

UN ÉVÉNEMENT



RADIO FRANCE

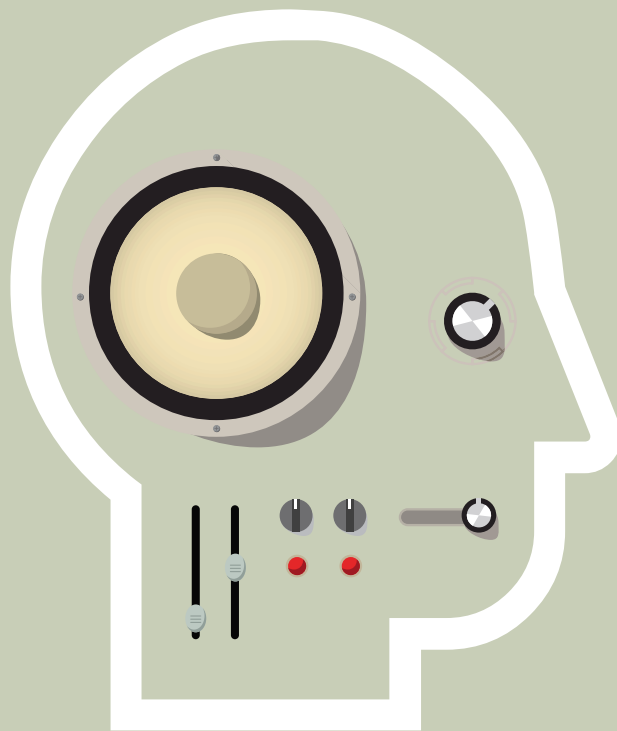
Cycle MUSIQUE & CERVEAU

**SAMEDI
13 JUIN
2015**

MAISON
DE LA
RADIO

MUSIQUE, MÉMOIRE & APPRENTISSAGE

**Grand témoin :
ANTOINE HERVÉ**



----- Avec la participation de -----

Francis Eustache
et Olivier Houdé

Animé par Hervé Platel

- > **La mémoire et le cerveau, des amnésies aux techniques de neuroimagerie**
- > **Le cerveau de l'apprentissage - Qu'est-ce qu'un cerveau qui apprend bien ?**
- > **La mémoire musicale est-elle spéciale ?**

----- Prochaine conférence -----

Samedi 12 Septembre 2015
Musique et santé.
Grand témoin : JULIETTE

Avec la participation de Pierre Lemarquis > **Soigner par la musique - Histoire et hypothèses**
et de Daniele Schön > **La musique au secours du langage - Dyslexie et surdité**
Animé par Hervé Platel > **Musicothérapie et cerveau**

Musique et Santé

Mail : info@musique-sante.org
Tél : 04 94 07 76 19

Inscription :

<http://www.musique-sante.org/>

Coût :

Prise en charge formation continue/OPCA

- Par conférence : 95 €
- Pour le cycle de trois conférences : 240 €

Prise en charge individuelle :

- Par conférence : 80 €
- Pour le cycle de trois conférences : 200 €

Association loi 1901, non assujettie à la TVA N°d'organisme de formation professionnelle : 11 75 317 04 75 N°Siret 421 942 863 000 34

Cerveau & Psycho



SACEM UNIVERSITÉ

HOMO SAPIENS INFORMATICUS chronique de Gilles Dowek

Débattre ou argumenter

*Tester un programme ou démontrer qu'il est correct ?
La seconde voie, plus satisfaisante, est à privilégier.
Pas seulement en informatique...*



Les informaticiens ont inventé de nombreuses méthodes pour éviter que leurs programmes comportent trop d'erreurs. Une première consiste, après avoir écrit un programme, à le tester sur quelques centaines ou milliers de cas. Par exemple, un programme qui cherche la sortie d'un labyrinthe étant achevé, on peut le tester sur quelques centaines ou milliers de labyrinthes différents. Si le programme fait, à chaque fois, ce que l'on attend de lui, on acquiert une certaine confiance inductive dans sa correction. Mais comme on ne peut pas tester tous les cas possibles, rien n'empêche qu'un jour apparaisse quand même une erreur.

Une deuxième méthode consiste à démontrer que le programme proposé est correct, c'est-à-dire à construire une preuve mathématique que, dans tous les cas imaginables, il fera ce que l'on attend de lui. Par exemple, après avoir écrit un programme qui cherche la sortie d'un labyrinthe, il s'agit de démontrer que ce programme trouvera toujours une sortie, s'il en existe une. Démontrer la correction d'un programme est plus difficile que le tester, mais, quand on y parvient, on est à peu près sûr qu'aucun bug ne se manifesterait lors que le programme sera en exploitation.

La notion de démonstration rapproche l'informatique des mathématiques, mais la notion de test l'en éloigne. En mathématiques, si l'on veut se convaincre que, par exemple, le résultat de la multiplication $p \times q$

de deux nombres p et q est toujours identique à celui de la multiplication $q \times p$, la seule méthode possible est la démonstration. Bien entendu, rien n'interdit de tester quelques cas tels que 3×7 et 7×3 , 12×25 et 25×12 , etc. pour se familiariser avec le problème, ou pour formuler une conjecture, mais ces tests ne contribuent jamais à un jugement de vérité.

Contrairement à une démonstration, qui implique une seule personne, le test d'un programme peut être vu comme un

**Il ne suffit pas
d'écarter les objections
de ses interlocuteurs
pour avoir raison.**

dialogue entre deux personnes fictives : l'auteur du programme, qui affirme que son programme est correct, mais sans expliquer pourquoi, et le testeur, qui objecte à cette affirmation une situation où le programme sera éventuellement mis en échec. Si ce n'est pas le cas, l'objection est écartée. Et si toutes les objections du testeur sont écartées, le programme est réputé correct. Une démonstration, en revanche, écarte d'avance non seulement les objections d'un hypothétique testeur, mais toutes les objections possibles.

Le test repose donc sur un étrange renversement de la charge de la preuve : ce n'est plus l'auteur du programme qui doit expliquer pourquoi ce dernier est correct,

mais c'est son interlocuteur qui doit trouver une situation dans laquelle l'affirmation du programmeur est mise en échec.

Cependant, ne pas être mis en échec par son interlocuteur ne signifie pas que l'on a raison ; cela peut aussi signifier que l'interlocuteur n'a pas trouvé la bonne objection. C'est pourquoi le fait qu'un programme ait été testé n'exclut jamais qu'une erreur se produise, un jour, dans une situation non explorée par les tests. Et c'est pourquoi la méthode mathématique ne consiste pas à tenir n'importe quelle proposition pour « vraie jusqu'à preuve du contraire » ; de façon générale, la démarche scientifique n'accepte les arguments inductifs que s'il n'est pas possible d'avancer des arguments déductifs.

Cela nous mène à regarder d'un œil suspect la prééminence que notre société accorde aux méthodes dialogiques, et notamment au débat contradictoire, au détriment des méthodes logiques. Comme si nous feignions de croire qu'écarter les objections de ses interlocuteurs suffisait pour avoir raison.

Avant une élection, par exemple, au lieu d'organiser un débat entre les candidats, pourquoi ne les laisserions-nous pas plutôt étayer leurs affirmations par des arguments, leur laissant ainsi la charge de la preuve de ce qu'ils affirment ? ■

Gilles DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.

L'ancien PDG de *Microsoft* nous promet un robot dans chaque foyer



Les ROBOTS

en quête d'humanité

DOSSIER POUR LA SCIENCE - INTELLIGENCE ARTIFICIELLE - ROBOTIQUE - INFORMATIQUE



MÉDECINE

Des prothèses pour des humains augmentés !

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

La menace d'une dictature invisible

N° 87 Avril-Juin 2015

pourlascience.fr

n°87 – 120 pages – prix de vente : 7.50€

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES par Gérald Bronner



Plus humains grâce aux robots

En nous affranchissant des tâches automatisables et en nous laissant les autres, les robots renforceront peut-être notre humanité, c'est-à-dire ce qui nous est propre.

Le remplacement de l'activité humaine par celle des robots ou même la crainte qu'une intelligence artificielle ne se retourne contre l'humanité traversent l'imaginaire de la science-fiction depuis longtemps. En témoignent, ses expressions les plus populaires à travers des films tels que *Matrix* ou *2001, l'Odyssée de l'espace*.

Avant d'imaginer que Skynet (la maléfique intelligence artificielle de la série *Terminator*) va provoquer l'apocalypse, nous pouvons considérer le remplacement prévisible de certaines de nos activités par des robots. Prenons l'exemple du recrutement. Depuis les années 2000, 95 % des grandes entreprises et la moitié des autres recourent à un système automatisé de traitement de CV nommé ATS (*Applicant Tracking System*), qui traque les mots-clés désirés selon le type de poste.

Le fait d'être sélectionné en première instance par une machine n'est pas réjouissant, mais, sachant que certains cabinets de recrutement utilisent l'astrologie ou la graphologie pour évaluer leurs candidats, ne vaut-il pas mieux avoir affaire à un algorithme sévère, mais juste ? D'ailleurs, l'ATS n'est utilisé que pour un premier tri des CV ; viennent ensuite les entretiens d'embauche qui, pour l'instant, sont menés par des humains.

« Pour l'instant », car les progrès dans le domaine de l'intelligence artificielle promettent de beaux développements dans celui de l'analyse sémantique. Il n'est ainsi pas impossible qu'à moyen terme le métier de traducteur finisse par disparaître, concurrencé qu'il sera par des systèmes

automatisés infiniment moins coûteux, plus rapides et peut-être aussi efficaces.

De façon générale, il est probable que tout ce qui peut être automatisé dans les activités humaines le sera. Certains économistes évaluent à 47 % le nombre d'emplois aux États-Unis qui seront informatisés-automatisés dans les 20 prochaines années.

Cette tendance ne date pas d'aujourd'hui, mais, pendant un temps, elle a surtout



LES ROBOTS NOUS LIBÉRERONT
de tout ce qui peut être automatisé.
Au bénéfice de la créativité humaine ?

concerné les activités proprement physiques où la machine, plus rapide et endurante, a surclassé facilement les humains. À présent, ce sont nos activités cognitives mêmes qui sont l'objet de l'invasion du numérique.

Cette perspective est effrayante car, au-delà du mythe apocalyptique d'une machine qui prendrait le pouvoir, elle nous confronte à la possibilité obsédante que nous ne soyons que des machines évoluées. Que resterait-il de notre humanité s'il était démontré que tout en nous pouvait être « algorithmisé » ?

En première approche, l'intelligence artificielle paraît attaquer le cœur même de notre créativité. Par exemple, un logiciel tel que *OMax* est capable d'improvisation musicale. Mais, à bien y regarder, cette intelligence artificielle ne fait jamais qu'« à la façon de ». Si, par sa rapidité de calcul, par sa capacité à convoquer des bases de données gigantesques, la machine peut optimiser les acquis de la culture humaine, il reste à l'humanité l'exploration de l'inconnu dans tous les domaines : sciences, arts, etc.

L'histoire imaginée par des robots ressemblerait à un cercle ; celle conçue par les humains aurait plus la figure d'une spirale évolutive et erratique. Pour prendre un autre exemple, l'une des caractéristiques de notre cerveau est sa capacité à faire un choix en partie indécidable sur une base objectivement rationnelle entre deux univers possibles contradictoires (comme : Dois-je porter mon pull rouge ou bleu aujourd'hui ?). Cette tâche d'arbitrage ne peut être l'objet d'un algorithme.

Il n'est donc pas certain que cette avancée des machines nous dépouille de notre humanité. Au contraire, sans doute nous encouragera-t-elle à utiliser ce que nous avons de plus spécifiquement humain, en nous libérant de tout ce qui peut être automatisé. Ainsi, la question se pose : Et si l'invasion des robots nous rendait plus humains ? Le plus inquiétant est de savoir s'il existe un modèle économique et social qui supporterait une telle libération. ■

Gérald BRONNER est professeur de sociologie à l'Université Paris-Diderot.



LA MARCHÉ DES SCIENCES

DÉCOUVERTES, INVENTIONS, AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE



AURÉLIE LUNEAU
CHAQUE JEUDI
14H - 15H

Écoute, réécoute, podcast
franceculture.fr



Réchauffement climatique

La carte des vins redessinée ?

Kimberly Nicholas

Le changement climatique modifie les caractères des vins produits dans les terroirs. En Californie et ailleurs, les producteurs de vins sont déjà confrontés à la nécessité d'adapter leurs vignobles et leurs pratiques.

L'ESSENTIEL

- La température de l'air augmente dans les vignobles, ce qui change la composition du vin.
- Plus alcooliques, moins acides, voire moins tanniques... : les grands crus risquent de perdre certains des caractères qui ont fait leur célébrité.
- Déjà, les viticulteurs s'adaptent en faisant évoluer leurs pratiques agronomiques et œnologiques.

Il fait chaud dans une vigne ! Couverte de poussière, je prélevais des grappes pour mes recherches à propos de l'influence de la température et de la luminosité sur le raisin, quand la vue d'un cep m'arrêta net. Dans cette parcelle située à Carneros, dans la vallée de Sonoma en Californie, il n'y aurait pas dû y avoir autre chose que du pinot noir. Et voilà que je tombais sur des ceps de... cabernet franc, de petit verdot, de syrah, de malbec, de sauvignon blanc...

J'eus l'explication quelque temps plus tard quand je tombais sur Ned Hill, à la tête du vignoble incorporant la parcelle où j'avais fait ma découverte. « C'est un essai que je mène, m'expliqua-t-il. Je n'ai aucune raison pour le moment de changer de cépage. Toutefois, il commence à faire chaud ici pour le pinot noir, alors je teste des variétés de climat plus chaud. »

Le changement climatique a un impact sur la vigne, donc sur le vin. Que faire pour qu'un pinot noir californien ou bourguignon conserve son bouquet caractéristique ? Des vignobles millénaires sont-ils sur le point d'être remplacés par de nouveaux ? La réponse va dépendre de l'ampleur du changement climatique et... de l'innovation viticole et œnologique.

La région où les vallées de Sonoma et de Napa se joignent avant de déboucher dans la baie de San Francisco est dotée d'un microclimat frais adapté à la culture du pinot noir. Pour autant, si les températures continuent à augmenter, ce cépage pourrait cesser d'être cultivable dans les terroirs qui l'ont accueilli en Amérique, et les vigneron nord-californiens devront passer à la culture du cabernet, voire de la syrah. Un cépage est une variété de



Vitis vinifera, c'est-à-dire de vigne à vin. Le changement climatique commence à modifier la biologie des vignes là où on les cultive traditionnellement, et cela pourrait altérer les caractères qui font les vins du monde entier. Les amateurs risquent-ils de ne plus reconnaître leurs vins préférés ?

Du pinot à Fresno ?

Quand ils travaillent à adapter des céréales ou d'autres plantes nourricières au changement climatique, les agronomes se concentrent surtout sur les effets du réchauffement de l'atmosphère sur les rendements. Et dans le cas de la vigne ? Pour faire produire des crus de qualité à cette plante, on restreint volontairement son rendement, de sorte que c'est la qualité du raisin qui change avec le climat.

Dans la viticulture visant de gros volumes, qui, en Californie, existe par exemple à Fresno, le réchauffement climatique change peu de choses. En revanche, il menace les grands crus que l'on cultive 320 kilomètres plus au Nord, sur les terres plus fraîches des environs de San Francisco. Là, des ouvriers agricoles qualifiés prennent soin de chaque cep une dizaine de fois par an. Ils essaient ainsi de gagner en qualité ce que l'on perd en quantité. Une vigne ne disposant que de ressources restreintes emploie en effet ces dernières dans les quelques grappes qui lui sont possibles, où elle concentre saveurs et arômes.

À Fresno, où la température est en moyenne de 2,5 °C plus élevée qu'à Napa, on vise plutôt la production de masse. Même si elle semble faible, la différence de température entre Fresno et Napa a

d'énormes conséquences sur la valeur et la nature des raisins. Notamment, elle rend impossible la culture de pinot à Fresno.

La température régule la vie de toute plante, donc de la vigne. Celle-ci, du reste, est tellement influencée par son environnement que les Français ont créé un mot pour le désigner : *terroir*. Comme le café et d'autres produits végétaux, le vin reflète son terroir. Le sucre que produit la vigne grâce à la photosynthèse est modifié puis, selon les conditions locales, recombinaison en une multitude de composés. Les odeurs de framboise, de banane ou d'herbe fraîche que vous appréciez tant dans votre verre, ce sont eux. La température, mais aussi l'humidité, la lumière et le sol lui-même exercent leur influence sur ce ballet chimique. En fin de compte, un vin contient quelque 80 % d'eau, 12 à 15 % d'alcool et pas plus de 5 %



Avec l'aimable autorisation de Robert Sinskey Vineyards

LES VITICULTEURS LUTTENT CONTRE LA HAUSSE DE LA TEMPÉRATURE ATMOSPHÉRIQUE MOYENNE en réorientant les rangs de leurs vignes en travers de la course solaire et en taillant leurs ceps pour que les feuilles entourent les grappes et leur fassent plus d'ombre.

d'autres constituants. Cet « extrait sec », toutefois, fait tout son caractère.

Faire du vin est clairement affaire de compétence. Pour autant, tous les vignerons que je connais pensent que la qualité d'un vin provient avant tout de son terroir. « Quand tout est bien fait dans le vignoble, mon travail consiste juste à ne rien gâcher », m'a joliment résumé un vigneron californien. Un grand vin se cultive ; il ne se fabrique pas.

Or les conditions climatiques ont une triple influence sur la vigne : elles jouent sur le climat de sa région (son macroclimat), sur son mésoclimat – à l'échelle de la parcelle –, et sur le « microclimat » auquel sont soumises les grappes au sein du feuillage. Le macroclimat détermine les précipitations et les températures, et par là module le cycle végétatif. Comme les températures contrôlent le réveil des vignes après l'hiver, puis leur croissance et leur mûrissement, elles dictent quelles variétés sont adaptées au lieu considéré et à son climat. Il existe des milliers de variétés, dont certaines sont adaptées à la fraîcheur allemande et d'autres à la chaleur extrême des longs étés espagnols...

Du fait du lent réchauffement de l'atmosphère terrestre, de nouvelles régions – le Sud de l'Angleterre notamment – s'ouvrent à la viticulture, tandis que d'autres, certaines parties de l'Australie par exemple, luttent contre les sécheresses fréquentes et de forts degrés alcooliques défavorables à l'équilibre des arômes. L'évolution des pluies et des périodes de précipitations altère la qualité des raisins de diverses façons. Une humidité excessive favorise les champignons de la vigne – mildiou et oïdium. Même compensée par l'irrigation, la sécheresse stresse

les plantes. Mes recherches montrent que les rendements baissent en cas de sécheresse, même quand on arrose les vignes (voir l'entretien avec Jean-Marc Touzard, page 34).

L'influence du mésoclimat régnant dans un vignoble commence par ces composantes de base de la saveur d'un vin que sont ses sucres et ses acides, véritables yin et yang du vin. Au cours du mûrissement, phénomène entièrement contrôlé par la température, la chaleur élève le taux de sucre de 1 ou 2 % par semaine. Les fruits accumulent donc des sucres, au point que des raisins mûrs contiennent un quart de leur poids en sucres (deux fois plus que dans une pêche mûre!).

Degrés en plus, anthocyanes en moins

Ensuite, à la cave, la fermentation convertit les sucres en alcool. Ainsi, plus les raisins sont sucrés, plus les vins qu'ils donnent sont alcoolisés. La lente montée de la température moyenne de l'atmosphère produit donc une augmentation mondiale du degré des vins. Or les degrés d'alcool élevés s'accompagnent d'une impression brûlante et amère, qui peut empêcher de percevoir les saveurs subtiles ou les altérer.

Quant aux acides, ils sont très présents dans les raisins immatures (une tactique de défense de la plante), puis ils sont partiellement dégradés au cours du mûrissement. Leur effet principal est de conférer au vin de la fraîcheur. Dans des régions viticoles froides, les viticulteurs emploient des variétés qui, tout en mûrissant vite pendant la brève période végétative, produisent une acidité plaisante, c'est-à-dire

modérée. Si la température moyenne continue à s'élever, les vins produits sous les climats frais aujourd'hui, tel le riesling alsacien (et allemand), pourraient perdre leur fraîcheur, puisque la chaleur dégrade l'acidité (voir l'entretien avec Jean-Philippe Gervais, page 32).

Outre les sucres et les acides, d'autres molécules rares jouent un rôle important dans le vin. Parmi elles, les tanins sont des composés phénoliques dont le nom provient de leur usage pour conserver les peaux. Ce sont les tanins qui font l'essentiel de la couleur du vin, laquelle oriente fortement nos sensations lorsque nous en buvons. Les tanins proviennent de la peau et des pépins du raisin, et non pas de son jus, en général blanc (sauf dans quelques cépages dits « teinturiers »).

Selon que l'on produit des vins rosés ou rouges, on laisse macérer les peaux dans le jus pendant une nuit ou une semaine. Outre des tanins, la peau transfère au jus des anthocyanes, composés phénoliques très répandus dans la nature puisqu'ils pigmentent les baies, les violettes, les aubergines, etc. Initialement moins concentrés en anthocyanes, les jus de raisins blancs sont séparés des peaux dès l'arrivée en cave. Même si la formation de ces composés phénoliques dépend avant tout de l'exposition au soleil, on constate que la couleur des vins de climats chauds est souvent moins intense que souhaité. Les études suggèrent que la température atmosphérique moyenne n'est pas le seul paramètre qui influe sur la production d'anthocyanes : le franchissement de certains seuils de température conduirait à une diminution sensible des teneurs en anthocyanes.

Le mésoclimat de la parcelle joue aussi sur la texture du vin due aux tanins : une caractéristique que l'on décrit en employant des termes tels que « charpenté », « soyeux », « râpeux »... En bouche, les tanins se lient aux protéines de la salive, ce qui a pour effet de dessécher la langue et les gencives et, ainsi, d'altérer la perception des saveurs. Un vin ayant un bon équilibre tannique permet de mieux savourer les aliments, car les tanins nettoient le palais et éliminent les graisses fixées sur les récepteurs gustatifs, ce qui fait ressortir le goût de chaque bouchée. Or trop de lumière ou de chaleur réduit les tanins et altère l'équilibre du vin.

Nous en arrivons maintenant aux composés présents à l'état de traces. Leur rôle n'est pas négligeable. Ils confèrent au vin sa singularité, tout particulièrement celle de son parfum. Lorsque nous goûtons un vin, nous commençons souvent par le faire tourner au fond du verre. Cette action volatilise les arômes, et nous les humons.

Parmi ces arômes figurent aussi les composés présents à l'état de traces, lesquels, en allant se fixer sur nos récepteurs olfactifs, participent à l'impression produite. Situés dans notre nez, ces récepteurs envoient des signaux au cerveau, qui intégrera de nombreuses informations sensorielles pour produire une impression aromatique complète. Le « goût », pour sa plus grande part, provient ainsi de l'odorat.

Taux de sucres ou taux d'arômes ?

Nous savons que les composés aromatiques présents à l'état de traces apparaissent dans le raisin sous l'influence de la température durant les derniers stades du mûrissement. Nommé « mûrissement de la saveur », ce phénomène se produit à une vitesse différente de celle du mûrissement des sucres. Or, traditionnellement, on démarre la vendange en fonction du

■ L'AUTEUR

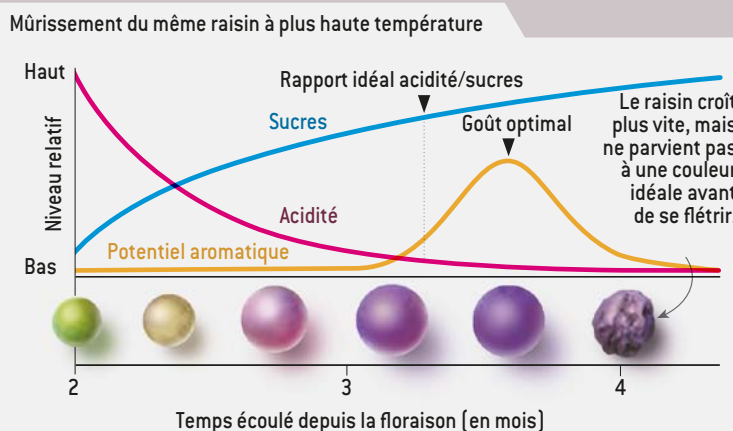
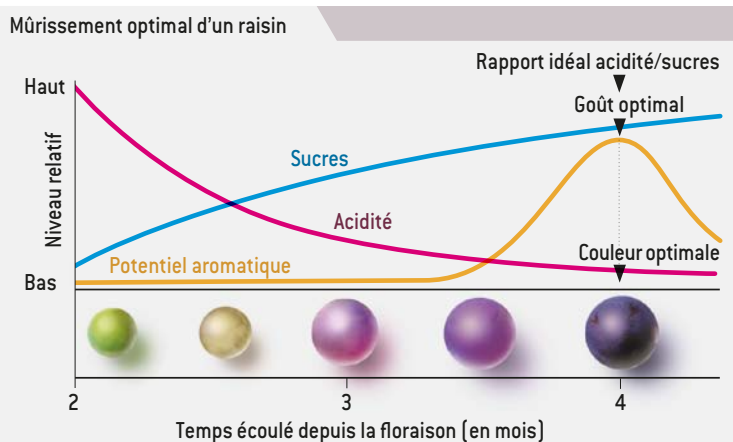


Kimberly NICHOLAS est maître de conférences en science de la soutenabilité à l'Université de Lund, en Suède. D'origine californienne, elle conseille des vignerons et producteurs de vin dans le monde entier.

DÉCIDER DE LA DATE DES VENDANGES DEVIENDRA DE PLUS EN PLUS DIFFICILE

Fixer la date des vendanges a toujours été difficile, puisqu'il faut plusieurs mois au raisin pour mûrir. Au cours du mûrissement, le taux de sucres augmente dans les baies (*courbe bleue*) tandis que celui des acides y diminue (*courbe rouge*). Le rapport idéal entre sucres et acides est atteint au bout de quatre mois de mûrissement environ. Par ailleurs, le potentiel aromatique produit par les très nombreux composés aromatiques atteint son optimum à peu près au même moment, de sorte que la fenêtre idéale pour lancer les vendanges est très étroite.

À l'avenir, fixer la date des vendanges pourrait devenir de plus en plus difficile, car le rapport optimal des taux d'acides et de sucres pourrait être atteint plus tôt dans la saison, avant que le potentiel aromatique – lui aussi atteint plus tôt – ne le soit. Dès lors, les vendanges devront démarrer à des périodes différentes selon que l'on privilégie plutôt les arômes ou plutôt le rapport acidité/sucres. L'atmosphère se réchauffant, les raisins pourraient aussi mûrir trop vite pour accumuler assez de potentiel aromatique (*le pic orange est moins élevé*) ou pour acquérir une couleur plaisante à la dégustation.



taux de sucres. Mais aujourd'hui, certains viticulteurs lancent leur vendange en fonction de la présence des saveurs que la vinification révélera.

De leur côté, les chercheurs essaient de mieux comprendre l'influence sur la perception gustative du millier de composés aromatiques ou plus que contient le vin. C'est en effet difficile à prédire, car nombre de ces composés sont présents à de très faibles concentrations, tandis que la sensibilité humaine à une substance chimique varie d'un facteur 100 à 1 000 d'une personne à l'autre... Plus de 200 composés contribuent par exemple

au goût de fraise, de sorte qu'en fonction de la sensibilité olfactive de chacun, telle personne le percevra, tandis qu'une autre ne le percevra pas.

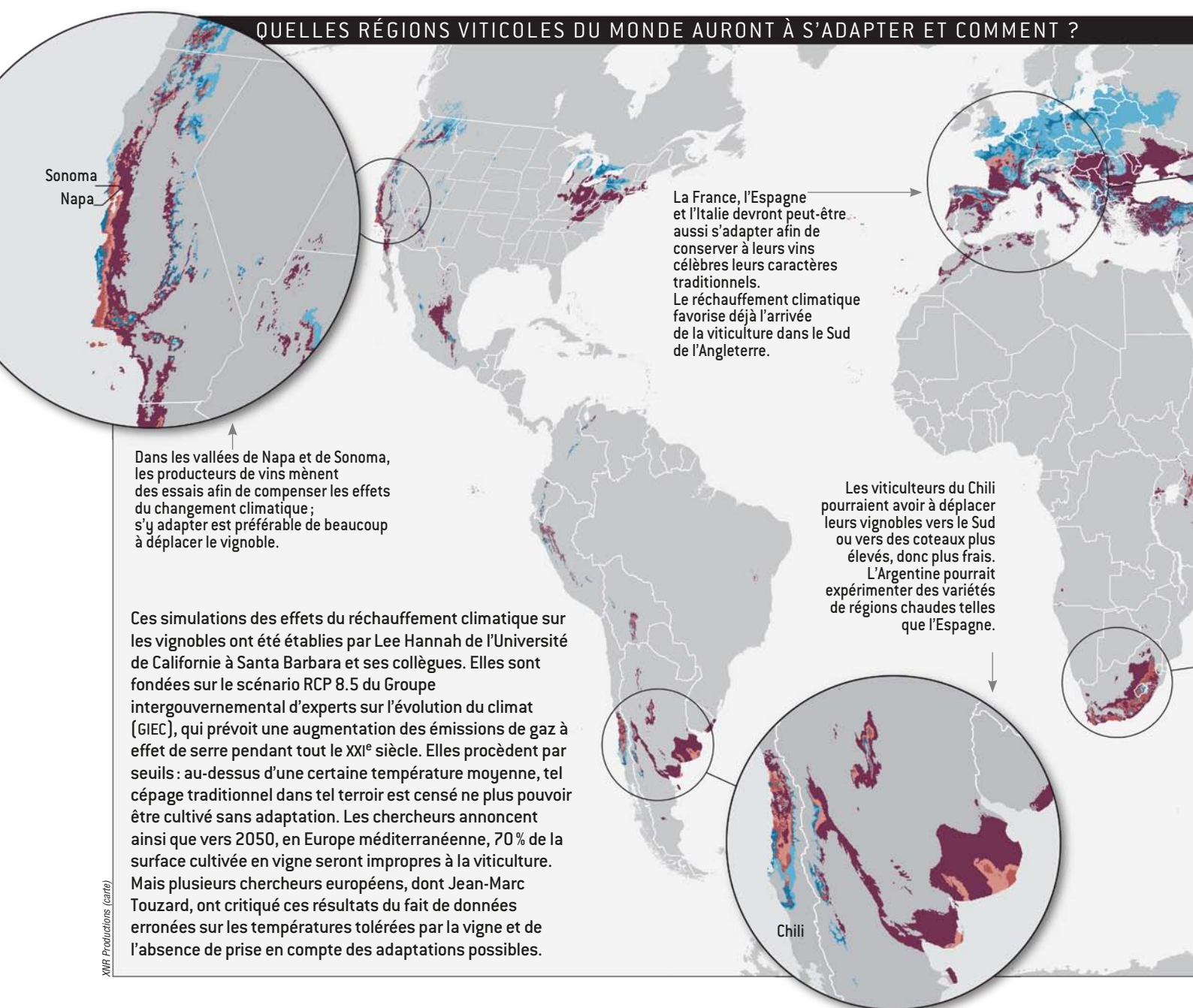
Comment les vignerons commencent à s'adapter

Que peut faire un vigneron pour s'adapter au changement climatique ? Une stratégie envisageable est de tenter de faire migrer progressivement son vignoble vers les zones les plus favorables de son terroir, par exemple en plantant ses nouvelles vignes sur un coteau frais plutôt que dans

une vallée chaude. Toutefois, déplacer un vignoble n'a rien de facile et prend du temps. En outre, les viticulteurs sont très liés à leurs terres, qu'ils connaissent et cultivent souvent depuis des générations, de sorte qu'ils n'envisagent pas une seconde de les quitter.

Une stratégie plus naturelle pour les vignerons est la sélection de vignes adaptées au nouveau climat. Depuis que la vigne à vin, *Vitis vinifera*, a été domestiquée, il y a des millénaires, les viticulteurs ont sélectionné des milliers de variétés dotées de traits différents et adaptées à des terroirs divers. Choisir une variété prometteuse de

QUELLES RÉGIONS VITICOLES DU MONDE AURONT À S'ADAPTER ET COMMENT ?



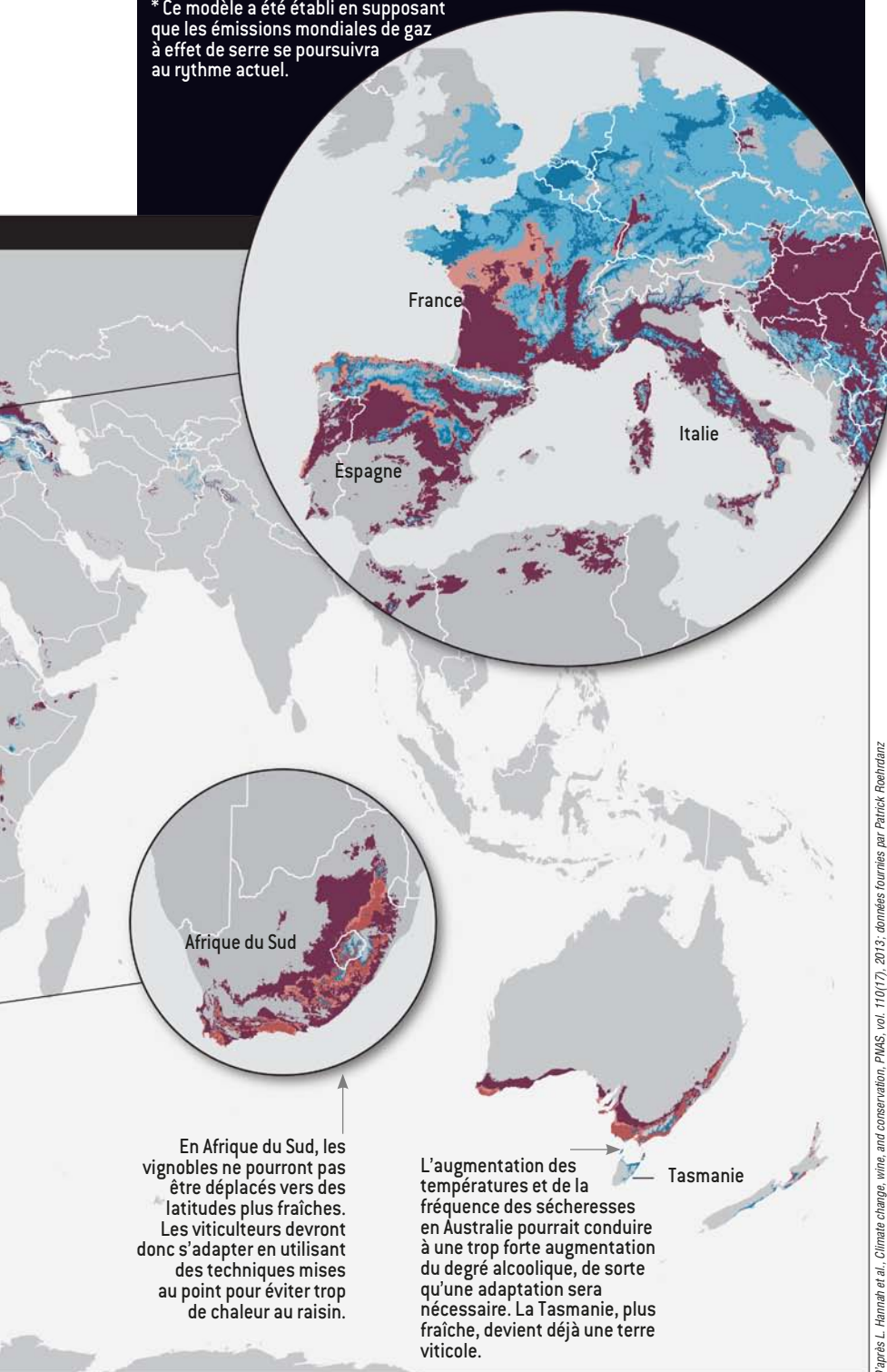
Besoins d'adaptation des régions viticoles actuelles d'ici 2050*

- Très probable nécessité d'une adaptation des vignobles
- Probable nécessité d'une adaptation des vignobles
- Improbable nécessité d'une adaptation des vignobles

Nouvelles régions viticoles d'ici 2050

- Très probablement
- Probablement

* Ce modèle a été établi en supposant que les émissions mondiales de gaz à effet de serre se poursuivra au rythme actuel.



par ses caractéristiques pour l'implanter là où elle n'a pas encore poussé a toutefois de grandes chances de ne pas produire le résultat escompté...

Le pinot noir, par exemple, a été sélectionné pour sa vitesse de maturation dans le frais climat bourguignon. Cette variété a été implantée en Californie, où elle se retrouve sous un climat plus chaud. Étant donné leur mûrissement rapide, les pinots noirs californiens ne reproduisent pas toujours le mélange aromatique bourguignon, si apprécié. La plantation de variétés de pays aux climats plus comparables avec le climat californien, telle l'Espagne, pourrait sans doute produire de meilleurs résultats, mais les essais correspondants dureront des années...

La mise au point de variétés de vigne résistant à l'augmentation des températures est bien plus difficile que la mise au point de variétés de céréale ayant la même résistance. En effet, après une décennie ou plus de création d'une nouvelle variété, il reste à vérifier qu'elle peut être cultivée dans tel ou tel terroir, ce qui demande des années d'expérimentations.

Mesures agronomiques

Les vignerons luttent aussi contre le changement climatique par des mesures agronomiques. Lors d'une nouvelle plantation, ils peuvent par exemple réorienter les rangs afin d'augmenter l'ombre que se font mutuellement les vignes. Une taille adaptée des jeunes ceps de vigne pendant la croissance pourra aussi produire plus de feuillage, qui offrira plus d'ombre aux raisins. L'emploi de toiles anti-grêle et autres tentures peut aussi servir à créer un ombrage utile pour retarder la maturation. La greffe d'une variété traditionnelle sur un porte-greffe (un pied de vigne) issue d'une autre variété mieux adaptée (surgreffage) est aussi une stratégie possible. La décision de greffer, toutefois, ne se prend en général qu'au début du long cycle de culture.

Les vignerons peuvent jouer sur les conditions très locales régnant autour du raisin de façon à mieux conserver les composés importants. Les mesures que j'ai effectuées à la surface de filets anti-grêle protégeant plus de 500 pieds de vigne dans la région de Carneros ont révélé une luminosité triple de celle qui avait été précédemment publiée. Or ces vignes sont palissées verticalement, c'est-à-dire que

La Bourgogne a résisté à la chaleur et fera face au réchauffement

Jean-Philippe Gervais, directeur technique du Bureau interprofessionnel des vins de Bourgogne (BIVB), nous décrit l'impact du changement climatique en Bourgogne et comment les vignerons bourguignons s'y adaptent.

POUR LA SCIENCE

Partout en France, les vendanges démarrent plus tôt, le degré alcoolique croît et les arômes changent. Tout va bien en Bourgogne ?

JEAN-PHILIPPE GERVAIS : Tout va bien ! Pour parler clairement : s'agissant des pinots noirs de Bourgogne, jusqu'à aujourd'hui, on peut se réjouir du changement climatique. Nous récoltons des raisins plus mûrs, chose dont on sait qu'elle est difficile à obtenir dans un contexte septentrional.

PLS

Les vins ont donc aussi changé pour d'autres raisons que le changement climatique ?

J.-P. G. : Effectivement, notre meilleure compréhension des déterminants de la qualité a permis de gommer un certain nombre de défauts. Ainsi, on connaît bien désormais les facteurs culturaux et œnologiques favorables à l'obtention de grands crus. En Bourgogne, il est certain que l'on a beaucoup moins ces vins un peu dilués, maigres,

PLS

Mais comment ces cépages septentrionaux supportent-ils les années très chaudes ?

J.-P. G. : Prenons l'exemple de notre millésime le plus chaud en 20 ans : 2003. Quand on goûte les vins de cette année-là, on retrouve toujours la fraîcheur que l'on attend normalement des bourgognes. Cela signifie que les vignerons ont su s'adapter à ce millésime chaud et réussi à conserver leur caractère frais. Or l'année pouvait sembler dramatique aux vignerons. « Si toutes les années sont comme cela, comment allons-nous faire ? », pouvaient-ils se demander. L'expérience montre qu'ils ont réussi à tenir le choc.

conduite des macérations, afin de tenir compte de la composition particulière des raisins.

PLS

Que fera-t-on quand ces pratiques ne suffiront plus ?

J.-P. G. : Les raisins actuels sont produits avec un matériel végétal qui a été choisi il y a 10 ou 30 ans, quand on sélectionnait les cépages en fonction de



Jean-Philippe GERVAIS,
Bureau interprofessionnel
des vins de Bourgogne.

LE TERROIR BOURGUIGNON a une physionomie bien à lui qui est familière aux amateurs de bourgognes du monde entier.



© shutterstock.com/PHB.cz (Richard Semky)

PLS

Le réchauffement climatique a donc amélioré le bourgogne ?

J.-P. G. : Oui ! Cependant, il faut faire attention aux mots que l'on utilise. On a toujours fait de grands vins en Bourgogne, sauf que le profil de ceux que l'on fait aujourd'hui n'est plus celui de ceux que l'on faisait dans les années 1960. Par là, je pense notamment à la couleur. Les vins actuels ont beaucoup plus de couleur. À chaque époque, on a fait des vins répondant à une certaine esthétique, correspondant à un certain potentiel de ce que l'on peut exprimer.

acides... mais on a toujours autant de diversité.

PLS

Pourquoi ?

J.-P. G. : Parce que la Bourgogne n'est pas plantée que de quelques clones, mais d'un très grand nombre de pieds de pinot de souches différentes. Je suis ainsi frappé de voir que sur les terroirs d'appellation, par exemple l'appellation Vosne-Romanée, il existe une très grande variété de styles de vins, qui sont tous de très haute qualité, mais de styles différents.

PLS

Comment ont-ils fait ? Ont-ils vendangé à maturité et ainsi obtenu des degrés trop élevés ?

J.-P. G. : Non, car ils ont justement évité la surmaturité. Les gens ont été très surpris, car les vendanges ont démarré pendant les vacances d'été. Il y a eu une accélération de la maturation en août et, pour ne pas se retrouver dans des situations de surmaturité, il fallait récolter les raisins vite. Les vignerons ont donc vendangé la nuit pour avoir les meilleures conditions de température et ont adapté leur vinification, notamment la

la richesse en sucre. Demain, on choisira le matériel végétal en fonction du réchauffement climatique, qui va certainement continuer. Nous avons de la chance : dans la famille des pinots, il y a une diversité énorme. Vous avez des vignes avec des raisins de petite taille, des grappes lâches, des aptitudes plus ou moins importantes à la production de sucres... Un mauvais plant aujourd'hui, parce qu'il ne produit pas assez de sucres, sera peut-être un très bon plant dans 50, 100 ou 200 ans.

*Propos recueillis
par François SAVATIER*

© shutterstock.com/FredPro133

les sarments et leur feuillage sont fixés sur des fils de fer au-dessus du raisin afin de réduire les maladies fongiques, grâce à une ventilation accrue. Toutefois, selon les études que j'ai menées avec des collègues de l'Université Stanford et de celle de Californie à Davis, chaque pourcent d'augmentation de la luminosité signifie 2 % en moins d'anthocyanes et de tanins! Dès lors, étant donné l'augmentation des températures, ne vaudrait-il pas mieux réduire le palissage vertical afin d'augmenter l'ombre du feuillage sur les grappes?

Mesures œnologiques

Les vignerons peuvent aussi essayer de compenser les effets du réchauffement climatique par des mesures œnologiques. Si les acides se perdent trop vite lorsque la région se réchauffe, ils peuvent en ajouter en cours de vinification. Si les raisins accumulent trop de sucre, donnant un trop fort degré alcoolique, l'emploi de l'osmose inverse ou d'une autre technique leur permettra de retirer l'excédent d'alcool. Ces options sont toutefois limitées, et elles ne suffiront jamais à rétablir exactement un mélange traditionnel d'arômes.

Tirer le meilleur du raisin est un métier qui requiert des années de dur labeur. Pour certains spécialistes de la filière du vin, les régions viticoles du Nouveau Monde, telle les vallées de Napa et de Sonoma, sont encore en train de créer leurs bons terroirs. Pour autant, peut-on se demander, l'expérience déjà accumulée pendant plusieurs générations n'est-elle pas en train d'être réduite à néant par le changement climatique?

«J'ai ouvert une bouteille de notre vin et il sentait comme un Carneros», m'a dit récemment Debby Zygielbaum, qui travaille au sein du vignoble Robert Sinskey dans la vallée de Napa. Un Napa sentant le Carneros? C'est problématique, car tant les Napa que les Carneros ont déjà leurs amateurs, qui savent bien ce qu'ils boivent...

Même si le réchauffement climatique est sans doute en train d'améliorer les vins produits dans les régions fraîches, telle la Tasmanie ou encore la Bourgogne, les changements à venir risquent de perturber nombre de vignobles célèbres baignés par des climats plus chauds. En Californie, par exemple, il suffirait d'après mes calculs d'un réchauffement printanier de plus de 1,6 °C pour que les rendements chutent. Il semble que les consommateurs l'aient



COMME TOUS LES VINS ROUGES, celui de Robert Sinskey, dans la vallée de Napa en Californie, est produit en maintenant assez longtemps les peaux des grains de raisin en contact avec le jus pour en extraire le plus possible de couleur et de tanins.

déjà compris: les cours du pinot noir de Californie baissent dès que la température moyenne durant le mûrissement dépasse un certain seuil...

Nous avons vu que les vignerons disposent de moyens techniques pour adapter leurs vignobles au changement climatique, mais suffiront-ils? Tout d'abord, il y a des limites biologiques à ce que l'on peut faire; ensuite, si l'usage de techniques de correction devait trop s'intensifier, les vins deviendraient des produits «fabriqués» plus que des produits de terroir...

Si l'humanité persiste dans son comportement actuel, la température terrestre moyenne va augmenter de 2,6 à 4,8 °C pendant les vies des prochaines générations. Cette augmentation peut sembler modeste, mais la limite inférieure de cet intervalle correspond à la différence de température moyenne entre Napa et Fresno, tandis que la limite supérieure correspond à la différence entre la ville viticole de Lodi, dans la vallée centrale de la Californie, et Houston au Texas... Bien que les viticulteurs soient pleins de ressources et très créatifs, l'idée de faire pousser du raisin dans le climat texan est choquante.

Nous sommes en train de perturber profondément la nature, donc la vigne. Si nous ne changeons pas vite nos comportements, le goût perdu des vins de ma région natale ne représentera que l'une des conséquences les moins graves du changement climatique...

■ BIBLIOGRAPHIE

L. Hannah *et al.*, *Climate change, wine, and conservation*, *PNAS*, vol. 110(17), pp. 6907-6912, 2013.

C. van Leeuwen *et al.*, *Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050*, *PNAS*, vol. 110(33), pp. E3051-E3052, 2013.

Hervé Quenol, *Changement climatique et terroirs viticoles*, Lavoisier, 2014.

K. A. Nicholas et W. H. Durham, *Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in northern California*, *Global Environmental Change*, vol. 22(2), pp. 483-494, 2012.

■ À ÉCOUTER

Le jeudi 7 mai 2015, de 14h à 15h, l'économiste Jean-Marc Touzard, de l'Inra, reviendra sur l'adaptation des vignes au changement climatique dans la partie *Actualités* de l'émission *La marche des sciences* sur France Culture. www.franceculture.com

« Avec 4 °C de plus, la carte du vignoble français explose ! »

Entretien avec Jean-Marc Touzard

Quel est l'impact du réchauffement climatique sur le vignoble français, et comment ce dernier s'adapte-t-il ? L'éclairage de Jean-Marc Touzard, l'un des coordonnateurs du programme de l'Inra pour l'adaptation de la vigne au climat futur.

POUR LA SCIENCE

Le réchauffement climatique met-il le vignoble français en danger ?

JEAN-MARC TOUZARD : Si l'on suit et atteint l'objectif vertueux fixé pour la *Conférence Paris Climat* (COP 21, fin 2015) de ne pas dépasser une hausse de la température moyenne de 2 °C, nos vignerons parviendront à s'adapter. En revanche, avec un réchauffement de 3 à 4 °C avant la fin du siècle, les raisins seront mûrs en été à des températures jusqu'à 7 °C plus élevées dans certaines régions, et la carte du vignoble français explose !

PLS

Quel est, aujourd'hui, l'impact du changement climatique ?

J.-M. T. : On observe partout une accélération du cycle végétatif, qui, depuis les années 1960, a avancé les vendanges de deux à trois semaines vers l'été. C'est énorme ! Conséquence : une augmentation du taux de sucres dans le raisin et donc du degré alcoolique. Pour l'instant, ce serait plutôt un atout : dans les régions où l'on avait du mal à récolter à maturité, on y arrive désormais. Résultat, il y a aujourd'hui davantage

de bons millésimes dans le Bordelais ou en Bourgogne. Il n'y a guère que dans le Sud qu'une certaine saturation alcoolique du vin devient problématique...

PLS

Les vins du Nord profitent donc du réchauffement climatique ?

J.-M. T. : Oui, s'agissant des sucres et de l'alcool, mais pas des acides du raisin, très sensibles au surcroît de lumière et de chaleur : on constate une baisse générale de l'acidité du vin. Comme l'identité des vins septentrionaux est liée à leur acidité, notamment celle des vins blancs, c'est une difficulté sérieuse. Dans les vins blancs alsaciens, le problème est bien identifié, tout comme en Champagne, où l'on peut toutefois corriger en jouant sur l'assemblage des vins.

PLS

Ainsi, le réchauffement déséquilibre le vin ?

J.-M. T. : Comme l'explique Kimberly Nicholas dans son article, il change la façon d'obtenir cet équilibre, voire, dans certains cas, l'empêche. La recherche de l'équilibre des vins est compliquée par le déphasage des cinétiques de

certaines molécules très sensibles à des paramètres climatiques fins, tels certains terpènes, thiols et autres polyphénols. Leur présence ou absence modifie les composantes aromatiques. Dans les rouges bordelais, on a observé en 2003, année de canicules, une tendance à passer d'arômes de fruits frais (mûre, framboise...) à des arômes de fruits cuits (figue, cassis...). Quant à la baisse des tanins provoquée par l'élévation des températures sur certains cépages de rouge – le grenache par exemple – elle peut entraîner des pertes de couleur. L'équilibre du vin s'obtient en ajustant différents paramètres : sucre, alcool, acidité, structure tannique, arômes. Le réchauffement climatique modifie l'évolution des uns par rapport aux autres au cours de la maturation.

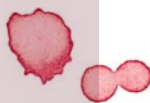
PLS

Comment les vignerons s'adaptent-ils ?

J.-M. T. : Par toute une combinaison de mesures, dont la nature dépend des conditions locales. Un point crucial est que le réchauffement climatique implique des problèmes d'eau. Des sécheresses estivales plus fréquentes et plus marquées se produiront, surtout au Sud. Combinées



Jean-Marc TOUZARD
est économiste à l'Inra,
à Montpellier.



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'hygrométrie 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, mais saturent 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

