



# Comment se construit le rendement de la vigne ?

*Conférence*  
Janvier 2017



**BOURGOGNES**

*Bureau Interprofessionnel  
des Vins de Bourgogne*

## SOMMAIRE

COMMENT SE CONSTRUIT LE RENDEMENT DE LA VIGNE ? CONCILIER QUALITE, QUANTITE ET PERENNITE ? .....	p 2
ENJEUX ET OBJECTIFS .....	p 2
QUELQUES SPECIFICITES DE LA PHYSIOLOGIE DE LA VIGNE, PLANTE PERENNE.....	p 4
<i>Gestion du plan de palissage.....</i>	<i>p 4</i>
<i>Différents compartiments en activité (croissance &amp; développement) au cours de l'année.....</i>	<i>p 5</i>
<i>Caractéristiques du système racinaire et de l'absorption d'azote.....</i>	<i>p 5</i>
<i>Dynamique de la minéralisation de l'azote du sol.....</i>	<i>p 7</i>
<i>Importance du bilan radiatif.....</i>	<i>p 9</i>
<i>Elaboration du rendement sur 2 ans.....</i>	<i>p 9</i>
<i>Elaboration du rendement et court noué.....</i>	<i>p 11</i>
<i>Impact du changement climatique – Bourgogne.....</i>	<i>p 13</i>
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....	p 16

***COMMENT SE CONSTRUIT LE RENDEMENT  
DE LA VIGNE ?  
INFLUENCE DES PRATIQUES CULTURALES ET  
DES FACTEURS NATURELS DU MILIEU.***

**Jean-Pascal Goutouly**  
**Ingénieur de recherche**  
**UMR Ecophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne**  
**INRA Bordeaux – Institut des Sciences de la Vigne et du Vin**

# COMMENT SE CONSTRUIT LE RENDEMENT DE LA VIGNE ? CONCILIER QUALITE, QUANTITE ET PERENNITE.

## ENJEUX ET OBJECTIFS

Depuis quelques années, comme pour beaucoup de régions viticoles, la Bourgogne est confrontée, à une baisse du volume de récolte malgré l'augmentation des surfaces en production (cf. Figure 1).

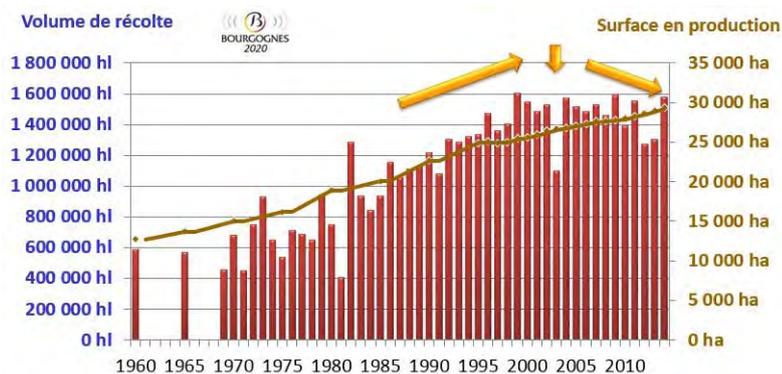


Figure 1 Évolution des surfaces en production et du volume de récolte pour la Bourgogne depuis 1960 (données BIVB).

Ceci traduit donc une baisse de rendement à l'hectare, baisse qui s'avère différente selon les vignobles bourguignons considérés, ceux de la Côte-d'Or apparaissant les plus touchés (cf. Figure 2).

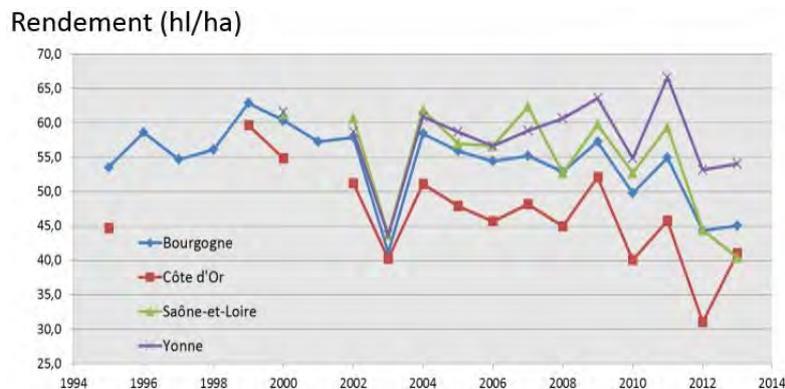


Figure 2 Evolution du rendement par hectare viticole, en Bourgogne et dans les trois départements, de 1994 à 2013 (sources BIVB)

Les hypothèses sur l'origine de cette baisse de productivité sont diverses. Des facteurs d'ordre physiologiques, pathologiques ou climatiques sont tour à tour évoqués, auxquels s'ajoutent de probables causes d'ordres socio-économiques, variables selon les situations des différentes régions viticoles françaises. Les interprofessions viti-vinicoles, avec le soutien de FranceAgriMer, ont décidé d'unir leurs forces et de construire un plan national de lutte contre ces dépérissements, en concertation avec tous les organismes et les métiers concernés, de la production du plant de vigne à la vente du vin. Ce plan a pour objectif de financer différents programmes de recherches novateurs à partir de 2018. L'ensemble des projets, déposés le 1<sup>er</sup> février 2017 sont en cours d'évaluation. Les programmes retenus seront connus courant avril 2017. Les informations sont disponibles sur : <http://www.vignevin.com/recherche/deperissements/plan-deperissement-du-vignoble.html>

Parmi les causes impliquées, on note celles relevant de facteurs impactant directement la physiologie de la vigne, en dehors de tout contexte de pathogènes. Ces facteurs comprennent les effets des conditions climatiques (stress hydrique, azoté et/ou thermique), des pratiques culturales (enherbement par exemple) et du matériel végétal utilisé (couple porte-greffe/greffon). La vigne est une plante pérenne conduite non pas à son maximum de production, mais à un optimum, obtenu par instauration de stress modérés, notamment en eau et en azote. Ce recours à l'instauration de stress rend difficile un pilotage fin de la fertilisation, pilotage qui doit viser deux objectifs : a) prévenir des discordances entre valeurs de prélèvement d'azote par la plante et valeurs du flux d'azote disponible dans le sol, afin d'assurer un déroulement satisfaisant des différentes phases du cycle annuel, b) assurer un équilibre physiologique garant à la fois d'une production régulière de qualité et de la pérennité du cep de vigne.

L'azote, facteur principal pour la production et la satisfaction des besoins des cultures, occupe la première place dans la démarche d'optimisation des productions végétales. Les effets de la gestion de l'azote sur les processus physiologiques ont fait l'objet de nombreuses synthèses bibliographiques montrant que l'azote minéral (nitrate et ammonium) est le principal facteur limitant de la production, agissant à la fois sur les composantes quantitatives et qualitatives. En effet, le problème de sa disponibilité dans le sol au bon moment est un problème crucial, car elle évolue constamment en fonction des facteurs pédoclimatiques et culturaux. Et ce n'est pas parce que l'analyse de sol d'une parcelle viticole affiche un taux de matières organiques satisfaisant que ce sol sera effectivement apte à délivrer de l'azote (et d'autres éléments minéraux) aux stades importants pour le végétal.

Confronter « besoins de la plante » et « offre du sol », compléter cette offre, la maintenir et l'améliorer si nécessaire sont les objectifs de la fertilisation raisonnée. À cela s'ajoute la nécessité pressante d'une meilleure gestion de l'écosystème à propos des facteurs de pollution effective ou potentielle. La vigne est cependant l'espèce fruitière pour laquelle la fertilisation azotée demeure la plus faible. Mais le terme « faible » ne doit pas être vu comme un synonyme de peu ou pas de besoins. La Figure 3 montre qu'en Bourgogne, près des 2/3 des surfaces en vigne en 2006 ne reçoivent plus de fertilisation minérale (moyenne de 5 ans). D'autres chiffres révèlent que l'impasse sur les fumures organiques avoisine le même pourcentage, 2/3 des parcelles ne reçoivent aucun amendement organique.

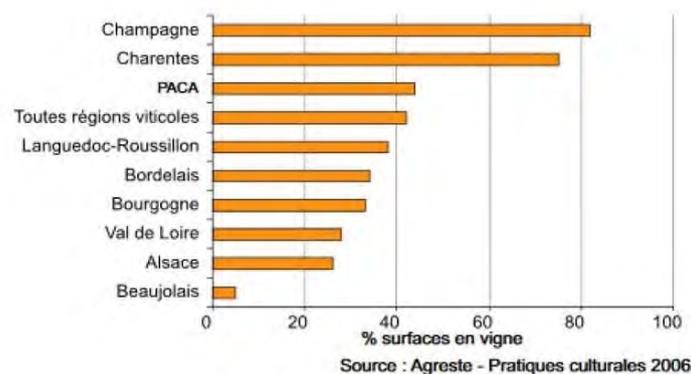


Figure 3 Part des surfaces en vigne recevant une fumure minérale par région viticole

Avec un objectif constant d'amélioration de la qualité, les pratiques culturales ont bien évolué. On est bien éloigné des risques de la surfertilisation entraînant un excès de végétation et une baisse de la qualité des fruits (retard de maturité, répercussions néfastes sur le goût et la coloration, susceptibilité accrue aux pathogènes...). La pratique de l'enherbement s'est généralisée. Par ailleurs depuis plus d'une décennie, la tendance générale des conditions climatiques durant le cycle végétatif est orientée à l'instauration de contraintes hydrique, azotée et thermique estivales sur bien des millésimes, contraintes survenant à différents stades végétatifs selon le millésime. Quelques-uns de ces facteurs

touchant fortement la physiologie de la vigne, sa croissance, son développement et l'élaboration de son rendement vont être abordés. En 1960, dans la première édition du livre « Le Profil Cultural », S.Henin et coll., du Laboratoire des Techniques Culturelles (INRA de Versailles) avaient écrit : « *Il n'y a pas de recettes en agriculture, il n'y a que des situations auxquelles il faut s'adapter* ». L'objectif de ces rappels n'est donc pas de donner des « recettes », chaque vigne ayant sa propre histoire et sa propre trajectoire de croissance et de maturité, en fonction de son âge, de son exposition, de son sol, de son climat et des pratiques culturales associées. L'objectif de cette conférence est de donner quelques clés pour analyser chaque parcelle, au cas par cas, et tenter de déterminer quels sont les leviers qui pourraient être levés pour améliorer ou maintenir la productivité et la qualité de chaque vigne, tout en s'adaptant aux changements des conditions climatiques à venir.

## QUELQUES SPECIFICITES DE LA PHYSIOLOGIE DE LA VIGNE, PLANTE PERENNE.

### **Gestion du plan de palissage.**

La première condition pour obtenir un raisin de qualité relève de l'aptitude de la vigne à faire mûrir le raisin. Cette aptitude implique la mise en place d'une surface foliaire suffisante pour assurer la maturité d'une quantité de raisin déterminée, en termes de richesse en sucres au niveau des baies pour l'obtention du degré potentiel en alcool recherché. Il faut aussi assurer le maintien de cette surface foliaire tout le long du cycle jusqu'à la récolte, en évitant

- 1) des stress hydriques trop forts (nécessité d'une adéquation entre la surface foliaire transpirante et les ressources en eau du sol),
- 2) les attaques du feuillage (et de la récolte) par les organismes pathogènes.

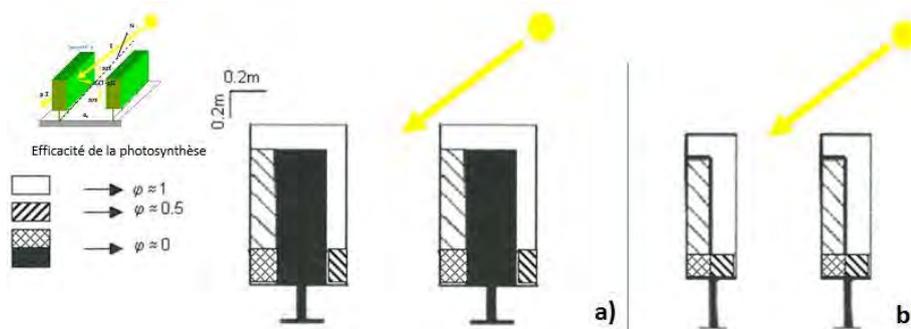


Figure 4 Efficacité de la photosynthèse selon la largeur du palissage a) grande largeur b) largeur optimale

Il est important de limiter l'entassement du feuillage car une trop grande largeur de palissage entraîne un ombrage des feuilles au centre de ce palissage (cf. Figure 4 b ; d'après Carbonneau 2003). Ces feuilles à l'ombre ne participent que très peu à la photosynthèse (quelques %) par contre elles contribuent à la transpiration de la plante. On a donc un préjudice « perte en eau » pour peu de gain « élaboration de glucides ». Par ailleurs un entassement du feuillage contribue au maintien d'un microclimat propice au développement des pathogènes. La largeur optimale du plan de palissage est de l'ordre de 40 cm, de façon à ce que la majorité des feuilles présentes participent effectivement à la photosynthèse (cf. Figure 4 b).

## Différents compartiments en activité (croissance & développement) au cours de l'année.

Comme toutes les plantes pérennes, la vigne démarre son cycle végétatif en utilisant ses réserves carbonées et azotées essentiellement localisées dans les racines et le tronc. La Figure 5 schématise la dynamique de croissance, complexe et imbriquée, des principales parties pérennes et annuelles de la vigne, en dehors de toute contrainte environnementale. L'interception des principales ressources du milieu en « carbone » et en « azote », et le métabolisme et la distribution des composés qui en résultent, dépendent de processus multifactoriels. Certains de ces facteurs, comme la disponibilité en eau, la lumière, la température, la concentration en tel ou tel composé peuvent affecter, voire réguler, une multitude de réactions enzymatiques. En fonction de l'époque de la survenue d'un stress climatique ou nutritionnel, l'impact ne sera pas le même.

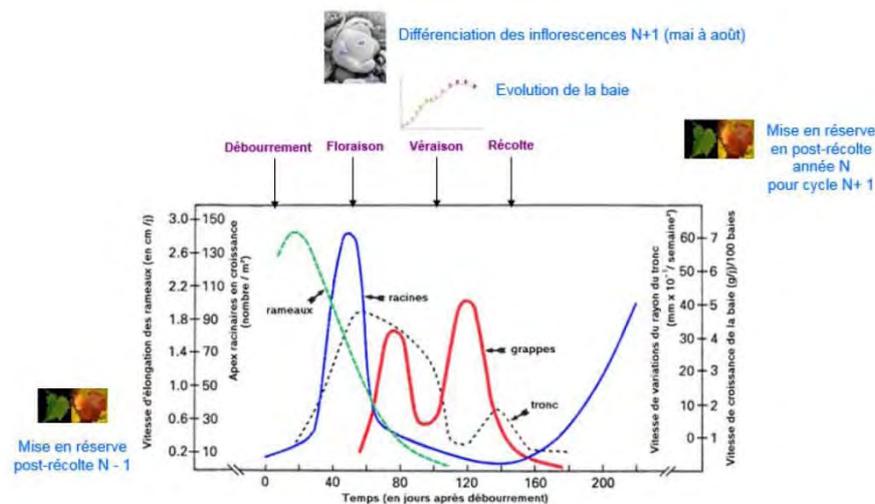


Figure 5 Dynamique de croissance des principales parties d'un cep de vigne au cours d'un cycle végétatif et fructifère

Après les mois du repos hivernal, la vigne va assurer simultanément jusqu'à la floraison, le développement et la croissance de ses organes végétatifs (tiges, feuilles, racines) et reproducteurs (inflorescences). À partir du débourrement, les feuilles et rameaux commencent à croître. Pendant leur croissance, les premières feuilles sont d'abord hétérotrophes (utilisation majoritairement des réserves des parties pérennes du tronc et des racines), puis elles deviennent autotrophes vis-à-vis du carbone (utilisation des glucides issus de la photosynthèse). On considère que lorsque les feuilles atteignent la moitié de leur taille finale, leur activité photosynthétique devient excédentaire : d'organes « puits » (utilisateurs de réserves), elles deviennent alors organes « sources » (exportateurs de glucides). La plus grande partie de la croissance durant cette période débourrement-floraison s'effectue à partir des réserves, tant azotées que carbonées, ainsi que pour d'autres éléments minéraux.

### Caractéristiques du système racinaire et de l'absorption d'azote.

Quatre points sont essentiels à retenir en termes de fonctionnement du système racinaire :

- 1) la croissance racinaire ne reprend que très lentement au débourrement, au fur et à mesure que le carbone récemment assimilé par les nouvelles feuilles installées arrive au niveau des racines. Le pic de croissance racinaire suit généralement de 2 à 3 semaines celui du pic de croissance des rameaux (cf. Figure 5).
- 2) l'absorption d'azote (et des autres éléments minéraux) est un processus actif qui nécessite de l'énergie néoformée, non issue des réserves. Jusqu'à 25 % de l'énergie issue de la photosynthèse

peuvent être consacrée à la fonction d'absorption. La capacité des racines à absorber l'azote est donc tributaire de la translocation des glucides néoformés vers elles. La reprise de l'absorption d'azote (et des autres éléments minéraux) se situe généralement autour du stade « 3-5 feuilles étalées ». Un plan de fertilisation doit rechercher à rendre disponible l'azote pour la vigne à ce stade « 3-5 feuilles étalées ». Apporté plus tôt en saison, bien avant le débourrement, les racines ne pourront pas absorber cet azote puisqu'il n'y a pas de feuilles donc pas de photosynthèse produisant des assimilats carbonés, source d'énergie pour l'absorption.

3) l'absorption des éléments minéraux ne se fait qu'au niveau des fins chevelus blancs racinaires. Ce sont les racines fines (< 1-2 mm ; cf. photo ci-contre) qui assurent la plus grande part de l'absorption d'azote. Ces jeunes radicelles possèdent la capacité d'absorption racinaire bien plus efficace que celles plus âgées, brunes, de diamètre plus important, mais qui n'ont qu'une fonction de conduction. La quantification de la production de racines et leur mortalité demeure difficile. Sur 1 m de profondeur, on estime que 40 % du système racinaire sont remplacés chaque année, sachant que la durée de vie des fins chevelus n'est que de quelques semaines, selon les conditions climatiques et de culture. Ce taux peut être plus ou moins prononcé selon les travaux. Cette plasticité du système racinaire est d'ailleurs un gage d'adaptation. Elle permet à la plante d'une part de ne maintenir des racines que dans les zones de sols qui sont effectivement pourvoyeuses de nutriments (eau, azote...) et d'autre part d'ajuster le pool de racines aux besoins effectifs dictés par les parties aériennes sièges de la photosynthèse, moteur de la croissance. Quant au pool de racines mortes, il entre dans le turn-over de la matière organique du sol.



4) la majorité du système racinaire se situe dans le premier mètre de sol, avec une préférence pour les 50 à 70 premiers centimètres, là où se passe la vie du sol, la transformation de la matière organique du sol en formes azotées absorbables par les racines (cf. Figure 6). La minéralisation de l'azote par les bactéries du sol nécessite des conditions de sol frais (humide, mais pas gorgé d'eau ; ni sec), avec une température moyenne (pas de sol froid ni trop chaud), et surtout de l'oxygène, ce qui exclue une vie du sol en profondeur. Selon les sols et leur structure, au-delà de 70 à 80 cm les conditions d'oxygénation diminuent, limitant toute minéralisation.

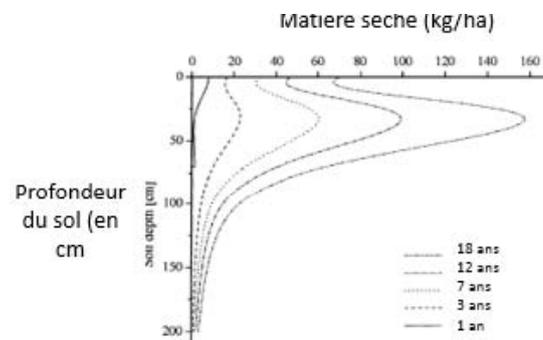


Figure 6 Schéma de la dynamique de la répartition du système racinaire de vigne au cours des 18 premières années.

La plante installe ses racines là où les éléments minéraux, et l'azote en particulier, sont disponibles, au niveau des horizons de surface ; là où l'oxygène, l'humidité et la température sont favorables. Le souhait de conduire des parcelles ayant des ceps de vigne les plus âgés possibles accentuent le recours à la complantation. Or, un tout jeune complant, lorsqu'il est implanté, se trouve confronté à un environnement très compétitif : les ceps voisins sont généralement vieux à très vieux, au système racinaire puissant, de plus l'ensoleillement est réduit de par le jeu de l'ombrage des ceps et rangs voisins, diminuant d'autant les heures de photosynthèse effectives pour le tout jeune plant. Opter pour la complantation systématique des vieilles parcelles, c'est retarder incontestablement l'entrée en production des jeunes ceps : 3 ans pour une parcelle replantée totalement, amis plus de 8 à 9 ans pour un jeune plant utilisé en complantation. Cela contribue à la baisse de rendement de la « déjà vieille » parcelle, bien que la qualité soit au rendez-vous avec les vieilles parcelles.

### **Dynamique de la minéralisation de l'azote du sol.**

Le sol est un milieu non uniforme et non isotrope où la forte variabilité spatiale et temporelle des propriétés hydrodynamiques et physico-chimiques rend leur description difficile à appréhender même sur sol nu. L'absorption de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dépend de la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la solution du sol, du volume de sol exploité par les racines, de la densité racinaire et de capacités d'absorption de ces racines sous la dépendance du flux de glucides et de pouvoir réducteur issus de la photosynthèse. Le flux de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> vers les racines dépend quant à lui de la qualité du contact sol-racine et de la teneur en eau du sol qui permet la diffusion du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> vers la racine. La disponibilité en azote dans le sol dépend de nombreuses transformations biologiques, car résultante de l'action des microorganismes du sol sur les différentes matières organiques du sol, ou non biologiques (lessivage, volatilisation...). Ces mécanismes sont dépendants de divers facteurs physiques qui relèvent de la caractérisation du pédoclimat (température, humidité des sols, pluviométrie, taux d'argiles et de calcaire, pH, compacité des sols...).

La température, la pluviométrie, le type et la géomorphologie des sols, la réserve utile en eau de ces sols et leur taux de matières organiques, orientent la dynamique de l'offre en azote d'un sol. Ils orientent aussi par conséquent les conditions de croissance et développement de la vigne et influent sur les composantes de la qualité du raisin. Pour une parcelle d'un cru classé de l'AOP Pessac-Léognan, la Figure 7 montre la dynamique annuelle moyenne de l'offre potentielle en azote d'une parcelle située en sol de graves argileuses. La minéralisation potentielle (de 1994 à 2011) a été calculée pour chaque année, à partir du module « sol » du modèle de culture STICS Vigne. Les quatre stades phénologiques principaux sont eux aussi des moyennes calculées sur la base des sommes de températures de l'air en base 10. On définit ainsi une trajectoire moyenne d'offre en azote du sol qui va orienter les conditions de croissance de la vigne. On révèle aussi sa variabilité au cours de l'année et entre les années (écart-type de la moyenne faite sur les dix-huit années à climats contrastés). Cette dynamique montre une plus grande offre d'azote en début de cycle avec un maximum deux à trois semaines avant la floraison, une diminution jusqu'à la véraison et une reprise de minéralisation en arrière-saison.

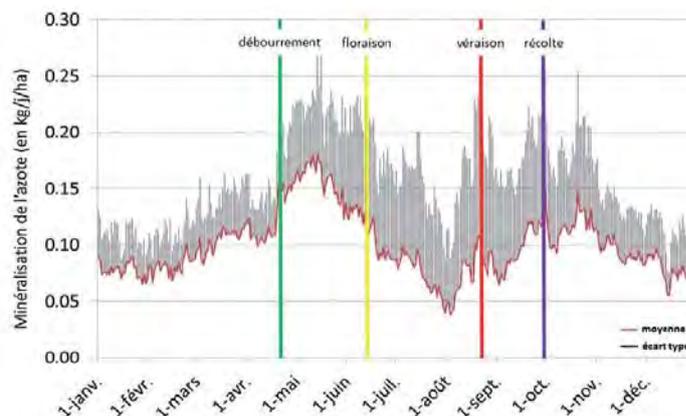


Figure 7 Modélisation avec STICS Vigne de la dynamique de la minéralisation potentielle de l'azote dans une parcelle en AOP Pessac-Léognan (0-60cm ; moyenne et écart-type sur 18 ans, stades phénologiques moyens en base 1 ; Goutouly 2012)

Cette trajectoire moyenne réunit des conditions idéales pour l'obtention d'un raisin rouge de qualité : une bonne disponibilité d'azote au printemps pour assurer la croissance de la vigne (rameaux, feuilles et racines) et sa floraison, une lente diminution estivale de l'offre d'azote ralentissant progressivement la croissance, jugulant ainsi la vigueur et conduisant à un arrêt de croissance et une véraison tôt en saison, puis à l'automne, une reprise de la minéralisation pour reconstituer les réserves de la vigne, conditions essentielles pour assurer le repos hivernal et la reprise au printemps suivant. Le bilan hydrique de la parcelle connaît bien sûr les mêmes variations, car c'est la disponibilité hydrique du sol, en lien étroit avec le climat, qui conditionne ces cinétiques de minéralisation de l'azote du sol. Les techniques culturales s'évertuent à contrôler la vigueur de la vigne et d'améliorer le potentiel qualitatif des raisins, en cherchant à influencer sur ces cinétiques.

Il ne faut pas transposer l'allure de la trajectoire de minéralisation potentielle de la Figure 7 (correspondant à un site de Bordeaux) à d'autres régions viticoles. En effet les facteurs climatiques influencent fortement cette allure. Chaque région (chaque parcelle !) doit être analysée selon ses spécificités. Ainsi le climat de la Champagne ne permet pas d'avoir un pic de minéralisation au printemps (mai à juin) mais plutôt vers les mois de juin et juillet (cf. Figure 8). De même la reprise de la minéralisation à l'automne telle que l'être modélisée à Bordeaux n'apparaît pas.

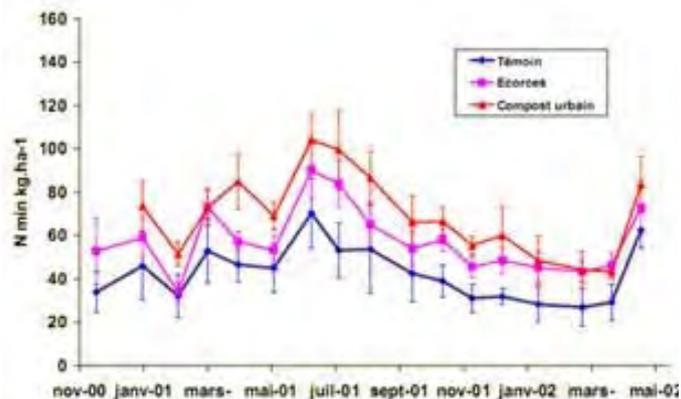


Figure 8 Dynamique de l'azote du sol (0 – 75 cm) pour un sol en AOC Champagne de novembre 2000 à mai 2002 (Résultats analytiques ; Nicolardot 2006).

La chaîne de la nutrition azotée comprend de nombreuses étapes ou conditions pouvant la limiter, la première étant un défaut de photosynthèse (résultant d'une surface foliaire inadaptée ou non fonctionnelle) et la seconde étant une contrainte hydrique instaurant une sécheresse des horizons de surface siège de la vie du sol.

Les conditions climatiques au niveau du sol et les pratiques culturales influent sur l'installation du système racinaire. Si le climat est constamment chaud et sec, les racines ne pourront croître dans les horizons de surface, et la plante cherchera à émettre des racines plus en profondeur à la recherche de conditions plus humides. Ce faisant, les racines profondes se trouveront dans des horizons peu riches en azote, ce qui va limiter la croissance de la plante. Les pratiques culturales influencent aussi le fonctionnement du système racinaire (cf. Figure 9). Un mulch crée des conditions favorables dès les premiers centimètres de sol. Les racines peuvent donc explorer l'ensemble du profil sur « 0-70 cm » (cf. Figure 9a). De même l'utilisation d'herbicides supprime toute compétition vis-à-vis d'adventices, ce qui laisse aux racines de vignes l'ensemble du profil sur « 0-70 cm » (cf. Figure 9 b). À l'inverse, un travail du sol en supprimant les racines dans l'horizon « 0-20 cm » oblige le système racinaire à fonctionner dans les horizons « 20-70 cm » (cf. Figure 9 c).

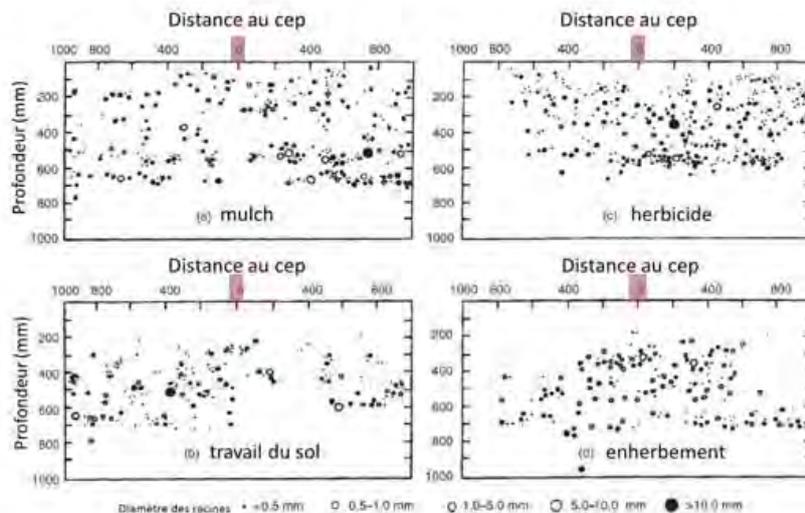
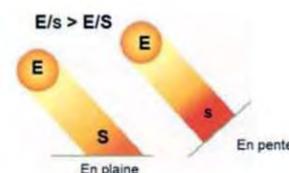


Figure 9 Influence de la pratique culturale sur l'installation du système racinaire (profil d'impacts racinaires (1 m de part et d'autre du cep « point 0 » sur 1 m de profondeur)

On note que dans cet exemple, les racines ne descendent pas plus profondément. Il n'y a pas de compensation en profondeur, car les horizons profonds ne sont pas favorablement exploitables (cas de roche mère). L'enherbement des deux inter-rangs entraîne quant à lui une réduction de l'exploitation du volume du sol par les racines de vigne (cf. Figure 9 d). Les racines de l'enherbement restant en place toute l'année, les nouveaux chevelus racinaires de vigne, produits quelques semaines après le débourrement ne peuvent coloniser que le volume de sol restant. D'anciens travaux de R. Morlat (INRA Angers) montrent que le système racinaire cherche à se redistribuer en profondeur quand cela est possible, pour pallier la concurrence de l'enherbement. C'est la raison pour laquelle l'enherbement a généralement un effet fortement dépressif sur la croissance de la vigne, et ce dès la première année.

### Importance du bilan radiatif.

Les conditions climatiques générales de l'AOC orientent le fonctionnement de l'écosystème « vigne ». Mais bien sûr il faut aussi tenir compte des particularités locales de la parcelle, comme l'exposition et la pente. Le sol d'une vigne en pente sud intercepte mieux le rayonnement solaire et s'échauffe plus rapidement, qu'une parcelle en plaine (cf. schéma ci-contre ; E : énergie solaire ; S : surface). Si ce réchauffement plus précoce, et du sol et de l'air, est bénéfique à la précocité du cycle de la vigne permettant de valoriser au mieux les heures d'ensoleillement estival, il va entraîner des pertes en eau plus importantes. En effet l'augmentation de température du sol augmente son évapotranspiration potentielle (ETP). Lors de l'analyse du fonctionnement d'une parcelle, il ne faut pas donc oublier de prendre en compte cette augmentation de l'ETP pour les vignobles de pente, augmentation qui est variable selon l'exposition, le degré de pente et l'albédo du sol. La densité de plantation et l'orientation des rangs impactent aussi sur le bilan radiatif de la parcelle et son ETP.



### Élaboration du rendement sur 2 ans.

Environ 2-3 semaines avant la floraison, on assiste à un basculement entre l'hétérotrophie (utilisation majoritaire des réserves) et l'autotrophie (utilisation majoritaire des glucides de la photosynthèse). Selon les cépages, la reprise de la méiose ovulaire (stade G15) conduisant à la floraison peut s'effectuer avant ou après ce basculement (cf. Figure 10). Cette différence est importante, car selon les configurations la méiose ovulaire se déroule soit avec un métabolisme encore alimenté par les réserves (cas du Pinot noir) soit sur un métabolisme tributaire des conditions nouvelles de photosynthèse (cas

du Merlot). C'est une des explications des phénomènes de coulure. Lors de ces étapes, tous les événements climatiques ou de pratiques culturales qui concourent à limiter le bon déroulement de la photosynthèse et de l'absorption minérale (azote en particulier) sont susceptibles de contrecarrer le bon déroulement de la floraison du Merlot. Ainsi un temps froid ou ciel couvert à pluvieux, un sol plus ou moins engorgé d'eau par des pluies perturbent la physiologie de la plante qui n'est plus en mesure d'assurer dans de bonnes conditions la fourniture d'énergie et d'assimilats carbonés (cas du millésime 2013 à Bordeaux). La conjonction de la survenue de ces stress avec le stade G15, et leur durée, peuvent impacter la floraison de l'année, mais aussi l'initiation florale pour l'année d'après. En effet, durant la floraison jusqu'aux alentours de la véraison, les ébauches végétaives et florales du millésime suivant sont élaborées dans le futur bourgeon dormant. Le nombre d'inflorescences (et donc de grappes) et le nombre de fleurs par inflorescences de l'année n+1 (et donc le nombre potentiel de baies) sont fixés au cours de l'année n. Des stress trop importants au moment de la floraison de l'année n (stress hydrique, azoté et/ou thermique) impactent sur l'élaboration du rendement du millésime futur (année n+1 ; cf. Figure 11).

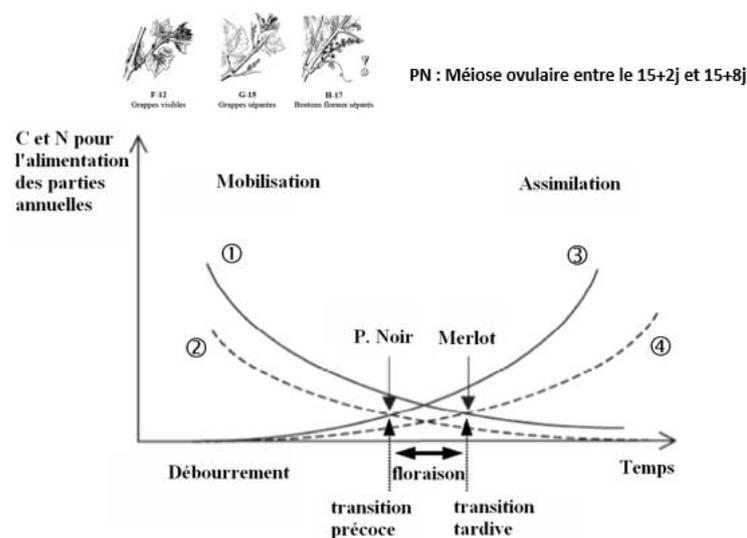


Figure 10 Modèle de prédiction du « mécanisme » conduisant à la coulure. Les flèches indiquent la transition entre la mobilisation des réserves et l'assimilation des photoassimilats chez le Pinot Noir et le Merlot Noir (d'après Zapata et al., 2004)

1 : quantité normale de réserves disponibles ; 2 : faibles quantités de réserves disponibles ; 3 : reprise normale de l'assimilation ; 4 : reprise ralentie ou tardive de l'assimilation

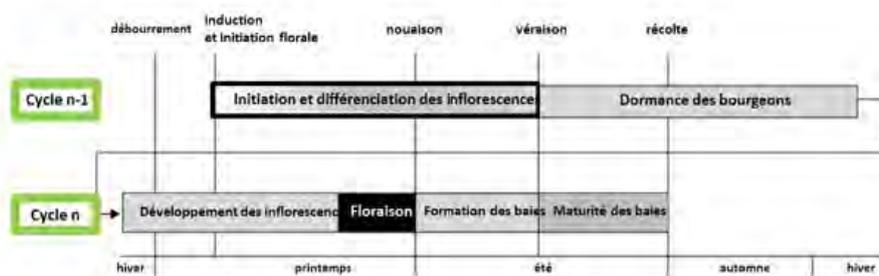


Figure 11 Schéma des différentes phases de l'élaboration des inflorescences, sur 2 années consécutives (d'après Vasconcelos 2009).

À cette complexité, s'en ajoute une autre, et pas des moindres, celle de la gestion de deux génomes en interaction, celui du cépage et celui du porte-greffe (deux espèces différentes), avec de multiples combinaisons greffon/porte-greffe, induisant des demandes de croissances et de développements variables, que l'on souhaite adaptés aux conditions de sols et de climats.

## Élaboration du rendement et court-noué.

Le court-noué (cf. photo ci-contre) est une des viroses les plus graves sur vigne, affectant la quantité et la qualité de la récolte. Cette maladie est transmise aux plants de vigne par un nématode, *Xiphinema index*, qui est un petit vers (de l'ordre du mm) vivant dans la rhizosphère de la vigne et se nourrissant en piquant les radicelles avec son stylet buccal, transmettant ainsi des viroses d'une plante à l'autre via l'enchevêtrement des racines entre ceps, et accessoirement par son lent déplacement dans le sol.



La seule lutte efficace actuelle contre le court-noué est le repos du sol sans culture de vigne pendant au moins 7 ans (travaux INRA et IFV) entre l'arrachage et la replantation, l'objectif étant de réduire au maximum la population de nématodes inféodés à la vigne en lui retirant toute source de subsistance. Ceci a été démontré par de nombreux essais. Néanmoins, cette échéance peut rarement être respectée pour des raisons économiques. Mais, pour que la période de vide sanitaire soit efficace, il ne faut pas envisager moins de 4 ans avant la prochaine replantation.

L'utilisation de plantes nématicides durant les années qui précèdent la replantation est un moyen de réduire la population de nématodes. Les plantes nématicides sont des plantes qui vont attirer les nématodes et les empêcher d'accomplir leur cycle (toxines néoformées, phytoalexines, ou manque d'éléments indispensables au développement des femelles). La polyphagie des nématodes fait qu'il est très difficile de trouver des plantes réellement non hôtes et il en existe peu susceptibles d'être introduites dans les rotations culturales pour chaque nématode. Toutes les plantes ne sont pas efficaces et celles qui le sont sur les nématodes d'une virose d'autres cultures ne le sont pas forcément pour la virose de la vigne. En effet les espèces de nématodes étant très diverses, ils ne réagissent pas tous de la même façon à la présence de plantes nématicides. Ainsi beaucoup d'espèces utilisables comme engrais vert pour les cultures (bis)annuelles (maraîchères ou betteraves), ne sont pas utilisables pour le repos du sol en viticulture. Elles ont même l'effet inverse à celui attendu : elles maintiennent la population de nématodes. C'est notamment le cas du **sarrasin, de la phacélie, du chanvre et du sorgho qu'il faut absolument proscrire des engrais verts de vigne en inter culture** (cf. Figure 12 espèces notées en rouge). Le lotier corniculé, très bien acclimaté en Bourgogne, s'avère d'ailleurs une des meilleures plantes nématicides pour l'inter culture de la vigne.

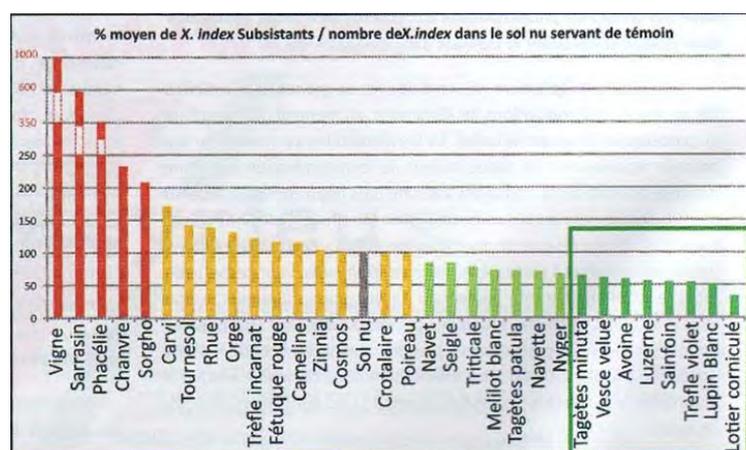


Figure 12 Efficacité de 31 espèces de plantes sur les populations de *X. index* (en rouge les espèces à éviter absolument sur vignes ; données Bordeaux ScienceAgro et Vitinnov 2013)

Le court-noué est une maladie endémique, qui a donc toujours été présente dans les vignobles de Bourgogne et des autres régions viticoles. De façon empirique les « anciens » avaient déterminé, bien avant la découverte de l'agent viral dans la deuxième partie du XXe siècle, les pratiques culturales aptes à redonner de la vigueur à une parcelle de vigne. Bien sûr il ne s'agissait pas d'une lutte, avant la lettre, contre le court-noué, mais plutôt d'ameublir, d'enrichir et de relancer la vie du sol après des années de monoculture de la vigne, des pratiques recommandées de tout temps par les agronomes. On peut être cependant frappé des similitudes entre les pratiques culturales mises en œuvre au XIXe siècle en Bourgogne et celles préconisées aujourd'hui pour lutter contre le court-noué. En 1855, dans l'extrait ci-après, tiré du livre du Docteur Jules LAVALLE « *Histoire et statistique de la vigne et des grands vins de la Côte-d'Or* », on retrouve les principaux leviers : retrait de toutes les racines lors de l'arrachage, semis de sainfoin et de légumineuses, repos de quatre ans (minimum) :

« Quand une **vigne est usée**, c'est-à-dire qu'elle ne rapporte plus rien, ce qui arrive assez souvent dans les terrains maigres du dessus des coteaux ou des arrières-côtes, ou dans les terres marneuses de la plaine, et par l'effet d'une mauvaise culture qui souvent dénature la qualité primitive du plant même dans les meilleurs sols, **on est alors forcé de l'arracher. L'arrachement des ceps, quand il est fait profondément de manière à aller chercher toutes les racines**, est déjà une opération très-utile à la terre. Elle tend à enfouir la terre meuble qui est à la surface, et ce remuement doit faciliter le développement de la vigne lorsqu'on la replantera. C'est ordinairement aussitôt après les vendanges que l'on arrache une vigne ; les frais en sont compensés par le bois, qui indemnise suffisamment l'ouvrier. Le terrain où l'on vient d'arracher une vigne prend, dans notre département, le nom de toppe. J'ignore quelle est l'étymologie de ce mot ; mais, comme il est consacré par l'usage, je m'en servirai pour exprimer cette sorte de terrain. En mars, on laboure cette toppe soit à la charrue, soit avec la bêche ou la pioche, selon que la position du sol le permet ; **on y fait un semis d'orge\* et de sainfoin. On recueille l'orge, et, l'année suivante, on a presque toujours une récolte abondante de sainfoin : les deux ou trois années qui suivent, on fait la même récolte, et, à la fin de la quatrième, on peut planter** ; la terre est assez reposée pour qu'une plantation de ceps réussisse. Dans les terres de la plaine, où le sainfoin réussit moins bien, on arrache immédiatement après la vendange, on laboure et on sème du froment ; l'année suivante, on fait un semis d'orge et de trèfle : on fait alors rapporter le trèfle deux années de suite, après quoi on plante. **Cette méthode de laisser la terre, pendant quatre ans, produire soit des céréales, soit des légumineuses, est fort rationnelle** ; c'est pour rendre à ce sol les sucs qui conviennent à la vigne, et dont elle est appauvrie par la longue durée d'une précédente vigne. Je crois avoir remarqué qu'une plantation faite dans un ancien vignoble avant que la terre n'ait été reposée au moins quatre ans, a peu de chance de réussite. On ne saurait donc trop recommander aux propriétaires de laisser leur terrain s'ameublir ainsi pendant ce laps de temps. **J'ai fait plusieurs fois l'observation que ceux qui veulent planter une vigne dans un terrain qui n'est pas resté assez longtemps en repos sont grandement trompés dans leurs calculs** : la terre, dépouillée des sucs propres à la végétation de la vigne, est, en quelque sorte, inerte, et le cépage qu'on y introduit ne reprend qu'avec difficulté et n'offre jamais l'apparence de la force et de la vigueur. Je parle ici d'après ma propre expérience. »

\*L'orge, préconisé en 1855 dans les rotations de la jachère doit être évité aujourd'hui (cf. tableau Figure 12).

Pour approfondir :

Un point sur le court-noué



Le repos du sol comme lutte contre le court-noué



Article sur les jachères à plantes nématocides



## Impact du changement climatique – Bourgogne.

Les principaux phénomènes qui concourent à l'élaboration du rendement en quantité et en qualité sont la croissance végétative, la fructification et les cinétiques d'accumulation ou de disparition de composés bénéfiques ou préjudiciables à la qualité des raisins. Ils sont en liaison étroite avec l'offre du milieu, en constante évolution au cours d'un cycle réalisé généralement sous contrainte environnementale (hydrique, minérale, thermique). Pour chaque millésime, on peut considérer que la qualité de la baie de raisin est la résultante des interactions entre cette offre du milieu naturel (principalement en eau, carbone et azote) et la demande de la vigne qui varie avec la phénologie et les interventions culturales.

En se basant sur les sommes de température, divers indices de caractérisation du potentiel viticole ont été créés. Parmi eux, l'indice de Huglin exprime la quantité de chaleur reçue, en base 10, par la plante pendant sa période de végétation (1<sup>er</sup> avril – 30 sept.). Cet indice caractérise assez bien le climat général d'une région, le potentiel d'adaptation d'une variété et ses exigences en chaleur (ensoleillement) pour atteindre un taux de sucre par définition fixé à 180 g/l. Six grands types de climats sont ainsi définis : très frais ( $IH \leq 1\,500$ ), frais ( $1\,500 < IH \leq 1\,800$ ), tempéré ( $1\,800 < IH \leq 2\,100$ ), tempéré chaud ( $2\,100 < IH \leq 2\,400$ ), chaud ( $2\,400 < IH \leq 3\,000$ ), très chaud ( $IH > 3\,000$ ). Sur la carte de 1901 (cf. Figure 13), on retrouve la répartition des zones et des cépages qui entreront dans la définition des différentes AOC dès 1935.

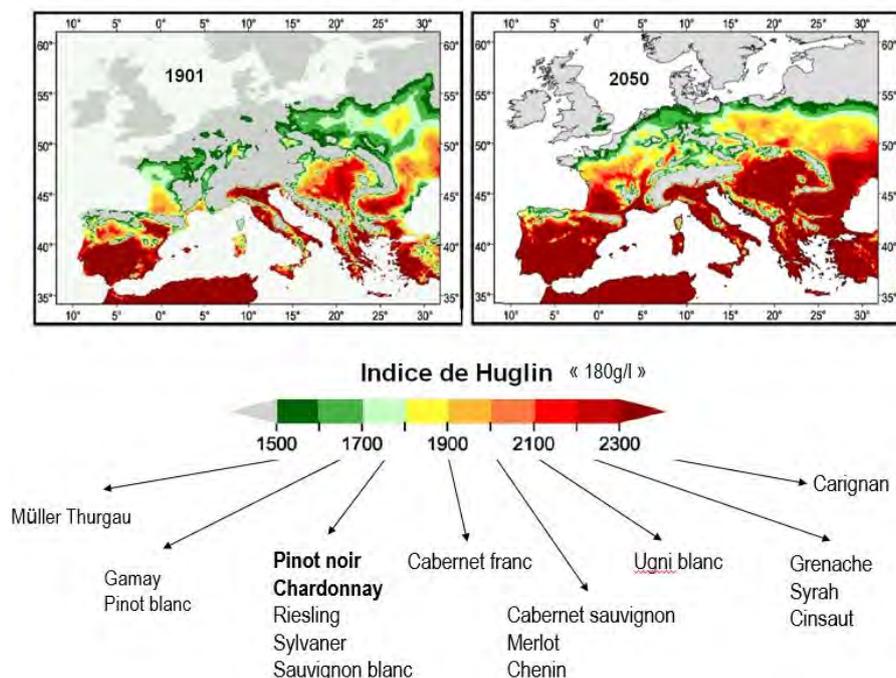


Figure 13 Cartographie de l'indice de Huglin pour l'année 1901 (données météorologiques réelles) et pour 2050 (données modélisées ; scénario +1,75 °C)

L'évolution attendue des conditions climatiques pour la fin du siècle entraînera nécessairement des modifications dans ces modes de conduite et des associations cépage/climat que le vigneron avait appris à maîtriser jusqu'ici, pour faire des vins de qualité à typicité marquée (cf. Figure 13 simulation du scénario +1.75°C à horizon 2050, Stoll *et al.*, 2004). Ainsi suite à l'avancée et au raccourcissement des stades phénologiques de la vigne, la phase de maturation des raisins aura tendance à se dérouler durant les périodes chaudes de l'été, auxquelles s'ajoutera un risque accru de sécheresse. Des conditions climatiques nettement plus chaudes et sèches, au cours de la période de maturité, sont

donc à prévoir. L'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique, déjà en cours, aura un impact sur la physiologie de la plante, grâce à l'amélioration de la photosynthèse et à une meilleure reconstitution des réserves de la plantes. La vigueur de la vigne sera à terme modifiée. Cette augmentation du CO<sub>2</sub> a aussi un effet positif sur la croissance des moisissures. Pour les zones septentrionales, on peut s'attendre à un impact de l'augmentation des radiations UVB, sur la qualité des raisins, conduisant dans certaines conditions à un vieillissement prématuré des vins blancs.

Au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, l'augmentation de la température moyenne annuelle est proche de 1°C pour la France, supérieure à 1°C en ce qui concerne la Bourgogne. Ainsi au début des années 2010, la température est-elle supérieure d'environ 1,5°C à celle observée entre 1961 et 1987 (données Richard et Castel, 2012).

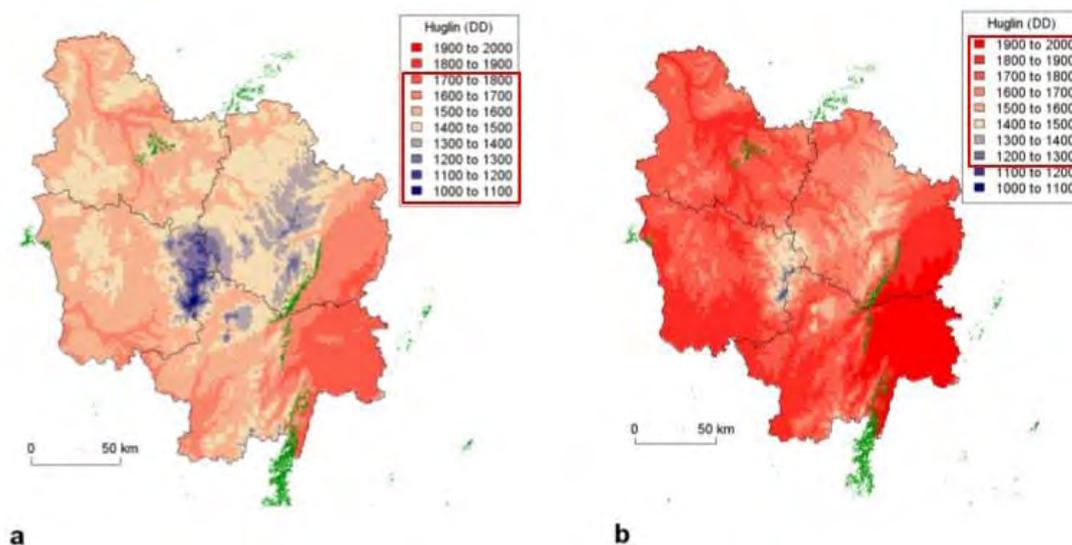


Figure 14 Cartographie de l'indice de Huglin à l'échelle de la Bourgogne, période 1968-1987 (a) et période 1988-2007 (b) (d'après Richard et al., 2010).

Pour de nombreuses régions viticoles et la Bourgogne en particulier, le changement climatique actuel (cf. Figure 14) améliore les conditions de maturité du raisin, en permettant une croissance plus précoce et plus active, ainsi que des conditions de maturité plus favorable à la qualité. Cependant les perspectives d'un changement trop important (au-delà de 2°C) font craindre de nombreux effets négatifs sur la physiologie de la vigne et de la baie. Parmi ces effets négatifs, on retient une chute plus rapide de l'acidité de la baie, un enrichissement important en sucres déconnectés de la maturité phénolique et la survenue de déficits hydriques accentués.

En ce qui concerne la pluviométrie, quel que soit le scénario, la Bourgogne (et plus généralement le nord-est de la France), ne semble pas connaître une baisse des précipitations d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Ceci n'est pas le cas pour de nombreuses régions du sud de la France. Mais il ne faut pas oublier que l'augmentation de température de l'air (prévue pour la Bourgogne) entraîne systématiquement une augmentation de l'ETP d'une parcelle, accentuant le déficit hydrique. En cela, les vignobles bourguignons ne seront pas à l'abri de faire un inventaire des pratiques culturales qui peuvent limiter les pertes en eau du sol, ainsi que de reconsidérer le recours à l'enherbement dans certaines configurations.

Les effets de fortes températures au moment de la floraison entraînant une coulure sont connus, et le Pinot Noir est un cépage sensible. Il est d'autant plus sensible que l'ensemble des ceps qui sont aujourd'hui en production dans les parcelles de la Bourgogne résulte d'une sélection effectuée dans

des conditions anciennes classiques du climat bourguignon (que la sélection soit clonale ou massale). Chacun a des exemples de coulure « thermique » occasionnée par les fortes chaleurs de juin et juillet 2015, notamment sur les parcelles les mieux exposées.

Il n'y a pas que la floraison qui soit une phase sensible. Pour certains cépages comme le Chardonnay, des températures plus élevée durant quelques jours avant le débourrement entraînent une baisse du nombre de fleurs par inflorescence, de l'ordre de 57 fleurs de moins par rameau et par degré supplémentaire (cf. Figure 15).

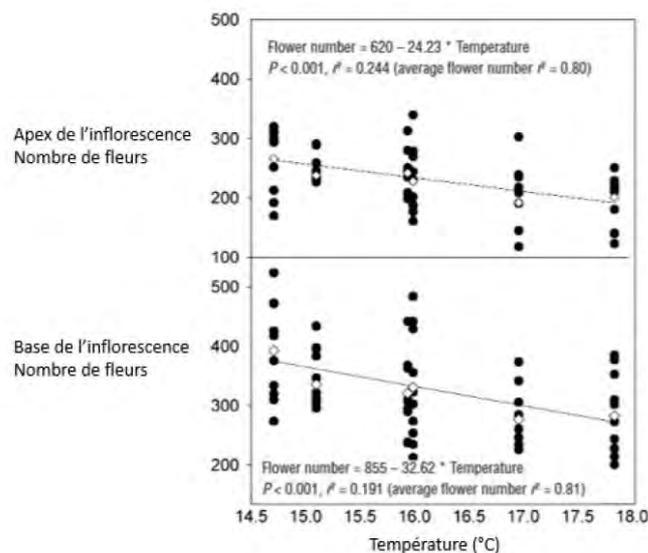


Figure 15 Effet négatif de températures élevées durant les 2 semaines avant le débourrement sur le nombre de fleurs pour le Chardonnay (Petrie et Clingeleffer, 2005)

Différents dossiers concernant le changement climatique et la Bourgogne sont notamment disponibles en téléchargement au niveau des sites de la Région, de l'ADEME ou de l'INRA :

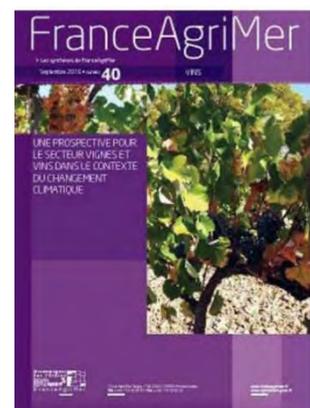
DREAL Bourgogne Séminaire "Adaptation au changement climatique" 

ADEME – Direction régionale Bourgogne 

Colloque Développement durable, évolutions climatiques et droits de l'homme (Dijon 2006) 

Revue Française d'Œnologie : Impact du changement climatique sur la vigne et le raisin 

À l'horizon 2050, les vignobles français et toute la filière vont devoir s'adapter au changement climatique, qui modifiera, selon les situations, à la fois les conditions de production des vins, leurs caractéristiques organoleptiques et leurs marchés. À cette échéance, d'autres facteurs tels que les évolutions des préoccupations de santé et d'environnement, les changements géopolitiques ou technologiques, les nouvelles conditions de consommation du vin ou encore les modifications de politique agricole affecteront le secteur vitivinicole. Le dossier concernant les quatre scénarios retenus est disponible sur la page du site INRA du programme LACCAGE (*Long term impacts and Adaptations to Climate Change in Viticulture and Enology* ; durée 2012 à 2016)



<https://www6.inra.fr/laccage/Prospective>

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

---

La baisse de productivité constatée depuis plus d'une décennie dans de nombreuses régions viticoles, et en Côte-d'Or en particulier, relève de différentes causes qui seront investiguées lors du Plan de lutte contre le dépérissement lancé par la filière sous l'égide de FranceAgrimer en 2017. En attendant les progrès, il convient d'ores et déjà d'analyser chaque configuration de vignoble, en termes notamment de soutien à la croissance végétative. Depuis trop longtemps les impasses sur la fertilisation minérale et organiques sont pratiquées par peur d'influencer la qualité des raisins. Certes vigueur et qualité des raisins sont antagonistes. Cependant la vigne, comme tout végétal, a besoin de trouver au minimum d'une base d'alimentation azotée pour dérouler normalement son cycle. Un arrêt de la fertilisation minérale, voire aussi des amendements organiques, couplé à une généralisation de l'enherbement (et l'usage de la complantation), entraîne des contraintes nutritionnelles de plus en plus importantes pour la vigne (et le jeune complant), qui ne peuvent qu'impacter sur l'élaboration du rendement.

Pour être efficace, au printemps, la fertilisation doit assurer une fourniture azotée à partir stade « 3-5 feuilles étalées ». Plus en amont, la plante n'a pas les capacités énergétiques de prélever cet azote et les risques des pertes par lessivage sont élevés. Toute fertilisation minérale à des stades plus précoces se révèle donc quasi inopérante. La fertilisation doit être modulée en fonction du climat de l'année et des types de sols. En années ou zones tardives, en sol filtrant, l'apport (minéral ou organique) peut être retardé, alors qu'en années ou zones plus précoces, sous des climats secs ou sur sol peu filtrant, il peut être avancé. La disponibilité en azote dans le sol dépend de nombreuses transformations non biologiques (lessivage, volatilisation...) ou biologiques (action des microorganismes du sol sur les différentes matières organiques du sol).

Enfin, il faut rappeler que chaque grande région viticole de France a sélectionné des cépages aptes à mûrir dans les conditions climatiques moyennes, propres à la région considérée, connaissant parfois des épiphénomènes climatiques pouvant compromettre occasionnellement la qualité et/ou la quantité (gel de printemps, sécheresse estivale ou pluviométrie excessive). La perspective du changement climatique plus ou moins important d'ici la fin du siècle (selon les scénarios ; déjà + 1,5°C au cours du XXe siècle pour la Bourgogne) avec la survenue de stress récurrents thermique, hydrique et azoté va impacter les conditions de déroulement des cycles de la vigne. Il est d'autant plus important de savoir analyser les conditions de survenue de ces stress (thermique, hydrique, azoté et autres) et de leurs impacts aux diverses phases du cycle végétatif et fructifère de l'année « n », initiées parfois en année « n-1 » et impactant le futur cycle de l'année « n+1 ».

La perspective des changements climatiques à venir rend encore plus actuelle encore la citation de S Henin (« Le Profil Cultural », 1960) :

*« Il n'y a pas de recettes en agriculture, il n'y a que des situations auxquelles il faut s'adapter »*

### **Synthèse rédigée par :**



Jean-Pascal Goutouly  
INRA Bordeaux – UMR EGFV – ISVV  
24/02/2017  
jean-pascal.goutouly@inra.fr

PÔLE TECHNIQUE ET QUALITÉ DU BIVB  
CITVB  
6 rue du 16<sup>e</sup> chasseurs - 21200 Beaune  
Tél. 03 80 26 23 74 - Fax. 03 80 26 23 71  
technique@bivb.com  
Site extranet (réservé aux adhérents du BIVB) :  
<https://extranet.bivb.com>