

EFFETS COMBINÉS DE L'AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES ET DES FORTES CONCENTRATIONS EN CO₂ SUR LES COMPROMIS D'ALLOCATION DES RESSOURCES ET LE POTENTIEL ŒNOLOGIQUE DE VITIS VINIFERA

COMBINED EFFECTS OF ELEVATED TEMPERATURES AND CO₂ CONCENTRATIONS ON RESOURCE ALLOCATION TRADE-OFFS AND THE OENOLOGICAL POTENTIAL OF VITIS VINIFERA

Etablissement **Université de Bordeaux**

École doctorale **Sciences de la Vie et de la Santé**

Spécialité **Sciences agronomiques**

Unité de recherche **Ecophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne**

Encadrement de la thèse **Cyril ABADIE**

Financement

Mots clés - Keywords

Changement climatique, Vitis vinifera, Potentiel œnologique, Allocation des ressources, Ecophysiologie, Métabolomique

Climate Change, Vitis vinifera, Oenological Potential, Resource Allocation, Ecophysiology, Metabolomics

Description de la problématique de recherche - Project description

Depuis le XIX^e siècle et l'avènement de la révolution industrielle, les concentrations atmosphériques de CO₂ ont augmenté de manière exponentielle, passant de 280 ppm à près de 420 ppm aujourd'hui, avec des prévisions atteignant jusqu'à 1000 ppm d'ici la fin du XXI^e siècle. Cette évolution de la teneur en CO₂ s'accompagne d'un changement climatique global caractérisé par une augmentation significative des températures moyennes et une variabilité accrue des régimes de précipitations qui se traduit par des épisodes de sécheresse de plus en plus fréquents et sévères (IPCC, 2023). La viticulture n'échappe pas aux effets du changement climatique et certains vignobles subissent déjà une baisse de leurs rendements accompagnée d'une altération du potentiel œnologique. Or, la qualité des raisins est un trait complexe, qui résulte d'une série de dynamiques d'accumulations asynchrones de métabolites primaires (hexoses, acides organiques, acides aminés...) et secondaires (polyphénols, arômes et précurseurs d'arômes...) au cours de la maturation. Ces dynamiques résultent d'une interaction entre un génotype (cépage/porte-greffe) et un terroir, caractérisé localement par un climat, un type de sol et certaines pratiques culturales. Certains stress abiotiques entraînent des altérations du profil métabolique des baies et par conséquent des modifications du taux d'alcool (sucres), du pH (acides organiques), des polyphénols, des arômes et de la couleur (anthocyanes) des vins produits. Il convient donc d'entreprendre des expérimentations combinant stress thermique et concentrations élevées en CO₂ afin de mieux comprendre les effets du changement climatique sur le profil métabolique des raisins.

Since the 19th century and the advent of the Industrial Revolution, atmospheric CO₂ concentrations have increased exponentially, rising from 280 ppm to nearly 420 ppm today, with projections reaching up to 1000 ppm by the end of the 21st century. This increase in CO₂ levels is accompanied by global climate change, characterized by a significant rise in average temperatures and increased variability in precipitation patterns, leading to more frequent and severe drought events (IPCC, 2023). Viticulture is not exempt from the impacts of climate change, and some vineyards are already experiencing yield reductions along with a decline in oenological potential. Quality of grapes is a complex trait, resulting from a series of asynchronous accumulation dynamics of primary metabolites (hexoses, organic acids, amino acids, etc.) and secondary metabolites (polyphenols, aromas, and aroma precursors) during ripening. These dynamics are the outcome of an interaction between a genotype (variety/rootstock) and a terroir, locally defined by climate, soil type, and specific viticultural practices. However, abiotic stresses induce alterations in the metabolic profile of berries, leading to changes in alcohol content (sugars), pH (organic acids), polyphenols, aromas, and wine color (anthocyanins). It is therefore essential to conduct experiments combining heat stress and elevated CO₂ concentrations to better understand the effects of climate change on the metabolic profile of grapes.

Thématique / Domaine / Contexte

Le projet de thèse vise à concevoir des approches novatrices pour développer une viticulture durable face aux défis posés par le changement climatique. Il propose une approche intégrée combinant écophysiologie, métabolomique et isotopomique pour caractériser la résilience des vignobles et le maintien du potentiel œnologique. De plus, une nouvelle approche de Fluxomique permettra de mieux comprendre les mécanismes d'adaptation et de maintien de la qualité des baies en réponse aux facteurs abiotiques.

Développement d'une viticulture durable dans un contexte de changement climatique tout en préservant le potentiel œnologique des raisins.

La viticulture française et mondiale est confrontée aux défis imposés par le changement climatique et aux adaptations nécessaires pour assurer sa résilience dans les conditions environnementales futures. Or, le changement climatique menace d'ores et déjà les rendements et la qualité des vins produits. Afin de garantir la pérennité à long terme des productions viticoles, il est essentiel de préserver le potentiel œnologique des raisins afin de maintenir la qualité des vins emblématiques Bordelais, qui jouent un rôle central dans l'économie régionale et contribuent à son rayonnement mondial.

Objectifs

L'objectif principal de cette thèse est d'explorer les mécanismes d'adaptation des vignes face à des stress abiotiques multiples (stress thermique et fortes concentrations en CO₂) et d'analyser leur influence sur le potentiel œnologique des raisins. Pour cela, une étude approfondie sera menée afin de caractériser les effets de ces stress sur les capacités photosynthétiques des feuilles et le profil métabolique des baies de deux cépages emblématiques des vignobles bordelais : le Merlot et le Cabernet Sauvignon. Le métabolisme primaire et secondaire des baies, échantillonnées à différents stades de maturation, sera exploré. Une analyse statistique univariée et multivariée des résultats permettra l'identification de biomarqueurs physiologiques, métaboliques et isotopiques, qui pourront prédire les effets du changement climatique sur le potentiel œnologique des raisins. De plus, une approche Fluxomique innovante, basée sur la réalisation de marquages isotopiques, sera développée afin de suivre les flux de carbone et d'azote à l'échelle de la plante entière et de comprendre les mécanismes qui sous-tendent l'allocation des ressources lors de stress environnementaux, en particulier entre les mécanismes d'adaptation et le maintien des rendements. Enfin, les nouveaux biomarqueurs identifiés seront suivis directement au vignoble par des approches analytiques innovantes afin d'évaluer leur efficacité pour prédire les effets du changement climatique. Ce projet de thèse propose une approche innovante et intégrative pour soutenir une viticulture durable et résiliente face aux défis climatiques. Il vise également à préserver la qualité des vins qui font la renommée de la région Nouvelle-Aquitaine, tout en répondant aux enjeux économiques et environnementaux de demain.

Méthode

La stratégie d'étude combinera des approches écophysiologiques, métabolomiques et isotopomiques pour analyser les effets de stress multiples (stress thermique et fortes concentrations en CO₂) sur le métabolisme des baies. À cette fin, des boutures fructifères de Merlot et de Cabernet Sauvignon, présentant des sensibilités variées au stress thermique, seront étudiées. Tout au long de la maturation des baies, un suivi non destructif sera réalisé pour évaluer les capacités photosynthétiques grâce à des mesures des échanges gazeux et de la fluorescence chlorophyllienne. Des analyses par spectrométrie proche infrarouge (NIRS) des baies seront également menées afin de suivre certains marqueurs biochimiques (sucres, acides organiques, polyphénols, etc.). En parallèle, des échantillons de baies seront prélevés à différents stades de maturation et leur profil métabolique primaire (sucres, acides organiques, acides aminés, etc.) et secondaire (anthocyanes, polyphénols, précurseurs d'arômes, etc.) sera déterminé par RMN et spectrométrie de masse à haute résolution (couplée à de la chromatographie gazeuse ou liquide). En complément, des analyses par spectrométrie de masse à ratio isotopique (IRMS) seront aussi réalisées pour évaluer les enrichissements naturels en ¹³C, ¹⁵N, ³⁴S, et D des feuilles et baies échantillonnées. Enfin, une approche Fluxomique sera mise en œuvre à l'aide de marquages isotopiques au ¹³C-CO₂ sur les feuilles et/ou au K¹⁵NO₃ sur les racines de boutures fructifères exposées à des stress abiotiques multiples. Ces marquages permettront de suivre les flux de carbone et d'azote à l'échelle de la plante entière lors de stress abiotiques multiples.

Résultats attendus - Expected results

Les traits phénotypiques et biochimiques, mesurés par des approches non destructives, ainsi que les données Omiques (Métabolomique et Isotopomique), seront interprétés à l'aide d'analyses statistiques univariées et multivariées afin d'identifier des biomarqueurs significativement associés aux capacités d'adaptation aux stress multiples et au maintien du potentiel œnologique des baies. Ces biomarqueurs pourront être suivis tout au long de la maturation des baies grâce à des techniques innovantes telles que : (i) des mesures des capacités photosynthétiques (IRGA couplé à un fluorimètre), (ii) l'évaluation de certains traits biochimiques par spectroscopie infrarouge (NIRs) et (iii) des analyses isotopiques à haut débit (par exemple : δ¹³C via IRMS). Ce suivi permettra aux viticulteurs d'ajuster leurs pratiques culturales et d'atténuer ainsi les effets des stress multiples sur la qualité des baies. Ces nouveaux biomarqueurs faciliteront également la sélection de cépages, porte-greffes et variétés résistantes, mieux adaptés au climat futur, tout en préservant la qualité des vins des vignobles bordelais. Par ailleurs, les expérimentations de fluxomique permettront de comprendre les compromis d'allocation des ressources entre les mécanismes de tolérance aux stress, le rendement et le potentiel œnologique des baies.

Références bibliographiques

- Abadie, C.; Lalande, J.; Tcherkez, G., Combining gas exchange and rapid quenching of leaf tissue for mass spectrometry and NMR analysis using an external chamber. In *Methods in Photorespiration*. Springer 2024.
- Tcherkez, G.; Abadie, C.; Lalande, J.; Doumap, C.; Limami, A., Leaf day respiration: more than just catabolic CO₂ production in the light. *Plant, Cell & Environment* 2024. <https://doi.org/10.1111/pce.14904>

-Abadie, C.; Lalande, J.; Dourmap, C.; Limami, A.; Tcherkez, G., Leaf day respiration involves multiple carbon sources and depends on previous dark metabolism. *Plant, Cell & Environment* 2024. <https://doi.org/10.1111/pce.14871>

-Abadie, C.; Lalande, J.; Limami, AM.; Tcherkez, G., Exact mass GC-MS analysis: protocol, database, advantages and application to plant metabolic profiling. *Plant, Cell & Environment* 2022. <https://doi.org/10.22541/au.165631505.52508037/v1>

-Abadie, C.; Lalande, J.; Limami, AM.; Tcherkez, G., Non-targeted ¹³C metabolite analysis demonstrates broad re-orchestration of leaf metabolism when gas exchange conditions vary. *Plant, Cell & Environment* 2020. <https://doi.org/10.1111/pce.13940>

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

Un comité de suivi individuel sera organisé chaque année pour suivre les conditions de formation de l'étudiant.e, ainsi que l'avancement des travaux de recherche. Ce comité de suivi sera organisé selon les recommandations de l'école doctorale Sciences de la Vie et de la Santé.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Le/la doctorant(e) sera recruté(e) par l'Université de Bordeaux. Son salaire sera assuré par un co-financement demandé dans le cadre de l'appel à projets de recherche de la région Nouvelle-Aquitaine et de la chaire de recherche Olivier de Serres, pour une durée de 36 mois. Les travaux seront réalisés au sein de l'UMR 1287 Ecophysiologie et Génomique Fonctionnelle de la Vigne (EGFV) à l'INRAE de Bordeaux.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Deux publications dans des revues internationales à comité de lecture sont attendues en complément du manuscrit de thèse.

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

La personne recrutée devra être titulaire d'un Master en biologie végétale ou en agrosociences végétales. Une formation en écophysiologie et/ou métabolomique sera fortement appréciée. Une maîtrise des outils statistiques univariés et multivariés est requise et la pratique de l'outil R constituerait un atout. De bonnes capacités de communication écrites et orales (en français et en anglais), ainsi qu'une aptitude de travail en équipe et un bon savoir-être sont requises. La connaissance du modèle vigne serait un plus, mais n'est pas requise.

The selected candidate must hold a master's degree in plant biology or plant agrosociences. Training in ecophysiology and/or metabolomics would be highly valued. Knowledge in univariate and multivariate statistical tools is required, and experience with the R software would be an asset. Strong written and oral communication skills (in French and English), as well as the ability to work in a team and demonstrate good interpersonal skills, are essential. Knowledge of the grapevine model would be a plus but is not mandatory.

Dernière mise à jour le 19 mai 2025