

avec des températures moyennes plus élevées, elles entraîneront des carences hydriques, pouvant bloquer les processus de maturation, voire, à l'extrême, faire mourir des pieds de vigne. Les vignerons devront trouver quelles nouvelles pratiques culturales conviennent pour chaque terroir, et retrouver de meilleurs rendements malgré le manque d'eau.

Cette nécessité est déjà forte en Languedoc, alors qu'en Champagne par exemple, on peut au contraire gagner en rendement par rapport au passé. En Languedoc, dans le Var, etc. on se met à l'irrigation, désormais plus facile à mettre en œuvre légalement, y compris pour les AOC ; dans d'autres régions où l'hygro-métrie se maintient malgré la chaleur, c'est le développement des maladies telles que l'oïdium ou le mildiou qui devient plus problématique.

PLS

Quelles sont les innovations techniques sur lesquelles les viticulteurs s'appuient ?

J.-M. T. : Les viticulteurs adoptent des techniques venues d'autres vignobles ou de la recherche, et les ajustent à leurs terroirs. L'étude fine des terroirs révèle l'existence d'une diversité de sols et de températures, diversité qui peut être mise à profit pour repenser la localisation des cépages et des techniques, par exemple en plantant des vignes plus en altitude. Outre cette optimisation locale, des jeunes entreprises comme Fruition Sciences, à Montpellier, développent des outils d'aide à la décision pour une irrigation de précision, afin d'économiser l'eau. Dans le cadre du gros projet *Aqua Domitia*, on prépare en Languedoc l'irrigation de 4000 hectares avec l'eau du Rhône. À l'Inra, nous travaillons aussi à la récupération des eaux des stations d'épuration pour irriguer les vignes.

D'autres innovations sont possibles à l'échelle de la parcelle, par exemple en amendant les sols, en essayant de nouvelles tailles qui produisent plus de feuillage au-dessus des grappes, en plantant des arbres fruitiers dans les vignes, en les protégeant du soleil par des filets anti-grêle, etc. Un producteur catalan a même installé des panneaux photovoltaïques au-dessus de ses vignes...

Il y a ensuite l'adaptation cœnologique. Les machines à vendanger

facilitent la récolte de nuit, ce qui permet d'éviter les températures trop élevées et l'oxydation prématurée des raisins. Par ailleurs, des corrections œnologiques permettent de désalcooliser le vin – en utilisant par exemple l'osmose inverse et des membranes – ou de l'acidifier en retirant des cations par électrolyse.

PLS

A-t-on recours au génie génétique ?

J.-M. T. : Nous ne travaillons pas pour mettre des OGM dans les vignes, mais la génomique permet de repérer et de marquer les gènes intéressants, par exemple pour l'adaptation à la sécheresse, puis d'accélérer les processus de sélection ou de création de variétés. Il ne s'agit pas de manipulations génétiques.

PLS

Comment alors accélère-t-on cette sélection ?

J.-M. T. : Nous disposons d'au moins 2300 cépages de la vigne du vin (*Vitis vinifera*) que nous pouvons croiser, et d'autres espèces du genre *Vitis* avec lesquelles on peut créer des hybrides mieux adaptés au réchauffement climatique. À l'Inra, nous avons accéléré l'étude du matériel végétal en mettant au point des outils de phénotypage à haut débit de jeunes vignes, en suivant le comportement de pousses installées sur des tapis roulants, afin de les observer de façon quasi automatique avant de trier les données d'observation à grande vitesse.

Comme on a déjà créé des variétés résistantes aux maladies, on en recherche qui supportent mieux le stress hydrique, qui sont plus tardives ou moins productives en sucre, etc. Une certaine expérience de l'introduction de nouveaux cépages existe déjà : le marselan, créé en 1961 par l'Inra en croisant du cabernet sauvignon et du grenache noir, a été introduit en Languedoc, dans la vallée du Rhône, en Espagne, dans le Nord de la Californie, en Suisse et en Israël. Son introduction réussie dans plusieurs vignobles illustre ce que nous pourrions faire en sélectionnant des variétés adaptées au changement climatique, si le besoin s'en fait sentir.

*Propos recueillis
par François SAVATIER*

L'Inra teste les vins du futur

Pour s'adapter au changement climatique, les vignerons ont besoin de savoir si les vins plus alcooliques, moins acides et dotés de nouveaux arômes seront acceptés ou pas par les consommateurs. L'Inra s'en préoccupe déjà et teste les réactions des consommateurs aux « vins du changement climatique ». « Il importe par exemple de savoir si l'évolution des bordeaux vers des arômes de fruits cuits, plutôt que de fruits frais comme c'est le cas aujourd'hui, est acceptée par les consommateurs, ou s'il faudra corriger pour maintenir les caractéristiques actuelles de ces vins », explique Jean-Marc Touzard.

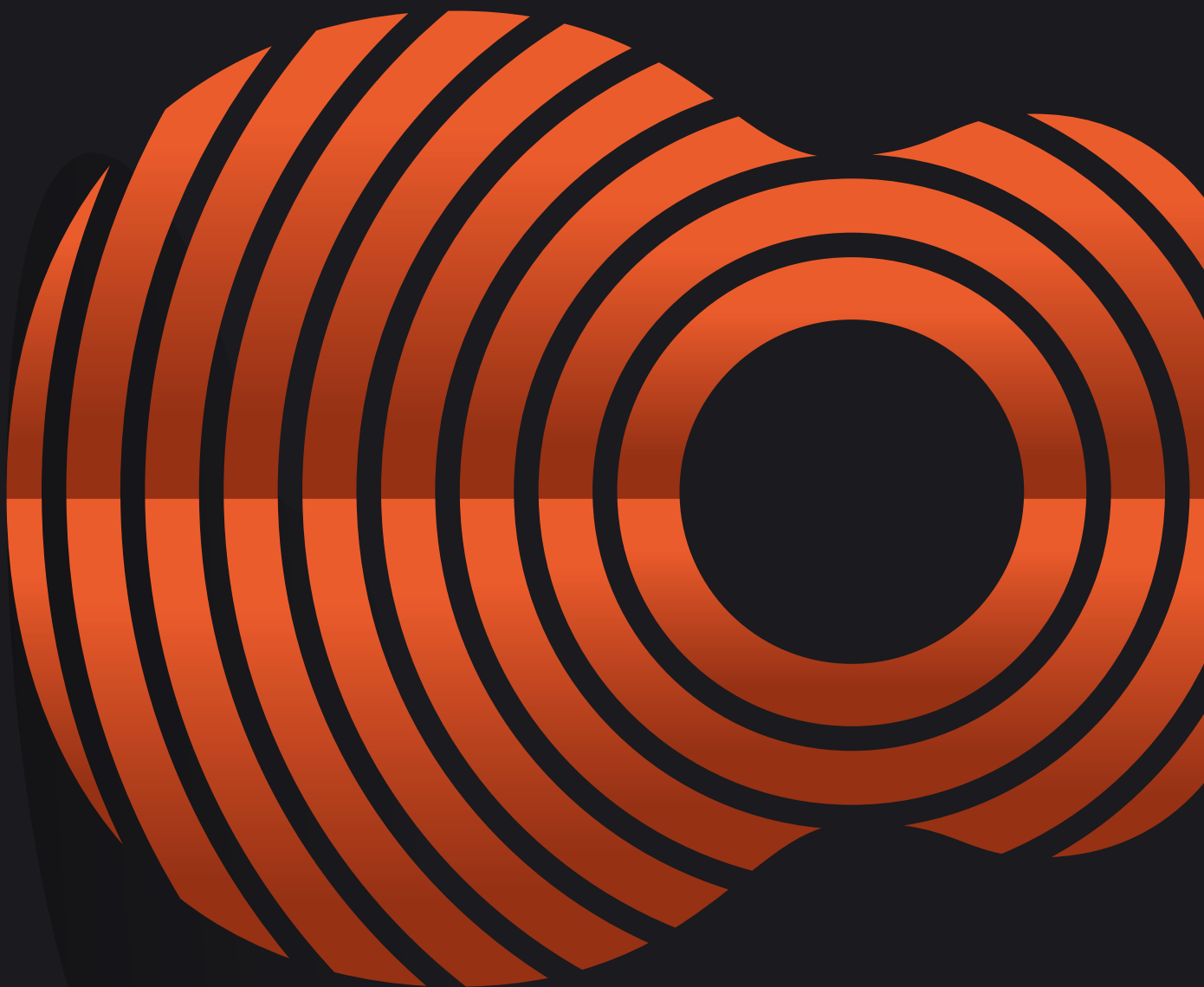
« Mon collègue Éric Giraud-Héraud et son doctorant Alejandro Fuentes ont ainsi testé la réaction du public à des vins ayant 15 °C d'alcool, moins d'acidité, provenant de raisins surmûris... mais aussi corrigés par désalcoolisation ou acidification. »

Quels sont les premiers résultats ? Dans le cas des bordeaux par exemple, on constate que les consommateurs peu experts préfèrent dans un premier temps les vins du changement climatique, maisaturent plus vite qu'avec les vins actuels. Les connaisseurs, eux, tendent à résister aux vins nouveaux ou corrigés. Des expériences similaires viennent d'être menées avec des blancs et des rouges du Languedoc, et l'étude se poursuit.

L'holographie

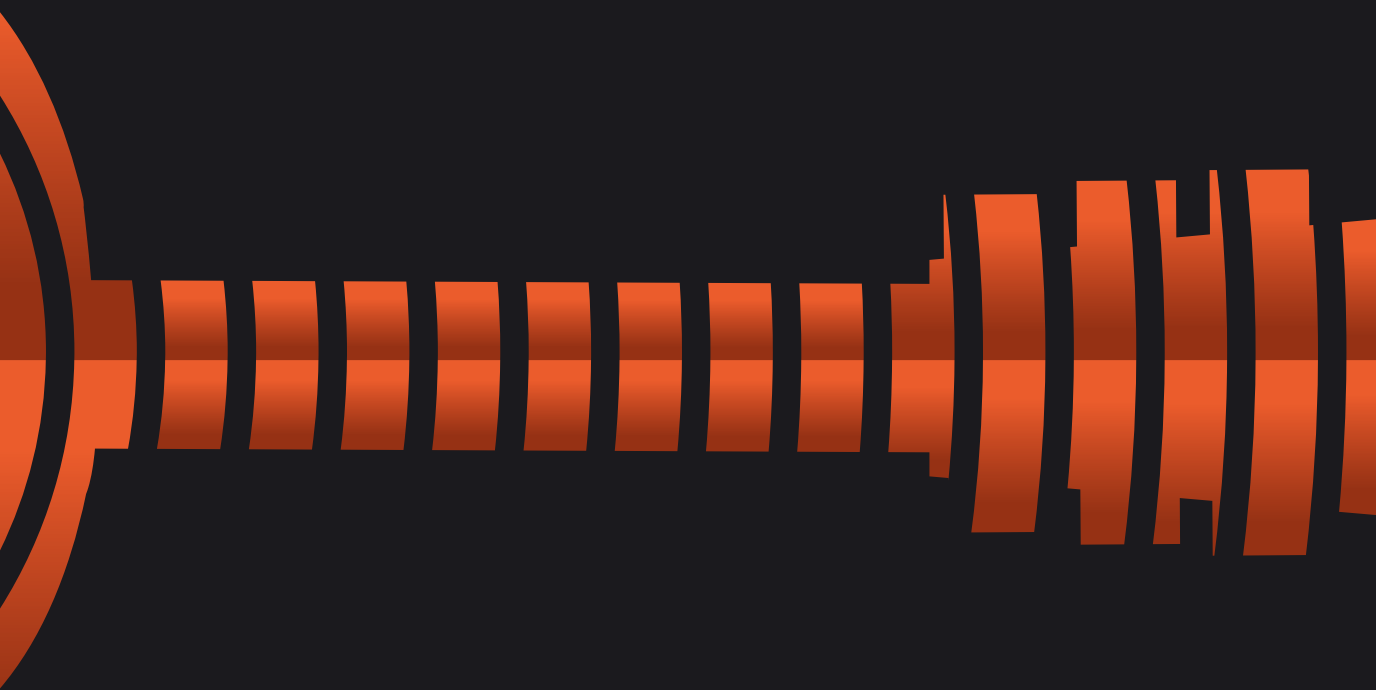
un nouvel outil

N. Bertin, L. Daudet, R. Gribonval et F. Ollivier



acoustique pour les luthiers

Lorsqu'il fabrique un instrument, le luthier le peaufine en écoutant les sons que ses vibrations produisent. Une nouvelle technique d'analyse et de visualisation des vibrations lui faciliterait la tâche.



Toc toc toc ! En frappant à la porte, on la fait vibrer. Le mouvement, imperceptible à l'œil nu, crée dans l'air environnant une alternance de surpressions et de dépressions locales qui se propagent à 340 mètres par seconde et atteignent nos oreilles. La vibration engendre ainsi une onde sonore, c'est-à-dire un « son ». Les caractéristiques de l'onde conditionnent en grande partie le son perçu. Par exemple, la fréquence d'oscillation de l'onde détermine si le son est aigu ou grave. Les différents paramètres physiques de l'objet vibrant, tels sa forme et le matériau dont il est fait, régissent la vibration. Ainsi, nous distinguons les yeux fermés un objet en verre d'un autre en bois au simple son qu'ils produisent lorsqu'on les frappe.

Il en va de même pour la table d'harmonie d'une guitare, d'un violon ou d'un piano. Mise en vibration grâce aux cordes, elle est la source principale du son de l'instrument, comme la membrane d'un haut-parleur ou la peau d'un tambour. La table d'harmonie de l'instrument étant un objet tridimensionnel complexe, sa vibration est riche et ne produit pas une fréquence unique, mais tout un ensemble de fréquences. Celles-ci sont caractéristiques d'un instrument : c'est pourquoi le son d'une guitare se distingue de celui d'un piano, même quand on y joue la même note.

Lors de la fabrication de l'instrument, l'art du luthier consiste, pour une part, à optimiser les modes de vibrations de la table d'harmonie, pour en obtenir le son qu'il attend. L'artisan intervient alors sur la forme de la table, les matériaux qui la composent et les « barrages » (des baguettes de bois raidisseuses placées sous la table). Le luthier est capable d'identifier à l'oreille le bon accordage de la table ; son savoir-faire le guide pour obtenir le son désiré.

Cependant, il pourrait lui être utile de visualiser les formes vibratoires de la table (on parle aussi de ses « modes ») qui se manifestent à une fréquence précise. Il aurait alors une connaissance objective des caractéristiques vibratoires impliquées dans le son de l'instrument.

Pour parvenir à cette identification, des dispositifs existent, mais ils sont chers, lents et difficiles à mettre en place. Est-il possible de développer un outil performant et utilisable par le luthier ? Avec des collègues acousticiens, mathématiciens et informaticiens, nous avons utilisé une

■ LES AUTEURS

Nancy BERTIN est chargée de recherche CNRS à l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (Irisa) de Rennes.

Laurent DAUDET est professeur à l'Institut Langevin de l'Université Paris-Diderot.

Rémi GRIBONVAL est directeur de recherche Inria à l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (Irisa) de Rennes.

François OLLIVIER est maître de conférences à l'Institut d'Alembert de l'Université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris.

technique novatrice de traitement du signal, l'« holographie acoustique compressée », pour visualiser rapidement et de façon fiable les vibrations d'un instrument de musique. La procédure consiste en plusieurs étapes : enregistrer le son de l'instrument, identifier les fréquences auxquelles il vibre et, pour chacune d'elles, analyser le champ acoustique pour reconstruire la forme vibratoire associée.

Pour le luthier, voir la forme vibratoire de la table d'harmonie serait une aide afin de l'accorder avant son assemblage, par exemple en optimisant la position des barrages pour renforcer ou atténuer certaines vibrations.

Le phénomène de vibration est complexe, car il dépend de nombreuses caractéristiques physiques et géométriques de la structure. Cependant, des résultats classiques de mécanique montrent que l'on peut décomposer la vibration d'une structure en une somme – une « superposition » – de vibrations élémentaires, nommées « modes propres » (voir l'encadré page 40), chacune étant associée à une fréquence spécifique.

Pour visualiser et identifier les modes propres d'une structure vibrante, deux moyens sont couramment utilisés : le calcul numérique et l'analyse expérimentale. La modélisation numérique est assez facile à mettre en œuvre, mais les résultats qu'elle produit dépendent de paramètres souvent mal maîtrisés, tels que les propriétés élastiques des matériaux (d'une grande variabilité en lutherie) et la nature de la liaison entre la table d'harmonie et son support. C'est pourquoi la méthode expérimentale est la plus adaptée pour mesurer directement la vibration et en identifier les modes propres. Comment procéder ?

Voir les vibrations, un problème ancien

Les premières études sur les vibrations et leur visualisation remontent aux travaux des physiciens allemands Ernst Chladni (1756-1827) et August Kundt (1839-1894). Le premier a étudié cette question en saupoudrant des plaques de métal avec de fines particules de poussière (voir page 43). Depuis, de nombreux progrès ont été réalisés dans ce domaine et l'industrie utilise couramment des systèmes de visualisation des vibrations à des fins de diagnostic en mécanique des structures. Les vibrations sont en effet source de

L'ESSENTIEL

■ Les luthiers s'appuient sur un savoir-faire traditionnel pour évaluer le son des instruments qu'ils perçoivent et façonnent à l'oreille.

■ Des systèmes de mesure des vibrations existent pour compléter ce savoir-faire, mais ils sont lourds et coûteux.

■ Des chercheurs ont développé une technique de visualisation rapide et fiable des modes de vibration : l'holographie compressée.

■ Cette technique associe des outils récents de plusieurs disciplines : mathématiques, informatique, acoustique et traitement du signal.

Page précédente : © shutterstock/Arak Ratanavittakorn