

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/344385872>

La diversité des cépages est une puissante ressource d'adaptation au changement climatique

Article · January 2020

CITATIONS

0

READS

388

9 authors, including:



Agnes Destrac Irvine

French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE)

40 PUBLICATIONS 737 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mark Gowdy

Bordeaux Sciences Agro

8 PUBLICATIONS 144 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Bruno Suter

Bordeaux Sciences Agro

4 PUBLICATIONS 27 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Cécile Thibon

Université Victor Segalen Bordeaux 2

46 PUBLICATIONS 1,145 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Wine Minerality [View project](#)



identification of physiological traits as breeding targets to face climate change [View project](#)

La diversité des cépages est une puissante ressource d'adaptation au changement climatique

Par Agnès DESTRAC-IRVINE¹, Mark GOWDY¹, Bruno SUTER², Willy GOUPIL², Cécile THIBON³, Nathalie OLLAT¹, Philippe DARRIET³, Amber PARKER⁴ et Cornelis VAN LEEUWEN¹

(1) EGFV, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, Univ. Bordeaux, ISVV, F-33882 Villenave d'Ornon

(2) UE Vigne Bordeaux, INRAE, F-33883 Villenave d'Ornon

(3) Univ. Bordeaux, Unité de recherche Œnologie, EA 4577, USC 1366, INRAE, ISVV, F-33883 Villenave d'Ornon

(4) Department of Wine, Food and Molecular Biosciences, Faculty of Agriculture and Life Sciences, PO Box 85084, Lincoln University, Lincoln 7647, Christchurch, New Zealand

Le changement climatique modifie la composition des raisins et des vins. Pour continuer à produire des vins de qualité dans un environnement changeant, les viticulteurs doivent s'adapter. La diversité du matériel végétal de la vigne (cépages, clones et porte-greffe) constitue une ressource précieuse pour opérer cette adaptation. Il y a un peu plus de 10 ans, un dispositif expérimental, appelé VitAdapt, a été planté sur le domaine expérimental de l'INRAE, à proximité de l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin de Bordeaux (ISVV) pour étudier le comportement d'un grand nombre de cépages dans des conditions climatiques qui deviennent de plus en plus chaudes et sèches. VitAdapt a permis de bien caractériser ces cépages au niveau de leur précocité, leur dynamique de maturation, leur résistance à la sécheresse et leur typicité. En 2019, 7 cépages de VitAdapt ont été autorisés à des fins d'adaptation dans le cahier des charges des AOC Bordeaux et Bordeaux-Supérieur à hauteur de 5% maximum de la surface des exploitations pour être expérimentés par les viticulteurs dans des conditions de vinification à échelle de la production.

L'interaction cépage – climat est déterminante pour la qualité du vin

La culture de la vigne est très dépendante du climat. Elle n'est pas possible dans des climats trop froids où les raisins ont du mal à mûrir et où la vigne peut être exposée à des risques de gel. Dans des régions très chaudes il est possible de cultiver la vigne mais il y a peu d'exemples de grands vins produits dans ces conditions. La plupart des vins de qualité sont produits entre les 35° et 50° parallèles de latitude. Pourtant, même s'il paraît évident que le climat influence la qualité du vin, il n'est pas possible de décrire un climat « idéal » pour la vigne, en termes de températures, précipitations ou encore heures d'ensoleillement. Si l'on compare les conditions climatiques de la Bourgogne, de Bordeaux et des Côtes du Rhône, on constate d'assez fortes différences. Pourtant d'excellents vins sont produits dans ces trois régions. Un facteur qui influence fortement la qualité et la typicité des vins est la période où les raisins mûrissent (van Leeuwen et Seguin, 2006). Ils doivent mûrir suffisamment tôt pour atteindre la pleine maturité, mais pas trop tôt non plus, pour ne pas mûrir en conditions trop estivales. En effet, si la maturité est atteinte en juillet ou en août, lorsque les températures sont très élevées, les raisins sont très riches en sucres et peu acides, ce qui peut donner des vins déséquilibrés, car trop fortement alcoolisés et manquant

de fraîcheur. Leur typicité aromatique est altérée avec une augmentation des notes de fruits cuits au détriment des arômes de fruits frais (Pons *et al.*, 2017). Par ailleurs, lorsque la maturation se déroule sous des températures très élevées, les raisins rouges sont moins riches en anthocyanes (Spayd *et al.*, 2002). Dans la plupart des régions de production, et en particulier dans des zones à Appellation d'Origine Contrôlée, les viticulteurs ont sélectionné des cépages qui mûrissent au mois de septembre ou début octobre, car c'est à ce moment de la saison que les températures commencent à diminuer, tout en étant suffisamment élevées pour permettre une maturation complète. C'est ainsi qu'on produit de grands vins en Bourgogne sous un climat frais avec des cépages précoces comme le Pinot noir et le Chardonnay. A Bordeaux, sous un climat un peu plus chaud ce sont des cépages un peu plus tardifs comme le Merlot et le Cabernet-Sauvignon qui donnent satisfaction et à Châteauneuf du Pape, où il fait encore plus chaud c'est avec un cépage tardif comme le Grenache que sont produits des vins de grande qualité. Les viticulteurs ont donc astucieusement valorisé les différences de précocité entre cépages comme un moyen de produire de grands vins sous des climats plus ou moins chauds.

Le défi du Changement Climatique

Avec le (changement climatique), le climat est en train de devenir plus chaud partout en France et plus sec dans la majorité des régions viticoles. Il existe un risque qu'à moyen terme des cépages qui donnent aujourd'hui satisfaction dans les différentes régions de production ne soient plus adaptés aux conditions climatiques futures. Il paraît donc logique de faire évoluer l'encépagement. Comme le changement climatique est un phénomène progressif, cette évolution peut être mise en œuvre sur une longue période, ce qui permet de ne

pas créer de rupture dans la typicité des vins. La typicité ne dépend pas seulement du cépage, mais aussi de l'interaction entre le cépage et le climat. Avec le changement du climat la typicité des vins sera de toute manière modifiée. Il est probable que sous des conditions plus chaudes, le vin produit avec des raisins de Merlot trop sucrés, peu acides et avec un profil aromatique de fruits cuits, sera plus éloigné des références classiques bordelaises qu'un vin produit avec un autre cépage plus adapté à des conditions chaudes et sèches.

Il existe de très nombreux cépages, et même si l'échéance de la nécessité d'un changement de l'encépagement pour des raisons climatiques est encore relativement éloignée, il est important de commencer à collecter des références pour accompagner les producteurs dans ce processus lorsque cela s'avèrera nécessaire. Avec cet objectif, le projet VitAdapt a vu le jour il y a un peu plus de 10 ans et depuis les premières mesures en 2011 il a produit de nombreuses données utiles à la profession.

VitAdapt : un projet ambitieux pour étudier l'interaction cépage – climat

Le comportement de la vigne en termes de phénologie (dates de débournement, floraison et véraison), de rendement et de maturation du raisin dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels le cépage, le porte-greffe, le climat, le sol et la conduite sont très importants. L'objectif de VitAdapt est d'étudier les effets du cépage et du climat ; par conséquent la conduite et le porte-greffe sont les mêmes pour tous les cépages. Pour éviter que les résultats ne soient influencés par la variabilité du sol (une parcelle avec un sol parfaitement homogène n'existe pas), chaque cépage est présent dans la parcelle sous forme de 5 implantations de 10 souches chacune. Il s'agit d'un point très important du dispositif VitAdapt, qui le différencie des collections ampélographiques classiques. En effet, sans répétitions, il n'est jamais possible de savoir si la variabilité d'une mesure provient de l'effet cépage ou de la variabilité du sol. La parcelle VitAdapt a été installée en 2009 et les enregistrements ont commencé en 2011. Chaque année est caractérisée par des conditions climatiques différentes. Il est prévu de continuer les mesures sur une très longue période qui permettra d'étudier le comportement de chaque cépage dans des conditions climatiques très variées. Au total, 52 cépages ont été installés (figure 1 et tableau 1). Ils ont été choisis suivant plusieurs critères. Tous les cépages du Bordelais sont présents dans le dispositif, ainsi que les cépages les plus plantés au niveau mondial. Des cépages provenant de régions plus chaudes que le Bordelais et dont les vins sont qualitatifs et présentent idéalement une typicité assez proche des cépages bordelais, ont été implantés. Cinq variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium (hybrides interspécifiques) ont également été introduites.

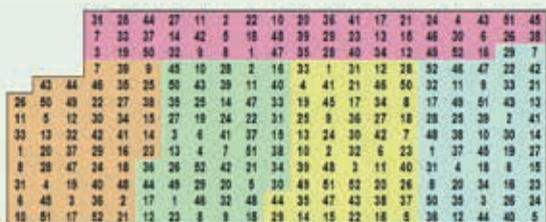


Figure 1 : Implantation des 52 cépages du dispositif VitAdapt en 5 blocs.

NR	CÉPAGES	ORIGINE	SOURCE	CLONE	PLANTATION
1	Alvarinho	Espagne	-	-	2010
2	Agiorgitiko	Grèce	-	-	2015
3	Arimaou	France	INRA Bx	723	2009
4	Assyrtiko	Grèce	VASSAL	NC	2009
5	BX 648 Rouge	France	INRA Bx	NC	2009
6	BX 9216 Blanc	France	INRA Bx	NC	2009
7	Cabernet franc	France	CA 33	327	2009
8	Cabernet-Sauvignon	France	CA 33	412	2009
9	Carignan	France	ENTAV	65	2009
10	Carmenère	France	CA 33	1059	2009
11	Castets	France	INRA Bx	CC	2009
12	Chardonnay	France	INRA Bx	95	2009
13	Chasselas (réf précoce')	France	INRA Bx	887	2009
14	Chenin blanc	France	ENTAV	1018	2009
15	Colombard	France	CA 33	605	2010
16	Cornalin	Suisse	INRA Bx	NC	2009
17	Cot	France	CA 33	1061	2009
18	Gamay (référence précoce)	France	ENTAV	358	2009
19	Grenache	France	ENTAV	513	2009
20	Hibernal (blanc)	Allemagne	Geisenheim	NC	2009
21	Liliorila (Baroque * Chardonnay)	France	INRA Bx	734	2009
22	Marselan	France	ENTAV	980	2009
23	Mavrud	Bulgarie	-	-	2010
24	Merlot	France	CA 33	347	2009
25	Morristel (Graciano)	France	ENTAV	949	2009
26	Mourvèdre	France	ENTAV	369	2009
27	MPT 3156-26-1 Blanc	France	INRA Montp	NC	2009
28	MPT 3160-12-3 Rouge	France	INRA Montp	NC	2009
29	Muscadelle	France	CA 33	610	2009
30	Verdejo	Espagne	-	-	2015
31	Petit Manseng	France	CA 64	573	2010
32	Petit Verdot	France	CA 33	1058	2009
33	Petite Arvine	Suisse	INRA Bx	NC	2009
34	Pinot noir	France	ENTAV	667	2009
35	Prunelard	France	Gaillac	CC	2009
36	Riesling	France	INRA Bx	49	2009
37	Rkatsiteli	Georgie	INRA Bx	NC	2009
38	Roussanne	France	ENTAV	468	2009
39	Sangiovese (Niellucio)	Italie	ENTAV	903	2009
40	Saperavi	Georgie	INRA Bx	NC	2009
41	Sauvignon blanc	France	CA 33	108	2009
42	Sémillon	France	CA 33	908	2009
43	Syrah	France	CA 11	470	2010
44	Tannat	France	CA 64	474	2010
45	Tempranillo	Espagne	ENTAV	771 ou 770	2009
46	Tinto Cao	Portugal	VASSAL	CC	2009
47	Touriga Franca	Portugal	VASSAL	NC	2009
48	Touriga Nacional	Portugal	INRA Bx	NC	2009
49	Ugni blanc	France	CA 33	384	2009
50	Vinhao (Souzao)	Portugal	-	-	2010
51	Viognier	France	ENTAV	1051	2009
52	Xinomavro	Grèce	-	-	2010

Tableau 1 : Cépages présents dans le dispositif VitAdapt ; en vert les cépages blancs, en rouge les cépages rouges et en noir les variétés résistantes aux maladies cryptogamiques.

Un effet cépage très important sur la phénologie

Il est connu que la précocité de l'apparition des stades phénologiques dépend du cépage et des conditions climatiques, en particulier des températures. Grâce aux relevés réalisés sur VitAdapt, nous avons pu établir une chronologie très précise de la précocité du débourrement (figure 2), de la floraison (figure 3) et de la véraison (figure 4) pour les cépages présents sur la parcelle. Sur la période 2012-2018, il y avait, 29 jours d'écart pour le débourrement entre le cépage le plus précoce et le cépage de plus tardif. Cet écart se réduit à la floraison (seulement 16 jours), mais augmente de nouveau à la véraison (38 jours, ou 25 jours si on exclut le Chasselas qui a un comportement très atypique). Afin de prévoir les dates des stades de mi-floraison et mi-véraison en fonction de la température, nous avons créé un modèle appelé GFV (pour Grapevine Flowering Veraison model ; Parker *et al.*, 2011). Ce modèle a été paramétré pour un grand nombre de cépages (Parker *et al.*, 2013). Il est très précis et les observations dans VitAdapt ont permis d'établir qu'il permet de prévoir la date de mi-floraison avec une erreur de seulement 3 à 4 jours et la date de mi-véraison avec une erreur de 4 à 5 jours. Il n'est pas possible de créer un modèle pour le stade « maturité » au sens large, car il y a plusieurs types de maturité (technologique, phénologique ou aromatique) et ils ne coïncident pas forcément dans la saison. Pour que les professionnels puissent quand-même disposer d'une indication en rapport avec la date de récolte, nous avons créé un modèle pour la « maturité sucres » qui permet de prévoir à quelle date un teneur en sucres donnée est atteinte (appelé Grapevine Sugar Ripeness model ou GSR, Parker *et al.*, 2020). Ce modèle a été paramétré pour un grand nombre de cépages et différents niveaux de teneur de sucres dans une fourchette de 170 g/L à 220 g/L. Le couplage des modèles GFV et GSR avec les modèles de simulation du changement climatique permet d'estimer à quel horizon un cépage donné ne sera plus adapté aux conditions climatiques locales ou un cépage non encore adapté le deviendra.

CLASSIFICATION DES CÉPAGES SELON LA DATE MOYENNE DE MI-DÉBOURREMENT SUR LA PÉRIODE 2012-2019

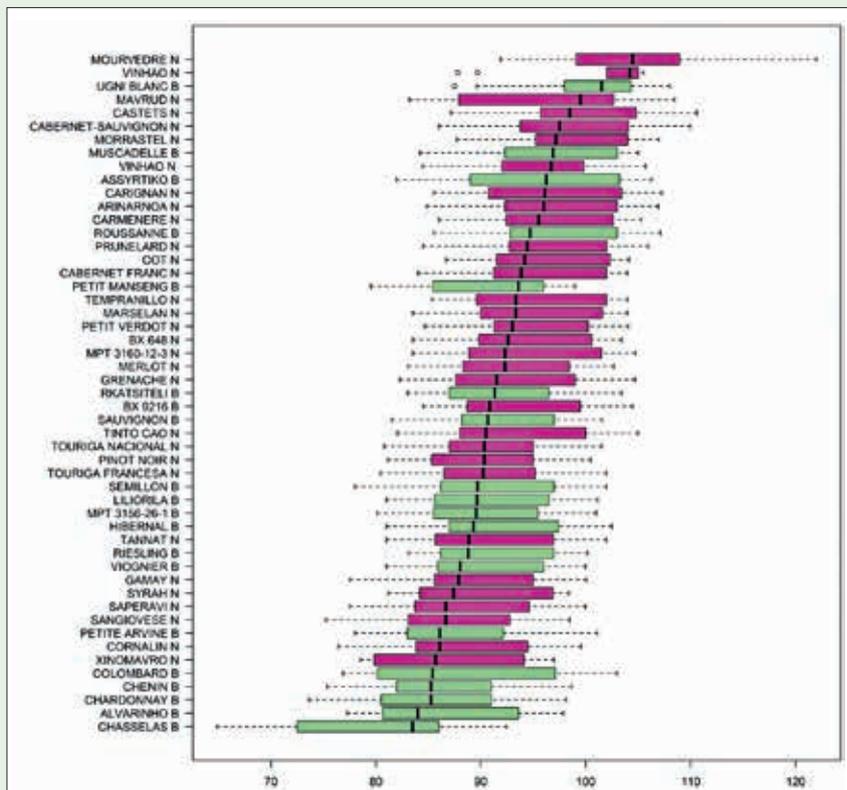


Figure 2 : Précocité du débourrement des cépages du dispositif VitAdapt (nombre de jours après le premier janvier, moyenne 2012-2019).

CLASSIFICATION DES CÉPAGES SELON LA DATE MOYENNE DE MI-FLORAISON SUR LA PÉRIODE 2012-2019

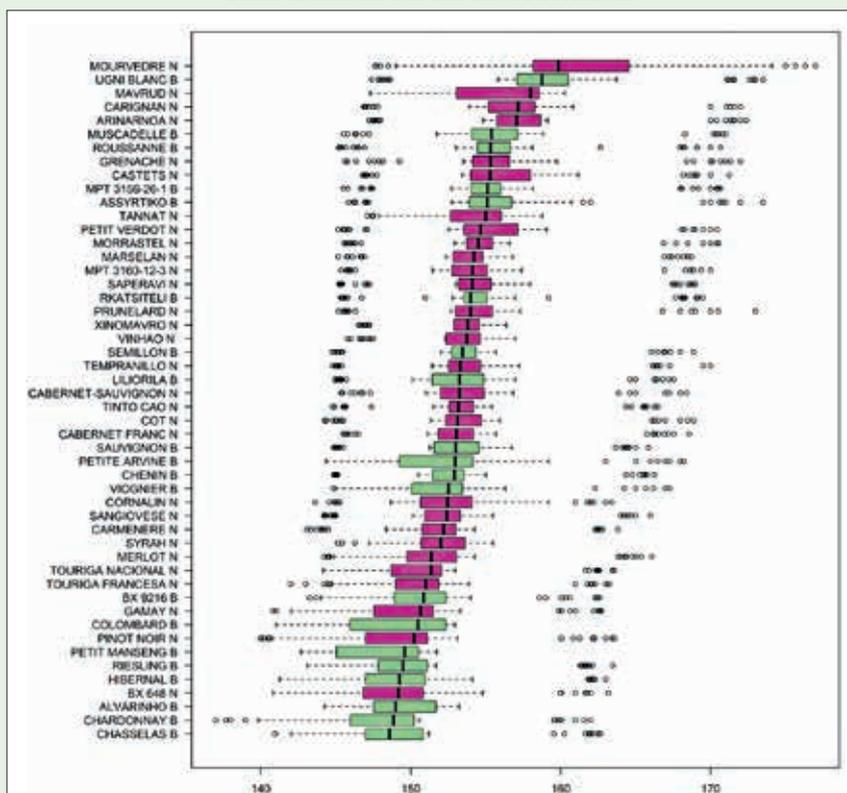


Figure 3 : Précocité de la floraison des cépages du dispositif VitAdapt (nombre de jours après le premier janvier, moyenne 2012-2019).

CLASSIFICATION DES CÉPAGES SELON LA DATE MOYENNE
DE MI-VÉRAISON SUR LA PÉRIODE 2012-2019

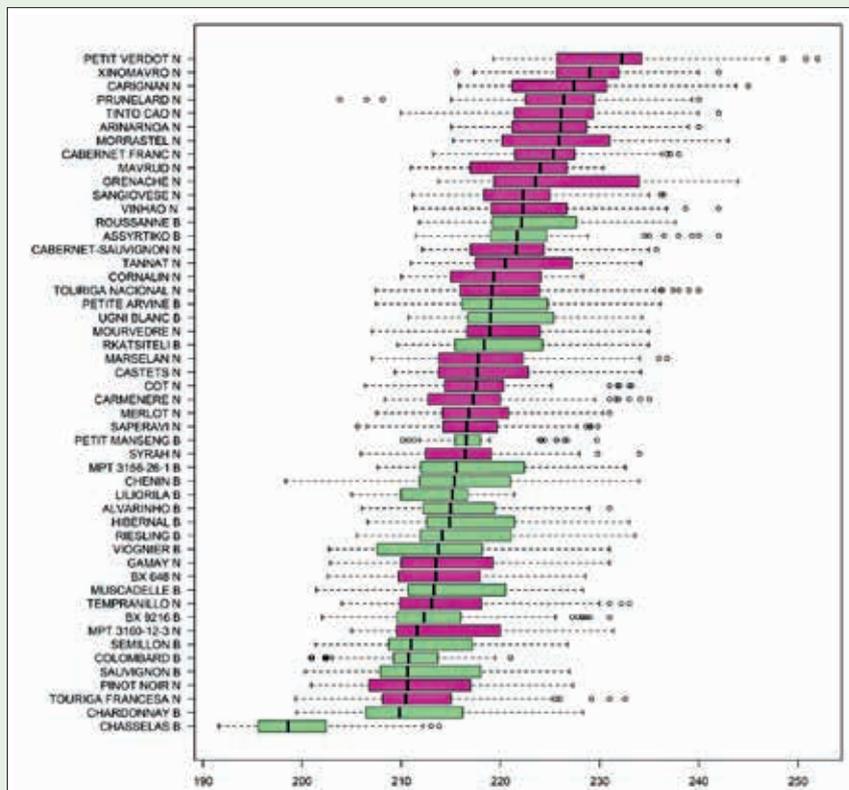


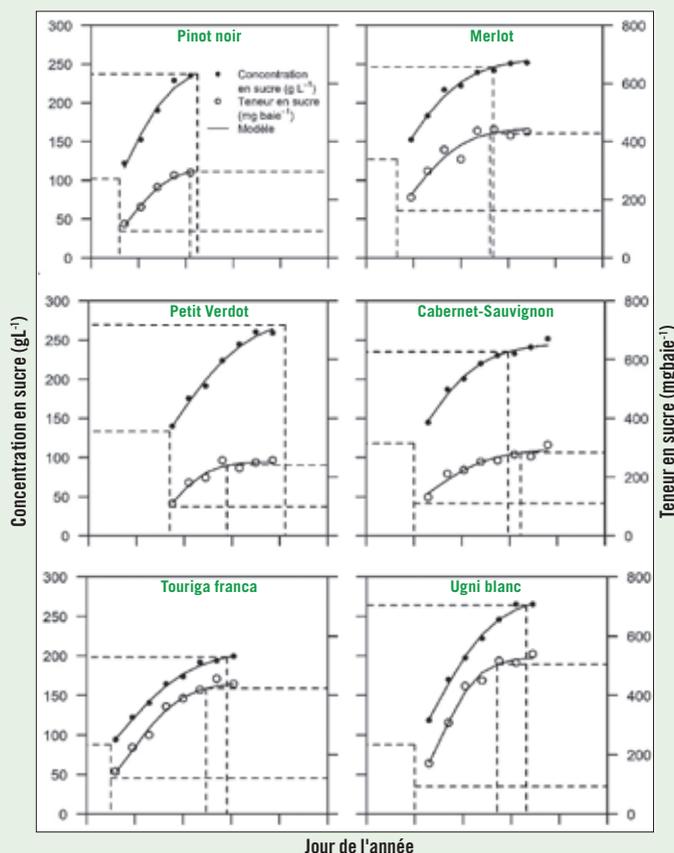
Figure 4 : Précocité de la mi-véraison des cépages du dispositif VitAdapt (nombre de jours après le premier janvier, moyenne 2012-2019).

représenté par le Petit Verdot. Le Cabernet-Sauvignon est un exemple typique du groupe quatre. Sa date de mi-véraison est assez tardive (mais moins que les cépages du groupe trois), ses raisins mûrissent lentement et n'atteignent pas des concentrations en sucres très élevées. Les cépages du groupe 5 ont un comportement très particulier. Le Touriga franca, un cépage utilisé pour la production des grands vins de Porto, en est représentatif. Ses raisins sont précoces à la mi-véraison, mûrissent lentement et plafonnent à des concentrations en sucres faibles. Enfin, les cépages du groupe 6 (dont l'Ugni blanc, appelé aussi Trebbiano en Italie) ont une date de mi-véraison tardive et mûrissent lentement. La connaissance des dynamiques de maturation des cépages de *Vitis vinifera* est précieuse pour trouver les cépages adaptés aux nouvelles conditions climatiques. Ce sont *a priori* les cépages plutôt tardifs et/ou à maturation lente et n'accumulant pas trop de sucres qui sont le plus à même de donner des vins équilibrés dans un contexte climatique plus chaud.

Figure 5 : Evolution de la concentration (mg/L) et la teneur en sucre (mg/baie) dans le raisin de 6 cépages du dispositif VitAdapt en 2018.

Des dynamiques de maturation très différentes en fonction du cépage

Dans le dispositif VitAdapt, la maturation du raisin est étudiée à partir de la mi-véraison, avec des prélèvements hebdomadaires de raisins et 4 répétitions pour chaque cépage. Cette approche a permis d'obtenir un jeu de données très rare. Si la réalisation de suivis de maturation est une pratique courante, ils sont rarement effectués sur une période aussi longue et avec des répétitions. Les résultats montrent des dynamiques de maturation très différentes en fonction du cépage. Nous avons ainsi pu regrouper les cépages en 6 catégories en fonction de la précocité de la mi-véraison (le début de la période de maturation), de la vitesse de maturation et de la concentration en sucre finale (figure 5). Pour déterminer la vitesse de maturation, nous avons calculé la durée du chargement en sucres exprimé en mg/baie en nombre de jours (données non présentées). La teneur en sucres finale est exprimée en g/L, ce qui permet aux vinificateurs d'anticiper le titre alcoométrique du vin produit. Un premier groupe de cépages comprenant le Pinot noir, atteint précocement la mi-véraison, mûrit rapidement et atteint une forte concentration en sucres à maturité. Le deuxième groupe, représenté par le Merlot, possède une dynamique de maturation similaire, mais avec une date de mi-véraison un peu moins précoce. Le troisième groupe est caractérisé par une date de mi-véraison très tardive, mais des raisins qui mûrissent vite et atteignent des concentrations en sucres assez élevées. Ce groupe est bien



Résistance à la sécheresse

Le climat devient non seulement plus chaud, mais aussi plus sec dans la plupart des régions viticoles françaises. Face à ce risque de sécheresse croissant, plusieurs solutions existent, parmi lesquels nous pouvons citer l'adaptation des systèmes de conduite, le choix d'un matériel végétal plus résistant à la sécheresse et la mise en place de l'irrigation. Cette dernière solution ne peut pas être considérée comme compatible avec les objectifs de durabilité, car avec le changement climatique l'eau devient une ressource de plus en plus rare et il n'est pas raisonnable de la déployer à grande échelle sur une culture comme la vigne, qui est naturellement ré-

sistante à la sécheresse et non prioritaire par rapport à l'utilisation de l'eau pour la consommation humaine ou des cultures vivrières. La diversité du matériel végétal est en revanche une ressource précieuse pour l'adaptation. La plantation d'un porte-greffe et d'un cépage résistant à la sécheresse n'augmente pas les coûts de production et n'a pas d'impact négatif sur l'environnement. Il est bien connu des praticiens que certains cépages (par exemple le Grenache, le Carignan ou le Cinsault) résistent beaucoup mieux à la sécheresse que d'autres, comme le Merlot. Les mécanismes physiologiques sous-jacents ne sont, en revanche, pas bien

connus. Nous avons entrepris d'étudier ces mécanismes dans le dispositif VitAdapt. Pour ce faire, différentes techniques de pointe sont développées, dont la mesure de la transpiration à l'échelle du cep entier par l'évaluation du débit de sève. Ce volet d'étude sur les cépages de VitAdapt n'en est qu'à son début, mais les premiers résultats montrent de grandes différences de comportement.

En conditions de sécheresse, par exemple, le Sémillon réduit plus sa transpiration que le Cabernet-Sauvignon, alors qu'après une pluie ces deux cépages ont une transpiration plus forte et très similaire (Figure 6).

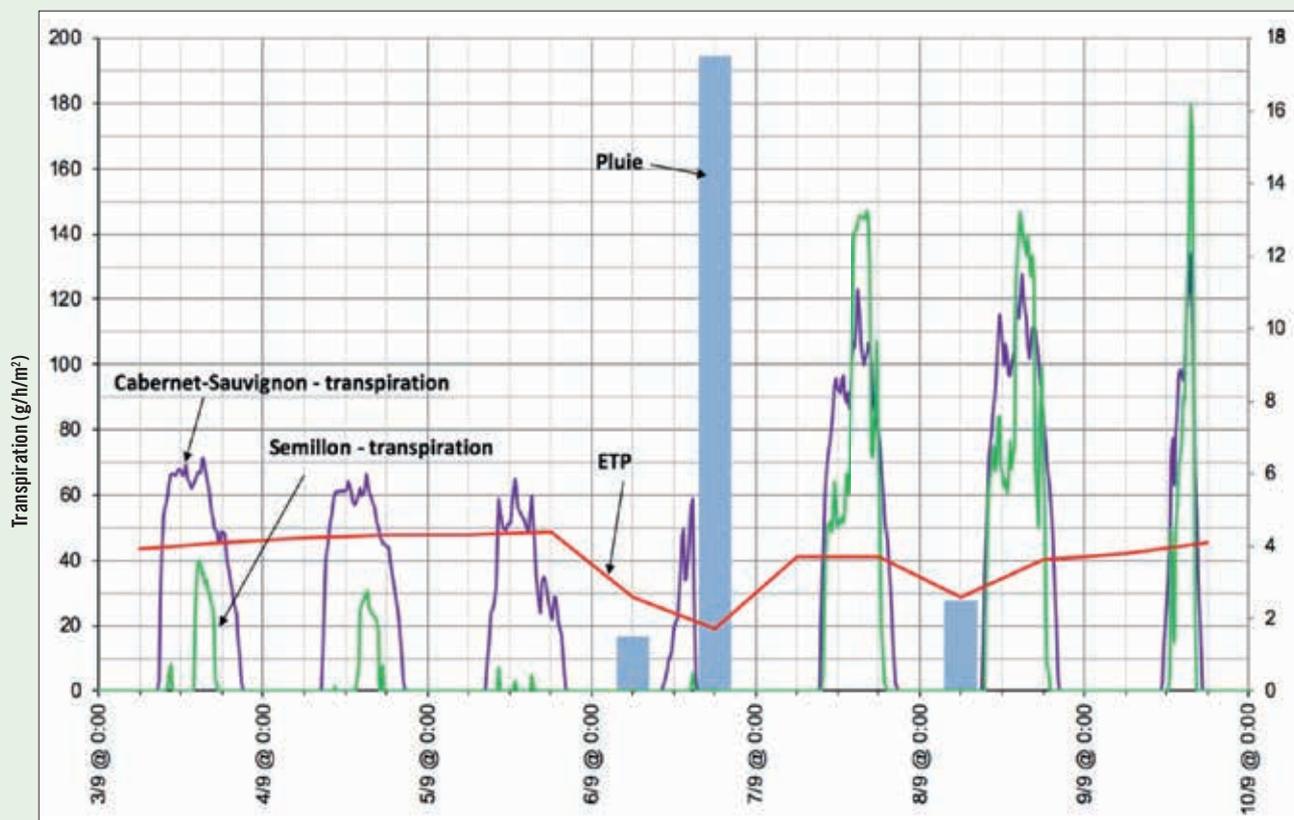


Figure 6 : Transpiration des cépages Cabernet-Sauvignon et Sémillon mesurée en 2018 par l'évaluation du débit de sève.

Typicité des vins

Sur la base des résultats et observations obtenues sur plusieurs années (phénologie, dynamiques de maturation, résistance à la sécheresse, ...), une vingtaine de cépages de VitAdapt ont été vinifiés afin d'évaluer le potentiel organoleptique des vins correspondants sur 3 millésimes consécutifs (2015, 2016 et 2017). Pour cela, des micro-vinifications ont été réalisées, respectivement, à partir de 10 ou 15 kg de raisins pour les cépages blancs et rouges. La date de récolte a été ajustée

pour chaque cépage en se basant sur une maturité technologique optimale (teneur en sucre, acidité, pH, teneur en acide malique) ainsi que sur la maturité aromatique et phénolique, estimées lors de la dégustation des baies. L'ensemble des cépages a été vinifié selon un protocole unique et classiquement utilisé dans la région bordelaise. Une fois stabilisés, les vins ont été évalués par un panel d'expert, composé d'au moins vingt personnes comprenant des viticulteurs, consultants, œnolo-

gues ou encore des chercheurs en œnologie. Ces résultats ont été confirmés par l'analyse chimique des principaux composés aromatiques marqueurs de la typicité variétale tels que les thiols volatils, les pyrazines ou encore les lactones. Ainsi, nous avons pu estimer le niveau de typicité pour chaque cépage sur les 3 millésimes. Bien que le millésime puisse fortement influencer le niveau de typicité des vins (représenté par les barres d'erreur horizontale et verticale), nous constatons,

par exemple que le cépage Lilorila (issu d'un croisement entre 2 cépages traditionnels de *Vitis vinifera* réalisé à l'INRA dans les années 1960 par M Durquety) présente une typicité proche du Sauvignon blanc et du Sémillon, et l'Alvarinho une typicité proche de la Muscadelle et du Colombar (Figure 7). Concernant les vins rouges, une variabilité très importante a été observée pour les « bons exemples » de typicité bordelaise. En revanche, les vins classés comme de « mauvais exemples » de la région le sont chaque année. Ces derniers ne présentent donc pas d'intérêt œnologique particulier pour être implantés à Bordeaux. L'ensemble de ces résultats prometteurs nous pousse à poursuivre ces essais afin de préciser plus finement les conditions viti- et viticoles permettant d'amener ces cépages à leur optimum chaque année.

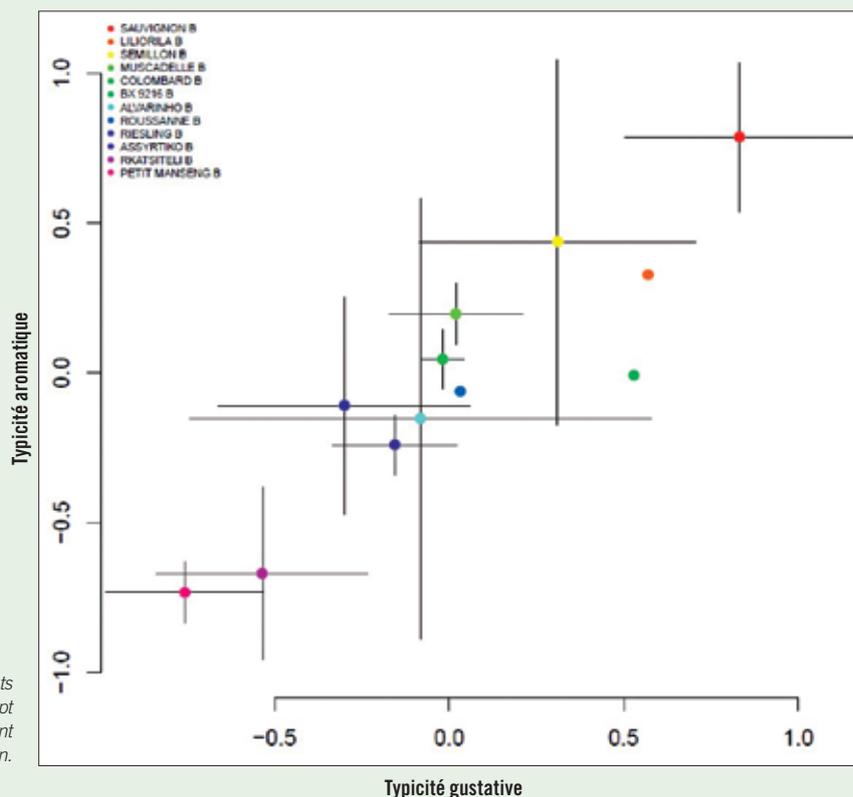


Figure 7 : Exemple de l'interprétation des résultats de l'analyse sensorielle des vins blancs de VitAdapt (moyenne de 2015, 2016 et 2017). Les vins sont obtenus par micro-vinification.

La diversité du matériel végétal est une grande richesse qui ne demande qu'à être exploitée

Le matériel végétal utilisé en viticulture (cépages et porte-greffe) présente une très forte diversité. Ceci constitue une grande richesse qui peut être mise à contribution pour répondre aux grands défis de la viticulture, dont le changement climatique. Pour exploiter au mieux cette ressource, il est important de l'étudier en profondeur et de modéliser la réponse des différents cépages à des paramètres climatiques comme la température ou encore le niveau de sécheresse. VitAdapt est un outil de choix pour réaliser ces études, avec pour objectif d'accompagner les viticulteurs dans les adaptations nécessaires à un contexte de production changeant. Parmi les résultats concrets on peut citer la décision de l'ODG Bordeaux – Bordeaux-Supérieur d'introduire dans leur cahier des

charges, 7 nouveaux cépages à fin d'adaptation étudiés dans VitAdapt. Il s'agit du Touriga nacional, Castets, Arinarnoa et Marselan en rouge puis Alvarinho, Lilorila et Petit Manseng en blanc. Dans un premier temps, ces cépages sont autorisés à titre expérimental, à hauteur de 5% maximum dans l'assiette foncière de l'exploitation ou 10% de l'assemblage final du vin. Cette disposition permet aux viticulteurs de les tester en conditions réelles de production. Elle permet d'envisager pour

quelques-uns de ces cépages une proportion plus importante à l'avenir, lorsque l'évolution du climat pourrait mettre en difficulté certains cépages actuellement cultivés dans le vignoble de Bordeaux. Au niveau national et international, certains volets du phénotype des cépages présents dans VitAdapt, pour leur résistance à la sécheresse et aux maladies du bois, peuvent présenter un intérêt pour tous ceux qui les cultivent, ou envisagent de les cultiver.

REMERCIEMENTS

→ Ce projet est réalisé avec le soutien du Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux (CIVB), de la Région Nouvelle Aquitaine et de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), dans le cadre du projet des investissements d'avenir, au sein de cluster COTE (ANR-10-LABX-45). Nous remercions notre partenaire INRAE de l'UE Grand Ferrade pour l'entretien de la parcelle, la participation au phénotypage et la réalisation des micro-vinifications.

Références bibliographiques

- PARKER A., GARCIA DE CORTAZAR ATAURI I., VAN LEEUWEN C. and CHUINE I., 2011. A general phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. Aust. J. Grape Wine Res., 17, n°2, 206-216.
- PARKER A., GARCIA DE CORTAZAR-ATAURI I., CHUINE I., BARBEAU G., BOIS B., BOURSQUOT J.-M., CAHUREL J.-Y., CLAVERIE M., DUFOURCQ T., GÉNY L., GUIMBERTEAU G., HOFMANN R., JACQUET O., LACOMBE T., MONAMY C., OJEDA H., PANIGAI L., PAYAN J.-C., RODRIGUEZ-LOVELLE B., ROUCHAUD E., SCHNEIDER C., SPRING J.-L., STORCHI P., TOMASI D., TRAMBOUZE W., TROUGHT M. and VAN LEEUWEN C., 2013. Classification of varieties for their timing of flowering and veraison using a modeling approach. A case study for the grapevine species *Vitis vinifera* L. Agr. Forest Meteorol., 180, 249-264.
- PARKER A., GARCIA DE CORTAZAR-ATAURI I., GENY L., SPRING J.-L., DESTRA C., SCHULTZ S., MOLITOR D., LACOMBE T., GRAÇA A., MONAMY C., STORCHI P., TROUGHT M., HOFMANN R. and VAN LEEUWEN C., 2020. Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars. Accepted for publication in Agricultural and Forest Meteorology.
- PONS A., ALLAMY L., SCHÜTTLER A., RAUHUT D., THIBON C., and DARRIET P., 2017. What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape? OENO One, 51, n° 2, 141-146.
- SPAYD S., TARARA J., MEE D. and FERGUSON J., 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. Am. J. Enol. Vitic., 53, 171-182.
- VAN LEEUWEN C. and SEGUIN G., 2006. The concept of terroir in viticulture. J. Wine Research, 17, n°1, 1-10.