur du Grand Challenge 2005 (photo Université de Standford)

guidage basé sur la navigation satellite ou par faisceau laser. De tels systèmes sont couramment utilisés en grande culture notamment lorsque les espaces sont vastes (GPS) ou lorsqu'on a besoin de très grande précision guidage (plantation assistée par laser) .

**** Guidage de tracteur en utilisant le sillon de labour***

Plus modeste, l'idée de guider le tracteur en suivant le premier sillon de labour, bien qu'ancienne, a trouvé une seconde jeunesse par l'utilisation de la vision, qui présente l'avantage d'être une solution compacte, sans contact et plus flexible que les solutions mécaniques.

Le dispositif est installé à bord d'un tracteur standard. Il est composé d'une caméra embarquée et d'un calculateur qui étudie la différence de contraste entre la terre retournée de celle qui ne l'était pas : la frontière étant alors la ligne à suivre. La trajectoire calculée est ensuite envoyée au système d'asservissement de direction du tracteur. Des expérimentations ont été faites au Cemagref d'Antony fin des années 80. Le guidage sur la ligne de fauche a, quant à lui, été testé le Cemagref de Clermont-ferrand quelques années plus tard. Actuellement il ne semble pas exister de tels systèmes sur le marché.

*** Dans les airs**

L'utilisation de l'imagerie aérienne a, pendant longtemps, été réservée aux gouvernements, aux militaires. Ces images étaient le plus souvent interprétées par un opérateur dont la mission était d'identifier visuellement les différents éléments constituants l'images : les routes, les rivières, les habitations, les champs, la forêt, les cultures… L'utilisation se bornait généralement à suivre l'évolution des paysages et de quantifier les surfaces. Aujourd'hui les images sont accessibles à tous

pour des coûts très faibles.

On peut aujourd'hui se procurer la photographie aérienne (résolution 50cm) d'un ½ département français pour moins de 70€, logiciel de visualisation inclus. Seul soucis, les images ne sont pas toujours d'une première fraîcheur.

On trouve même sur internet l'intégralité du globe terrestre vu de l'espace (http://maps.google.com/ ou http://worldwind.arc.nasa.gov/) avec de tels niveaux de détails que certains gouvernement se sont inquiétés de leurs possibles utilisations terroristes.

Ces images trouvent aujourd'hui une application lorsqu'on cherche à optimiser les pratiques agricoles en tenant compte de la variabilité des sols au sein d'une parcelle, tout en couplant les intérêts économiques et environnementaux (agriculture de précision).

Ainsi, il est possible de cartographier (4) des parcelles en tenant compte de la teneur en chlorophylle des végétaux, du stress hydrique des plantes, de l'humidité du sol…

**** Vue d'un satellite***

Les images en provenance des satellites permettent d'établir des cartes de rendement, d'effectuer des inventaires agricoles, de cartographier les calamités (incendie de forêt et inondation), de surveiller l'état phytosanitaire des cultures et de leurs stress hydriques sur des grandes surfaces notamment d'un département, d'une région, ou d'un pays.

L'image satellite est par définition une image prise à très haute altitude, sa précision est « assez faible » et limite son usage à des grandes surfaces : par exemple les images SPOT couvrent des surfaces allant de 3600 km2 à 4800 km2 avec une résolution ne dépassant pas 2.5m au mieux, pour un prix d'environ 8000€ par scène récente.

Le matériel de prise de vue est spécifique et on exploite généralement trois bandes spectrales précises : la bande « rouge », la bande « verte » et la bande proche-infrarouge, permettant ainsi de travailler directement sur un indice calculé à partir des ses plages spectrales : le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

La vision par satellite demande aussi que le satellite passe au-dessus de la zone à photographier à un moment où cela est utile en fonction des objectifs visés.

Il est évident qu'il n'est pas très intéressant d'avoir une image prise au mois de décembre pour analyser des parcelles de blé au mois de juillet !

Et comme toute vue aérienne, il faut aussi que le ciel soit dégagé car il n'est pas possible de « voir » au travers des nuages, cela est réservé au système radar.

L'image, ici, n'est pas une fin en soit. Elle est généralement associée à un outil de gestion de type SIG (Système de Gestion Géographique) qui sert de support à sa gestion en rajoutant d'autres informations (cadastre, nature du sol…).

**** Vue d'un avion***

De même nature que l'image satellite : l'imagerie aérienne est, elle, beaucoup plus précise : les 50cm voire moins sont souvent accessible rendant l'outil potentiellement plus utile à l'agriculteur. Pour l'instant, les applications les plus utilisées sont des applications de contrôle. On peut ainsi calculer avec un certain réalisme les surfaces au sol , vérifier que le champ est en jachère ou que l'arrachage à bien été effectué comme prévu et cela sans qu'on ait à se déplacer sur la parcelle.

Les producteurs de céréales connaissent très bien ces images car leurs déclarations à l'ONIC se font aujourd'hui par ce biais. Le dispositif s'appuie sur des photos aériennes au 1:10 000 (1 cm sur la photo = 100 mètres sur le terrain) et bientôt au 1 :5000.

Le producteur de céréale dessine lui-même le contour de sa parcelle sur la photo aérienne au stylo rouge, ce qui est sensé simplifier sa déclaration car « il voit ce qu'il déclare ».

Toutefois l'utilisation de l'avion a des contraintes notamment en raison de la réglementation : altitude, plan de vol sont imposés rendant l'action de prise de vue parfois compliquée et dans certains inutilisable car trop tardive.

Ces problèmes laissent le champ libre à des outils beaucoup plus

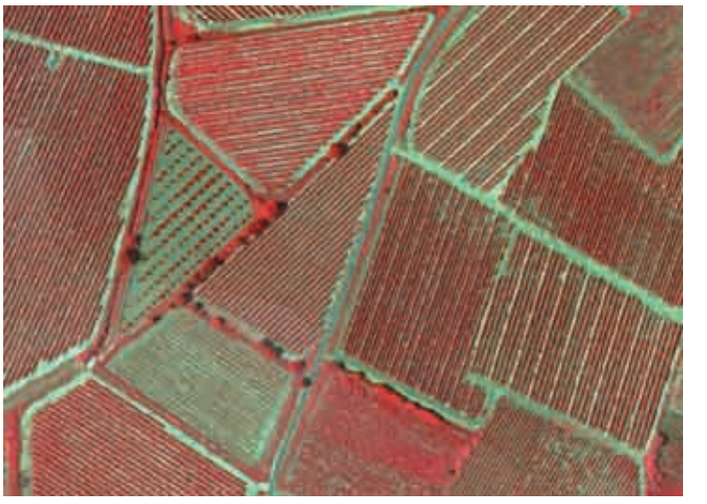


Figure 9 : exemple de photo aérienne en Couleur + Proche Infrarouge

légers et réactifs que sont les drones.
Les drones sont des « objets volants » sans pilotes volant généralement à basse altitude et dont la réglementation est souvent celle qui régit l'aéromodélisme. Les drones ne sont pas une idée récente et on trouve dans le passé de nombreux exemples, mais c'est les nouveautés technologiques qui permettent aujourd'hui un usage plus accessible aux agriculteurs.

Ces systèmes peuvent être des avions téléguidés ou des ballons

Figure 10 : USA, 1938 Righter Family Archives

stationnaires. Ils sont équipés de dispositif photographique radiocommandé. L'opérateur au sol est doté d'un retour vidéo pour vérifier qu''il prend bien la zone concernée. Une fois la campagne de photos effectuées il y a un long travail de correction géométrique et d'assemblage des photos. En effet l'avion n'est jamais vraiment parallèle au sol, il faut donc compenser les erreurs dues au roulis et au tangage.
Les performances des drones permettent une utilisation au

Figure 11 : exemple de drone (photo avion jaune)

niveau d'une parcelle pour un coût relativement modeste. Pour l'instant, il n'y a pas de solutions commerciales qui donnent une interprétation photographique de l'image, mais ce n'est qu'une question de temps. Ainsi, on devrait pouvoir bientôt trouver des SIG dotés de capacités d'interprétation du stress hydrique, des surfaces folières, etc. à partir des seules vues aériennes.

*** A la cave et dans l'industrie**

A la cave ou en industrie, les systèmes sont plus faciles à maîtriser en raison des conditions d'installation plus faciles. On peut ainsi se protéger de la lumière ambiante, des variations de températures et installer les systèmes dans des conditions optimales. Ce n'est pas sans raison que ces systèmes sont de plus en plus courant dans l'industrie. Les premiers systèmes installés en industrie ont souvent trouvé leurs justifications dans des contrôles à grandes vitesses sur des petits produits, c'est par exemple le cas des grains de cafés ou des lentilles dont on peut facilement imaginer les difficultés en tri manuel.

**** Au laboratoire qualité***

Caractérisation des cerises

Le dispositif réalisé au début des années 2000 pour le compte du Domaine expérimental de La Tapy (Carpentras 83), permet d'assister les techniciens de la station dans le suivi des expérimentations menées sur les variétés de cerises. Le système est relativement simple est consiste a exploité une photo d'un échantillon de cerises placé sous une caméra (). Le logiciel donne le diamètre équivalent et la couleur dominante en utilisant la charte colorimétrique établit par le CTIFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes). Ce dispositif est facilement extrapolable à l'analyse des baies de raisins.

Caractérisation des grappes de raisin de table

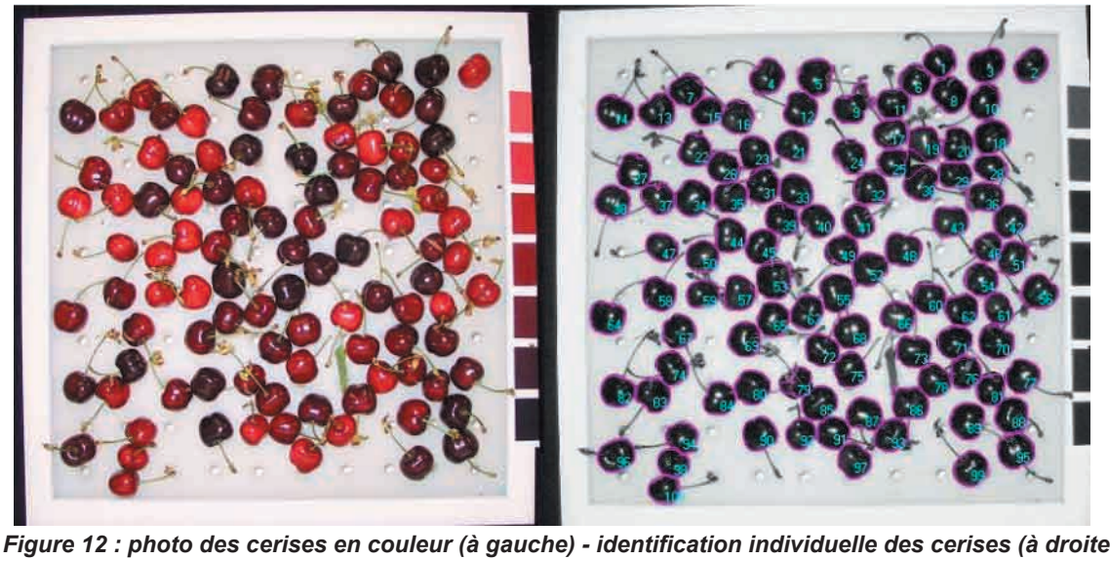


Figure 12 : photo des cerises en couleur (à gauche) - identification individuelle des cerises (à droite

Le dispositif réalisé (Figure 13) pour le compte du Domaine expérimental de La Tapy (Carpentras 83), permet d'assister les techniciens de la station dans le suivi des expérimentations menées sur les variétés ou sur la conduite de la vigne. Le dispositif est constitué d'un système permettant de faire une photo de grappe de raisin placée dans une enceinte à lumière constante. Le système donne ensuite les dimensions de la grappe, sa surface projetée, la couleur moyenne et l'écart type de couleur, et la taille des baies significatives.

Caractérisation de la vendange

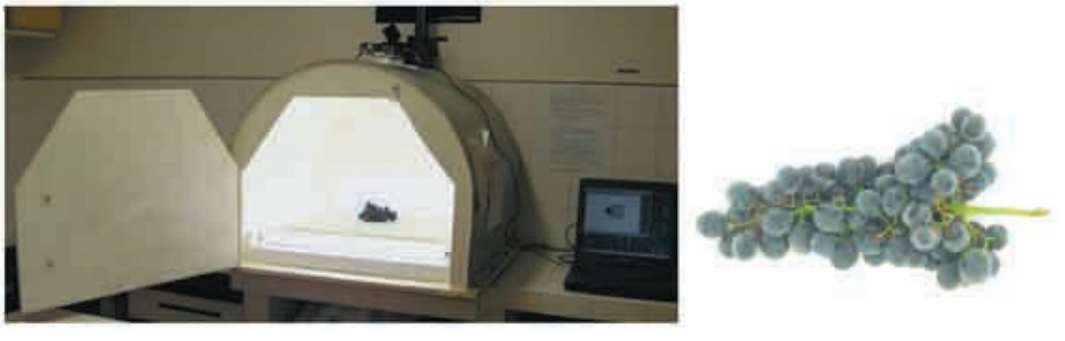


Figure 13 : système d'aide à la caractérisation des grappes de raisins de table (Dne exp. La Tapy (83)

L'idée ici est de pouvoir caractériser le contenu d'une benne à vendange. Le dispositif de prise est situé : soit au niveau du poste avancé soit au dessus du conquêt. La photo prise permet de faire une analyse de la vendange. Le système recherche dans un premier temps tout ce qui n'est pas du raisin comme : les feuilles, les sarments, les rafles et autres objets qui ne devraient pas se retrouver dans la benne. Une fois les objets éliminés de l'image on recherche les différentes couleurs de baies : vertes, roses et noires… Une fois les pourcentages donnés le système aide le gestionnaire de la vendange dans l'orientation du lot, l'idée étant de vinifier de manière optimale des lots homogènes.

Contrôle du dégarni

Figure 14 : prototype Qualiris de SODIMEL installé à la cave des Vignerons de Chusclan

Le contrôle du dégarni est réalisé après la mise en place du bouchon. Sur certaines fabrications de bouteille le fabricant garantie le volume mais pas sa forme, ce qui se traduit par des hauteurs de liquide variable entraînant une certaine confusion chez le consommateur qui voit en face de lui des bouteilles ayant des hauteurs de liquide différentes. Il s'agit donc de faire de lots homogènes de bouteille aillant toutes la même hauteur de liquide par rapport au bouchon.
Les systèmes utilisés travaillent par « ombroscopie », c'est à dire analyse l'ombre de la scène. Pour ce faire on place une surface éclairée homogène entre la bouteille et la caméra, l'image ainsi obtenue permet une analyse simple de la hauteur du liquide. Ces systèmes sont adaptées à des cadences industrielles de production industrielle.

Contrôle des bouchons

La qualité des bouchons de liège a, toujours, été un souci pour les caves. L'inspection visuelle est de plus en plus remplacée par de l'inspection automatique en raison des volumes croissant de production et du manque de régularité du tri visuel. Ces systèmes analyse toute la surface du bouchon et cherche à identifier la présence de défaut qui pourraient altérer le vin. Le bouchon est généralement analyser lors de sa rotation devant une caméra couleur, la classification s'opérant ensuite en suivant un grille de qualité péralablement apprise par le système (Figure 15).

Suivi des marquages sur les bouteilles

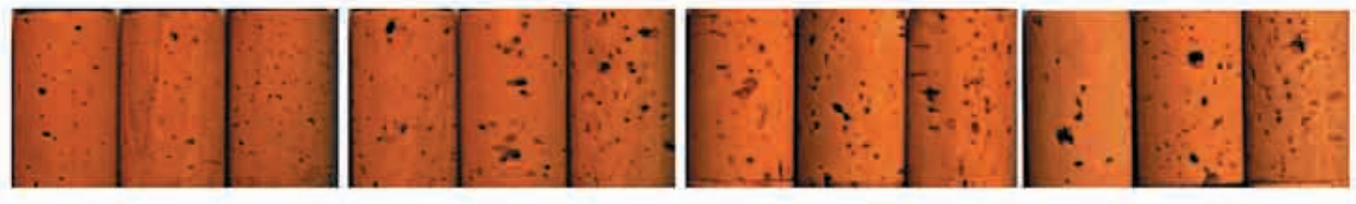


Figure 15 : exemple de gradation de qualité
(source Entre de Visio per Computador - Barcelone - Petia Radeva)

Le marquage des bouteilles est une obligation réglementaire, il est donc judicieux de bien vérifier que le n° du lot est bien porté sur la bouteille. Des systèmes existent pour réaliser cette lecture dans le flux de production, couplés à un système de reconnaissance de caractères ils sont capables d'assurer une traçabilité totale lors du marquage.

Dans le même genre on peut aussi équiper les lignes d'embouteillage de système permettant de vérifier que l 'étiquette est bien positionnée sur la bouteille. Ces systèmes réalisent une analyse complète de la position de l'étiquette et des traces de colle qui pourrait rester sur la bouteille. Ces systèmes sont souvent utilisés dans les stations de conditionnement travaillant pour l'export où les contraintes commerciales peuvent être extrêmement sévères.

* *A la coopérative ou dans l'usine*

Tri fruits et légumes

Le tri des fruits et légumes est souvent complété par un système de caméra qui permet de classer les produits en fonctions de critères qualitatifs. Le secteur de la pomme est depuis longtemps utilisateur de ce type de système, combinant dimension et couleur des produits. Les pommes sont analysées au cours de leur déplacement sur des convoyeurs disposant de rouleaux coniques imprimant un mouvement de rotation à la pomme au cours de son déplacement. Ce type de système est aussi utilisé pour les Kiwi et les pêches. Le tri automatique des raisins est beaucoup plus rare, on peut toutefois citer la machine « UVASCAN » de la société MAF (Montauban). Ce système analyse les grappes, préalablement suspendues par des opératrices, à l'aide d'un dispositif combinant une caméra travaillant dans le visible et une caméra travaillant dans le proche-infrarouge (Figure 16). Ce système permet, d'après la documentation commerciale de trier les grappes en fonction de leur poids, de leur couleur et du diamètre moyen des grains prédominants.

Le tri des petits produits

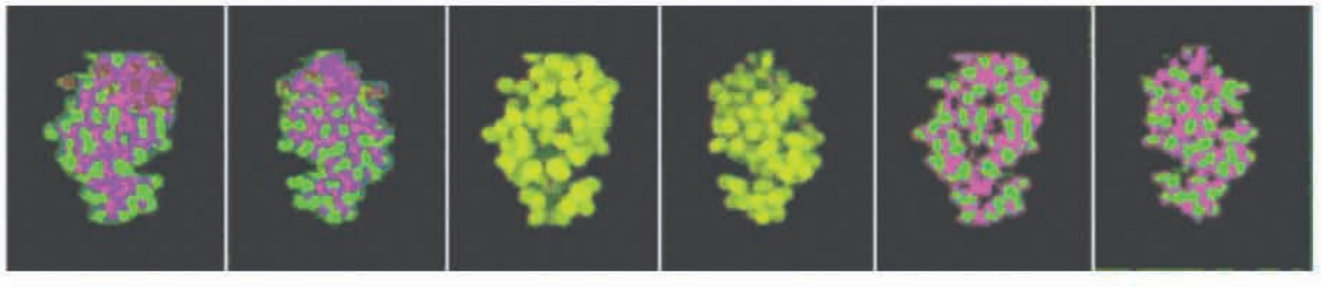


Figure 16 : Images en fausses couleur (source Documentation commerciale MAF)

Les petits produits, disons de dimension inférieure à 2 à 3 cm de côté et de faible masse, ont fait l'objet d'attention toute particulière dans le milieu des années 1980 car les opérateurs attachés aux opérations de contrôle visuel ne pouvaient plus suivre les volumes de production. Cette nécessité a conduit les fabricants à développer des concepts de machines qui permettent de trier (ou de contrôler) des produits sur l'intégralité de leur surface lors de leur chute. Le principe est assez simple, il s'agit d'analyser les produits en vol par des caméras situées de part et d'autre de la trajectoire des produits. Le produit non conforme est ensuite dévié de sa trajectoire par un moyen mécanique ou plus généralement par un jet d'air. Ces systèmes sont très bien adaptés aux produits comme les grains de café, les grains de riz, les chips, les frites, les petits pois, que l'on a du mal à trier à la main.

Il existe deux familles de systèmes, ceux qui fonctionnent par simple gravité (Figure 17 – à gauche) et qui sont de fait dédié à des productions ne dépassant pas la centaine de kilogrammes de produits à l'heure et des systèmes de plus grand débit fonctionnant par convoyage rapide sur tapis pouvant ainsi trier des produits à plusieurs tonnes à l'heure (Figure 17 – à droite).

Autre fois limités à de simple tri colorimétrique ces systèmes

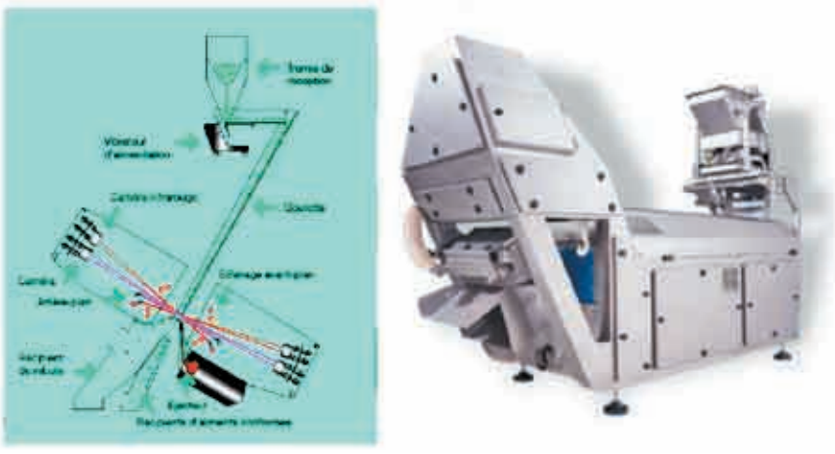


Figure 17 : trieur par gravité (à gauche) - document SORTEX
trieur couleur (à droite) - document FMCFoodtech-HueTronicGrader

sont aujourd'hui capables de trier les produits suivant des caractéristiques morphologiques, colorimétriques et parfois même physiologiques, teneur en eau par exemple. (Figure 18)

Conclusion

Figure 18 : exemple de tri réalisé par un trieur de la société anglaise SORTEX

Une partie de la richesse de l'imagerie numérique provient de sa capacité à mimer le processus visuel humain, tout en apportant des réponses en terme de vitesse, de répétabilité ou de facultés à travailler des domaines spectraux inaccessibles à un individu, comme : l'infrarouge, les rayons X ou l'ultraviolet. Il est ainsi possible, en appliquant des connaissances spectrales à l'image numérique, de déduire la teneur en humidité des produits, leur teneur en matières grasses, en protéines, la présence de moisissures, de chocs, de tâches, de couleur, de forme, d'aspect, etc. La liste est presque aussi longue que l'imagination du lecteur… L'imagerie numérique est aussi une solution non invasive et non contaminante, fonctionnant à des distances raisonnables et avec des vitesses de traitement compatibles avec les productions actuelles. Dernier intérêt et non des moindres, le contrôle peut être fait sur 100% de la production. Cela apporte une meilleure garantie d'homogénéité de production, une réduction des coûts de main-d'œuvre, la possibilité d'avoir une traçabilité performante, la réduction de certaines maladies professionnelles, etc.

Bien entendu ces avantages sont toutefois compensés par des inconvénients essentiellement liés à l'image, donc à la complexité de son traitement, notamment lorsque la Vision essaye de mimer la perception humaine.

La forte croissance du marché grand public favorise indirectement le développement de l'imagerie numérique à des fins professionnelles, ouvrant le champ applicatifs à des solutions aujourd'hui encore inimaginables. L'exploitation de nouvelle gamme spectrale permettent d'espérer le développement d'outils performants en matière de santé humaine. Ces caméras permettront de distinguer des constituants, des corps étrangers ou de détecter des maladies.

La tendance générale va vers une démocratisation de ces outils, ce qui se traduit, par des applications «plus simples», plus accessibles et moins coûteuses.

Remerciements

* Cave des Vignerons de Chusclan 30200 Chusclan
* CEHM de Marsillargues Mas de Carrière - 34590 MARSILLARGUES
* Domaine expérimental «La Tapy» Quartier La Tapy 84200 SERRES-CARPENTRAS
* FMC FoodTech France, 106 Boulevard Heloise Les Harmoniques, BP 55 95101 Argenteuil Cedex
* ITV – Station Régionale Midi-Pyrénées V'innopôle – BP 22 – 81310 Peyrole
* L'Avion Jaune 361 rue JF Breton 34196 Montpellier Cedex 5
* MAF AGROBOTIC 546 rue Gustave Jay - BP 112 - 82001 Montauban cedex
* Ondalys (ex Agrométrix) 361 rue JF Breton 34196 Montpellier Cedex 5
* Sodimel Technoclub BatM av de L'hippodrome 33170 GRADIGNAN
* SORTEX Sortex Limited Pudding Mill Lane London E15 2PJ United Kingdom

Références

(1) Ouvrage collectif, La Perception Visuelle, Bibliothèque Pour la Science, ISBN 2-9029 18-32-1, 1984, 160 p
(2) Marr D. Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information, San Francisco: W.H. Freeman and Company. 1982, 397 p.
(3) Guizard C.,Bellon V.,Sévila F., Vision Artificielle dans les Industries Agro-Alimentaires Méthodes/Techniques/Choix, Cemagref, ISBN 2-85362-305,1992; 280p
(4) L'enjeu français de l'agriculture de précision : Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants, conférence-débat organisée par l'INRA, le Cemagref et l'ITCF, mars 1999, 18p
(5) Petia Radeva, Jordi Vitrià, Final report - CorkInspect, Centre de Visió per Computador Edifici O, Campus Universitat Autònoma de Barcelona 08193 Bellaterra (Barcelona) Spain, 28 p

Application des nouvelles technologies dans la viticulture espagnole : prévision de récolte et zonage de la conduite du vignoble au niveau parcellaire

Joan Esteve - RAIMAT - Groupe CODORNIU - Lleida

Está mayoritariamente aceptado que los mejores vinos provienen de las mejores uvas. Cuando se define lo que es una uva de calidad se suelen enumerar aspectos como la sanidad, el grado, el color (en los tintos), los aromas, etc; pero se suele olvidar un aspecto tan o más importante que es la uniformidad de la producción; es decir, que todas las uvas reúnan los requisitos enumerados anteriormente por igual, que el producto resultante no sea la media de una mezcla de distintas uvas con parámetros cualitativos diferenciados.

La variabilidad de la producción proviene principalmente de los suelos. A medida que la agricultura se ha tecnificado las parcelas de cultivo se han hecho mayores, juntando piezas mas pequeñas, nivelando suelos, etc. Antes cuando las parcelas eran más pequeñas, se aplicaban técnicas e cultivo diferenciadas entre ellas, según fueran sus condiciones de fertilidad: portainjerto, variedad, abonado, riego, prácticas culturales, hasta la vendimia. Ahora esas parcelas se han juntado en una sola, tomando las decisiones de forma global y aplicando las técnicas de cultivo de forma global. A largo plazo esto provoca que las diferencias intra-parcelarias sean aún mayores.

Además de los distintos suelos que componen una misma parcela, hay otros factores que son fuente de variabilidad; como, por ejemplo, la pendiente, la orientación de la plantación, el sistema de riego, etc. Todos ellos juntos hacen que a largo plazo las diferencias entre zonas de una misma parcela sean cada vez mayores. Las zonas fértiles cada vez tienen cepas más vigorosas, mientras que las zonas pobres, cada vez tengan cepas más débiles respecto las anteriores. A final, esta variabilidad provoca que parcelas con medias productivas de por ejemplo 8 Tm/ha, provengan de la media de zonas con 3 Tm/ha y otras con 20 Tm/ha.

Entre las muchas definiciones que describen la Viticultura de Precisión, la más comúnmente aceptada es aquella que la define como «el análisis de la variabilidad espacial y el tratamiento diferencial de ésta». Por tanto, el primer paso consiste en identificar dónde tenemos las diferencias dentro de una parcela; en segundo lugar, se trataría de identificar los motivos que hacen que se produzcan esas diferencias; en tercer lugar, corregir las deficiencias y finalmente, comprobar el resultado de las acciones correctoras. Como éste es un proceso muy largo y difícil, la viticultura de precisión nos da una solución provisional que consiste en vendimiar y elaborar los vinos de las distintas uvas por separado.

Para identificar la variabilidad dentro de la parcela disponemos de varias herramientas más o menos sofisticadas, como hacer muestreos de campo, obtener mapas de cosecha, mapas de vigor, mapas de calidad y otros. Con el manejo de toda esta información podemos identificar si la variabilidad se repite año tras año y zonificar una misma parcela para su tratamiento diferencial. Con esta información además se pueden realizar muchos otros estudios; fisiológicos, productivos, cualitativos, económicos, etc.

Para la obtención de datos mediante el muestreo en campo basta con disponer de un GPS y anotar el dato y la posición. La cantidad de muestra a realizar dependerá de la variabilidad y de la representatividad estadística que deseemos obtener. Se puede muestrear por ejemplo, el número de yemas dejadas en poda, el número de sarmientos que han brotado, el número de racimos, peso de poda, etc. Todos estos datos se pueden tratar con sistemas de información geográfica y estadística (GIS) y mapearlos para ser consultados de forma cómoda. Estas mismas herramientas nos permiten además operar entre datos espaciales y obtener nuevos mapas de análisis. Por ejemplo, habiendo contado el número de yemas dejadas en poda y el número de sarmientos brotados, podemos obtener el mapa de sarmientos brotados respecto al número de yemas (índice de brotación). Con esta información podemos analizar aquellas zonas que se han podado por debajo o por encima de su capacidad.

Con estos primeros datos pode-mos tomar algunas decisiones importantes. Por ejemplo, si deseamos mantener un nivel de exposición de racimos y hojas

para producir determinados tipos de vinos, podemos decidir si hacer o no aclareo de brotes y en que zonas hacerlo. Disponiendo también del mapa de racimos, podemos decidir si hacer un aclareo de éstos y analizar datos como la fertilidad (racimos/brote), o a partir del mapa de cosecha, peso medio del racimos y correlaciones que pueda tener éste dato con factores de calidad.

Para obtener el mapa de cosecha, disponemos de tecnología en el mercado más o menos accesible. En nuestro caso utilizamos vendimiadoras con cinta de descarga lateral. Estas máquinas llevan un GPS y una báscula incorporada en la cinta de descarga. Esta va recogiendo datos cada 2 segundos, de posición y de peso y los procesa para sacar la producción instantánea. Todos estos datos se guardan en un disco de memoria y posteriormente se pueden transformar para obtener el mapa final de cosecha.

Hay otras fuentes de información no menos útiles pero más sofisticadas, como son los mapas de vigor obtenidos de imágenes de satélite o vuelos a gran altura. Estas imágenes antes hay procesarlas para obtener índices de vigor como el NDVI. No obstante, para identificar zonas de más o menos vigor, también tenemos la opción de obtener el peso de poda de distintos puntos de la parcela.

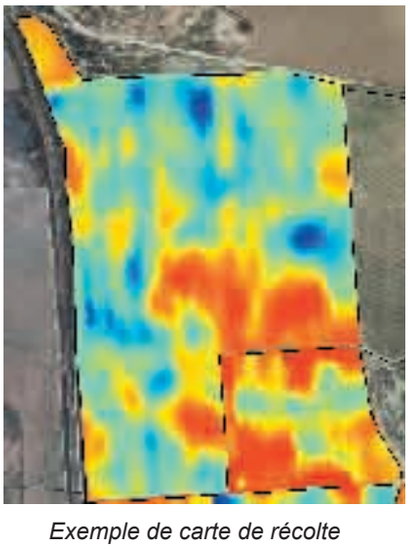
De toda esta información podemos hacer mapas normalizados (llevarlos todos a una misma escala) y obtener zonas de tratamiento diferencial. Es decir, zonas que se comportan más o menos igual todos los años y que pueden tratarse como si fueran parcelas distintas: análisis foliares y abonados, riegos, etc.

La gran cantidad de información que se maneja mediante estas técnicas, nos permite realizar multitud de estudios de investigación. Entre los más interesantes destacan previsiones de cosecha en cuanto a calidad y cantidad. Los primeros resultados obtenidos utilizando técnicas estadísticas de regresión múltiple nos han permitido hacer predicciones de cosecha con un acierto de hasta el 99%. A medida de que se dispone de más datos y más años el nivel de acierto es mayor.

Para homogeneizar zonas de manejo diferencial podemos utilizar multitud de técnicas más o menos acertadas. Por ejemplo, el aclareo selectivo de racimos, el manejo diferencial del riego, aplicación de mulching, cubiertas vegetales, abonado diferencial, etc. No obstante, al final del proceso es imprescindible verificar el resultado de las acciones llevadas a cabo para confirmar que es el camino correcto.

Mientras tanto, y no seamos capaces de solventar las diferencias intraparcelarias, tenemos la opción de tratar las subzonas de cada parcela como si se trataran de parcelas distintas, seguir su maduración por separado y vendimiarlas por separado. Los primeros resultados obtenidos de la aplicación de ésta metodología son espectaculares. Mientras de la media de una parcela puede salir un vino bueno, vendimiando y haciendo el vino de las subzonas por separado nos puede dar parte del vino de calidad excepcional.

Como conclusiones finales podemos decir que la viticultura de precisión es un proceso; hay que empezar lo antes posible para ir progresando lentamente. Su dificultad de manejo no está en la obtención de datos, sino en el análisis de la información y en la toma de decisiones en el día a día. En un sector dominado por la calidad y en un mercado cada día más exigente y competitivo, una pequeña mejora cualitativa puede marcar la diferencia.



Exemple de carte de récolte

Capteurs aux champs : estimation de rendement par le REV (Rendement Estimé par le Volume)

Eric Serrano - Laure Gontier - Thierry Dufourcq
ITV Midi-Pyrénées
Sylvie Roussel - ONDALYS Montpellier

*** Résumé**

L'Institut Technique de la Vigne et du Vin Midi-Pyrénées (ITV) a, depuis 5 ans, développé une étude sur l'estimation des rendements dont l'originalité reconnue, repose sur l'existence d'une corrélation entre le volume de la grappe durant son développement et son poids à la vendange. En partenariat avec le Cemagref, un système portable permettant d'estimer le volume de la grappe à partir d'une photo numérique a été mis au point, le REV (Rendement Estimé par le Volume). Le dispositif est composé d'un système de prise de vue numérique spécifique et d'un logiciel spécialement conçu pour corréler le volume de la grappe à un temps « t » à son poids à la vendange.

Le dispositif se substitue aux méthodes destructives traditionnelles.

Une série de test (répétabilité, reproductibilité) ont été réalisés pour la mise au point de ce capteur piéton.

Plus de vingt mille données sont traitées statistiquement ; elles portent sur quatre millésimes (2001-2004), trois stades phéno-logiques (nouaison, fermeture de grappe et début véraison), et 19 cépages du genre *Vitis vinifera*.
Les modèles ont été construits par variété, à chaque stade. La performance des modèles a été mesurée en fonction de différents critères de variation (millésime, terroir, cépage). Les prédictions de poids moyens de grappes sont satisfaisantes à partir du stade fermeture de grappe, avec des erreurs moyennes en cross-validation inférieures à 10%.

Sur la base de ces acquis, le capteur piéton optique, REV, a été testé et développé en 2005 en vue d'une industrialisation de la méthode. Les résultats confirment la stabilité du système et des modèles. L'appareil développé permet des mesures directes au vignoble simple et rapide pour aboutir à des erreurs moyennes d'estimation du poids de la grappe inférieures à 10%.

Mots clés *: Rendement, Estimation précoce, poids des grappes, volume, Vitis vinifera*

*** Introduction**

La production viticole a toujours été marquée par l'irrégularité de la quantité de la vendange d'une année à l'autre. Un des enjeux est de pouvoir fournir à l'ensemble des acteurs de la filière, impliqués dans l'estimation d'un rendement, une méthode fiable et rapide permettant des pronostics précoces.

Différentes méthodes ont tenté de pronostiquer de façon précoce le volume de récolte pour des secteurs géographiques plus ou moins étendus. Les premières tentatives d'estimation des rendements sont notifiées dans la bibliographie en 1955 (Wurgler, Leyvraz et Bolay).

A l'échelle de la parcelle, les études les plus abouties portent essentiellement sur des comptages d'inflorescences, de grappes par souche ou de baies par grappe (Murisier, 1986). Des études menées en Alsace (1957-1971, Huglin et Schneider) indiquent que le poids moyen des grappes est le facteur primordial de variations engendrant les sources d'erreur. Dufourcq et Serrano (2003) ont démontré que le coefficient de variation annuel du poids moyen des grappes sur une même parcelle de Négrette atteint 15%, confirmant les résultats d'Huglin et *al.* (1975) sur Syrah ou de Gerbier et Remois (1977) en Champagne.

Aussi, si certaines des méthodes proposées permettent d'obtenir des estimations satisfaisantes, elles ont été peu développées dans la pratique, car elles nécessitent soit l'acquisition de données historiques sur une longue période (schneider, 1997) , soit une mise en œuvre trop lourde (comptage du nombre de grains présents sur la grappe, nombre de grains par rameau, poids des grains) au vu de la qualité de l'information fournie (Booysen et Al, 1978).

Cette étude pose comme condition l'affranchissement des variables, nombres de baies par grappes et poids moyen indicatif d'une baie, en raison de la lourdeur de mise en pratique de telles observations.

De 1999 à 2004, l'étude a porté sur la mise en évidence d'une corrélation entre le volume de la grappe durant son développement et son poids à la vendange. Au cours de la première phase de croissance des baies, une période optimale de mesure, la fermeture

de la grappe, a été déterminée pour la mise au point d'un modèle mathématique de corrélation (Serrano et Al, 2005).

Au vu des résultats, un capteur optique piéton a été conçu et testé afin d'industrialiser la méthode développée. Le programme de recherche de 2004 à 2005 a consisté à valider la performance du système en terme de répétabilité et reproductibilité, et à générer des modèles statistiques de corrélation sur la base de volumes calculés par l'image.

*** Matériel et méthodes**

Plus de vingt mille données portant sur le volume de la grappe à différents stades phénologiques de la vigne et son poids à la récolte ont été collectées. Cette banque de données expérimentales a été constituée sur dix neuf cépages *Vitis vinifera* au cours de six millésimes (1999 à 2004). Les cépages étudiés sont le Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Colombard, Auxerois, Duras, Fer Servadou, Gamay, Grenache, Gros Manseng, Loin de l'œil, Mauzac, Merlot, Muscadelle, Négrette, Sauvignon B., Syrah, Tannat et Ugni B. Pour chacun d'eux, deux à trois parcelles sont identifiées en fonction de leur niveau de production ou de leur type de sol.

Dans un premier temps, la forme d'une grappe a été assimilée à un cône. Les mesures sur fruits ont porté sur la hauteur et la circonférence de la grappe à l'aide d'un outil artisanal permettant une mesure directe.

En 2005, le volume d'une grappe est estimé par une simple prise de vue photographique à l'aide d'un capteur piéton, le REV. L'image est ensuite traitée pour approcher le volume réel d'une grappe.La méthode consiste à calculer le volume de la grappe à partir de l'image en 2 dimensions, en coupant l'image en tranches horizontales (environ une cinquantaine) ; pour chaque tranche, le rectangle inscrit sur la surface segmentée de la grappe est calculé, et le volume de la tranche est calculé grâce à la formule du cylindre (donc en considérant une symétrie axiale de la grappe).

Les mesures sont effectuées aux stades nouaison, début de fermeture de la grappe et début véraison sur un échantillon de 50 à 200 grappes par parcelle. Elles sont baguées et identifiées lors de la première mesure. Elles sont pesées individuellement à la récolte.

*** Tests de répétabilité et reproductibilité**

Une série d'essais a été conduite afin d'évaluer la répétabilité et la reproductibilité de la prédiction du poids des grappes à partir d'images enregistrées avec le capteur piéton REV. Plusieurs opérateurs ont mesuré 20 grappes 5 fois.

Les traitements statistiques ont porté sur des tests de répétabilité moyenne et intra-opérateur.

Pour chaque opérateur, l'écart type, la médiane et les quartiles des 5 mesures de la même grappe ont été calculés.

La reproductibilité intègre les répétitions de mesure effectuées par l'ensemble des opérateurs.

*** Modèle de corrélation linéaire**

Les modèles proposés sont basés sur des régressions linéaires, selon l'équation $\hat{w} = a_0 + a_1 * v$, où $\hat{w}$ est l'estimation du poids.
Dans un premier temps, les modèles sont calculés pour chaque variété, millésime et stade phénologique.

Ils sont ensuite validés par le traitement statistique en Validation Croisée (leave-one-out cross-validation). Cette méthode de validation consiste à générer N modèles par permutation, chacun d'eux étant étalonné sur N – 1 individus, et testé sur l'individu n'ayant pas participé au modèle.

La pertinence des modèles est évaluée à partir de l'Erreur Standard issue Validation Croisée (SECV – Standard Error of Cross-Validation).

Cette erreur peut être exprimée en % par rapport au poids moyen de la grappe propre à la parcelle considérée, produisant alors un Coefficient de Variation.

Dans un deuxième temps, les modèles sont validés par une série de tests indépendants. Les modèles sont calculés à partir des données issues de millésimes antérieurs et évalués sur leur capacité à prédire les poids des grappes du millésime 2004.

Le logiciel de traitement des données utilisé est MATLAB (The Mathworks, NATIC, USA).

*** Résultats et discussions**

Mise au point du REV - Tests de répétabilté et reproductibilité

La figure suivante montre que la répétabilité moyenne des opérateurs est située entre 7 et 8.5%. Par contre, pour une même grappe, la répétabilité n'est pas la même pour tous les opérateurs.

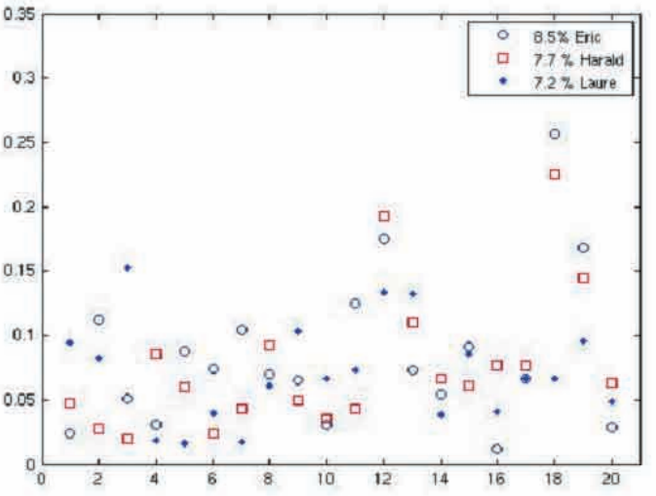


Figure 1 : répétabilité des trois opérateurs pour chaque grappe

L'analyse des données montrent que le niveau de répétabilité n'est pas dépendant de la symétrie et la compacité des grappes.

*** Reproductibilité**

La figure suivante montre la reproductibilité pour chaque grappe, classées en 4 catégories. La reproductibilité moyenne par catégorie augmente légèrement en fonction de l'asymétrie de la grappe et de sa compacité, mais ce critère n'est pas réellement significatif sur ce petit nombre de grappes.

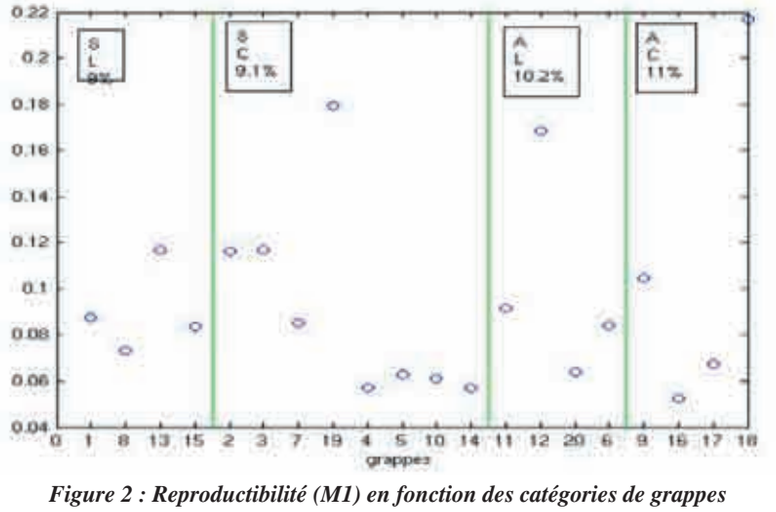


Figure 2 : Reproductibilité (M1) en fonction des catégories de grappes

Ces premiers résultats montrent que les répétabilités des opérateurs sont satisfaisantes, avec les coefficients de variation inférieurs à 10% (7-8.5%). La reproductibilité se situe aussi autour de 10%, celle-ci variant légèrement en fonction du type de grappes (Symétrique ou non, compactes ou non), de 9% pour les grappes les plus faciles à mesurer (symétriques, lâches) à 11% pour les grappes ailées et compactes. La différence de répétabilité et de reproductibilité entre catégories de grappes n'est pas significative.

*** Modèles de corrélation pour l'estimation des poids moyens des grappes**

Quel que soit le stade phénologique, le coefficient de corrélation calculé par étalonnage pour un cépage donné, un millésime donné et un stade phénologique donné est élevé. Les moyennes obtenues sur l'ensemble des cépages et des millésimes sont présentées dans le tableau 1.

Stade	r^2 (étalonnage)	r^2 (validation croisée)
Nouaison	0.91	0.42
Fermeture de la grappe	0.90	0.71
Véraison	0.91	0.76

Tableau 1 : Coefficients de détermination (r^2) moyen de la relation linéaire entre le volume de la grappe à différents stades phénologiques et son poids à la vendange (19 cépages, 4 millésimes)

Les performances des modèles en validation croisée sont plus hétérogènes mais demeurent très satisfaisantes pour les stades les plus tardifs.

A la nouaison, les erreurs sont moins acceptables, comprises entre 10 et 40 g (SECV).
Quel que soit le millésime ou le cépage, la qualité de l'estimation est systématiquement plus précise lorsque la mesure est plus tardive. Il existe notamment une grande différence entre les résultats obtenus à la nouaison et ceux issus des deux autres stades phénologiques (figure 3).

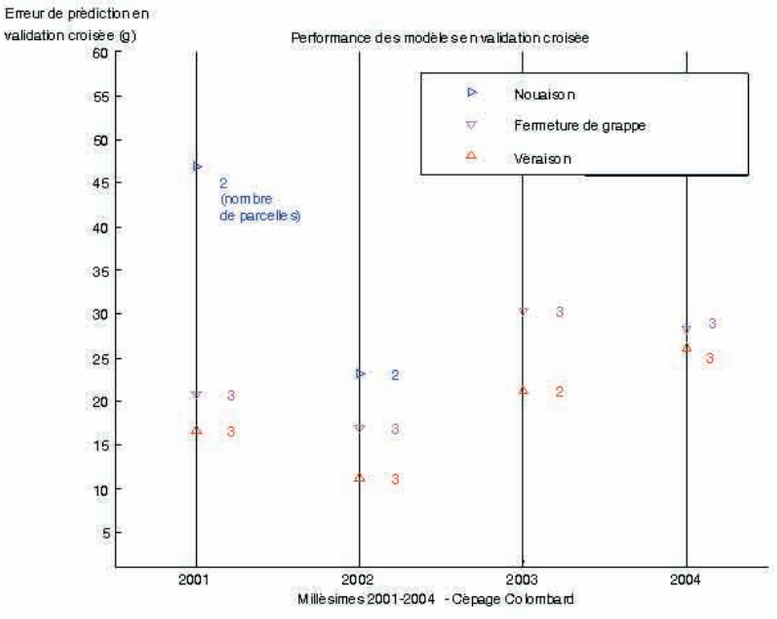


Figure 3 : performance du modèle en Validation Croisée sur Colombard selon le stade phénologique

La figure 4 montre les coefficients de variation obtenus en Validation Croisée pour l'ensemble des cépages au stade fermeture de la grappe. Les performances des modèles présentent des erreurs moyennes proches de 10 %, l'ensemble d'entre-elles étant inférieure à 20%.

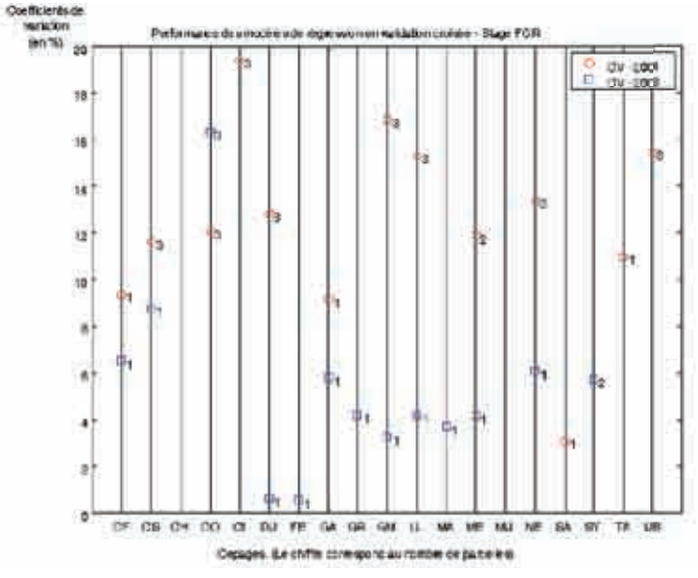


Figure 4 : coefficients de variation en Validation Croisée des 19 cépages en 2003 et 2004 au stade fermeture de la grappe

Si le modèle est construit à partir de plusieurs parcelles par cépage, les performances de l'estimation baissent, quel que soit le stade phénologique.
Les mêmes tendances sont observées à l'analyse des données obtenues à la véraison, avec des coefficients de variation légèrement meilleurs, inférieurs dans tous les cas à 13 %, pour l'estimation du poids moyen de la grappe par parcelle.
En 2005, la construction des modèles, basée sur les mesures réalisées par le REV, met en évidence de meilleurs résultats par une plus grande stabilité des coefficients de variations et des valeurs inférieures à 10 % (tableau 2).

Parcelle	Cépage	Poids réel récolte (g)	Poids estimé par le REV (g)	Erreur (g)	Erreur (%)
1	Négrette	221	193	28	13 %
2	Négrette	251	239	12	5 %
3	Négrette	180	166	14	8 %
1	Duras	262	243	19	7 %
2	Duras	218	225	7	3 %
1	Cabernet Sauvignon	111	112	1	1 %
2	Cabernet Sauvignon	96	100	4	4 %
3	Cabernet Sauvignon	100	92	8	8 %
1	Cabernet Franc	111	102	9	8 %
2	Cabernet Franc	135	131	4	3 %
3	Cabernet Franc	111	101	10	9 %

Tableau 2 : coefficients de variation en Validation Croisée en 2005 au stade fermeture de la grappe des mesures du REV

L'utilisation du capteur optique permet d'améliorer la précision des modèles.

*** Validation des modèles par l'estimation du poids moyen pour l'année suivante**

Parmi les 19 variétés étudiées, seulement 4 ont fait l'objet de mesures durant 4 années (2001 à 2004) au stade phénologique fermeture de la grappe et véraison : Colombard, Duras, Merlot et Négrette.

Une première analyse des modèles montre que ces derniers sont différents selon les millésimes (figure 5). Le millésime 2003 s'avère être atypique pour 3 des 4 variétés étudiées (exception du Colombard).

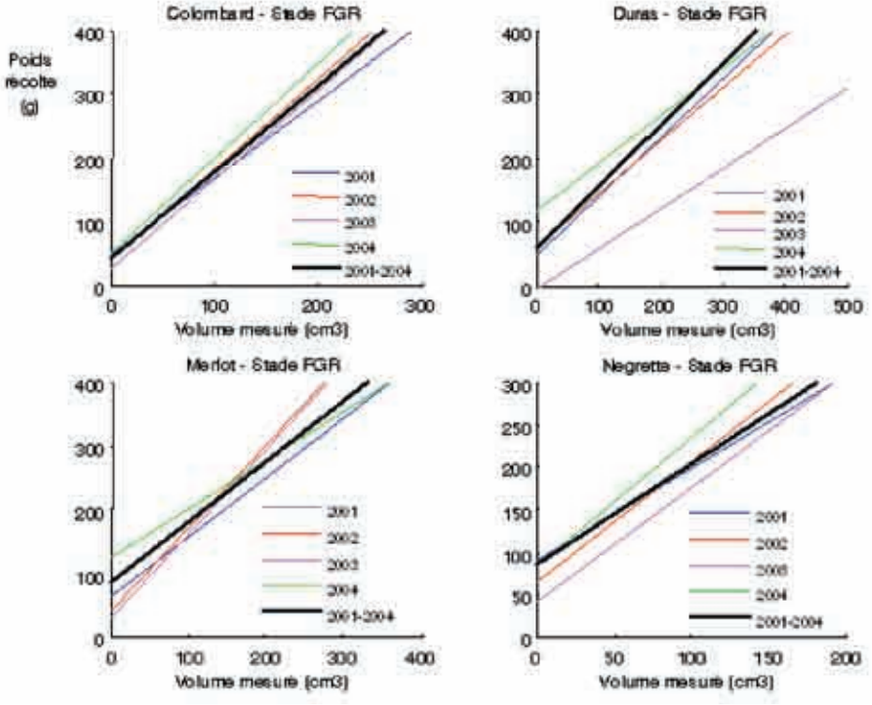


Figure 5 : modèles de corrélation de 4 cépages au stade fermeture de la grappe

L'étude est réalisée sur le millésime 2004, à partir de modèles bâtis sur toutes les combinaisons possibles, issues des années précédentes (2001 à 2003).

Lorsque les modèles sont bâtis sur les données de 3 années, les coefficients de variation augmentent en moyenne d'un facteur 1.5 à 2, en combinaison aux meilleures performances obtenues par le modèle en Validation Croisée sur le même millésime.

La figure 6 montre les résultats des estimations pour le cépage Négrette, au stade fermeture de la grappe.

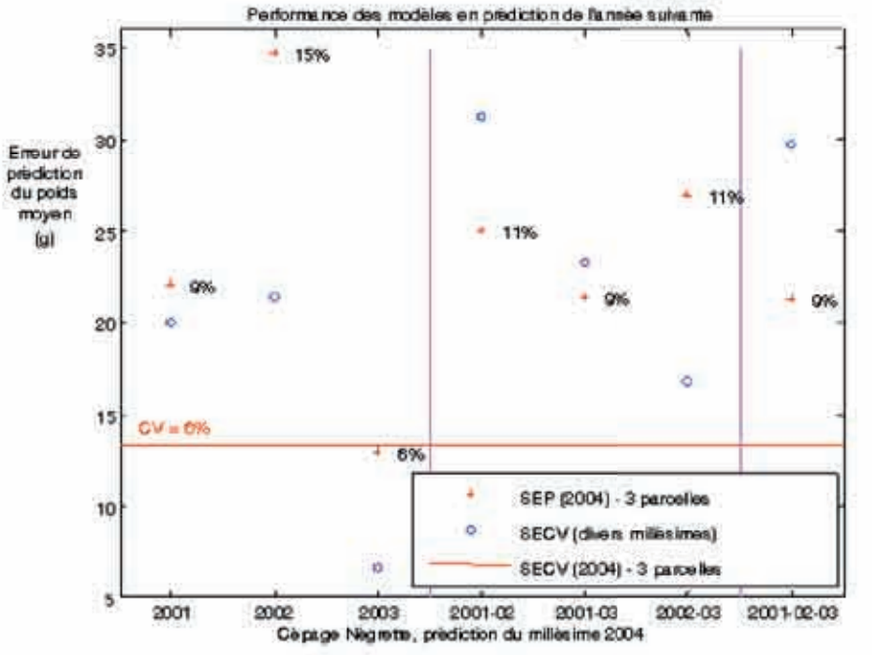


Figure 6 : performance du modèle pour l'estimation du millésime 2004 à partir de données antérieurs

Quand le modèle est calculé sur une seule année, les performances sont très différentes d'une année à l'autre, selon la proximité entre l'année modélisée et l'année à prédire.

Lorsque plusieurs années sont incluses dans le modèle, la stabilité des prédictions augmente, permettant d'obtenir une performance moyenne intéressante proche de 9 %.

*** Conclusions**

Cette étude statistique met en évidence la pertinence de la mesure du volume d'une grappe durant sa phase herbacée, pour en estimer son poids à la récolte. Des modèles de corrélations stables ont pu être mis en évidence entre la mesure du volume à la fermeture de la grappe ou à la véraison, et son poids à la vendange. Sur les cépages présentant une banque de données importante, des erreurs d'estimation inférieures à 10 % sont obtenues. Un effet parcelle est mis en évidence, mais celui-ci tend à être gommé par le regroupement de données issues de plusieurs millésimes. La mise au point d'un capteur optique piéton, le REV, permet d'envisager des applications de terrain simples et fiables. Son utilisation améliore la précision des modèles de prédiction.

Bibliographie

Booysen J.H., Orffer C.J., Beukman E.T., 1978. Crop forecasting for vine grapes in South-Africa. *OVRI Stellenbosch, 78-94*.

Gerbier N., Remois P., 1977. Influence du climat sur la qualité et la production du vin de Champagne. *Monographie n°106, Météorologie Nationale*.

Huglin P., Balthazard J., 1975. Variabilité et fluctuation de la composition des inflorescences et des grappes chez quelques variétés de V. vinifera. *Vitis, 6-13*.

Murisier F., Jeangros B., Aerny J., 1986. Maitrise du rendement et maturité du raisin. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol 18 (3) : 149-156.*

Schneider C., 1995. La prévision, un outil pour la maîtrise des fluctuations de rendement en viticulture. *C.R. GESCO, 240-246.*

Serrano E., Dufourcq T., Chabert M., 2002. Recherche d'une méthode simple et fiable d'estimation des rendements à la parcelle. *Actes de colloque Journée Technique Maîtrise des rendements en viticulture, dec. 2002. Station Régionale ITV Midi-Pyrénées.*

Wurgler W., Leyvraz H. et Bolay A., 1955. Peut-on prévoir le rendement de la vigne avant le débourrement ? *Annuaire agr. D. I. Suisse, 766-783*.

L'innovation au chai

Estimation de la qualité de la vendange au chai : système de la vision

Sylvie Roussel - Ondalys - Ch. Guizard - Cemagref - JL. Théraroz - Cave Vignerons de Chusclan - M. Philippe - Sodimel

Introduction - Historique du projet

En 2003, la Cave des Vignerons de Chusclan dans le Gard a initié un projet d'automatisation du « contrôle de la maturité polyphénolique » de la vendange par vision et mesure de la couleur. En effet, la « maturité technologique » (teneur en sucre) est plus précoce que la « maturité polyphénolique » de quelques jours ; celle-ci est visible extérieurement par l'aspect et la couleur des baies de raisin sur le cépage Grenache, majoritaire dans les Côtes du Rhône.

Le cahier des charges établi pour cette application consistait donc essentiellement à mesurer la couleur des baies de façon :

* répétable et représentative
* automatique et rapide à l'arrivée à la cave, donc avec un temps d'échantillonnage et de préparation des échantillons minimum
* avec un outil facile d'utilisation, de nettoyage et d'entretien
* compatible avec des vendanges mécaniques et manuelles, donc avec des volumes et des présentations très différents.

La solution par spectroscopie moyen infrarouge avait été laissée de coté, à cause de son coût et des problèmes liés à l'échantillonnage et la préparation des échantillons de raisin. Une approche par spectroscopie proche infrarouge, limitant les contraintes de préparation d'échantillons, avait été testée en 2003, mais sans succès.

Fin 2003, la société Ondalys (alors appelée Agrometrix), société de service spécialisée en analyse de données instrumentales (en particulier spectroscopie et imagerie), avait été chargée d'effectuer une revue exhaustive des solutions envisageables pour la mesure de la couleur des vendanges. Aucun appareillage commercialisé n'était capable de répondre à cette problématique. La solution par prise de vues numériques des apports à la cave a alors été envisagée. En effet, cette solution répondait parfaitement au cahier des charges, dans le sens où :

* l'imagerie est capable de mesurer la couleur des baies de raisin, avec des prises de vues en couleur, donc dans la partie visible du spectre de la lumière (sans faire appel à des spectromètres plus coûteux et délicats à étalonner) ;
* la mesure est répétable à condition de maîtriser les conditions d'éclairage en milieu extérieur ;
* chaque mesure est faite sur toute la surface de l'apport de vendange, donc sans échantillonnage, sans prélèvement d'échantillon, et sans aucune préparation ;
* la mesure est sans contact donc les systèmes ne nécessitent pas un nettoyage intensif ;
* les prises de vues peuvent être faites directement au dessus des bennes qui se présentent au poste avancé (cas de la cave de Chusclan) ou d'un conquêt de réception, ou encore au-dessus de comportes, caisses, tapis de tri, etc… donc sont compatibles avec n'importe quel type de présentation de vendanges.

En 2004, le Cemagref de Montpellier (UMR ITAP : Information et Technologies des Agroprocédés) est intervenu comme expert R&D en vision, afin de mettre au point la méthode de prise et d'analyse d'images, la société Ondalys étant chargée de l'analyses des données extraites des images afin de mettre en correspondance les données images et examens visuels. Lors des vendanges 2004, une première campagne de mesure a été effectuée avec un prototype du système de mesure à la cave de Chusclan.

L'institut Rhodanien – Inter-Rhône - est aussi intervenu pour son expertise en mesure de caractéristiques physico-chimiques et sensorielles (mesure de référence de couleur des jus de raisins et de vins).

En 2005, la société SODIMEL a repris le développement industriel du système de mesure, afin de mettre au point le système industriel commercialisable et mener la première campagne de mesure avec le prototype industriel lors des vendanges 2005.

Matériel et Méthodes

Qualiris Vision est un système de mesure comprenant les dispositifs de prise de vues numériques associés à un ordinateur comportant le progiciel développé spécifiquement pour l'acquisition d'images, ainsi que le traitement d'images et de données.

Les dispositifs de prise de vues permettent de prendre des vues en couleur et/ou en proche infrarouge, de la surface de la vendange avec une excellente

définition (plus d'un million de pixels par m2). La vue est une surface carrée dont la longueur est comprise entre 1m et 1,5m selon les conditions d'installation, constituant un échantillonnage suffisant de la vendange.

La mesure est donc sans contact et rapide (moins de deux minutes), ne nécessitant pas de phase de prélèvement, de préparation d'échantillons, et de nettoyage.
Un système d'éclairage puissant permet de s'affranchir des variations de luminosité ambiante, afin d'obtenir des prises de vue répétables d'un point de vue colorimétrique, quelles que soit les conditions extérieures. Il s'agit, dans son principe, de faire une photographie en utilisant un éclairage artificiel dont l'énergie est significativement supérieure à celle du soleil, avec un spectre d'éclairement « plat », donnant une image colorimétriquement satisfaisante.

Les vues en couleur dans le domaine du visible permettent de traiter le cas des cépages rouges (Figure 1). Les prises de vues en proche infrarouge permettront d'affiner les traitements pour les cépages blancs.

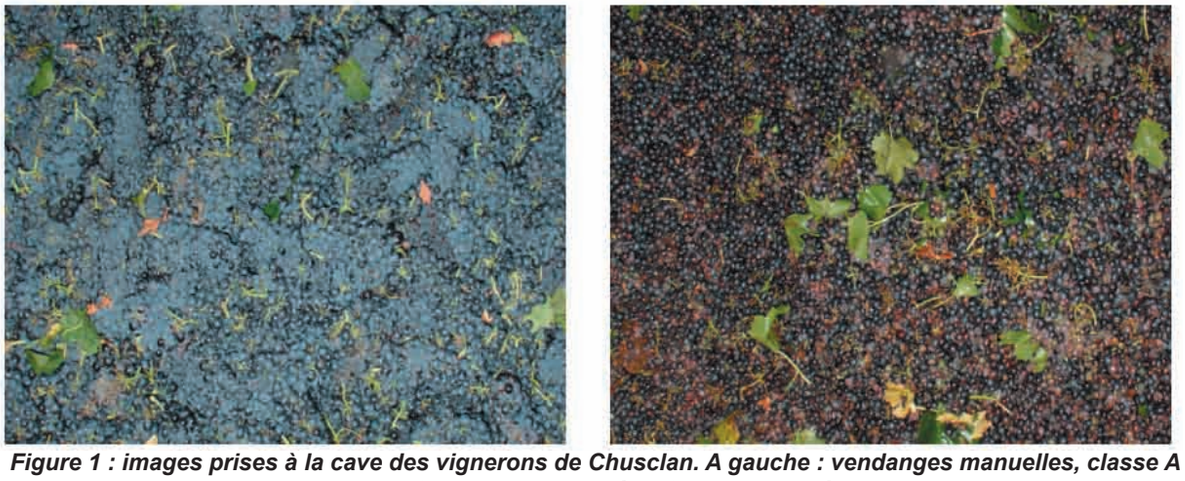


Figure 1 : images prises à la cave des vignerons de Chusclan. A gauche : vendanges manuelles, classe A A droite : vendanges mécaniques, classe C

Les algorithmes développés spécifiquement pour cette application permettent de traiter les vues de vendanges manuelles aussi bien que de vendanges mécaniques. Cet algorithme de traitement d'images embarqué dans le système se décompose en deux phases :

* Pour pouvoir donner des informations colorimétriques pertinentes, il faut que l'image ne comporte pas « d'éléments parasites » pouvant perturber l'analyse. L'image est donc, dans un premier temps, « nettoyée » des corps étrangers qui s'y trouvent. Un algorithme spécifique les discrimine en combinant des critères colorimétriques, morphologiques et texturaux, associés ou non à l'utilisation d'une deuxième image en proche infrarouge. Ce premier traitement d'image permet, de quantifier la surface totale de corps étrangers présents dans la scène, donnant un «indice de propreté» de la vendange.

* L'image ainsi « nettoyée » est ensuite analysée pour caractériser les baies et les grappes de raisins verts et les grappes de raisins rosés à noirs. Dans ce cas, une approche colorimétrique est basée sur la gamme des couleurs présentes dans l'image ne contenant que les baies (Figure 2).

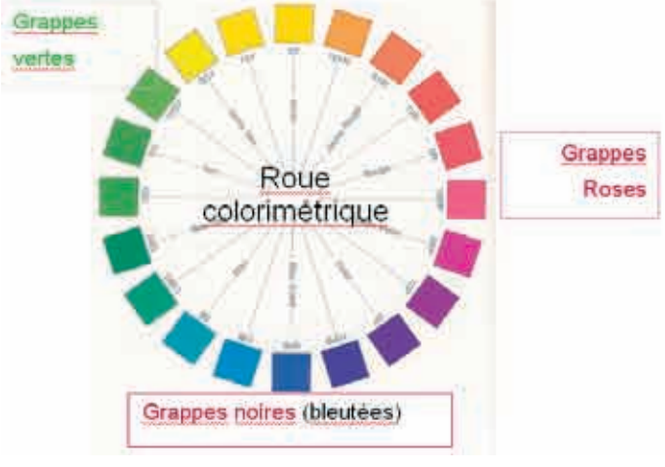


Figure 2 : roue colorimétrique, permettant de discriminer la couleur des baies

Les informations extraites des images servent ensuite à alimenter un outil de traitement de l'information visant à extriaire une information pertinente pour l'utilisateur final. Cette information provient de la modélisation permettant de passer de l'espace des données brutes extraites image à l'espace des informations utiles pour la cave comme : l'indice de propreté de la vendange, la notion d'homogénéité de la couleur, et de la maturité de la vendange.

Résultats

A partir des images acquises, le système de mesure permet :
* de commander à distance la prise de vue
* de mesurer la propreté de la vendange (pourcentage de corps étrangers)
* d'estimer les raisins non mûrs (pourcentage de baies vertes, grappillons millerandés)
* de quantifier le pourcentage de baies roses
* de quantifier le pourcentage de baies rouges
* de caractériser l'homogénéité de la vendange (dispersion autour des teintes majoritaires)
* Selon les cépages (grenache et cinsault par exemple) et l'évolution de la coloration de la baie selon sa maturité, une échelle de maturité polyphénolique pourra être déterminée
* Selon des critères de qualité à paramétrer par le client, une grille qualité permettra de définir des classes d'inspection visuelle. A la demande de chaque cave, un « module qualité » pourra être développé sur mesure afin d'établir la relation entre les paramètres de base mesurés et une note globale de qualité (note ou classe), afin d'obtenir un outil d'aide à la décision opérationnel, permettant de guider l'œnologue dans la ségrégation des apports et/ou mettre en place un système de paiement différencié à la qualité.

Conclusions

Qualiris Vision permet d'effectuer des prises de vues numériques de la vendange en temps réel à l'entrée à la cave coopérative vinicole (poste avancé ou sur conquêt), puis de réaliser un traitement d'image automatique contribuant à caractériser cet apport en vue de sa sélection qualitative. Ainsi, ce système de vision numérique constitue un outil d'aide à la décision innovant permettant la ségrégation de la vendange - mécanique ou manuelle - dès sa réception.

Ces indications données par ce système de mesure associées aux autres mesures (mesures de paramètres physico-chimiques) réalisées au contrôle d'entrée des apports permettront :
* de fiabiliser les contrôles visuels de la vendange actuellement réalisés par la plupart des caves coopératives, grâce à un outil de mesure objective ; ce critère de paiement à la qualité de l'apport par mesure visuelle humaine est actuellement souvent contesté, faute d'appareil de mesure fiable,
* d'apporter une mesure d'homogénéité de la couleur de la vendange qu'aucun appareil de mesure actuel ne permet
* d'affiner la sélection des apports et sécuriser ainsi leur ségrégation en vue de la vinification des meilleures niveaux de qualité
* d'apporter des informations supplémentaires sur le travail à la parcelle, et les conditions de ramassage
* de générer un outil d'aide à la décision pour l'oenologue, ainsi qu'un outil de calcul de paiement différencié à la qualité englobant les outils actuels de mesure des apports, complété par l'analyse visuelle.

Les mesures de type : indications d'état sanitaire et de type de pourriture ; taille des baies ; état des baies (entières ou éclatées), état des jus, sont des exemples de développements ultérieurs de modules d'analyse d'images, rendus possibles par ce système de prise de vues.

Le système de mesure Qualiris Vision a reçu une médaille d'argent au palmarès de l'innovation du SITEVI 2005

Figure 3 : exemple d'implantation de Qualiris Vision. A gauche, sur poste avancé à la cave des vignerons de Chusclan A droite, sur conquêt, à la cave des vignerons de Visan

La mesure de l'oxygène dissous au chai : nouveau critère de l'assurance qualité ?

Michel Moutounet - ENSA-INRA Montpellier - JC. Vidal - Unité Expérimentale d'oenologie de Pech Rouge - Gruissan

Introduction

En règle générale, la présence d'oxygène est potentiellement liée à des altérations. Dans le cas des vins, l'effet des phénomènes d'oxydation dépend des concentrations présentes et des périodes d'enrichissements. Il est communément admis en œnologie que l'oxydation poussée est plutôt défavorable, alors qu'une dissolution lente et continue en oxygène est susceptible de jouer un rôle positif sur l'évolution des vins. Les relations existantes entre l'oxygène et les moûts, l'oxygène et la fermentation, l'oxygène et les vins ne doivent pas être considérées sur le même plan car les mécanismes qui sont à l'origine de la consommation de l'oxygène sont différents. En revanche, les échanges entre ces différents milieux sont globalement gouvernés par les mêmes lois relatives aux gaz. La présentation qui va suivre se focalisera seulement sur le statut de l'oxygène dissous des vins afin de s'interroger sur l'intérêt et les conséquences attendues de la mesure de l'oxygène dissous au chai de conditionnement.

La mesure de l'oxygène au chai : quels fondements ?

*** Solubilité de l'oxygène**

L'air est un mélange principalement d'azote et d'oxygène à côté d'autres gaz en faibles proportions. Les échanges gazeux entre le vin et l'air sont régis par l'équilibre des pressions partielles. Dans l'air l'oxygène représente environ un cinquième du volume, sa pression partielle est donc à la pression normale (1013 hPa), à 20°C, et par rapport à l'air saturé de vapeur d'eau, 206 hPa. Sous ces conditions, à l'équilibre de saturation par rapport à l'air, les vins renferment 6 ml/L soit 8,4 mg/L d'oxygène dissous. A pressions constantes, la concentration en oxygène dissous décroît exponentiellement avec l'augmentation de la température, tandis qu'elle augmente proportionnellement à la pression. L'oxygène ainsi que l'azote sont des gaz peu solubles comparativement au dioxyde de carbone notamment.

**** Dissolution de l'oxygène***

Lorsque du gaz est mis en contact avec une phase liquide, il y diffuse progressivement, le maximum qui puisse être atteint correspond au niveau de saturation dans les conditions de pression et de température données. La vitesse de dissolution est décrite par une loi de diffusion, elle est essentiellement dépendante de la surface de contact gaz/liquide (m2/m3).

Les enrichissements du vin en oxygène de l'air seront donc d'autant plus rapides que la surface de la phase liquide ainsi que la finesse et la persistance de son émulsion avec l'air seront plus grandes. Les basses températures sont dans une moindre mesure des facteurs favorisant la vitesse de diffusion. La présence de l'oxygène dans les vins, à la suite de sa dissolution, n'est pas un état stable dans le temps. L'oxygène se trouvant dissous est, progressivement, consommé par divers substrats.

**** Consommation de l'oxygène***

Un vin saturé en air consomme l'oxygène en l'espace d'une à plusieurs semaines. Les cinétiques sont plus rapides avec les vins rouges qu'avec les vins blancs. La vitesse de la consommation de l'oxygène dissous par le vin dépend beaucoup de la température. En conditions oenologiques on relèvera que les cinétiques d'oxydations sont très lentes notamment si on les compare aux oxydations enzymatiques qui se produisent dans les moûts de raisin.

Si l'air est renouvelé, la consommation d'oxygène se poursuit. La capacité totale d'absorption des vins est très élevée ; elle est comprise entre 80 mg/L pour les vins blancs et 800 mg/L dans le cas des vins rouges. La capacité de consommation est, par conséquent, sans commune mesure avec les éventualités de dissolution au cours des différentes manipulations que subit le vin, puisque la consommation de 800mg/L équivaudrait à près de cent soutirages à l'air !

*** L'oxygène dissous des vins**

Le niveau d'oxygène dissous présent à un moment donné dans les vins, dépend de la cinétique de dissolution et de celle de la consommation. La température jouant un rôle inverse sur ces vitesses. Lorsqu'on applique un mouvement à un vin (pompage, décantation, sou-tirage, bâtonnage,…), la cinétique de dissolution de l'oxygène de l'air au contact du vin est supérieure, en général, à

celle de la consommation par les constituants du vin ; on mesure alors des teneurs en oxygène dissous de l'ordre du mg/L, et la saturation pourrait être atteinte en fonction de la surface de vin offerte à l'air. L'oxygène qui s'est dissous au cours des différents traitements technologiques entre en réaction avec des constituants du vin et disparaît progressivement du milieu, jusqu'à atteindre des niveaux trés bas (dizaine de µg/L). Par la suite, en régime statique (vins en cuve de stockage ou en période d'élevage, c'est en partie le cas des vins en bouteille), la cinétique de dissolution devient inférieure à celle de la consommation, de sorte que les concentrations en oxygène dissous au sein du vin sont très faibles, comprises dans la fourchette moyenne de 10 à 40 µg/L. Dans cette situation, si la surface du vin est au contact d'une phase gazeuse contenant une proportion d'oxygène, il existe une zone de très faible épaisseur qui est à l'équilibre de saturation avec la phase gazeuse considérée, et il s'établit un gradient de concentration en oxygène à la surface du vin (Moutounet et Mazauric 2001).

La mesure de l'oxygène au chai: comment ?

La mesure de l'oxygène dissous dans le vin doit pouvoir être adaptée aux différentes situations œnologiques évoquées plus haut, ce qui demande aux appareils de mesure des niveaux de sensibilités différents. Il faut donc pouvoir accéder aussi bien au ppm qu'au ppb. Un autre point important de cette détermination est qu'elle doit être réalisée sur site, caractéristique qui distingue la mesure de l'oxygène dissous des vins des autres déterminations analytiques couramment utilisées pour le contrôle analytique des vins à partir de prélèvements d'échantillons.

L'évaluation, dans des conditions optimales, de l'enrichissement en oxygène au cours d'une opération technologique, nécessite de disposer d'un appareil de mesure en amont et en aval d'un matériel de traitement à tester, simultanément sur le flux rentrant et en sortie du vin après que le vin ait été traité.

Les premiers dosages exploités par Ribéreau-Gayon (1931) ont été réalisés avec une méthode chimique ; Le dosage est basé sur l'oxydation de l'hydrosulfite de sodium par l'oxygène du vin en présence de carmen indigo comme indicateur d'oxydo-réduction. Depuis les travaux de Clark (1956) l'utilisation de sondes polarographiques s'est progressivement répandue pour la mesure de l'oxygène dissous dans l'eau, les boissons… en raison essentiellement de la facilité d'emploi. L'amélioration significative des technologies de fabrication des sondes polarographiques, et le développement pour le dosage de micro quantité d'oxygène du principe de fonctionnement, de la pile galvanique de Hersh pour les besoins de l'industrie nucléaire, permettent de disposer des moyens d'accéder au microlitre par litre. Ces possibilités techniques ont ouvert de nouvelles voies d'interprétation des phénomènes d'oxydation des vins (Moutounet et Mazauric 2001). Depuis peu, est apparue une nouvelle génération d'appareils qui utilise la luminescence comme principe de dosage. Parmi ces différentes possibilités, le choix technique est avant tout guidé par le niveau de précision du résultat de la mesure. On peut distinguer les appareils qui sont limités à la mesure de teneur de 0,1-0,2 mL/L, de ceux qui permettent d'atteindre le µL/L. Des considérations de coûts d'investissement, et des questions d'accessibilité des appareils pour l'étalonnage ou la maintenance, peuvent aussi orienter les choix. Pour les très faibles concentrations des précautions drastiques doivent être prises dans les procédures de mise en œuvre des méthodologies de mesures. (Moutounet et Mazauric 1999)

Quel bilan de la mesure de l'oxygène au chai de conditionnement ?

Dés lors que le vin est mis en mouvement et qu'il est au contact du vin, il est susceptible de dissoudre de l'oxygène ; Des suivis de la teneur en oxygène dissous dans différents centres de conditionnement et d'embouteillage des vins ont permis de recueillir, en situations œnologiques, des données sur les niveaux d'enrichissement et leur variabilité. Pour une opération donnée (filtration, centrifugation...) les quantités dissoutes sont très dépendantes des conditions avec lesquelles sont conduits les différents appareils de traitements des vins. L'enrichissement a lieu principalement au début du transfert si le circuit n'est pas inerté ou aviné, mais aussi en fin d'opération dans le cas où aucune précaution particulière pour gérer la fin du circuit du vin ne serait prise (Vidal et al. 2001) Dans ces différentes situations, l'enrichissement global à l'issue du traitement dépendra essentiellement du volume traité, pénalisant les appareils et installations sur-dimensionnés ainsi que les cuvées de faibles volumes. L'enregistrement des données en continu durant la centrifugation fait apparaître des dissolutions d'oxygène régulières à chaque séquence d'évacuation des sédiments recueillis dans les bols de la centrifugeuse ; la mise sous azote du dispositif doit permettre de pallier cet apport qui se limite toutefois à une centaine de microlitres par litre (Vidal et al. 2003). L'examen comparé de divers sites montre que la filtration (alluvionnage ou tangentielle) peut entraîner un

gain en oxygène de 0,1 à 2,2 mg/L, tandis que la stabilisation tartrique est à l'origine d'un enrichissement plus conséquent (de 0,6 à 5,7 constatés). La mise en bouteille est un autre point critique de l'apport potentiel en oxygène, source de dissolution d'oxygène bien identifiée, de sorte que les constructeurs proposent diverses solutions plus ou moins sophistiquées, constat qui tend à démontrer s'il le fallait que le problème n'est pas si facile à résoudre (Vidal et al.2004 a). Nos mesures montrent, de plus, le rôle que peut prendre l'espace gazeux dans la disponibilité en oxygène pour le vin, une fois l'obturateur (bouchon de liège, capsule à vis … ou robinet pour les Bag-in Box) placé (Vidal et al.2004 b).

Ces différentes possibilités de dissolution de l'oxygène au cours du conditionnement des vins pour l'embouteillage, font qu'il n'est pas rare de constater que les vins conditionnés renferment des quantités d'oxygène dissous de 2 à 4 mg/L. En revanche, on trouve, tout de même, des installations performantes qui conduisent en sortie des lignes d'embouteillages à des teneurs qui sont proches de 0,3 mg/L. Les efforts réalisés dans la conception de la chaîne de conditionnement peuvent être annihilés en raison de teneurs déjà élevées à la réception des vins à la suite, le plus souvent, d'un transport défectueux.

La mesure de l'oxygène au chai: pourquoi ?

La situation d'ensemble présentée ci-dessus, n'est pas nouvelle. Elle est connue depuis les premiers travaux de Ribéreau-Gayon (1961). Ces données reposent sur des notions basiques et les solutions à apporter sont bien souvent qu'une question de bon sens, après avoir simplement assimilé les phénomènes qui régissent les échanges gazeux entre phase gazeuse / phase liquide. Alors pourquoi ce thème apparaît-il comme d'actualité ? Il semble dans une première analyse que ce soit dû à la conjugaison de plusieurs éléments. Pendant longtemps, l'œnologie a usité du sulfitage pour se prémunir des évolutions oxydatives des vins, l'expérience acquise dans ce domaine s'est progressivement confrontée avec les inconvénients sensoriels dus aux doses excessives en «sulfites» et la désaffection du consommateur pour ces produits exagérément sulfités. La tendance est à la diminution du sulfitage des vins, de sorte que remonte des Services Aval de la Qualité des informations pointant, parmi les classements de vins à défauts, le caractère « oxydé » très ou trop marqué à la dégustation de contrôle, ce constat ayant tendance à croître. Parallèlement, on assiste à une demande de plus en plus forte des marchés pour des vins aux caractères fruités dominants. Or, ces sensations organoleptiques s'amenuisent sur des temps relativement courts au regard des circuits commerciaux. Justement, le déclin aromatique est vraisemblablement dû à des phénomènes d'oxydation, compte tenu de la réactivité chimique des molécules supports de ces caractères sensoriels, et donc attribué à des teneurs rédhibitoires en oxygène dissous au sein du vin au moment du conditionnement. De plus, l'élévation des pH moyens des vins au fil des millésimes accentue les phénomènes précités, car les pH élevés diminuent la proportion de «sulfites actifs» vis à vis du rôle antioxydant, et augmentent la vitesse des réactions d'oxydation impliquant les polyphénols. Les metteurs en marché se trouvent donc face à de nouvelles exigences des importateurs, notamment ceux des pays non viticoles.

Cette analyse sommairement exprimée sur des indicateurs macroscopique ne prétend pas à l'exhaustivité, elle débouche tout de même sur la nécessité de prendre en compte la présence de l'oxygène dissous. En effet, si l'on souhaite mettre en marché des vins, qui sont à la fois potentiellement sensibles à l'oxydation et à teneurs faibles en sulfites, il faudra de façon concomitante éviter la présence d'oxygène dissous. Pour que, dans la pratique des chais, soit résolue cette simple équation, il apparaît nécessaire, dans un premier temps, d'évaluer les points critiques d'enrichissement en oxygène dans la chaîne de traitements des vins de la réception à la mise. Les outils de mesure existent, l'adaptation de leur mise en œuvre dans le contexte des centres de conditionnement a été développée, et sont donc techniquement opérationnels.

Au-delà de ce constat, il est clair que cette approche doit être soustenue par une volonté à engager les investissements identifiés en s'inscrivant dans la politique de qualité de l'entreprise. Certaines sociétés ont fait le choix de se doter d'installation de désoxygénation, même si la technique industriellement disponible présente un certain nombre d'inconvénients. A la suite de ces différentes démarches, un contrôle doit être mis en place et organisé pour accéder à l'assurance qualité sur ce critère analytique. Le contrôle en ligne de la mesure de l'oxygène dissous, qui a fait l'objet de quelques réalisations dans diverses branches de l'industrie des boissons, donnerait l'assurance du bon fonctionnement des installations et permettrait de compléter avantageusement les critères de traçabilité des lots introduits sur le marché. C'est bien là l'intérêt et l'objet majeur des mesures d'oxygène au chai. Le dosage sur échantillons prélevés ne doit pas prendre un caractère normatif dans les échanges commerciaux, car cette mesure n'est pas forcément représentative à posteriori,

l'oxygène étant consommé, la détermination dépendra de la température et de la durée de stockage des échantillons pour analyse.

Par ailleurs, sait-on quelle quantité d'oxygène est admissible dans les vins à la sortie des chaînes de conditionnement ? Existe-t-il une valeur seuil ? Y a-t-il une teneur optimale en fonction de la typologie des vins ou des marchés ciblés ? Encore aujourd'hui, la recherche ne s'est pas donnée les moyens de répondre à ces questions, avec les arguments scientifiques étayés, tant la problématique est complexe et difficile à aborder, pour que les conclusions puissent être généralisables. Toutefois, avec les éléments dont on dispose, il semblerait que, pour bon nombre de vins rosés et pour les blancs dominés par les arômes de type «thiols variétaux», il faille mettre en œuvre tous les moyens techniquement disponibles pour éviter le moindre enrichissement en oxygène tandis que, à l'opposé, les vins rouges «structurés» notamment, et les vins développant leur «bouquet» après un long séjour en bouteille demanderont moins d'exigence du point de vue de leur teneur résiduaire en oxygène à l'embouteillage.

Conclusion

La mise en place de la mesure de l'oxygène dissous au chai de conditionnement des vins, est un projet innovant, s'intégrant dans la démarche de l'assurance qualité des entreprises ; De tels engagements sont de nature à préserver au mieux les qualités acquises pendant la vinification et l'élevage ; ils donneront des atouts supplémentaires pour la conquête des marchés internationaux.

Références bibliographiques

- Moutounet M., Mazauric J.P. 1999- Dosage de micro-quantités d'oxygène dans les vins. Feuillets Verts de l'OIV, n°1085.
- Moutounet M., Mazauric J.P.- 2001- L'oxygène dissous dans les vins. Revue française d'œnologie n° 186, 12-15.
- Ribéreau-Gayon J. – Oxydations et réductions dans les vins. Thèse Ed. Delmas Bordeaux, 1931.
- Ribéreau-Gayon J., Peynaud E. - Traité d'œnologie, Tome II, 1961.
- Singleton V.L. -Am. J. Enol. Vitic. 1987, 38, 69-77.
- Vidal J.C., Dufourcq T., Boulet J.C., Moutounet M. 2001- Les apports d'oxygène au cours du traitement des vins. Bilan des observations sur site 1ère partie. Revue française d'œnologie n° 190, 24-51.
- Vidal J.C., Boulet J.C., Moutounet M. 2003- Les apports d'oxygène au cours du traitement des vins. Bilan des observations sur site 2ème partie. Revue française d'œnologie n° 201, 32-38.
- Vidal J.C., Boulet J.C., Moutounet M. 2004 a- Les apports d'oxygène au cours du traitement des vins. Bilan des observations sur site 3ème partie. Revue française d'œnologie n° 205, 25-33.
- Vidal J.C., Toitot C., Boulet J.C., Moutounet M. 2004 b- Comparison of methods for measuring oxygen in the headspace of the bottle of wine. J. Int. Sci. Vigne Vin, 38, n° 3, 191-200.

Electrochimie analytique et oenologie

Maurice Comtat- Laboratoire de Génie Chimique - Université Paul Sabatier - Toulouse

Benjamin Huerta-Ortega - Sté Oenodev - Maumusson Laguian

L'électrochimie est la discipline qui a en charge l'étude des interfaces entre des conducteurs électroniques et des conducteurs ioniques. Elle est à la base de la fourniture des piles et des accumulateurs, de la production du chlore, de l'aluminium, du zinc, du raffinage des métaux,… On la trouve également dans les traitements de surface, la coloration des matériaux et en analyse chimique. Dans ce cas, il est usuel de séparer les méthodes suivant le type de mesures effectuées.

*** Méthodes à détection potentiométrique**

Il convient d'effectuer, dans des conditions de réversibilité, la mesure de la force électromotrice d'une chaîne électrochimique constituée par une électrode de référence et une électrode indicatrice (ou capteur) d'un ion.

Le capteur de première espèce est constitué par un métal M en contact avec une solution de l'un de ses ions M^{z+} ; il est indicateur de cet ion, par suite du potentiel mesuré de la forme :

$$E = A + B \ln a_{M^{z+}}$$

Le capteur de deuxième espèce est constitué d'un métal recouvert d'un sel insoluble de ce métal en équilibre avec une solution de l'anion du sel ; il est indicateur de l'anion, par suite du potentiel de la forme :

$$E = A' + B' \ln a_{X^-}$$

Le capteur à membrane est constitué d'un cristal de sel insoluble, d'un gel, d'une solution immiscible avec la solution à doser, d'un verre, d'une membrane animale végétale ou synthétique dotés de propriétés de conduction ionique, renfermant l'ion i à doser et de composition constante (*Tableau 1*). Cette membrane définie dans un sens très large est, sur une face en contact avec la solution renfermant l'ion i à doser,et sur l'autre face avec une solution interne de composition constante. Un capteur de première ou deuxième espèce indicateur de l'un des ions de la solution interne plonge dans cette solution. Le potentiel d'un tel dispositif est de la forme :

$$E = A'' + B'' \ln a_i$$

Il est possible d'étendre le fonctionnement de tels capteurs pour avoir accès à des concentrations de gaz dissous comme le CO_2, NH_3, H_2S,… (*Tableau 2*).

Electrodes de premières espèces (M/M^{z+}) Titrages potentiométriques			
Electrodes de deuxième espèces ($M/MX/X^-$) Biocapteur à détection potentiométrique			
Electrodes à membrane			
i			
s	m	so	mo

Tableau 1 - types de capteurs utilisés

Type d'électrode	Espèces déterminées
Membrane solide - verre - monocristal - solides compactés (poudres)	H^+, Na^+, K^+, (Li^+,Rb^+,Ag^+) F^- Ag^+, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Pb^{2+}, S^{2-}, C^{1-}, Br^-, I^-, CN^-, SCN^-
Membrane liquide - transport neutre - échange d'ions	K^+, NH_4^+, Na^+, (Li^+, Ca^{2+}) Ca^{2+}, Cu^{2+}, $C1^-$, BF_4^-, Mg^{2+}, NO_3^-, $C1O_4^-$ Anions et cations organiques
Electrodes à gaz	NH_3, CO_2, SO_2, HCN, H_2S

Tableau 2 - électrodes à membrane

Les avantages principaux de ces trois capteurs sont la simplicité, la miniaturisation possible, la large gamme de concentration accessible, le faible coût. Par contre, la forme mathématique de la loi de corrélation concentration - potentiel fait qu'ils ont une précision limitée.

Les capteurs les plus utilisés en œnologie sont le capteur à membrane de verre pour la mesure de pH, le capteur de deuxième espèce pour la détermination des ions sulfure et les capteurs à membrane liquide pour la détermination de l'ion potassium.

*** Méthodes à détection ampérométrique**

Il s'agit de mesurer l'intensité circulant dans une pile qui débite ou dans une cellule d'électrolyse dans des conditions expérimentales telles qu'elle est proportionnelle à la concentration de l'espèce à analyser.

Pour définir les conditions expérimentales, il faut considérer que la réaction électrochimique globale $Ox_{sol} + ne \rightarrow Red_{sol}$ est la succession des étapes :

$$Ox_{sol} \rightarrow Ox_{el} \quad (1)$$
$$Ox_{el} + ne \rightarrow Red_{el} \quad (2)$$
$$Red_{el} \rightarrow Red_{sol} \quad (3)$$

Les étapes 1 et 3 sont des étapes de transport de matière pouvant intervenir sous l'effet du gradient de potentiel électrique (migration des espèces chargées), sous l'effet de gradient de concentration (diffusion des espèces chargées ou neutres) et sous l'effet du gradient de vitesse du fluide (convection). L'étape 2 est la réaction de transfert électronique hétérogène dont la vitesse dépend du potentiel, de la nature du métal, de son état de surface et de la présence d'espèces adsorbées.

En présence d'un électrolyte dont les ions ne participent pas au transfert électronique hétérogène, en grande concentration, il est possible de négliger la migration des ions électroactifs ; certaines méthodes mettent en jeu des systèmes non agités et le seul phénomène à prendre en compte est alors la diffusion des espèces électroactives ; dans d'autres méthodes, on assure par agitation simple un couplage strict entre diffusion et convection. Le gradient de concentration ne se fait sentir que sur une distance δ à la surface de l'électrode.

Dans cette dernière situation, si le transfert électronique hétérogène est rapide, la concentration interfaciale de l'espèce diffusante tend vers zéro et l'intensité tend vers une valeur limite, indépendante du potentiel, et de la forme : $I_{lim} = K C_{sol}$, (*Figure 1*).

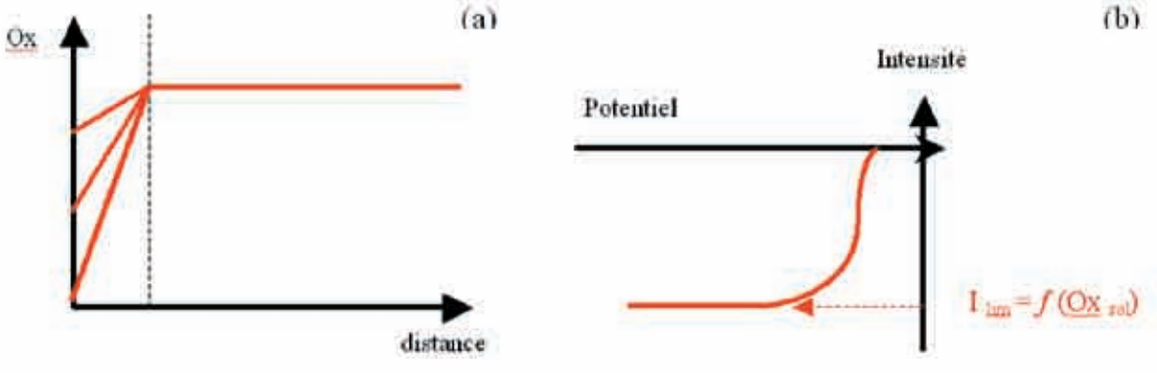


Figure 1 : profil de concentration à l'électrode de l'espèce oxydante (a) et intensité de courant limite (b)

Il est ainsi possible d'analyser moyennant un étalonnage préalable toute espèce – ion, molécule, complexe de la chimie de coordination, biomolécule – apte à transférer des électrons avec un conducteur électronique.

Cette diversité et la simplicité du dispositif expérimental expliquent le succès des méthodes électrochimiques et leur application dans de nombreux domaines.

En œnologie, la détermination de la concentration de l'oxygène dissous est traditionnellement réalisée par une méthode de ce type ; de même, les concentrations d'ions métalliques sont obtenues par polarographie, technique de microélectrolyse sur une goutte de mercure tombante.

La voltammétrie cyclique, très largement utilisée pour identifier, quantifier des espèces électroactives ou pour étudier les mécanismes réactionnels, peut donner des informations utiles en œnologie ; elle permet par exemple de fournir une information sur la capacité antioxydante globale d'une solution et de comparer l'aptitude à l'oxydation de divers échantillons.

Afin d'abaisser le seuil de détection des méthodes ampérométriques, il est possible d'avoir recours à des techniques impulsionnelles basées sur la minimisation de

l'intensité due à la charge de la double couche électrochimique devant l'intensité due aux réactions de transfert électronique. Une deuxième possibilité consiste à effectuer une pré-concentration des espèces à doser dans un très faible volume avant d'effectuer l'électrolyse.

La combinaison des deux stratégies peut fournir des seuils de détection de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-9} mol l^{-1}.

Le dosage d'espèces électro-inactives repose sur une réaction chimique conduisant à un produit électroactif. L'exemple le plus typique est celui de l'acétaldéhyde après sa réaction avec l'hydrazine.

Pour améliorer la sélectivité des méthodes, il existe de nombreuses techniques d'emploi de médiateurs d'oxydo-réduction, de modification de surfaces des électrodes par des espèces électroactives adsorbées ou greffées sur le métal.

**** Biocapteurs électrochimiques***

Ce sont des outils analytiques associant étroitement une couche de reconnaissance ionique ou moléculaire à une électrode. Dans les cas simples, la couche de reconnaissance renferme un catalyseur spécifique d'une réaction de transformation d'un substrat (par exemple, une enzyme) pour fournir une espèce électroactive.

L'exemple le plus répandu est le capteur à glucose, dans lequel une glucose oxydase catalyse la réaction d'oxydation du glucose par le dioxygène pour fournir du peroxyde d'hydrogène oxydable sur une électrode portée au potentiel convenable.

Dans le domaine de l'œnologie, des capteurs de ce type ont été proposés pour la détection des L et D-lactates, du L-malate, de NADH et de l'éthanol.

En résumé, l'électrochimie propose à l'œnologue des méthodes simples, précises, rapides, souvent faciles à mettre en œuvre, aptes à assurer des dosages sélectifs ou à suivre, au cours de temps, l'évolution d'un composé bien identifié.

Elles n'occupent pourtant pas la place qu'elles devraient, souvent à cause de transferts de technologie difficiles entre la recherche et leur utilisation en routine.

Vins à teneur réduite en alcool : aspects réglementaires et présentation des différentes techniques

Philippe Cottereau - ITV France Rhône-Méditérannée

Constat

Depuis de nombreuses années, les vignerons ont mis en œuvre une politique de qualité, qui s'est traduite par l'élaboration de vins plus concentrés, aux arômes plus expressifs, et souvent plus riches en alcool. La maîtrise des rendements, le choix de cépages améliorateurs, l'attente d'une maturité optima-le « polyphénolique » ou « aromatique », des conditions climatiques favorables ces dernières années à des concentrations importantes des raisins, ont entraîné l'élaboration de vins plus qualitatifs mais avec des degrés alcooliques jugés parfois excessifs.
La richesse en alcool des vins pose des questions au niveau sociétal. Le changement des habitudes de consommation dû à l'évolution des modes de vie entraîne de nouvelles attitudes de consommation, continuant d'associer le vin et la fête, la convivialité et le plaisir, le vin dans l'alimentation et la santé. Cela conduit les professionnels à s'interroger sur les méthodes et les moyens de répondre à ce marché.

La réglementation

Le règlement 1493/1999 définit les règles applicables sur les vins et les moûts. Le principe est celui de la liste positive, c'est à dire que tout ce qui n'est pas autorisé est interdit. La désalcoolisation des vins et la diminution de la concentration en sucre des moûts ne sont pas des pratiques œnologiques autorisées. Il existe une possibilité d'obtenir une dérogation selon un certain nombre de règles et de contraintes (art. 46). Les produits partiellement désalcoolisés obtenus ou à plus faible degré pourront être commercialisés en France en tant que vin de table ou vin de pays s'ils respectent les conditions de production. Dans le cadre des appellations d'origine, il est nécessaire d'obtenir l'autorisation préalable de l'INAO. En principe, les résolutions de l'OIV sont transcrites dans le droit européen. La résolution 10/2004 admet la pratique de désalcoolisation partielle des vins dans une limite de 2% vol.
Dans le cadre des dérogations cette limite peut être dépassée. Pour des diminutions supérieures, entraînant des degrés alcooliques inférieurs aux limites des décrets de production des vins, rien en soi ne l'interdit, mais le terme « vin » ne pourra plus être utilisé. Les produits obtenus ne pourront prétendre aux dénominations de vin de table, vin de pays etc… Les termes « boisson issue de vin partiellement désalcoolisé » ou « boisson issue de raisin » pourraient être retenus.
Pour les techniques membranaires, les matériaux utilisés doivent correspondre à la législation en vigueur vis à vis du contact avec le vin.

Réduction de la teneur en sucre

Vaslin Bucher propose un procédé (schéma 1) associant Ultrafiltration et Nanofiltration pour éliminer une partie du sucre contenu dans le moût sous forme d'un « semi-concentré » quasi incolore. L'Ultrafiltration est nécessaire pour atteindre des concentrations en sucre importantes par nanofiltration et minimiser le volume éliminé. Celui-ci reste élevé : environ 15% pour 2% volume éthanol probable éliminé.

Les techniques physiques en désalcoolisation des vins (schéma 2).

Trois techniques séparatives sont possibles pour éliminer une partie de l'alcool des vins : l'osmose inverse/nanofiltration, la distillation, la pervaporation. Pour cette dernière technique, la mise en œuvre à un stade pilote n'est pas envisageable sur vin à l'heure actuelle et ne sera pas développée ci-après.

Osmose inverse/nanofiltration

Le procédé consiste à éliminer les solvants à travers une membrane spécifique sous l'action d'une pression supérieure à la pression osmotique du produit (voir schéma 3). Dans le cas du vin, les solvants sont l'eau et l'alcool. La sélectivité alcool/eau actuelle des membranes est toujours inférieure à 1, c'est-à-dire que l'on élimine un mélange eau/alcool à un degré inférieur à celui du vin. D'après nos premiers essais, la sélectivité sera plutôt de 0.7.

En conséquence, le traitement d'osmose inverse ou nanofiltration concentre l'extrait sec et l'alcool dans une première phase de traitement. Pour obtenir une réduction de la teneur en alcool, il est nécessaire d'ajouter un volume d'eau équivalent à celui éliminé par osmose inverse. Dans la réglementation française, un ajout d'eau sur les vins ne peut pas être envisagé (mouillage). Il faut donc éliminer l'alcool du mélange eau/alcool éliminé et réincorporer l'eau ainsi récupérée. Cette étape est réalisée par distillation.

En France la distillation et le stockage d'alcool sont très réglementés, et ne peuvent être

réalisés que par des entreprises habilitées. Ceci entraîne des transports soit de vin si la totalité du traitement est réalisée chez le distillateur, soit d'un mélange hydro-alcoolique si l'osmose inverse/nanofiltration est réalisée en cave. Ceci aura des conséquences sur la dénomination et la volarisation de l'alcool récupéré (eau de vin de vin/alcool éthylique).

**** La distillation***

A priori deux schémas de traitement peuvent être envisagés : soit l'élimination de l'alcool est réalisée sur l'ensemble du volume à traiter, soit un volume de vin est fortement désalcoolisé et assemblé avec le volume initial.

En traitant l'ensemble du volume, la perte aromatique risque d'être trop importante et rend nécessaire une récupération particulièrement efficace des arômes contenus dans la phase alcoolique. Dans le deuxième cas, seule une partie des arômes serait perdue (pour une diminution de 2 % vol d'éthanol, il faudrait éliminer totalement l'alcool de 20 % du volume environ). Même dans ce cas, les procédés proposés prévoient une récupération des arômes.

Cette distillation doit être réalisée sous un vin poussé, afin de chauffer le moins possible le vin. Des distillations à moins de 50°C sont possibles en fonction des choix de paramétrage des colonnes. Plusieurs systèmes son envisageables, le principe d'un traitement en 2 passages semble le plus intéressant, un premier passage sur colonne permet d'extraire les composés très volatiles (arômes) dans une petite fraction alcoolique, le deuxième passage permet lui d'éliminer l'alcool, la fraction aromatique est réintroduite sur le vin désalcoolisé.

En Californie, ce traitement est industriellement utilisé «spinning cone column» (colonne à cônes rotatifs - CCR) (voir schéma 4), en mettant en oeuvre des colonnes à distiller particulières. Les distilleries françaises disposent d'autres colonnes qui, nécessitant éventuellement quelques modifications, pourraient réaliser les mêmes opérations de séparation. Dans cette hypothèse, les investissements seraient moins lourds, en permettant de proposer un coût de traitement plus faible.

La distillation sous vide permet d'obtenir des alcools très concentrés. Dans des conditions industrielles, l'alcool produit pourrait être d'environ 80 % vol (la perte d'eau est ainsi très faible). La désalcoolisation du vin traité (partie du volume total de vin à désalcooliser), sera fortement poussée sans atteindre un épuisement en alcool trop important (un degré proche des 3 % vol semble le plus intéressant). D'autres voies technologiques liées à la distillation seront étudiées avec l'INRA, pour optimiser ces procédés.

**** Les autres solutions à l'étude***

La désalcoolisation des vins au même titre que la réduction de la teneur en sucre des vins sont des solutions technologiques immédiatement mobilisables. Le projet initié depuis fin 2004 est plus ambitieux pour le moyen et long terme. Toutes les solutions sont étudiées, de la vigne au vin sans oublier le contexte sociétal.
La profession souhaite disposer des mêmes possibilités techniques que les concurrents du nouveau monde, afin de pouvoir rester concurrentiels sur les marchés. A plus long terme, elle réfléchit sur le positionnement de nouveaux produits issus de la vigne, ce qui nécessite des études de marché pour connaître les besoins des consommateurs. Cette réflexion initée et portée par la profession Langendocienne, est d'importance pour l'ensemble de la filière.

Les autres voies qui vont être étudiées sont :

* la recherche de matériel végétal présentant des potentiels phénolique et aromatique importants avec des taux de sucre faibles à maturité

* l'adaptation des itinéraires techniques viticoles et/ou vinicoles pour l'élaboration de vin moins riches en alcool

* le développement de nouveaux procédés d'élaboration pour compenser le manque de maturité

* les sélections de souches de levures ayant des rendements sucre/alcool moins favorables (hors OGM)

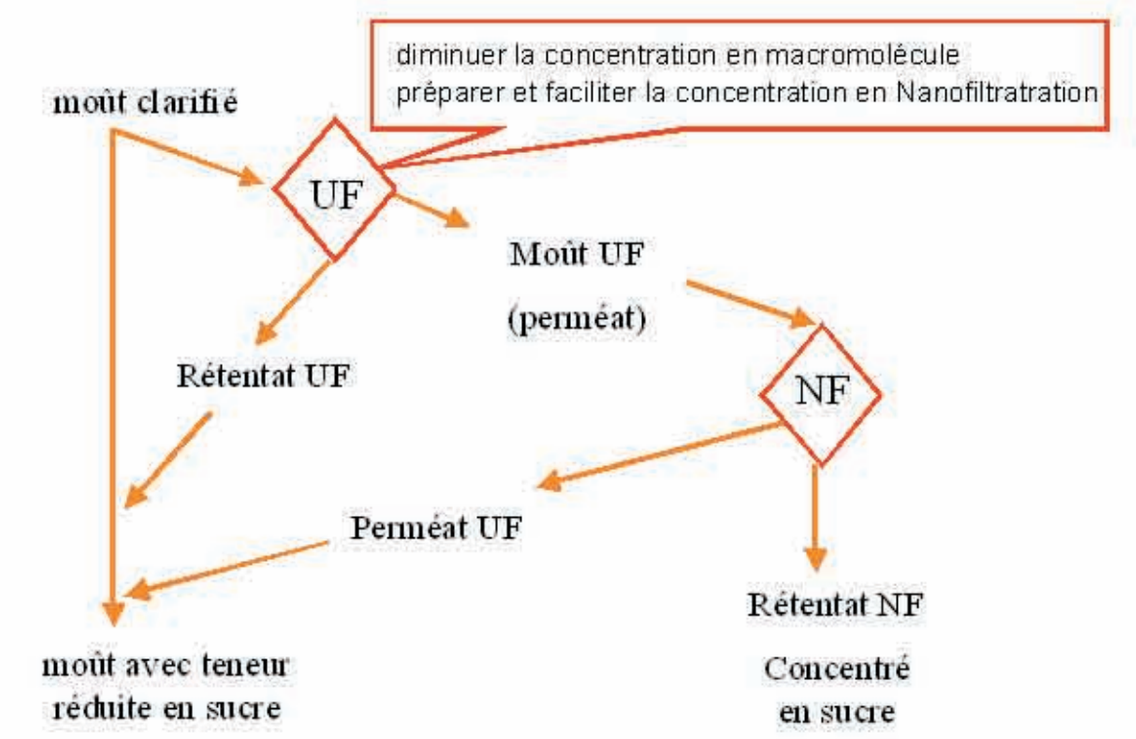


Schéma 1 : principe de la réduction de la teneur en sucre des moûts

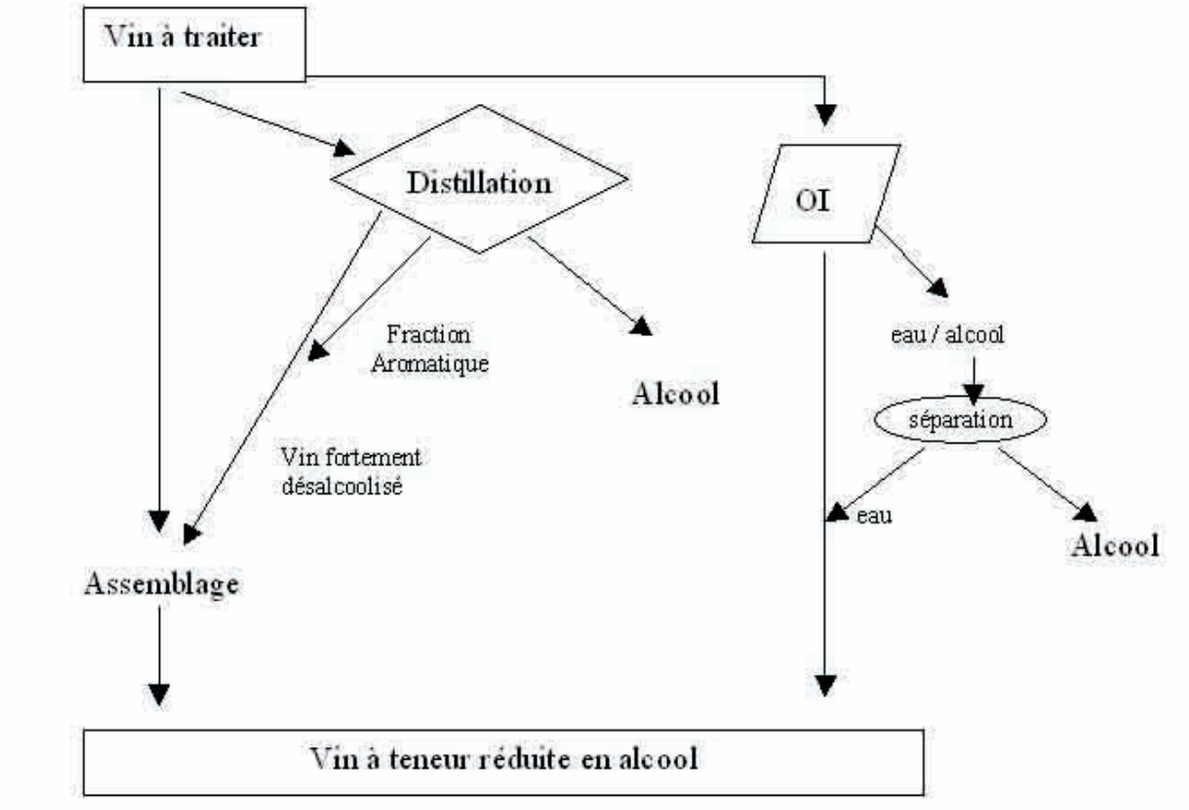


Schéma 2 : utilisation des méthodes physiques de désalcoolisation

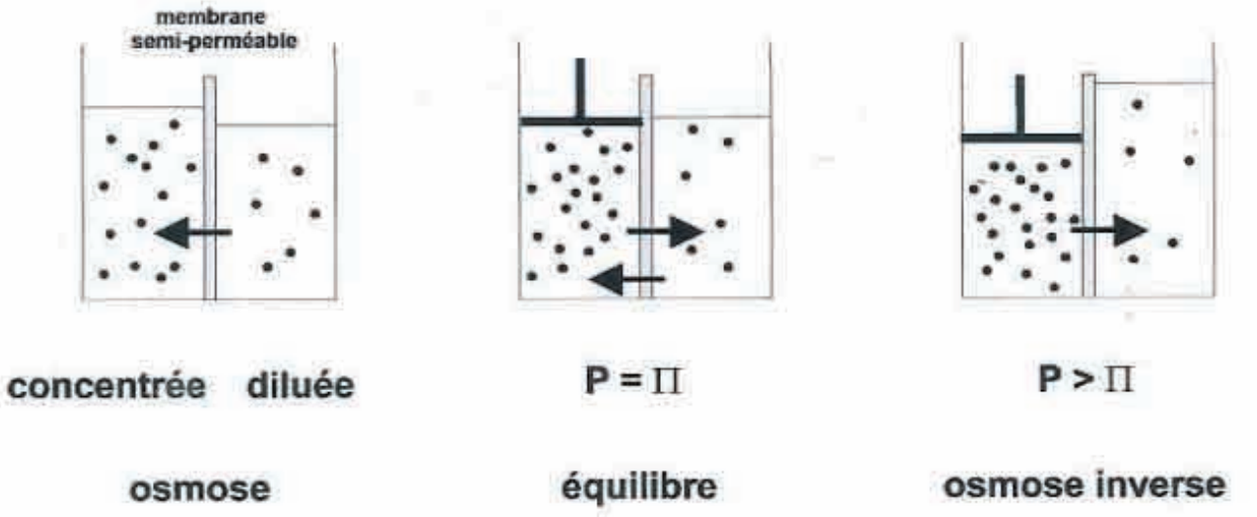


Schéma 3 : principe de l'osmose inverse/nanofiltration

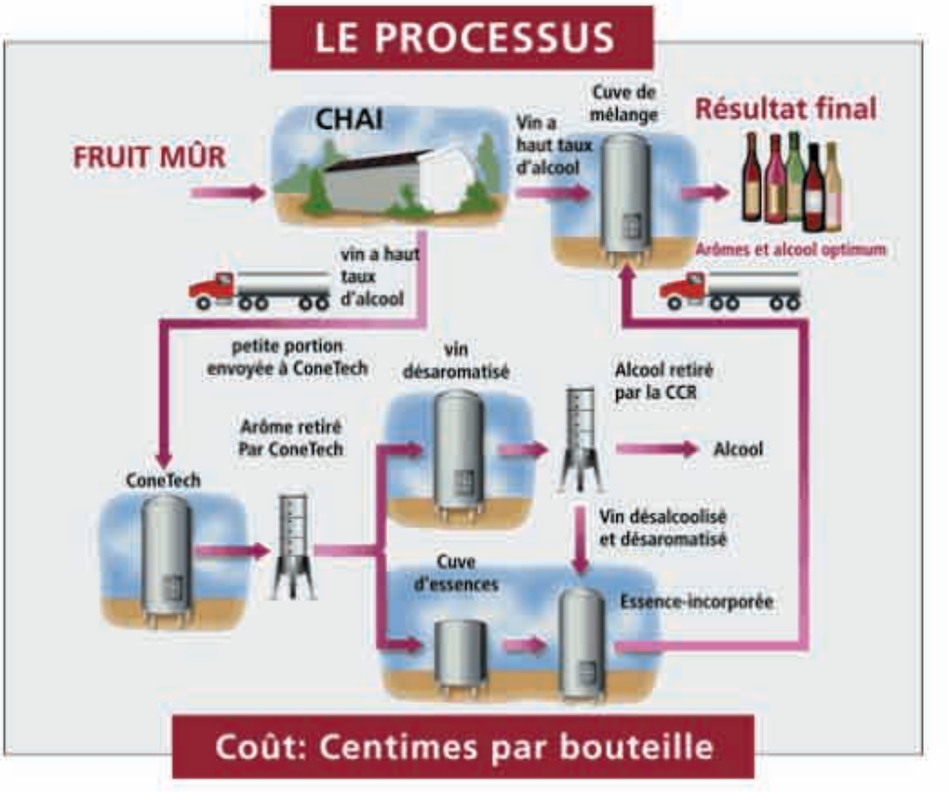


Schéma 4 : principe du traitement avec les colonnes à cônes rotatifs (source www.conetech.com)

Les limites de l'innovation

Aspect pratique en Cave Coopérative

Jean-Luc Favarel - Les Vignerons de Rabastens

Le principe de la mesure IRTF

Apparues dans l'industrie laitière au milieu des années 90, les techniques d'analyses par Infra-Rouge à Transfomée de Fourrier ont fait leurs premiers pas en œnologie vers l'an 2000.

Le principe repose sur une mesure spectrale Infra-rouge, dans la zone 1000-10000 cm-1 de l'échantillon à analyser, avec un pas de l'ordre de 2 à 3 cm-1. On obtient ainsi un spectre, sous la forme d'une absorbance associée à chaque longueur d'onde. Tout le principe de la Transformée de Fourrier réside dans le traitement mathématique des données pour obtenir, en lien avec des analyses de référence, les caractéristiques analytiques précises.

Il est ainsi possible d'accéder, par exemple, à la mesure du pH du vin à partir de la mesure spectrale, ce qui, pour les électrochimistes, est inconcevable.

Dans le même esprit de traitement mathématique des données spectrales en référence à une base valide, des travaux ont été conduits pour déterminer la qualité du blé de panification par rapport au goût final du pain obtenu….ou encore par les services scientifique de la police pour définir l'origine géographique de la cocaïne !!!

Le champ d'investigation ouvert par l'IRTF parait donc très large… aux limites prés que nous allons exposer à travers l'expérience partique de cette application dans le monde de la cave coopérative.

La boite aux merveilles

Dans la filière Vin, et au niveau du laboratoire, l'IRTF parait une innovation révolutionnaire sur le plan analytique :

- plus besoin de consommables cadence très élevée (20/sec par échantillon)
- liste importante de mesures réalisées simultanément (dont par exemple : degré alcoolique, Acidité totale, pH, Acidité Volatile, Sucres, Acide malique….)
- possibilité de coupler cette mesure Infra-rouge à une mesure des densités optiques (DO 280, 420 ,520,620 nm)
- selon les fabricants, possibilité de créer de nouveaux étalonnages spécifiques

Au niveau d'une cave coopérative, cet outil devient un élément central du laboratoire, et un réel outil au service de l'œnologue.

De l'outil naît le besoin. Ainsi donc, les œnologues ont-ils, sur les conseils avisés des vendeurs, souhaité étendre les services rendus par ces machines IRTF au contrôle des apports de raisin en cave. Et là apparaissent les limites de l'innovation !!

Des questionnements

**** Sur quelle matière première ?***

Au cœur de la cave, l'analyseur reçoit des vins en cours d'élaboration. Il s'agit de produits en cours de transformation, ayant déjà une matrice assez définie. Mais dans une mise en œuvre en poste avancé, donc sur raisins frais, vont se poser les questions :
* comment prélever l'échantillon ?
* comment le préparer pour le rendre apte à l'analyse, dans les délais- très brefs- impartis ?
* comment caler les étalonnages avec la matière première locale ?

**** Dans quel environnement ?***

Le laboratoire de la cave est généralement une zone spécifique, protégée. Que se passe t'il au niveau du poste avancé de contrôle d'apport à l'entrée de la cave ? Absence de climatisation, d'alimentation électrique stabilisée, de réseau informatique, présence de poussière liée aux tracteurs à proximité, vibrations affectant la stabilité du laser Infra-rouge…. autant de petits détails anodins qui rendent la machine inutilisable.

**** Sur quels paramètres ?***

La matrice « Vin » est différente de la matrice « Moût ». Il faut donc effectuer des recalages périodiques et des vérifications avec des analyses de référence, et cela pour environ 10 à 20 échantillons par jour. La recherche d'autres traceurs, plus innovants, demande un investissement particulier, en moyens humains compétents et spécifiquement dédiés à cet effet, et en moyens matériels particuliers (analyseurs séquentiels enzymatiques….) souvent absent des laboratoires de cave.

**** A quels coûts ?***

Outre les aspects matériels évoqués précédemment, les coûts les plus importants sont les moyens humains. Si dans l'utilisation courante, les machines sont simples d'emploi, elles présentent l'inconvénient de toujours délivrer un réponse…la cellule de mesure fût-ce t'elle bouchée !!! Des vrais laborantins, déjà rodés aux méthodes spectrales, sont alors indispensables pour bien vérifier la validité du spectre.

**** Et en cas de litiges ?***

L'analyse de l'apport de raisin est une étape déterminante pour le vinificateur. Elle doit lui permettre de discriminer les apports selon des classes de qualités définies pour les vinifier spécifiquement.

Cette analyse est tout aussi déterminante pour le vigneron, car elle sert souvent de base à la rémunération. Et là, les choses peuvent se compliquer !!

- validité de l'échantillon ?
- mauvaise foi des «vignerons traditionnellement contestataires»...
- contexte tendu car la rapidité de l'analyse est de mise en cas d'affluence (temps disponible d'environ 2.5 minutes)

Dans un contexte difficile, où tout le travail d'une année se juge au résultat d'une machine, l'erreur n'est pas de mise.

Le zéro erreur est dans ce cas très coûteux dans sa mise en œuvre. Et là, nous sommes à la limite de l'innovation.

Face à cela, revenons à des choses simples et fondamentales. Par exemple :

- la visite exhaustive du parcellaire n'est pas un travail aussi faramineux qu'il n'y paraît. Avec rigueur et méthode, deux visites peuvent sans problème être réalisées au cours des mois de juillet et août

- la mesure de la richesse en sucres sur la totalité de l'apport, grâce aux capteurs en ligne situés en sortie de pompe à vendange, réduisant ainsi les tensions au niveau du poste avancé, qui ne plus alors que l'outil de l'œnologue pour orienter la vendange

Et pour terminer, n'oublions pas la pédagogie et la sensibilisation directe des acteurs concernés. Pour cela, nous proposons au vigneron la dégustation des jus issus de leur apport….pendant le temps d'attente au poste avancé !!

Notes

Notes

Notes