

INFLUENCE DU CLIMAT SUR LA PRODUCTION VITIVINICOLE

Dr. Fernando Santibáñez
Professeur d'agroclimatologie
fsantiba@uchile.cl

La quantité et la qualité de la production de la vigne dépendent de l'harmonie entre les mécanismes écophysologiques de la plante et les conditions externes créées par le climat et le sol. La vigne, comme toutes les espèces végétales, est dotée d'un programme génétique interne où sont pré-établis ses comportements face à des conditions environnementales changeantes. Ces comportements seront toujours orientés vers des mécanismes de survie en tant qu'individu (capacité à croître et à résister à des conditions difficiles) et comme représentant de l'espèce (reproduction). Lorsque l'environnement climatique se maintient favorable, la plante tend à favoriser le premier objectif, c'est à dire sa consolidation en tant qu'individu à travers une croissance soutenue, s'appropriant tout l'espace possible. Au contraire, quand apparaissent les premiers signes d'un environnement difficile, la plante change de stratégie et favorise sa mission reproductive.

Le moteur principal de la croissance et de la reproduction de la plante est l'activité photosynthétique du feuillage, activité qui dépend fortement du niveau de rayonnement solaire, des températures et de l'état hydrique des feuilles. La quantité totale d'hydrates de carbone produits dépend en plus de la surface foliaire déployée par les plantes, qui détermine le degré d'interception du rayonnement solaire incident. Bien que l'accumulation de sucres soit fortement dépendante de la luminosité, leur destinée dépend, elle, du régime thermique et notamment des températures nocturnes. Les nuits fraîches tendent à freiner la croissance des bourgeons, en favorisant la génération de stocks de d'hydrates de carbone accumulables dans les fruits. Les nuits chaudes, au contraire, favorisent la croissance continue des bourgeons qui concurrencent alors nettement les fruits.

La croissance de chaque organe individuel ne dépend pas seulement du bon rendement photosynthétique des plantes, mais aussi de la distribution des hydrates de carbone entre ces différents organes. La fraction de ces hydrates destinée à la croissance de chaque organe est une variable génétiquement déterminée, et sa valeur évolue au fur et à mesure de l'avancement de la saison. Cependant, outre le fort déterminisme génétique sur la priorité prise par chaque organe dans la distribution d'hydrates de carbones au cours du cycle, le climat peut modifier ce schéma de distribution.

L'activité de la partie aérienne crée une demande en eau et nutriments qui doit être satisfaite par la racine, laquelle requiert à son tour de l'énergie et des molécules organiques synthétisées par les organes aériens. Tout dysfonctionnement intervenant entre ces deux grands ensembles conduit à des retards de développement et des chutes de production.

Les racines ont pour mission de trouver dans le sol l'eau et les nutriments nécessaires pour la partie aérienne, en quantités requises. Dans cette optique, les racines rencontrent des limitations physiques et chimiques qui s'opposent d'une part à ce que les racines explorent librement le sol et d'autre part à ce qu'elles absorbent les éléments nutritifs.

Parmi les limitations physiques citons le volume total de sol disponible pour la plante, qui dépend de la profondeur, de la pierrosité, l'existence de couches cimentées, la résistance mécanique, la présence de couches saturées en eau, et l'oxygénation.

D'autre part, les limitations chimiques n'empêchent pas la pénétration des racines dans le sol, mais elles réduisent la disponibilité des éléments nutritifs. C'est le cas du pH, de la salinité, de la teneur en matière organique, du type d'argiles. La somme des limites physiques et chimiques détermine l'activité spécifique des racines, c'est à dire l'efficacité qu'elles auront à absorber de l'eau et des minéraux pour exportation vers les organes aériens afin de maintenir les échanges réciproques à un niveau acceptable.

Enfin, tout ce système est sujet à des changements dans le temps qui peuvent se voir accélérés ou ralentis sous l'effet des variables climatiques qui gouvernent le développement. Le vitesse avec laquelle les plantes traversent les différentes phases de leur cycle dépend de la succession de stimuli climatiques au cours du temps (degrés-jour, unités héliothermiques, degrés-heure). La température seuil de croissance et de développement de la vigne est de 10°C (Williams, 1987). De plus, les conditions de repos hivernal influent grandement sur l'équilibre entre organes végétatifs et reproductifs, au sens où une bonne fructification dépend dans une certaine mesure de la satisfaction des besoins en froid hivernal et de la différenciation florale effectuée au cours de la saison précédente (Santibáñez, 1994).

Pendant la saison de croissance, la matière sèche produite augmente linéairement avec les degrés-jour. Pour les cépages précoces, la maturité est atteinte à partir de 900 degrés-jour minimum, tandis que pour les cépages tardifs, 1600 à 1800 degrés jours sont requis. Il est clair que la complexité de la relation climat-plante peut représenter un sac de noeuds difficile à démêler si on ne s'appuie pas sur une bonne information climatique, en qualité et en quantité, et un modèle d'analyses qui permet de considérer chaque relation de cause à effet à sa juste valeur.

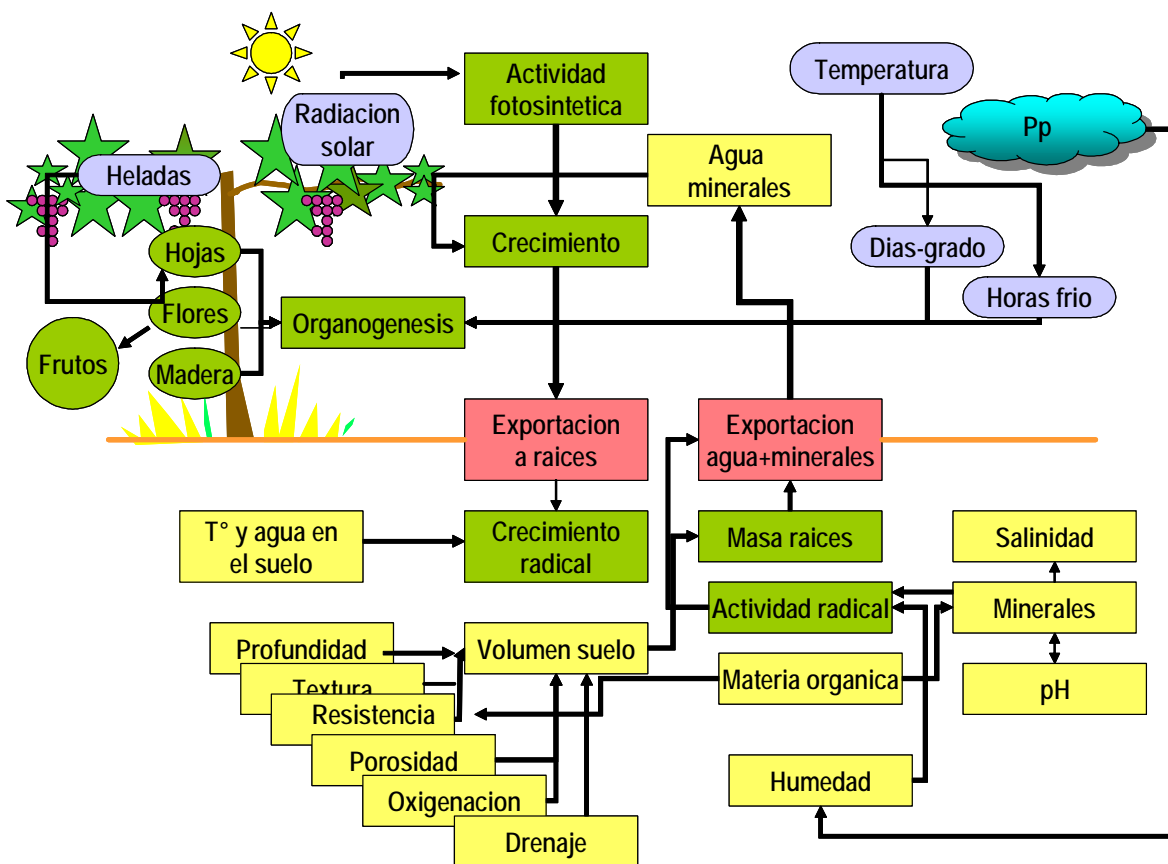


Figure 1. Schéma simplifié de l'équilibre entre partie aérienne et racinaire d'un plant de vigne.

Éléments de légende : *heladas* : gelées ; *madera* : bois ; *crecimiento* : croissance ; *suelo* : sol ; *humedad* : humidité ; *raices* : racines ; *días-grado* : degrés-jours ; *horas frio* : heures de froid

Le repos hivernal

Les premières températures basses de l'automne inférieures à 8°C induisent l'entrée en dormance des bourgeons axillaires. A ce moment se produit une induction des tissus vers le repos métabolique, bloquant toute activité de croissance cellulaire. Ceci est un mécanisme de sécurité qui évite un débourrement au milieu de l'hiver suite à une période de temps doux.

La rupture de cet état de repos nécessite une longue période d'heures de froid cumulées, pendant lesquelles les inhibiteurs de la croissance sont métabolisés et par conséquent disparaissent. C'est ainsi que les bourgeons retrouvent des conditions de croissance en fin d'hiver ou bien très tôt au printemps. La vigne n'est pas une espèce qui a un besoin absolu de dormance hivernale. Elle peut générer des fleurs fertiles à partir de meristèmes non soumis à un repos induit (Gil, 2000). Il faut souligner malgré tout qu'elle donne une production meilleure en quantité et en qualité lorsque ses meristèmes ont traversé une période hivernale de repos induit par le froid.

La qualité du repos hivernal dépend pour une grande part des températures automnales qui l'enclenchent. Des automnes chauds entraînent un retard de la chute des feuilles, ce qui a un impact négatif sur le repos hivernal. Au contraire, des automnes au cours desquels le froid intervient brutalement avec une chute des feuilles prématurée, ne sont pas souhaitables non plus. La dormance doit être enclenchée par une baisse progressive des températures pendant l'automne. Cela permet une adaptation physiologique à un rythme adéquat pour une entrée en repos profond des bourgeons. Pendant cette période, les bourgeons deviennent extraordinairement résistants au froid, et peuvent tolérer des températures inférieures à -20°C.

Il existe de petites variations dans les besoins en froid entre cépages, mais on estime que 600 heures environ suffisent.

Redémarrage de la croissance printanière.

Une fois satisfaits les besoins en froid, les bourgeons sont en attente des premières températures maximales supérieures à 20°C, qui exercent un effet stimulant sur la croissance des tissus méristématiques. Le premier organe qui commence à croître est la racine, qui entre en activité vers fin août, début septembre¹. Ainsi, l'approvisionnement en eau et nutriments de la partie aérienne est assuré quand celle-ci part en croissance. Il est important que pendant cette période, le sol ne soit pas saturé en eau, de façon à permettre une bonne oxygénation des racines en croissance.

A l'arrivée des premières températures printanières, les bourgeons reprennent leur croissance, perdant leur résistance aux gelées de la période de dormance. Une fois le débournement effectué, les bourgeons peuvent être détériorés par des températures de -2°C. Au stade « pointes vertes », c'est-à-dire avec les premières feuilles en formation, la sensibilité aux gelées se situe entre -1 et -2°C. Si le repos hivernal a été satisfaisant, les bourgeons croîtront de façon homogène. Dans le cas contraire, on

¹ NDLR : hémisphère Sud

observera un bourgeonnement disparate, ce qui conduit à des grappes de mauvaise qualité.

Floraison et pollinisation

Lorsque les fleurs sont sorties, la température diurne est critique pour la pollinisation. Des températures très basses (inférieures à 10°C) retardent la croissance du tube pollinique, rendant la pollinisation improbable. Par ailleurs, des températures supérieures à 30°C pendant la pollinisation peuvent entraîner la rupture du tube pollinique, ce qui diminue le nombre de fleurs fécondées par grappe. Les températures idéales pendant cette période se situent entre 18 et 25°. Une atmosphère très humide (HR>85%) peut retarder la déhiscence des anthères, gênant ainsi la libération du pollen.

Formation de la grappe

Après la fécondation des ovaires commence une étape d'intense division cellulaire et croissance des baies. Il est essentiel qu'à ce moment, les températures soient comprises entre 15 et 25°C. Des températures inférieures à 12°C conduisent à des baies petites de maturité retardée. Des températures très élevées ou un fort déficit hydrique pendant cette période ont un effet similaire. C'est aussi le moment où se produit l'induction fructifère de l'année suivante (dès début décembre²), processus qui requiert des températures bien plus élevées (supérieures à 30°C, selon Buttrose, 1970) et des niveaux intenses de rayonnement solaire (plutôt supérieur à 500 cal/cm² jour). Le manque d'éclairement des feuilles et des bourgeons détériore l'induction florale. De par l'importance de ces deux mécanismes, cette étape a des exigences nutritionnelles élevées.

Croissance du fruit jusqu'à véraison

Pendant cette phase, les fruits grandissent par expansion cellulaire. Cela nécessite un flux adapté d'eau et d'hydrates de carbone. Ces derniers ne jouent pas seulement un rôle important dans la qualité finale du fruit : ils apportent l'énergie pour le processus même d'accumulation d'eau et d'expansion cellulaire. Cette phase connaît une forte concurrence entre les fruits en formation, les bourgeons en induction et les pousses végétatives qui n'ont pas fini leur croissance. Cette concurrence fait que les fruits les plus petits ont une croissance d'autant plus retardée. L'accumulation d'hydrates de carbone pendant cette étape déterminera l'existence de matière première pour la synthèse ultérieure d'arômes, de pigments et de tanins. C'est la raison pour laquelle il est souhaitable que les fruits croissent de façon homogène. Des températures supérieures à 20°C, des radiations solaires dépassant les 500 cal/cm² jour et une durée d'ensoleillement supérieure à 10 heures par jour sont essentiels pour obtenir un produit de qualité optimale. Il a été observé que des températures minimales inférieures à 13°C favorisent la générosité de la grappe.

Maturité du fruit

Il est préférable que pendant le dernier mois avant maturité, les températures se maintiennent au dessus de 25°C, de sorte que l'acidité baisse régulièrement en augmentant la fraction de solides solubles. Pour maintenir un bon équilibre acidité/solides, la plante doit continuer à pomper des hydrates de carbone qui approvisionneront en énergie les mécanismes métaboliques de synthèse de composés complexes à l'origine des propriétés organoleptiques du fruit. Pour cette raison, cette

² NDLR : hémisphère Sud

étape nécessite aussi des niveaux de rayonnement solaire acceptables et des températures nocturnes fraîches qui tendent à freiner la croissance végétative et permettent l'aiguillage des hydrates de carbone vers les fruits. La poursuite de croissance végétative à ce stade retardera la maturité et appauvrira les fruits en arômes et couleurs.

Les températures minimales supérieures à 15°C créent des conditions favorables à la croissance végétative au détriment des fruits. D'autre part, les températures minimales inférieures à 8°C peuvent déclencher un processus de sénescence prématurée qui diminue la capacité du feuillage à produire des hydrates de carbone. En tenant compte de ces deux phénomènes, les températures minimales idéales pendant la maturation se situent entre 8 et 15°C, lesquelles favorisent une production maximale de ces hydrates, puis leur acheminement vers les baies.

Effets possibles du changement climatique au cours des prochaines décennies.

Influence de l'augmentation de concentration de dioxyde de carbone.

La concentration en CO₂ est restée stable, autour de 270 ppm, au cours du dernier millénaire (Ehleringer et Cerling, 1995). Après la révolution industrielle a débuté une augmentation accélérée de la teneur de ce gaz dans l'atmosphère, jusqu'à atteindre le niveau actuel voisin de 370 ppm. Ce chiffre continuera à augmenter avec la consommation de combustibles fossiles, particulièrement dans les pays les plus développés du globe. A titre d'exemple, citons les émissions de CO₂ d'un habitant des Etats-Unis qui est de l'ordre de 22 tonnes en équivalent de carbone, alors qu'en Inde, ce chiffre atteint seulement 0,7 tonnes de carbone par habitant et par an (Bazzaz, 1998). Le taux d'augmentation du CO₂ évolue plus vite que la vitesse à laquelle les plantes ne peuvent s'adapter génétiquement à ces changements. La concentration atmosphérique de CO₂ devrait à peu près doubler d'ici la fin du siècle, certains scientifiques pensant même que cette concentration dépassera les 1000 ppm (Bazzaz, 1998). La réponse directe des vignes face à une hausse de la concentration en CO₂ se traduit par un accroissement de la photosynthèse nette, du taux de production de biomasse, de l'efficacité de l'utilisation de la lumière, des nutriments et de l'eau (Bindi et al., 1996a). Une plus grande concentration en CO₂ améliorera l'efficacité de l'eau (relation entre la photosynthèse et l'évapotranspiration) (Schultz, 2000). Les vignes qui poussent en régions arides peuvent par conséquent bénéficier d'une plus grande quantité de CO₂, améliorant ainsi leur ratio production/consommation d'eau. Cependant, l'exposition à des concentrations élevées de CO₂ (au-dessus de 900 ppm) peut avoir des effets secondaires néfastes. Les hausses simultanées du CO₂ et des températures minimales génèrent un déséquilibre du carbone interne, augmentant la vigueur au détriment du développement reproductif. Bindi et al. (1996a). Il existe peu d'informations claires sur les possibles altérations du rythme respiratoire à des concentrations élevées de CO₂.

Effet des rayonnements solaires (Lumière et UV)

Il est possible qu'avec l'augmentation de la température globale de la Terre se produise une augmentation de la nébulosité avec pour conséquence une diminution de rayonnement visible. Ceci pourrait affecter la vigne. Parallèlement, l'augmentation du rayonnement UV-B, conséquence de la dégradation de la couche d'ozone, peut contribuer, dans le cas de la vigne, à freiner les excès de vigueur végétative en neutralisant l'effet de l'augmentation de CO₂. L'intervalle de longueur d'onde UV-B oscille entre 280 et 320 nm. Les longueurs d'ondes supérieures à 290 nm peuvent atteindre la surface terrestre. La planète a perdu environ 8% de l'ozone par décennie (Blumthaler et Ambach, 1990). L'impact de l'UV-B sur les caractéristiques

morphologiques, physiologiques et biochimiques des plantes supérieures a été étudié en profondeur et on a enregistré principalement des diminutions de la surface foliaire (Tevini et Teramura, 1989), des poids frais et secs, sur la biomasse totale et la capacité photosynthétique (Krupa et Jäger, 1996).

Une réaction normale face à l'augmentation de la radiation UV-B est une production importante de composés qui agissent comme filtres de ce rayonnement (Tevini, 1996; Jansen *et al.*, 1998). La formation de pigments jaunes et rouges réduit significativement la pénétration de la lumière UV dans les nectarines (Blanke, 1996). Il semble que le rayonnement ultraviolet régule positivement quelques enzymes responsables de la synthèse de flavonoïdes, de même que les teneurs en quelques antioxydants clé, l'ascorbate et le glutathion (Jansen *et al.*, 1998), en même temps que qu'il inhibe la formation de pigment caroténoïde et l'incorporation d'azote dans les acides aminés. (Döhler *et al.*, 1995; Jansen *et al.*, 1998). Etant donné que des composés comme les flavonoïdes, les acides aminés et les caroténoïdes sont des constituants importants du raisin avec un effet marqué sur le développement des arômes, on peut s'attendre à ce que le rayonnement UV-B influe dans une certaine mesure sur la composition du raisin. (Schultz *et al.*, 1998). Sur les cépages blancs, l'excès d'UV-B peut stimuler la formation d'arômes indésirables dans les vins (Geßner *et al.*, 1999).

Quelques effets connus du rayonnement UV-B et impact possible sur la production de raisin

Effets UV-B	Possible impact pour la production de raisin
• activation de gènes de la voie phytopropanoïde	➔ accumulation de flavonoïdes et anthocyanines (formation de couleur, composition du vin)
• inactivation (détérioration) du photosystème II et des enzymes photosynthétiques	➔ diminution de la photosynthèse
• moindres concentrations de chlorophylle et caroténoïde	➔ diminution de la photosynthèse, ➔ altération des composés aromatiques? ➔ xanthophylles, équilibre énergétique dans les feuilles et les baies?
• effets sur le métabolisme de l'azote (via l'apport de carbone ou les effets directs sur les enzymes clé)	➔ moindre concentration d'acides aminés (métabolisme des levures, cinétique de fermentation, formation d'alcools supérieurs, composés aromatiques secondaires)
• feuilles plus épaisses, composition des cires	➔ meilleure résistance aux maladies
• photo-oxydation de l'acide indolacétique (AIA, auxine), absorption des UV-B par le triptophane	➔ possible formation de o-aminoacetophénone (arôme indésiré dans les vins)
• augmentation de la teneur en acide ascorbique et glutathion par formation de radicaux libres	➔ photoprotection, métabolisme du soufre, induction d'activités enzymatiques (importantes pour le métabolisme des levures)?
• floraison et phénologie	➔ peuvent être affectées sur certaines variétés
• altérations de la microflore et faune du sol	➔ disponibilité de nutriments

Pour le cépage Riesling, les UV-B réduisent la concentration en acides aminés et caroténoïdes dans la pellicule des baies au moment de la vendange (Schultz et al. 1998). De plus, le rayonnement UV-B semble affecter la composition en acides aminés avec des taux d'arginine et de glutamine plus bas (principales sources d'acides aminés pour le métabolisme des levures). Il y a différentes observations qui indiquent que la différence entre le niveau de caroténoïdes en début de maturation et au moment de la vendange est corrélée avec la formation de norisoprénoïdes (Razungles et al., 1993, Bureau et al., 1998). Ces composés sont liés aux arômes de vieillissement dans les vins (vitispirane, 1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène, TDN) et le caractère fruité du moût et du vin (damascénone). Pour autant, il se peut que la réponse à la lumière UV ne soit pas exclusivement négative, mais les connaissances actuelles sur ce thème sont encore bien limitées et contradictoires pour pouvoir tirer des conclusions plus définitives.

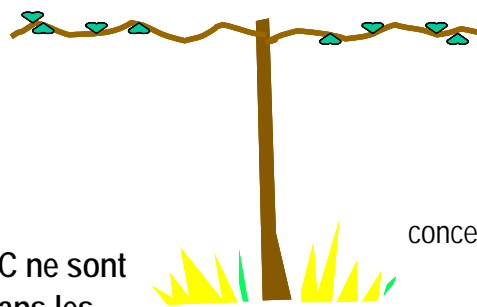
Voici un bilan des paramètres climatiques pertinents au cours des différentes phases du cycle de développement de la vigne.

Période de repos hivernal

Résistance maximale au froid
($T_n < -15^\circ\text{C}$)

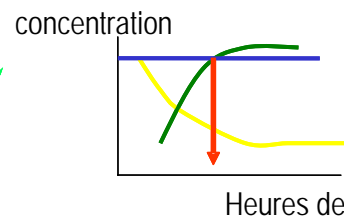
Repos physiologique
Bloqueurs biochimiques
Empêchent la croissance

Accumulation
d'heures ou
d'unité de froid
(~600)



Bloqueurs biochimiques
diminuent graduellement
Augmentation des hormones
inductrices par l'effet du
froid hivernal

Températures $> 20^\circ\text{C}$ ne sont
pas souhaitables dans les
lieux à disponibilité en froid
limitée



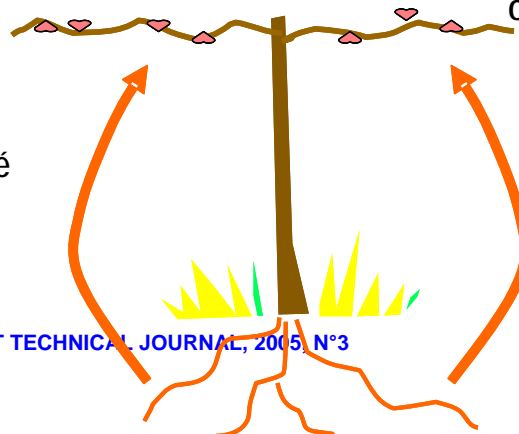
Pendant cette phase, les inhibiteurs sont inactivés en même temps qu'augmentent les promoteurs de croissance.

Reprise de l'activité (Août- début septembre)

Reprise de la croissance
des racines ($T^\circ \text{sol} > 10^\circ\text{C}$)

Le sol ne doit pas être
saturé d'eau pour
permettre une bonne
oxygénation

Les organes aériens
reçoivent les signaux
de reprise de l'activité

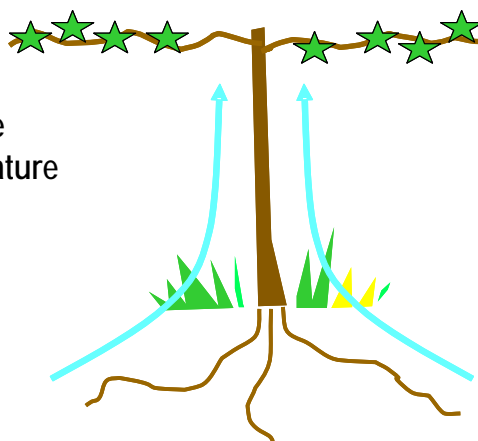


Débourrement (Septembre)

Les tissus meristématiques sortent du repos et retournent en activité

Lente reprise du flux de sève et de l'absorption de minéraux .

La sensibilité des bourgeons augmente fortement, la température critique des gelées avoisine les -2°C



Pointes vertes – feuilles visibles – pousses 30 cm
(Octobre)

Forte sensibilité aux gelées (0 à -1°C)

L'homogénéité et la vigueur du bourgeonnement sont décisives quant à la qualité de la grappe

Un bourgeonnement hétérogène polarise l'effort de la plante vers les meilleures pousses qui ont priorité sur les plus retardées.

Une grande partie de la récolte est en jeu à ce stade .



Début de floraison (Novembre)

SANTIBANEZ, INFLUENCE DU CLIMAT, 9

La température critique monte à 0°C

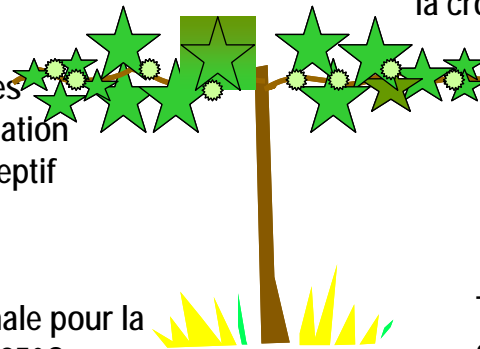
La température diurne devient critique pour la pollinisation. Des températures < 8°C retardent la croissance du tube pollinique.

Des précipitations pendant + de 3 jours lessivent les stigmates empêchant la pollinisation. Le stigmate reste réceptif pendant 3 à 5 jours.

La température optimale pour la pollinisation est 18 à 25°C. Si $T < 15^\circ\text{C}$, on aura un retard de la libération de pollen. Des HR très élevées retardent la déhiscence des anthères.

Des températures entre 15 et 23°C sont optimales pour la germination du pollen.

$T > 30^\circ\text{C}$ provoquent la rupture du tube pollinique et l'avortement des fleurs. Des $T < 5^\circ\text{C}$ ne permettent pas la germination du pollen.



Fermeture de la grappe (Décembre)

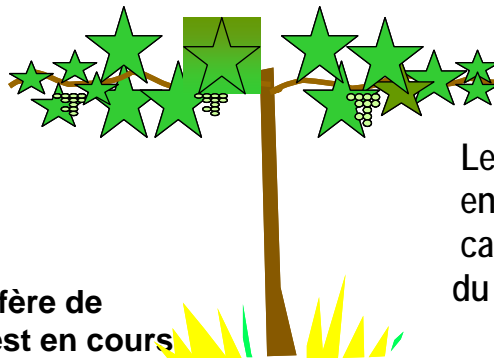
Température critique reste à 0°C

Une période de forte demande nutritionnelle débute

Des températures maximales inf. à 12°C conduisent à des fruits petits

L'induction fructifère de l'année suivante est en cours. ce processus exige des températures maximales entre 25 et 35°C et une luminosité importante ($RS > 500 \text{ cal/cm}^2 \text{ jour}$)

Le calibre est déterminé en grande partie à ce stade car le nombre de cellules du fruit s'y détermine.



Croissance du fruit/véraison/arrêt de croissance végétative (décembre-janvier)

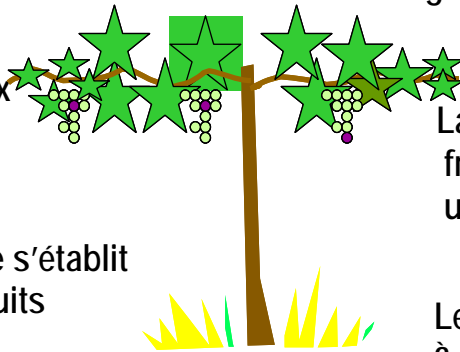
SANTIBANEZ, INFLUENCE DU CLIMAT, 10

Phase I: la taille des fruits augmente par expansion cellulaire

Pendant cette phase, une forte concurrence intervient entre les fruits, les pousses et les bourgeons

Ceci requiert un flux d'eau maximal

Pendant cette phase s'établit la taille finale des fruits



La concurrence fait que les fruits les plus malingres ont un développement retardé

Le succès de la photosynthèse à ce stade garantit la synthèse de composés complexes à l'origine des arômes, de la couleur et de la saveur.

Maturité du fruit (mars)

Des températures élevées (>25°C) favorisent la concentration de solides solubles

Le fruit a déjà sa taille définitive.

Un excès de vigueur peut polariser les hormones vers les apex de croissance, au détriment des fruits qui voient leur maturité retardée



Des températures nocturnes fraîches garantissent une bonne accumulation des sucres dans les baies, ce qui contribue à l'arrêt de croissance végétative.

Début de la chute des feuilles (avril)

La synthèse de giberellines et AIA diminue, ce qui arrête la croissance

Il est essentiel que les températures diminuent progressivement au cours de l'automne pour permettre une inhibition graduelle des bourgeons et une entrée progressive en dormance.

La sénescence foliaire se généralise, elle coïncide avec les premiers froids d'automne qui stimulent la



la production d'acide abscissique ($T < 8^{\circ}\text{C}$)

Chute des feuilles – repos (mai)

Avec la chute de 75% des feuilles commence le décompte des heures de froid pour l'hiver suivant.

Inhibition des bourgeons préparés pour le repos

Récupération de la résistance aux gelées ($T < -15^{\circ}\text{C}$)



Des températures élevées tardives en automne retardent ce ralentissement et conduisent à une dormance peu profonde

De même, une trop brusque chute des températures ne permet pas une entrée en dormance adaptée.

Article publié dans Tópicos de Actualización en Viticultura y Enología (CEVIUC). 22 et 23 juillet 2004, Santiago du Chili, Chili.

Bibliographie

Bazzaz F.A.: «Elevated CO_2 and Plant Productivity in the 21st Century: Can we feed billions and preserve biological diversity?», En: *Photosynthesis: Mechanisms and Effects*, Vol. V, Ed G. Garab Kluwer Academic Publishers, 1998: 3923-3940.

Bindi M., Fibbi L., Gozzini B., Orlandini S., Seghi L.: «The effect of elevated CO_2 concentration on grapevine growth under field conditions», *Acta Horticulturae* 1996a; 427: 325-330.

Blanke M.M.: «Transmission of UV-Irradiance into Nectarine Fruit», *Angew Bot* 1996; 70: 76-77.

Blumenthaler M., Ambach W.: «Indications of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine regions», *Science* 1990; 248: 206-208.

Bureau S.M., Razungles A.J., Baumes R.L., Bayonove C.L.: «Effect of vine or bunch shading on the carotenoid composition in *Vitis vinifera* L. berries. I. Syrah grapes», *Vit Enol Sci* 1998; 53: 64-71.

Buttrose M.S 1970 Fruitfulness in Grapevines, development of leaf primordia in buds in relation to bud fruitfulness. *Bot. Gaz.* 131(1): 78-83.

Döhler G., Hagmeier E., David C.: «Effects of solar and artificial UV irradiation on pigments and assimilation of ^{15}N ammonium and ^{15}N nitrate by macroalgae», *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 1995; 30: 179-187.

Ehleringer J.R., Cerling T.E.: «Atmospheric CO₂ and the ratio of intercellular to ambient CO₂ concentrations in plants», *Tree Physiol* 1995; 15: 105-111.

Geßner M., Köhler H.J., Christoph N.: «Die "untypische Alterungsnote" im Wein VIII», *Rebe und Wein* 1999; 8: 264-267.

Gil S.G. 2000, La producción de fruta. Colección Agricultura, Facultad de Agronomía y Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, 583 pp.

Jansen M.A.K., Gaba V., Greenberg B.: «Higher plants and UV-B radiation: Balancing damage, repair and acclimation», *Trends in Plant Science* 1998; 4: 131-135.

Krupa S.V., Jäger H.J.: «Adverse effects of elevated levels of ultraviolet (UV)-B radiation and ozone (O₃) on crop growth and productivity», En: *Global Climate Change and Agricultural Production*, Eds. F. Bazzaz and W. Sombroek, John Wiley and Sons, Chichester, 1996: 141-169.

Razungles A., Gunata Z., Pinatel S., Baumes R., Bayonove C.: «Étude quantitative de composés terpénique, norisoprénoides et leurs précurseurs dans diverses variétés de raisins», *Sciences des Aliments* 1993 ; 13 : 59-72.

Santibáñez Q. F. 1992 El Clima como regulador del potencial vitivinícola. Seminario Internacional: La vitivinicultura del futuro. INIA, Quilamapu, Talca 24-27 noviembre. P9-17.

Santibáñez Q.F 1994 Crop requirements – temperate crops. IN: Griffith J (ED) Handbook of Agricultural Meteorology. Oxford Univ. Press (Chapter 17)

Schultz H.R., Löhnertz O., Bettner W., Bálo B., Linsenmeier A., Jähnisch A., Müller M., Gaubatz B., Váradi G.: «Is grape composition affected by current levels of UV-B radiation?», *Vitis* 1998; 37: 191-192.

Tevini M.: «Erhöhte UV-B Strahlung: Ein Risiko für Nutzpflanzen?», *Biologie unserer Zeit* 1996; 26: 245-254.

Williams, L.E. 1987 Growth of Thomson seedling grape vines: I-Leaf area development and dry weight distribution. *J.Am. Hortic.Sci.* 112 (2): 325-330.