

# 18 mois après le séquençage du génome de la vigne : acquis et perspectives pour la filière

Rencontre organisée par l'Institut national  
de la recherche agronomique  
et l'Institut français de la vigne et du vin  
dans le cadre  
du Salon international de l'agriculture

**Mercredi 25 février 2009**

**RÉSUMÉ DES INTERVENTIONS**

Stand Inra • Hall 3 • allée C • n°13  
Parc des expositions de Paris • Porte de Versailles



# La séquence du génome de la vigne : une plate forme d'outils pour la recherche

---

## **DIDIER MERDINOGLU**

• UMR Santé de la Vigne  
et Qualité du Vin INRA-ULP,  
Centre de Recherche  
de Colmar  
28, rue de Herrlisheim  
BP 20507  
68021 Colmar cedex.  
merdino@colmar.inra.fr

Une avancée majeure a été accomplie dans la compréhension de la biologie des plantes : la première analyse détaillée de la séquence du génome de la vigne a été publiée dans la revue « Nature » en septembre 2007. Ainsi, la vigne est la quatrième plante dont le génome est entièrement décrypté, après l'arabette, le riz et le peuplier. La lecture par fragment du génome d'une lignée pure de vigne appelée 40024 a permis l'obtention d'une séquence de très haute qualité. Le travail d'annotation, c'est à dire l'identification des régions du génome correspondant aux gènes et la prédiction de leur fonction, a permis de répertorier environ 30 000 gènes, de déterminer leur position physique sur les chromosomes et de connaître leur organisation.

La publication de la séquence du génome de la vigne est bien évidemment un résultat important en lui-même. Mais cette avancée majeure est avant tout cruciale par les perspectives nouvelles qu'elle ouvre dans l'élucidation des fondements des caractéristiques individuelles des vignes et de leurs réponses adaptatives face aux variations de leur environnement biotique et abiotique. Des questions scientifiques telles que la détermination des fonctions précises des gènes, de leur régulation et de leur interaction, ou encore, de la compréhension de la variabilité génétique naturelle et de ses liens avec la variation des caractères vont pouvoir maintenant être abordées à la lumière de cet éclairage nouveau que constitue la séquence complète du génome. Evidemment, ces objectifs scientifiques trouvent essentiellement leur source et leur justification dans les problèmes agronomiques majeurs largement débattus par les différents acteurs de la filière.

Afin de valoriser pleinement cet acquis dans la réalisation de projets innovants aptes à répondre aux questions posées, il est nécessaire de mettre en œuvre des outils et des plateformes qui, en premier lieu, sont le prolongement direct de cette première étape de séquençage du génome. Dans cette catégorie, les plateformes de transcriptomique, permettent à l'aide de puces à ADN, dont les plus complètes restent à développer en s'appuyant sur les données du génome, de suivre simultanément l'expression de l'ensemble des gènes d'un individu dans un organe donné et une condition expérimentale fixée. Les nouvelles méthodes de séquençage associées à de nouvelles générations de séquenceurs sont conçues notamment pour re-séquencer à très haut débit les génomes pour lesquels une séquence de référence est disponible. Dans le cas de la vigne, ces technologies vont, par exemple, permettre d'avoir accès à la connaissance de la diversité génétique à l'échelle du génome et non plus uniquement de quelques gènes.

En second lieu, d'autres types d'outils et de plateformes devront apporter des données complémentaires à celles acquises au niveau du génome. Dans cette catégorie entrent les plateaux ou les plateformes permettant la caractérisation phénotypique des individus (résistance aux maladies, métabolome, protéome,...), sans oublier les réseaux d'expérimentation multi locaux.

En troisième lieu, les bases de données, les méthodes bioinformatiques et la modélisation sont des éléments clés tant pour organiser et avoir accès à l'information générée que pour l'exploiter et la traiter de façon optimale en mettant en œuvre les méthodes de la biologie intégrative.

Enfin, les hypothèses précédentes doivent être validées par l'expérimentation, phase primordiale mais qui à ce jour demeure limitante pour l'avancée des connaissances chez la vigne. C'est sur ce point que devront porter nos efforts afin de se doter de technologies et de plateformes opérationnelles nécessaires à une analyse au meilleur des débits.

# La filière viti-vinicole française : questions posées à la recherche

---

## **CHRISTOPHE RIOU**

• Directeur Service  
Technique Inter Rhône.  
Directeur Institut  
Rhodanien.  
2260 route du Grès  
84100 Orange  
criou@inter-rhone.com

Le séquençage du génome de la vigne est une avancée majeure dans le domaine de la recherche, qui ouvre de nouvelles perspectives pour la filière viti-vinicole ; en matière d'amélioration variétale, de connaissance des fonctions des gènes et de mise au point d'outils de fonctionnement de la vigne.

**Face à ces enjeux, les acteurs de la recherche et du développement, en concertation avec les interprofessions, se sont mobilisés pour valoriser les acquis scientifiques du séquençage, afin :**

- d'investir dans l'innovation dans un contexte de compétition internationale,
- de trouver des solutions aux impasses techniques et économiques du vignoble ; comme les maladies du bois,
- d'apporter des solutions aux objectifs du Grenelle de l'Environnement ; tel que le plan de réduction de l'usage des pesticides.

Des rencontres ont donc été organisées entre chercheurs des organismes de recherche (INRA, CNRS) et des universités, ingénieurs/chercheurs de l'Institut Français de la Vigne et du Vin (recherche développement) et les membres des interprofessions pour dégager des projets nationaux.

**Quatre grandes priorités d'actions ont été définies :**

### **1. Diminuer l'impact des bioagresseurs de la vigne**

Dans un contexte d'évolution des contraintes environnementale et climatique, comment s'adapter à des parasites pouvant évoluer avec le climat, lutter contre le dépérissement du vignoble, réduire l'emploi des produits phytosanitaires, et diminuer le nombre de matières actives utilisables ?

### **2. Développer la sélection variétale et les ressources génétiques**

Le premier objectif concerne la conservation et la connaissance de la diversité intra variétale à travers la valorisation et la sélection de clones performants et diversifiés et la mise au point de nouveaux marqueurs de sélection. Dans un deuxième temps les travaux s'appliqueront à la création variétale et l'amélioration des portes greffes.

### **3. Comprendre le déterminisme de la qualité et de la maturation des raisins**

Les priorités d'actions concernent l'identification des déterminismes génétiques et moléculaires des caractères déterminants de la qualité des raisins, tels que : la taille de la baie, la teneur et composition en polyphénols et acides et le potentiel aromatique.

### **4. Adapter la culture de la vigne au changement climatique**

L'adaptation des cépages au changement climatique concerne en priorité les effets de la contrainte hydrique. Les modèles prévoient une pluviométrie plus importante en hiver et une sécheresse accrue en été. Ce déficit hydrique incompatible avec une production de qualité sera aggravé par des contraintes fortes en matière d'irrigation et des problèmes d'accès à l'eau.

En 2008, trois programmes déposés à l'ANR génomique et biotechnologie végétale ont été retenus et cofinancés par le CNIV. Ce premier succès traduit l'importance et la qualité des travaux de recherche en génétique sur la vigne. Ce processus de co-construction de programmes de recherche Inra/ Filière a été poursuivi en 2009.

# 18 mois après le séquençage du génome de la vigne : première série de projets co-construits avec la filière en 2008

**JEAN-MICHEL  
BOURSIQUOT**

• Montpellier SupAgro, IFV  
UMR-DiaPC équipe  
Génétique de la Vigne  
SupAgro Montpellier,  
2 place P. Viala,  
34060 Montpellier cedex 01  
boursiquo@supagro.inra.fr

Depuis une quinzaine d'années, le développement des techniques de biologie moléculaire (PCR, marqueurs microsatellites, séquençage, puces à ADN, ...) a permis de faire des avancées très significatives dans le domaine de la génétique de la vigne et récemment, la séquence complète du génome de la vigne a été publiée.

Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives en matière d'analyse de la diversité, de connaissance des fonctions précises des gènes (notamment ceux spécifiques de la vigne), de possibilité de transferts de résultats obtenus sur d'autres espèces modèles, d'amélioration variétale et de mise au point d'outils de diagnostic du fonctionnement de la vigne.

L'ensemble de ces connaissances doit maintenant servir de support et d'aide aux programmes visant à apporter des réponses aux principales préoccupations de la profession : lutte contre les maladies du bois et les dépérissements, réduction des intrants, valorisation de la biodiversité, adaptation au changement climatique et maîtrise de la qualité.

Grâce à une série de réunions, de groupes de travail et d'échanges partagés entre le CNIV, représentant de la filière, les chercheurs et enseignants – chercheurs (INRA, universités, enseignement supérieur agronomique) et l'IFV, trois projets ont été proposés au programme « Génomique » de l'ANR et acceptés en 2008 :

- « DL-Vitis » : étude du déséquilibre de liaison chez *Vitis vinifera* et deux autres espèces du genre *Vitis*. Ce projet a pour but de développer des méthodes d'analyse des ressources génétiques présentes dans la collection du Domaine de Vassal et d'autres qui seront prospectées aux Etats-Unis afin de mieux les exploiter (coordination : P. This ; partenaires : équipes situées à Colmar, Montpellier, Toulouse et Geilweilerhof [Allemagne]).
- « SafeGrape » : étude fonctionnelle de l'interaction Vigne - Botrytis. Ce projet a pour objectif de mieux comprendre les facteurs de virulence fongique, les réactions de défense de la vigne et de définir des marqueurs d'infection par le champignon (coordination : M. Viaud ; partenaires : équipes situées à Versailles, Dijon, Reims, Lyon).
- « Muscares » : génomique comparative entre *Muscadinia rotundifolia* et *Vitis vinifera*. L'objectif est d'accélérer l'identification d'allèles efficaces de résistance aux maladies chez *M. rotundifolia* grâce à la connaissance de la séquence du génome de *V. vinifera* (coordination : P. Mestre ; partenaires : situées à Colmar, Evry et Rennes).

Ces trois projets, cofinancés par la profession, abordent ainsi différents aspects en relation avec la résistance de la vigne aux agents pathogènes et, par conséquent, la question de la réduction des intrants. Ils devraient déboucher sur une meilleure connaissance et utilisation des ressources génétiques pour la création variétale et permettre à terme un développement significatif de la sélection assistée par marqueurs.

Concernant les autres objectifs importants pour la filière : maladies du bois, biodiversité, changements climatiques et qualité, de nouveaux projets sont en cours de réflexion et de co-construction. Ils devraient être soumis prochainement afin de compléter les thématiques abordées et visant à promouvoir une viticulture durable et à un coût raisonnable.

# Changement climatique et viticulture : exemple d'une réflexion pour une co-construction de projet

---

## SERGE DELROT

• UMR Ecophysiologie  
et Génomique  
Fonctionnelle de la Vigne  
Institut des Sciences  
de la Vigne et du Vin (ISVV)  
210 Chemin de Leysotte,  
CS 50008  
33882 Villenave d'Ornon  
(France)  
serge.delrot@bordeaux.inra.fr

## Comment se pose la problématique du changement climatique ?

### • Observations

En pratique, le réchauffement de la température moyenne d'environ 1°C depuis 15 ans se traduit déjà par un raccourcissement du cycle de développement de la Vigne et une précocité accrue des vendanges. Elle entraîne aussi une augmentation des taux de sucre à la vendange, une diminution de l'acidité, une augmentation du poids des baies, et un retard dans la maturité phénolique. Ces effets sont différenciés selon les cépages. Par ailleurs, le positionnement de la phase de maturation des raisins dans des périodes plus chaudes de la saison (fin août – début septembre) est particulièrement défavorable à l'expression aromatique des raisins et du vin. Enfin, des sols plus secs en été induisent un déficit d'assimilation de l'azote par la vigne, avec pour conséquence une carence des baies en acides aminés libres, entraînant elle-même des problèmes de fermentation alcoolique et un vieillissement atypique des vins.

### • Prévisions

Les scénarii du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Changement Climatique prévoient en 2100 une augmentation de la température moyenne de +2.4 °C sur la France, une diminution des pluies estivales (particulièrement en zone sud), une augmentation de l'évapotranspiration potentielle (+30%) et un doublement de la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub>. Cette évolution affectera la physiologie de la vigne, ainsi que le rendement et la composition biochimique des raisins produits dans les vignobles français.

Les modélisations faites dans le cadre du projet ANR Climator prévoient (i) une avancée phénologique considérable, de près de 40 jours pour la plupart des stades et 50 jours pour la maturité ; (ii) des conditions de maturation drastiquement changées avec une élévation de température de l'air d'environ 8 °C ; (iii) un stress hydrique pendant la maturation 9 années sur 10 au lieu de 1 année sur 2 ; (iv) un stress hydrique souvent plus précoce, pouvant affecter défavorablement la floraison ; (v) une diminution générale du risque épidémique (Botrytis par exemple) et des décisions de traitement.

La viticulture doit donc trouver des pistes pour maintenir une maturation assez tardive malgré l'augmentation des températures et la raréfaction des ressources en eau. Une question corollaire est de savoir comment les réponses adaptatives de la vigne, le choix du couple cépage/porte-greffe et les pratiques viticoles pourront accompagner cette évolution. La question du maintien de la typicité des vins, fondée sur un certain nombre de cépages déterminés, pourra se poser. Enfin, il existe une demande, a priori antinomique avec les évolutions climatiques prévues, pour des vins moins alcoolisés mais conservant de bonnes qualités organoleptiques. La vigne est une culture pérenne qui demande de nombreuses années avant d'arriver à une production de qualité optimale, et dont les coûts d'implantation et de remplacement sont élevés.

## **Quels programmes de recherche peut-on proposer sur cette question ?**

Plusieurs approches indissociables doivent être mises en œuvre. Une meilleure modélisation de l'élaboration de la qualité du raisin est dès à présent indispensable pour prévoir les impacts à moyen et long terme des changements climatiques, optimiser les conditions de production ainsi que l'exploitation de la diversité génétique disponible chez la vigne. Ceci sera possible grâce à des efforts coordonnés concernant :

### **• Les cépages :**

- le phénotypage de la phénologie (précocité de floraison, de véraison, de maturité) ;
- la composition biochimique précise des baies (sucres, acides, polyphénols totaux, mais aussi description précise de l'ensemble des composés flavonoidiques et des précurseurs d'arômes) ;
- les gènes ou réseaux de gènes associés aux caractères mentionnés ci-dessus (QTLs, eQTLs, transcriptomiques, éventuellement re-séquençage).
- l'étude de la diversité allélique de gènes candidats en relation avec les caractères mentionnés ci-dessus ;

### **• Les porte-greffes :**

- la tolérance au stress hydrique
- la vigueur conférée

## **La vigne dans son environnement**

- la mise en place de banques de données nationales : cartes génétiques des régions impliquées dans la variation des caractères décrits ci-dessus ; données d'expression de l'ensemble des gènes, de phénotypage physiologique, biochimique et organoleptique en fonction des porte-greffes, des cépages ; des données climatiques et des pratiques culturales (densité, taille, amendements, etc.)
- L'élaboration de modèles prédictifs prenant en compte l'ensemble des paramètres pertinents qui émergeront de ces bases de données.