

## RAPPORT DE STAGE

*GARGNE Thomas*

Dans le cadre du stage de **2<sup>e</sup> année** :

Stage effectué du : 15/05/2023 au 30/08/2023

SCOP AGROOF

19 RUE DU LUXEMBOURG, 30140 ANDUZE

**Sur le thème de l'agroforesterie viticole méditerranéenne et son impact sur le développement  
et la croissance de la vigne**

**Enseignant référent responsable** : Marie-Odile BANCAL

**Maître de stage** : Camille BERAL

## Engagement de non-plagiat

### ☐ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

### ☐ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

### ☐ Sanction

En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

### ☐ Engagement

Je soussigné (e) GARGNE Thomas

reconnais avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non-plagiat.

A Anduze le 28/08/2023

Signature :



## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toute l'équipe d'Agroof : Helene, Daria, Virginie, Numa, Pierrick, Valentin, Daniele, Fabien, Sébastien. Et en particulier Camille Béral, ma maitre de stage et Ambroise Martin-Chave, tous les deux chargés de recherche à Agroof. Camille a su me responsabiliser dans ma « première mission professionnelle », Ambroise m'a fait bénéficier de son expertise sur le logiciel R et en bricolage. Leurs pédagogies, leurs simplicités et leurs accessibilités m'ont permis de découvrir, comprendre et désormais aimer le milieu de la recherche et certaines de ses taches. Je remercie tout le groupe pour son accueil, sa gentillesse, sa bonne humeur, son humour qui m'a permis de me sentir rapidement intégré et de passer un très bon moment au sein de cette « famille » professionnelle.

Je remercie mes deux formidables co-stagiaires : Pauline et Lola qui m'ont pris sous leurs ailes pour m'intégrer dans l'entreprise, mais aussi pour découvrir la région, ses gourmandises et faire en sorte que mon stage soit le plus agréable au travail comme en dehors.

Je remercie également toutes les autres personnes qui m'ont permis de faire de ce stage une formidable expérience.

## RESUME

La viticulture occupe une place importante dans l'agriculture française, elle représente 17% de la production française de richesse agricole soit 12 Milliards d'euros. La France est le premier exportateur mondial de vin<sup>1</sup>. Le vin est donc essentiel à la balance commerciale de la France, c'est le premier poste d'exportation en agroalimentaire<sup>2</sup>. Le vignoble français repose en grande partie sur le vignoble méditerranéen en termes de quantité de production. Dans des départements comme le Gard ou l'Hérault, la moitié des exploitations sont viticoles et la moitié des terres sont allouées à la viticulture<sup>3</sup>. Mais la viticulture est menacée par le changement climatique en particulier sur le pourtour méditerranéen où les fortes chaleurs et le stress hydrique pourraient nuire à la qualité et à la quantité du vin produit. Pour conserver cette activité économique essentielle dans la région, les agriculteurs vont devoir s'adapter. Parmi les solutions envisageables, l'agroforesterie semble offrir des intérêts potentiels pour répondre aux futurs problématiques, atténuation du changement climatique, corridor écologique, stockage de carbone, régulation de la ressource en eau. L'agroforesterie semble vertueuse à l'échelle nationale voire international mais qu'en est-il concrètement pour le viticulteur qui cultive sur sa parcelle. Le projet VITAM a pour but de d'étudier l'impact des systèmes agroforestiers sur le micro-climat de la parcelle et sur la vigne. Cette étude a mis en évidence un effet des arbres sur les températures, l'humidité du sol et de l'air ainsi que sur le PAR. La croissance, le développement et la santé de la vigne sont impactés positivement ou négativement en fonction de la position de la vigne et de sa distance aux arbres.

---

<sup>1</sup> Ministère de l'Agriculture, « La viticulture française ».

<sup>2</sup> Sénat, « L'avenir de la viticulture française ».

<sup>3</sup> France AgriMer, « Les chiffre-clés de la filière Viti-Vinicole 2009 - 2019 ».

## ABSTRACT

Winegrowing plays an important role in French agriculture, accounting for 17% of France's agricultural output, or €12 billion. France is the world's leading exporter of wine. Wine is therefore essential to France's trade balance, and is the country's leading agri-food export. France's vineyards are largely based on Mediterranean vineyards in terms of production volume. In departments such as Gard and Hérault, half of all farms are winegrowers and half of all land is allocated to winegrowing. But winegrowing is under threat from climate change, particularly around the Mediterranean, where high temperatures and water stress could adversely affect the quality and quantity of the wine produced. To maintain this essential economic activity in the region, farmers will have to adapt. Among the possible solutions, agroforestry seems to offer potential benefits in terms of meeting future challenges, such as mitigating climate change, ecological corridors, carbon storage and regulating water resources. Agroforestry may be virtuous on a national or even international scale, but what does it mean for the winegrower who cultivates his plot? The aim of the VITAM project is to study the impact of agroforestry systems on the microclimate of the plot and on the vines. The study highlighted the effect of trees on temperatures, soil and air humidity and PAR. The growth, development and health of the vines were positively or negatively affected depending on the position of the vines and their distance from the trees.

# TABLE DES MATIERES

## TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX (p 8-10)

### 1) Introduction générale

- 1.1) Présentation de l'agroforesterie (p 13, 15)
- 1.2) Présentation de l'entreprise Agroof (p 15, 16, 17)
- 1.3) Contexte et enjeux du projet VITAM :
  - 1.3.a) La vigne en Méditerranée (p 17)
  - 1.3.b) Impact du réchauffement climatique sur la vigne Méditerranéenne (p 19)
  - 1.3.c) L'agroforesterie viticole Méditerranéenne (p 21)

### 2) Le projet VITAM

- 2.1) Présentation du projet (p 21)
- 2.2) Objectif et enjeux du stage (p 23)

### 3) Etat de l'art de l'agroforesterie viticole

- 3.1) Impact des arbres sur le microclimat et l'état hydrique du sol (p 23, 25, 26)
- 3.2) Réponse de la vigne aux différentes variables microclimatiques
  - 3.2.a) Effet du vent sur la vigne (p 26)
  - 3.2.b) Effet de la température sur la vigne (p 26, 29)
  - 3.2.c) Effet de l'intensité lumineuse sur la vigne (p 29, 30)
  - 3.2.d) Effet du microclimat sur le risque d'attaque fongique ou parasitaire (p 30)
  - 3.2.e) Effet de la variation de la disponibilité en eau sur la vigne (p 30, 31)
  - 3.2.f) Impact du microclimat sur la composition et la qualité du vin (p 31)

### 4) Etat de l'art de l'agroforesterie viticole

- 4.1) Le site expérimental
  - 4.1.a) Contexte régional (p 33)
  - 4.1.b) Description de la parcelle (p 33)
- 4.2) Protocole et dispositif expérimental
  - 4.2.a) Dispositif expérimental (p 35)
  - 4.2.b) Protocole pour les suivis microclimatiques (p 37, 39)
  - 4.2.c) Protocole pour les suivis agronomiques (p 39, 41, 43)
- 4.3) Traitement statistique (p 43)

### 5) Résultats

- 5.1) Caractérisation du microclimat

- 5.1.a) Caractérisation de la température de l'air (p 45, 47)
- 5.1.b) Caractérisation de l'humidité de l'air (p 49)
- 5.1.c) Caractérisation du PAR (p 51)
- 5.1.d) Caractérisation du vent (p 53)
- 5.2) Evaluation des performances agronomiques
  - 5.2.a) Caractérisation de l'évolution phénologique de la vigne (p 53)
  - 5.2.b) Caractérisation de la croissance de la vigne (p 55)
  - 5.2.c) Caractérisation de l'état sanitaire de la vigne (p 57, 59)
  - 5.2.d) Caractérisation de la tensiométrie (p 59)

## 6) Discussion

- 6.1) Effet des aménagements agroforestiers sur le microclimat de la vigne (p 59, 60)
- 6.2) Effet des aménagements agroforestiers sur le développement de pathogènes fongiques (p 60, 61)
- 6.3) Effet des aménagements agroforestiers sur le développement et la croissance de la vigne (p 61, 62)
- 6.4) Effet des aménagements agroforestiers sur la disponibilité en eau de la vigne (p 62)
- 6.5) Limites de l'étude (p 65, 66)
- 6.6) Perspectives (p 66)

## 7) Conclusion (p 66, 67)

ANNEXE (p 68-73)

BIBLIOGRAPHIE (p 74-76)

## TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX :

Figure 1 : Association Arbres – culture céréalière INRAE Nicolas Bertrand (p 12)

Figure 2 : Système sylvo-pastoral au Paraguay – anonyme (p 12)

Figure 3 : Vergers maraichers – Agroof (p 12)

Figure 4 : bocage normand – Laurent Mignaux (p 12)

Figure 5 : Opposition entre deux visions de l’agriculture, intensive en haut à droite et agro-écologique avec culture permanente en bas - Philippe Van Lerberghe (p 14)

Figure 6 : Les différents avantages de l’agroforesterie - Ministère de l’agriculture (p 14)

Figure 7 : Délimitation des différentes zones viticoles méditerranéennes (p 17)

Figure 8 : Carte des territoires avec risque de sécheresse au cours de l’été 2023 – Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires (p 18)

Figure 9 : Carte de France avec prévision des températures moyennes pour l’été 2055 – Drias 2020/Météo France, CNRM, IPSL, Cerfacs (p 18)

Figure 10 : Association à 3 étages : oliviers, vignes et céréales – Ministère de l’agriculture et de la pêche 1867 (p 20)

Figure 11 : Hautains : L’arbre servait de tuteur à la vigne – Ministère de l’agriculture et de la pêche 1867 (p 20)

Figure 12: Modifications des radiations parvenant à la culture au voisinage d’un arbre – Grimaldi 2018 (p 22)

Figure 13 : Flux d’air autour d’un arbre seul - Gross (1987) (p 24)

Figure 14 : Flux d’air schématisé sur le plan vertical - Brandle et al. (2000) (p 24)

Figure 15 : Schéma des interactions de l’arbre sur le cycle de l’eau – Bayala et Wallace repris par Grimaldi (p 24)

Figure 16 : Effet de la température sur la croissance végétative – De Parcevaux et Huber 2007 (p 28)

Figure 17 : Influence de l’intensité lumineuse sur l’activité photosynthétique – Champagnol 1984 (p 28)

Figure 18 : Répartition et caractéristique du climat Méditerranéen – Le climat méditerranéen en France et en URSS (p 32)

Figure 19 : Photo aérienne des placettes détaillant les objets de mesure (p 34)

Figure 20 : Photo et schéma du dispositif expérimental servant à mesurer la température et l’humidité relative de l’air (p 36)



Figure 21 : Schéma du dispositif expérimental servant à mesurer le rayonnement photosynthétiquement actif (p 38)

Figure 22 : Anémomètre-girouette utilisé dans le cadre de l'expérimentation et schéma du dispositif (p 38)

Figure 23 : Mildiou sur grappe – BASF (p 40)

Figure 24 : Oidium sur grappe – BASF (p 40)

Figure 25 : Black rot sur feuille – BASF (p 40)

Figure 26 : Tableau descriptif de la méthode des Apex – IFV Occitanie (p 40)

Figure 27 : Schéma du dispositif expérimental servant à mesurer la saturation en eau du sol (p 42)

Figure 28 : Résultat du test de Wilcoxon sous forme de tableau puis sous forme de graphique (p 42)

Figure 29 : Comparaison des températures moyennes journalières au cours de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août (p 44)

Figure 30 : Comparaison des températures moyennes entre 7 et 13h au cours de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août (p 44)

Figure 31 : Comparaison des températures moyennes entre 17 et 20h au cours de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août (p 44)

Figure 32 : Comparaison des températures maximales journalières de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 46)

Figure 33: Comparaison des sommes de degré jour de chaque modalité de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août (p 46)

Figure 34 : Comparaison de l'humidité relative de l'air en % par heure sur une journée pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (p 48)

Figure 35: Comparaison de l'humidité relative de l'air en % par heure entre 6 et 13h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (p 48)

Figure 36 : Comparaison de l'humidité relative de l'air en % par heure entre 17 et 21h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (p 48)

Figure 37: Comparaison du PAR moyen par heure sur une journée pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 50)

Figure 38 : Comparaison du PAR moyen par heure entre 7h et 13h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 50)

Figure 39: Comparaison du PAR moyen par heure entre 16h et 20h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 50)

Figure 40 : Comparaison de la vitesse moyenne du vent pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 52)

Figure 41 : Evolution du stade phénologique majoritaire de la vigne pour les 6 modalités depuis le 26/04 jusqu'au 21/07 (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 52)

Figure 42 : Comparaison de la longueur totale de rameau cumulée de la vigne pour chaque cep des 6 modalités au 26/05 (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 54)

Figure 43 : Comparaison du pourcentage d'apex en pleine croissance entre les 6 modalités au 21/07 (utilisation de mean\_cl\_boot) (p 54)

Figure 44 : Comparaison de la FAM (Fréquence d'Attaque Moyenne) du Black Rot sur feuille entre les 6 modalités au 21/07 (p 56)

Figure 45 : Comparaison de la FAM (Fréquence d'Attaque Moyenne) du Mildiou, sur feuille et sur grappe, entre les 6 modalités au 21/07 (p 56)

Figure 46 : Comparaison de la FAM (Fréquence d'Attaque Moyenne) De l'Oidium sur grappe, entre les 6 modalités au 21/07 (p 56)

Figure 47 : Comparaison de l'IAM (Intensité d'Attaque Moyenne) De l'Oidium sur grappe, entre les 6 modalités au 21/07. (p 58)

Figure 48 : Comparaison de la tensiométrie à 20 cm de profondeur pour 3 modalités (E1, O1 et O10) entre le 19/06 et le 24/08 (p 58)

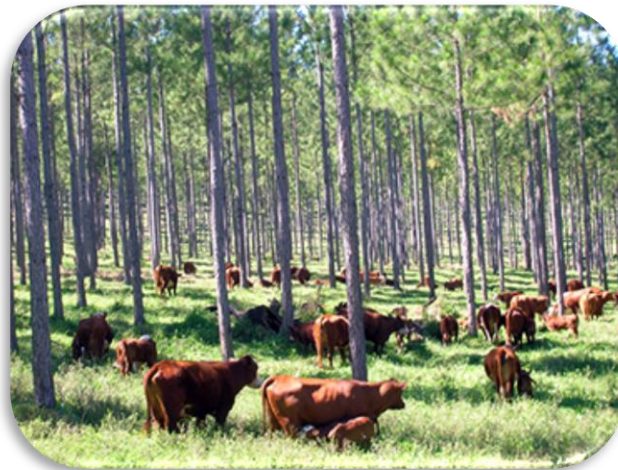
Figure 49 : Comparaison de la tensiométrie à 40 cm de profondeur pour 3 modalités (E1, O1 et O10) entre le 19/06 et le 24/08 (p 58)

Figure 50 : Vue aérienne (Google earth) de la haie présente au nord de la partie ouest de l'expérimentation (p 64)





*Figure 1 : Association Arbres – culture céréalière INRAE Nicolas Bertrand*



*Figure 2 : Système sylvo-pastoral au Paraguay - anonyme*



*Figure 3 : Vergers maraichers – Agrooof*



*Figure 4 : bocage normand – Laurent Mignaux*

# 1) Introduction général

## 1.1) Présentation de l'agroforesterie

L'agroforesterie est définie comme l'association entre des arbres et des productions agricoles sur une même surface (Dupraz, Liagre, 2011). Les arbres des SAF (Systèmes Agro Forestiers) peuvent être présents au sein et/ou en bordure des champs. Ces arbres s'intègrent dans de nombreuses productions agricoles différentes. Selon les productions agricoles, différents termes peuvent être employés pour décrire ces systèmes : agrosylvicoles pour les arbres et les cultures, sylvopastoraux pour les arbres et l'élevage et les systèmes agrosylvopastoraux (arbres, cultures et élevage) (Dupraz, Liagre, 2011).

L'agroforesterie n'est pas un concept récent, des traces d'agroforesterie ont été retrouvées à l'Antiquité. On en retrouve également un peu partout en France de manière traditionnelle depuis les années 1600. Notamment sous forme de bocage, mais aussi de cultures céréalières ou maraichères associés aux fruitiers méditerranéens, à un moment où l'autonomie, l'autoconsommation et la diversification sont prioritaires.

Avec la spécialisation et la mécanisation d'après-guerre, les arbres sont petits-à-petits remplacés soit par des arboricultures intensives ou par des systèmes agricoles bien plus simplifiés pour satisfaire la demande en quantité. Lors de la mécanisation des années 1960, les arbres bocagers séparant des petites parcelles exiguës se trouvent être un frein à l'utilisation des machines, ainsi toutes les parcelles sont fusionnées, on enlève les haies pour faciliter le passage, c'est le remembrement. Les arbres disparaissent donc petit à petit du paysage agricole français sauf dans quelques régions où la mécanisation est plus complexe et où les paysages arborés sont protégés.





Figure 5 : Opposition entre deux visions de l'agriculture, intensive en haut à droite et agro-écologique avec culture permanente en bas - Philippe Van Lerberghe

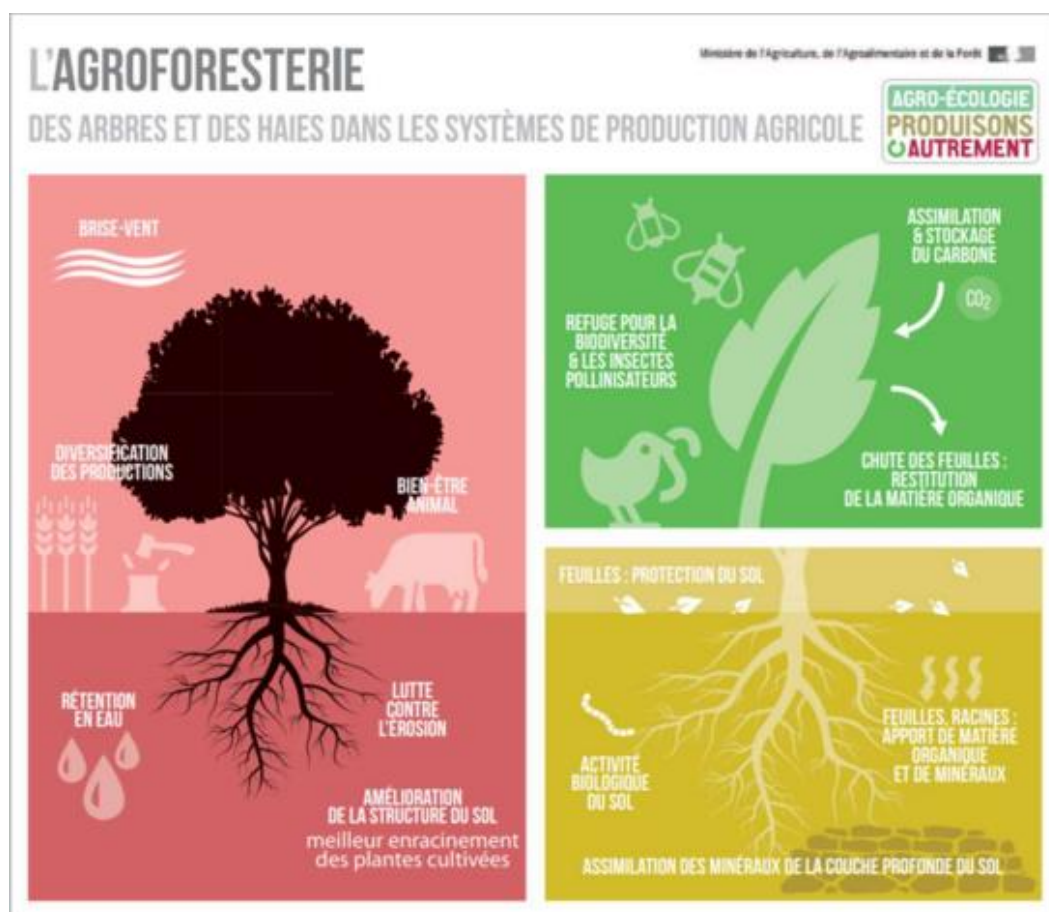


Figure 6 : Les différents avantages de l'agroforesterie - Ministère de l'agriculture

Ce n'est qu'à partir de 1980, avec la prise de conscience écologique que l'on connaît, que la recherche se ré-intéresse à l'arbre. La recherche essaie de comprendre comment intégrer ces arbres au système agricole moderne et mécanisé, afin de proposer une potentielle solution aux nombreux enjeux contemporains auxquels l'agriculture fait face. Ces enjeux sont de plusieurs natures :

- Environnementale : stockage de carbone, adaptation au changement climatique, conservation et amélioration de la biodiversité, maintien de la qualité des eaux et des sols, production arborée
- Paysagère : corridor écologique, rompre l'uniformité.
- Agronomique : fertilisation des sols, régulation de la ressource en eau, protection microclimatique, diminution de l'érosion.
- Économique : production de bois d'œuvre ou de fruits

Les SAF (Systèmes agro-forestiers) proposent donc de nombreux intérêts potentiels poursuivis ou non par les agriculteurs y ayant recours. Mais les SAF sont le lieu d'interactions complexes aériennes et souterraines, en particulier avec les cultures, se pose alors la question de la concurrence entre les arbres et les cultures pour l'eau, les nutriments, la lumière. Des efforts de recherche sont nécessaires pour mieux comprendre ces interactions et mieux accompagner les agriculteurs.

## 1.2) Présentation de l'entreprise Agroof

L'entreprise Agroof est une SCOP (Société Coopérative et Participative), basée à Anduze dans le Gard, spécialisée dans l'étude et le développement des systèmes agroforestiers. Agroof dispose de l'agrément ESUS (Entreprise solidaire d'utilité social) depuis 2018 qui est décerné aux entreprises dont l'objectif principal est d'utilité social. Chez Agroof, le développement durable et l'aide apportée aux agriculteurs vulnérables ainsi que les politiques propres aux SCOP, à savoir la détention du capital et du pouvoir de décision par les salariés, ont permis l'obtention de cet agrément.

L'objectif de la SCOP est d'étudier et développer l'agroforesterie défini ci-dessus. Les actions de l'entreprise se concentrent majoritairement au niveau du pourtour méditerranéen en remontant le long du Rhône, et plus largement en France métropolitaine. Grâce aux profils diversifiés de salariés, la SCOP propose plusieurs activités :

L'ingénierie de projet, visant à accompagner les agriculteurs, collectivités, particuliers, organismes techniques et de la recherche dans la création de leurs projets agroforestiers. L'ingénierie de projet est cruciale pour que le projet agroforestier soit une réussite. Elle consiste d'abord en un diagnostic appréhendant les objectifs fixés, types de sols, pentes, parcelles... Ensuite, il s'agit de concevoir le projet : cartographie des aménagements, choix des espèces et fournitures, étude économique.

La formation, étudiante et professionnelle mixte digitale mêlant présentiel et distanciel via une plateforme numérique. La formation a pour destinataire les agriculteurs, les collectivités, et l'enseignement agricole avec des objectifs différents en fonction du public visé.

La recherche, celle-ci permet d'acquérir de nouvelles connaissances sur les systèmes agroforestiers et ainsi de déterminer les systèmes les plus adaptés à un contexte pédoclimatique donné. La recherche a pour but la création de références techniques, scientifiques et économiques. Ces références permettront d'accompagner au mieux les agriculteurs adoptant des pratiques agro-forestières. Mais elles permettront aussi aux conseillers de proposer des pistes d'amélioration toujours plus novatrices. Concrètement pour Agroof la recherche consiste en la mise en place des sites expérimentaux, l'élaboration de protocoles d'expérimentation, les suivis, et la valorisation des suivis. La majeure partie des projets de recherche portent sur l'évaluation des performances agronomiques, le développement et la production des arbres agro-forestiers ou encore la biodiversité en lien avec la régulation naturelle des bio agresseurs. Certains partenariats permettent d'étendre les domaines de compétences. Particularité de la SCOP Agroof, elle met la recherche participative au cœur de son programme de recherche, la recherche collaborative a pour vertu de faire collaborer des acteurs différents, aux visions et aux objectifs différents. De plus en impliquant directement les agriculteurs sur le terrain cela permet d'avoir une recherche qui ne s'éloigne pas des intérêts et des contraintes du métier. Agroof est à la coordination de plusieurs projets de recherche mêlant partenaires scientifiques (INRA, CIRAD, CNRS) et partenaires techniques (Agriculteurs, Chambres d'agriculture..). Mais Agroof intervient aussi dans des projets de recherche orchestrés par d'autres acteurs. La recherche est financée par des bailleurs publics et privés, à la suite d'appels projets régionaux, nationaux voire européens<sup>4</sup>. La recherche est primordiale pour le développement de l'agroforesterie. Les SAF sont très complexes et les interactions bénéfiques dans un contexte climatique et agricole donné ne seront pas forcément bénéfiques dans d'autres contextes.

---

<sup>4</sup> SCOP Agroof, « Notre recherche en agroforesterie ».

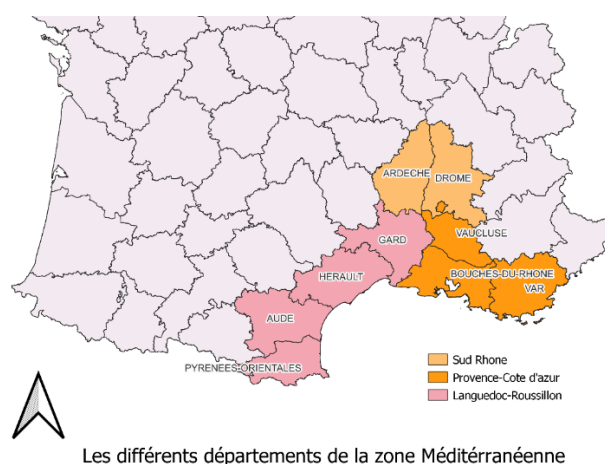


L'enjeu est donc d'appréhender au mieux la diversité des situations (via la recherche participative) pour in fine réaliser les bons choix stratégiques au moment de la mise en place de projet.

### 1.3) Contexte et enjeux du projet VITAM

#### 1.3.a) La vigne en Méditerranée

Le territoire méditerranéen est un territoire riche d'un point de vue agricole, de nombreuses activités y coexistent. Maraichages, viticulture, élevages, grandes cultures autant de productions que de contextes pédoclimatiques différents entre littoral et moyenne montagne. Mais ce territoire est soumis à des contraintes similaires : des chaleurs estivales intenses, des précipitations orageuses inégalement réparties durant l'année, des périodes de sécheresse estivale et un vent quasi omniprésent. Dans ce contexte la viticulture occupe une place importante. Dans le Gard sur 4857 exploitations, 52% sont des exploitations viticoles, dans l'Hérault, 46,5% des surfaces agricoles sont dédiées à la vigne<sup>5</sup>. En 2019, la région Méditerranéenne représente 30% des surfaces des vignobles VQPRD (Vin de qualité produit dans des régions déterminées) AOP/ AOC et 17,3% de la production (en volume). Concernant les vins en IGP, le vignoble méditerranéen représente 80% de la surface et des productions françaises de vin IGP. Pour les VDFSIG (Vin de France sans Indication Géographique), on retrouve 50% des surfaces et 41,6% de la production en zone Méditerranéenne. Tout type de vins confondus le vignoble méditerranéen représente 40% de la surface et de la production. Le vignoble méditerranéen occupe donc une place importante au sein du vignoble français.



*Figure 7 : Délimitation des différentes zones viticoles méditerranéennes*

<sup>5</sup> 3 France AgriMer, « Les chiffre-clés de la filière Viti-Vinicole 2009 - 2019 ».

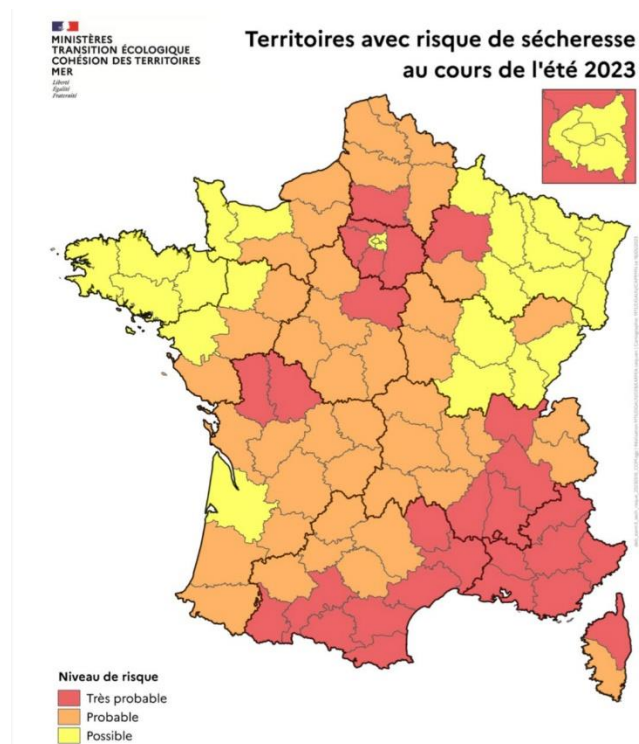


Figure 8 : Carte des territoires avec risque de sécheresse au cours de l'été 2023 – Météo-France, BRGM, OFB, SCHAPI, projet AQUIFR

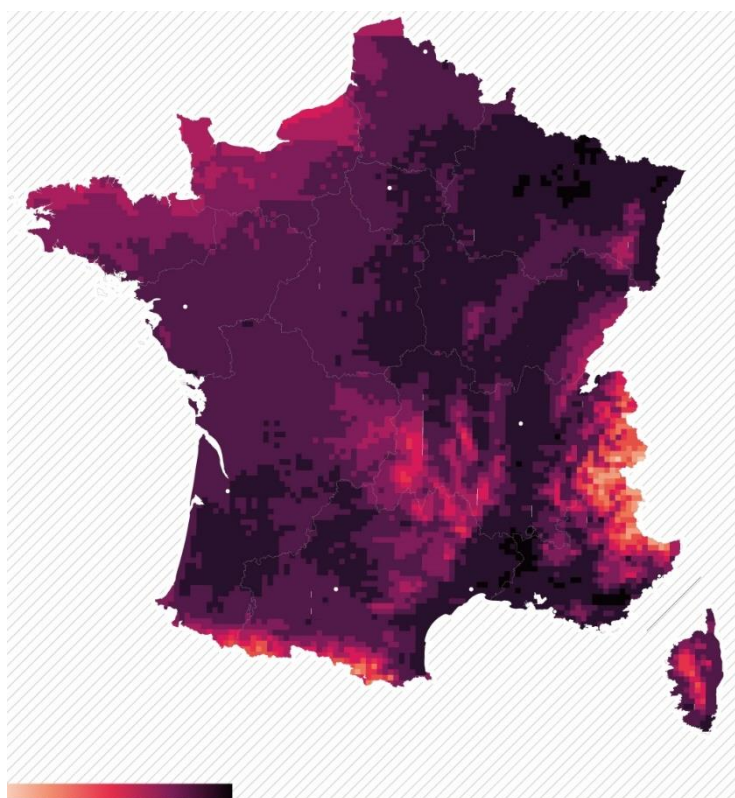


Figure 9 : Carte de France avec prévision des températures moyennes pour l'été 2055 – Drias 2020/Météo France, CNRM, IPSL, Cerfacs

### 1.3.b) Impact du réchauffement climatique sur la vigne Méditerranéenne

Les départements de la zone méditerranéenne vont être particulièrement touchés dans les années à venir. Le ministère de la transition énergétique a récemment publié une carte de la France avec la probabilité pour chaque département d'être confronté à une sécheresse. (Figure 8) Tous les départements évoqués précédemment comme faisant partie des zones viticoles méditerranéennes font partie des départements avec risque très élevé de sécheresse estivale pour 2023. L'autre carte (Figure 9) montre que les températures moyennes estivales selon les prévisions du GIEC vont être extrêmement importantes d'ici 2055 et que la zone méditerranéenne restera toujours plus chaude que le reste de la France. Sécheresses et températures extrêmes vont avoir des répercussions sur la viticulture. Les observations sur le pinot noir montrent que le cycle végétatif et le cycle reproducteur sont affectés, l'arrivée des différents stades phénologiques est plus précoce qu'auparavant de dix à 15 jours plus tôt qu'en 1970, il en va de même pour la date de récolte. Les rendements vont évoluer. La qualité des baies va aussi être impactée, via la variation de la teneur en sucre, en alcool, en composé phénolique et en acide malique.<sup>6</sup> Le risque de maladie va évoluer, certaines seront favorisées comme l'eudémis au contraire mildiou et oïdium devrait être moins présents mais apparaître de manière plus précoce rendant la gestion plus compliquée.<sup>7</sup> La zone Méditerranéenne est culturellement très associée à la culture de la vigne et représente un atout économique majeur de la région dont il serait difficile de se passer, dans ce contexte il est nécessaire de trouver des pistes d'adaptation. De nombreuses pistes s'offrent au vigneron : jouer sur l'encépagement, piste déjà explorée, modifier progressivement la composition des vins d'assemblage, le recours à d'autres porte-greffes, pratiquer des vendanges plus précoces, une taille tardive et maintenir des feuilles devant les grappes<sup>8</sup>. Parmi toutes ces solutions l'agroforesterie est une solution potentielle pour atténuer les effets du réchauffement climatique et répondre aux enjeux précédemment évoqués.

---

<sup>6</sup> Van Leeuwen C, Destrac-Irvine A., « Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. »

<sup>7</sup> Bazireau, « <https://www.vitisphere.com/actualite-96745-du-changement-climatique-sur-le-mildiou-de-la-vigne-loidium-eudemis-.html> ».

<sup>8</sup> Frage et Van Leeuwen



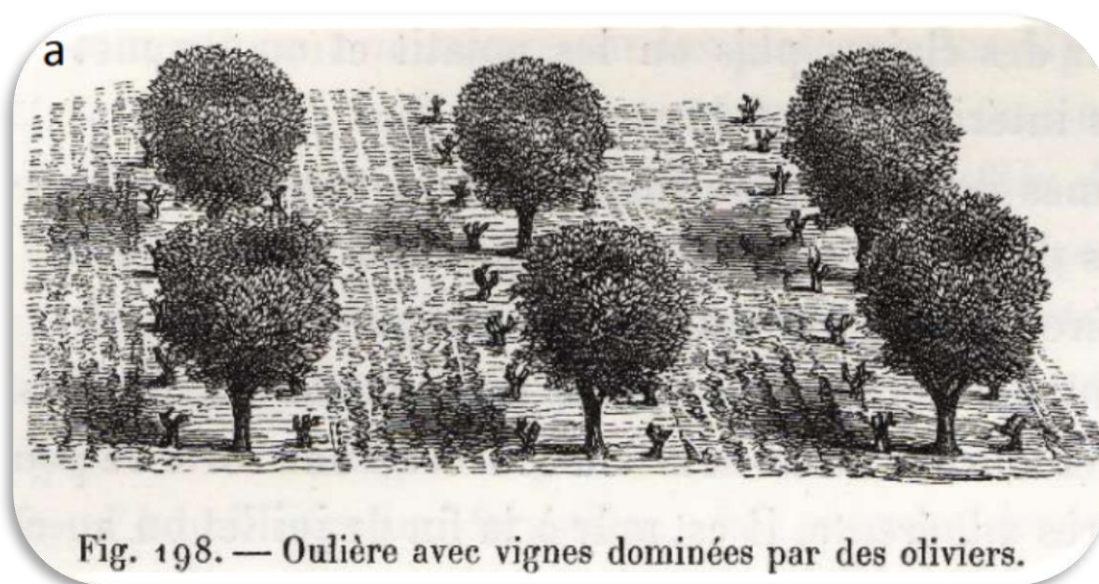


Figure 10 : Association à 3 étages : oliviers, vignes et céréales – Ministère de l'agriculture et de la pêche 1867

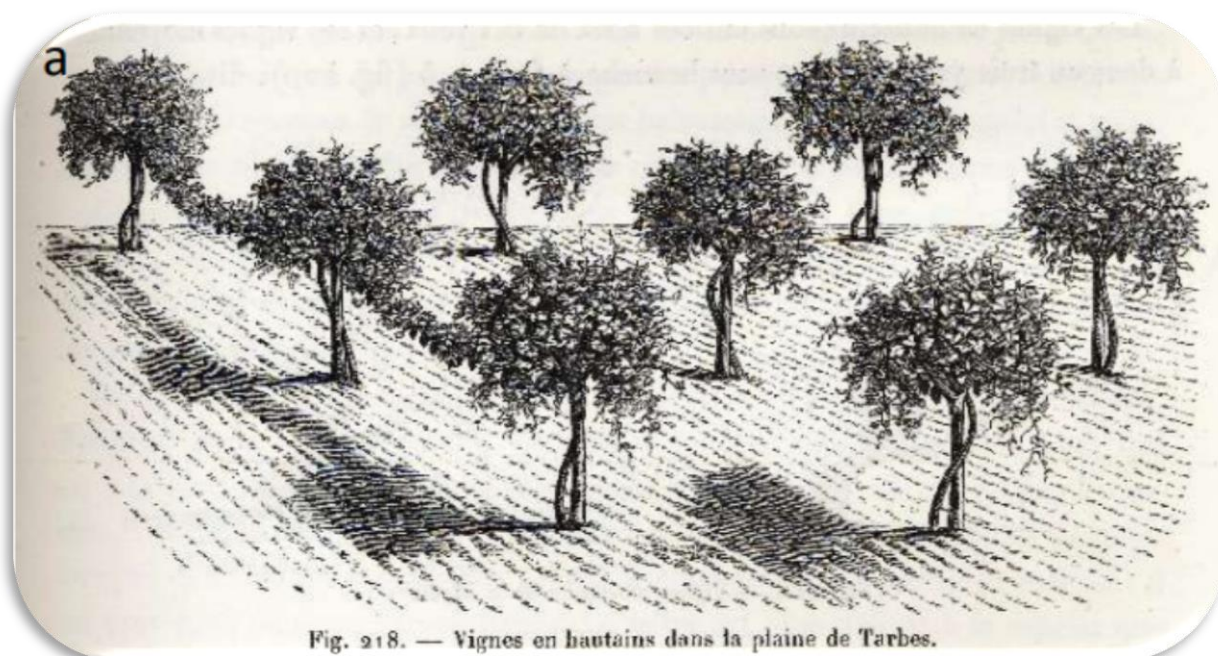


Figure 11 : Hautains : L'arbre servait de tuteur à la vigne – Ministère de l'agriculture et de la pêche 1867

### 1.3.c) L'agroforesterie viticole Méditerranéenne

L'agroforesterie viticole se définit comme l'association de vigne et d'arbres sur une même parcelle. Certaines formes d'agroforesterie viticole existent depuis l'antiquité. Par exemple, les oullières, (Figure 10) désigne l'association de vignes dont les rangs sont espacés de 5 m avec des inter-rangs semés en céréales ou en plantes sarclées un inter-rang sur 2 et en arbres fruitiers pour l'autre inter-rang. Les hautains (Figure 11) sont l'une des premières traces décrites d'agroforesterie, cette technique consiste à utiliser des arbres : érables, noyers, ormes ou chênes comme support pour les rameaux de vigne. Enfin, les joualles désignent des parcelles complantées de vignes et d'arbres fruitiers : pêchers, cerisiers, chênes truffiers, noyers, amandiers. Généralement ce modèle était adopté par les agriculteurs souhaitant faire évoluer leur vigne en verger ce système s'est avéré très résilient lors de la crise du phylloxera. Certains agriculteurs se servent encore de l'association entre la vigne et le chêne truffier, cette pratique permettant à priori d'accroître la production de truffes.<sup>9</sup> L'agroforesterie viticole connaît un regain de popularité avec de nombreux groupements en train de se former afin de promouvoir cette agriculture c'est le cas des GIEE (Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental) « AARC en vigne » et du Ventoux et de certains groupes thématiques.

## 2) Le projet VITAM

### 2.1) Présentation du projet

Le projet VITAM (VITiculture et Agroforesterie Méditerranéenne) a pour objectif de faciliter le développement de l'agroforesterie viticole méditerranéenne grâce à l'acquisition de références techniques, agronomiques et économiques. Ce projet est financé par l'OFB (Office Français de la Biodiversité) et par la fondation de France. Il regroupe de nombreux partenaires coordonnés par Agrofoot : Les chambres d'agriculture (Vaucluse, Hérault, Var), l'IFV (Institut Français de la Vigne), l'INRAE, le syndicat des côtes du Rhône et l'association Arbres et paysages. Ce projet se déroule sur 3 ans. Les missions du projet se répartissent en 5 actions : La coordination du projet, la facilitation des échanges et le retour d'expériences, l'évaluation des performances agronomiques, mise en place d'actions participatives, communication sur le projet.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Liagre Fabien et Dupraz Christian, *Agroforesterie: des arbres et des cultures*.

<sup>10</sup> Béral, Dossier scientifique et technique VITAM à destination de la Fondation De France.

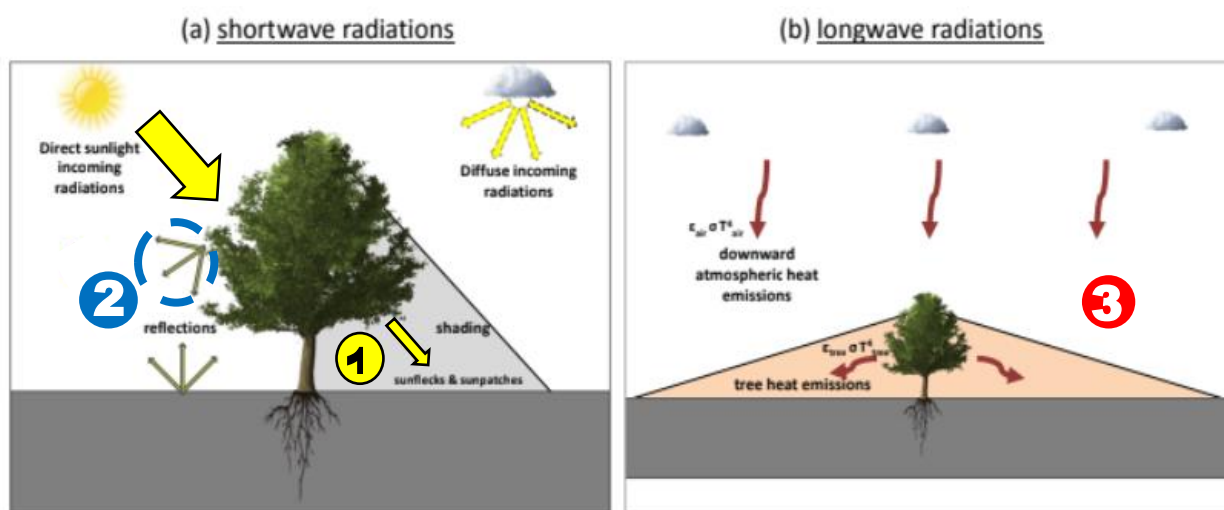


Figure 12 : Modifications des radiations parvenant à la culture au voisinage d'un arbre – Grimaldi

2018

## 2.2) Objectif et enjeux du stage

La présente étude s'intègre dans l'action 3 du projet c'est-à-dire l'évaluation des performances agronomiques et porte plus particulièrement sur les suivis au Pradel. Il s'agit d'étudier le microclimat engendré par un alignement d'arbres intra parcellaire et ses conséquences sur la vigne. Afin de répondre à la problématique suivante : Quels sont les effets d'aménagements agro-forestiers sur le développement, la croissance et l'état sanitaire de la vigne. Ce stage relève donc d'une partie du travail de recherche, ce rapport sera donc structuré sous la forme d'un rapport type « recherche ».

## 3) Etat de l'art de l'agroforesterie viticole

### 3.1) Impact des arbres sur le microclimat et l'état hydrique du sol

Le terme microclimat regroupe les paramètres suivants : la température de l'air, humidité de l'air, le rayonnement photosynthétiquement actif, vent.

L'agroforesterie impacte le microclimat de la parcelle pour plusieurs raisons. Les arbres modifient le rayonnement solaire, (Figure 12) ils génèrent de l'ombre et privent les plantes sous-jacentes de PAR ( Photosynthetically Active Radiation) c'est-à-dire du rayonnement compris entre 400 et 700 nm qui sert aux plantes pour réaliser leur photosynthèse<sup>11</sup>. Les arbres réfléchissent la lumière, phénomène moins impactant<sup>12</sup>. Enfin, les arbres émettent de la chaleur par rayonnement infra-rouge, ce qui a un effet réchauffant la nuit en particulier<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup> Chazdon RL, « Sunflecks and Their Importance to Forest Understorey Plants. »

<sup>12</sup> Brandle JR, Hodges L, Wight B, *Windbreak practices. North American agroforestry: An integrated science and practice.*

<sup>13</sup> Grimaldi, « Impacts microclimatiques de l'agroforesterie en viticulture : étude de cas dans le sud de la France ».

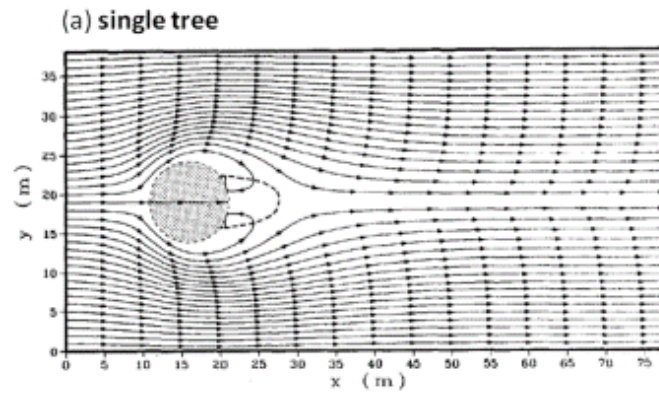


Figure 13 : Flux d'air autour d'un arbre seul - Gross (1987)

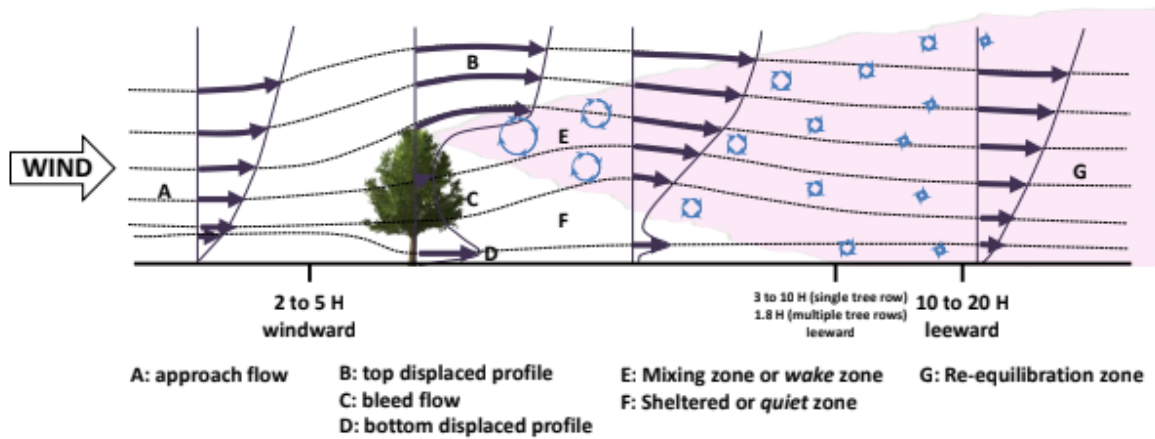


Figure 14 : Flux d'air schématique sur le plan vertical - Brandle et al. (2000)

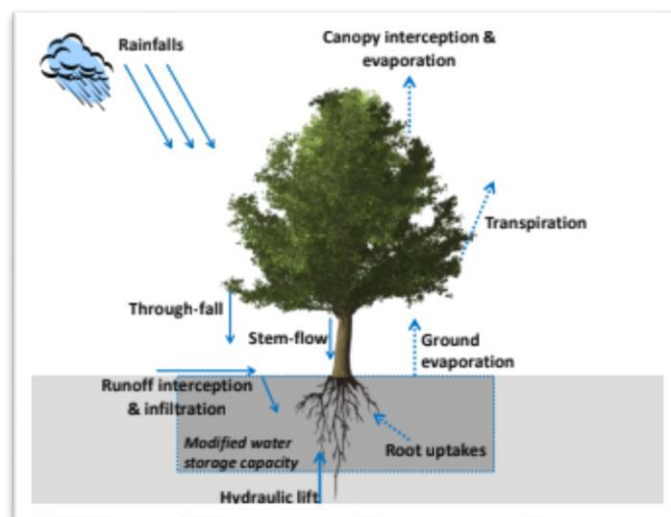


Figure 15 : Schéma des interactions de l'arbre sur le cycle de l'eau – Bayala et Wallace repris par Grimaldi



Les arbres modifient les vents. Le vent qui souffle en direction d'un arbre isolé va obéir à quelques règles<sup>14</sup> : l'air va chercher à éviter les obstacles plutôt qu'à traverser la canopée. On observe des vents de sens contraire sous le vent juste derrière l'arbre. La vitesse du vent augmente au sommet de l'arbre. La vitesse du vent est diminuée dans la zone calme, derrière l'arbre en dessous du sommet. (Figure 13). Les règles précédemment évoquées justifient que sur les bords de la canopée, les flux d'air se concentrent, tandis que derrière l'arbre les flux d'air diminuent. (Figure 14) Ceci va avoir des conséquences sur le microclimat puisque les vents permettent de transporter la chaleur, il fera donc en théorie plus chaud la journée dans la zone de calme. Néanmoins, le vent augmente la demande évaporative et augmente donc potentiellement le risque de stress hydrique. Au Pradel, l'orientation des vents majoritaires et celui des arbres est le même ce qui va diminuer l'ampleur de ces phénomènes<sup>15</sup>

Les arbres impactent le cycle de l'eau. (Figure 15) Le régime de pluie est modifié à proximité des arbres en effet le côté au vent reçoit plus de précipitations que le côté sous le vent<sup>16</sup>. Pour chaque goutte tombant sur la canopée de l'arbre, on distingue 3 issues : l'évaporation (perte en eau pour le sol), le goutte à goutte, l'écoulement le long des tiges (hydratation différée du sol). L'ampleur de chacun de ces phénomènes est interdépendante et va jouer sur la quantité d'eau arrivant au sol à proximité de l'arbre<sup>17</sup>. Les arbres permettent de diminuer l'énergie transportée par les gouttes et donc de limiter l'érosion hydrique des sols<sup>18</sup>. Pour résumer sur les effets des arbres sur la balance hydrique, on peut dire que les arbres vont avoir des effets directs : interception de l'eau par la canopée et par les racines (augmentation de la compétition), redistribution verticale, horizontale, latérale de l'eau (diminution de la compétition)<sup>19</sup>, consommation d'eau pour la transpiration (augmentation de la compétition)<sup>20</sup>. Et des effets indirects : modification de la structure et des caractéristiques du sol qui augmente la capacité de stockage d'eau (effet bénéfique)<sup>21</sup>, modification du microclimat ce qui a pour conséquence de modifier la demande climatique jouant ainsi sur l'évaporation du sol et la transpiration de la vigne (effet plutôt bénéfique). On ne peut donc pas conclure sur un effet bénéfique ou délétère,

---

<sup>14</sup> Gross G, « A numerical study of the air flow within and around a single tree. »

<sup>15</sup> Arnaud, Interview d'Arnaud viticulteur au Pradel.

<sup>16</sup> Woodall GS, Ward BH, « Soil water relations, crop production and root pruning of a belt of trees. »

<sup>17</sup> Bayala J, Wallace JS, « The water balance of mixed tree-crop systems. »

<sup>18</sup> Calder 1986

<sup>19</sup> Mapa 1995

<sup>20</sup> Landsberg and McMurtrie 1984

<sup>21</sup> Kammer et al. (2013)

en effet à l'heure actuelle il existe peu d'études portant sur le bilan hydrique des SAF en zone méditerranéenne.

Comme détaillé dans cette partie 3.1, en modifiant les flux d'air, le rayonnement, le cycle de l'eau, les arbres sont susceptibles de modifier les conditions microclimatiques. Ces modifications sont dépendantes du type d'arbres implantés, de leur espacement<sup>22</sup>, de la manière dont ils sont gérés et de l'environnement immédiat de la parcelle.

### 3.2) Réponse de la vigne aux différentes variables microclimatiques

#### 3.2.a) Effet du vent sur la vigne

La circulation de l'air sur une parcelle va avoir deux effets principaux, cela va permettre de réguler les températures, cela va jouer sur les échanges notamment d'eau entre la surface de la feuille et l'atmosphère, mais aussi entre l'intérieur de la canopée et l'atmosphère. Le vent va aussi avoir un effet mécanique direct en déplaçant les particules du sol, les insectes, le pollen, les champignons. Un vent trop fort va endommager les feuilles situées sur le dessus de la canopée<sup>23</sup>. En 2015 Carbonneau a montré que les grappes exposées au vent possédaient des fruits rabougris, des malformations, et des casses au niveau de la jonction du bourgeon sur la branche. Les études de Freeman & al. en 1982 montrent que dans la zone à l'abri du vent, l'ouverture des stomates est plus longue ce qui permet de faire plus de photosynthèse mais paradoxalement le potentiel hydrique des feuilles est plus faible ce qui suggère un stress hydrique plus important. En réalité le vent aura un impact car il modifie le régime thermique donc il sera question en 3.3.b)

#### 3.2.b) Effet de la température sur la vigne

L'intensité des extrêmes de température influence fortement la vigne. Des températures maximales journalières élevées augmentent le risque d'échaudage c'est-à-dire de brûlure des grains.<sup>24</sup> Les gelées en hiver peuvent provoquer la mort de la vigne lorsqu'elles sont en dessous de -15°C. Au printemps les gelées tardives viennent attaquer les bourgeons qui

---

<sup>22</sup> Trambouze et Goma-Fortin, « Agroforesterie viticole : résultats de 11 ans d'étude sur la production et la vigueur des vignes ».

<sup>23</sup> Branas 1970

<sup>24</sup> Grimaldi, « Impacts microclimatiques de l'agroforesterie en viticulture : étude de cas dans le sud de la France ».

viennent de débousser engendrant des pertes de rendement considérable dès lors que les températures sont inférieures à 2°C<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> Mosedale JR, Wilson RJ, Maclean IMD, « Climate Change and Crop Exposure to Adverse Weather: Changes to Frost Risk and Grapevine Flowering Conditions. »

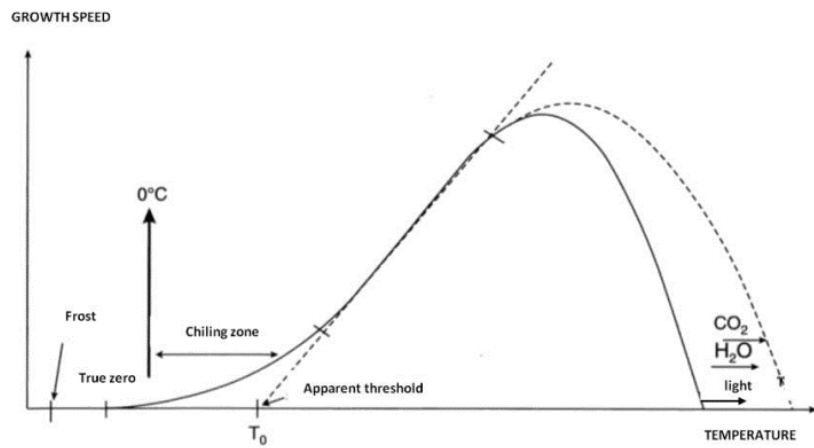


Figure 16 : Effet de la température sur la croissance végétative – De Parcevaux et Huber  
2007

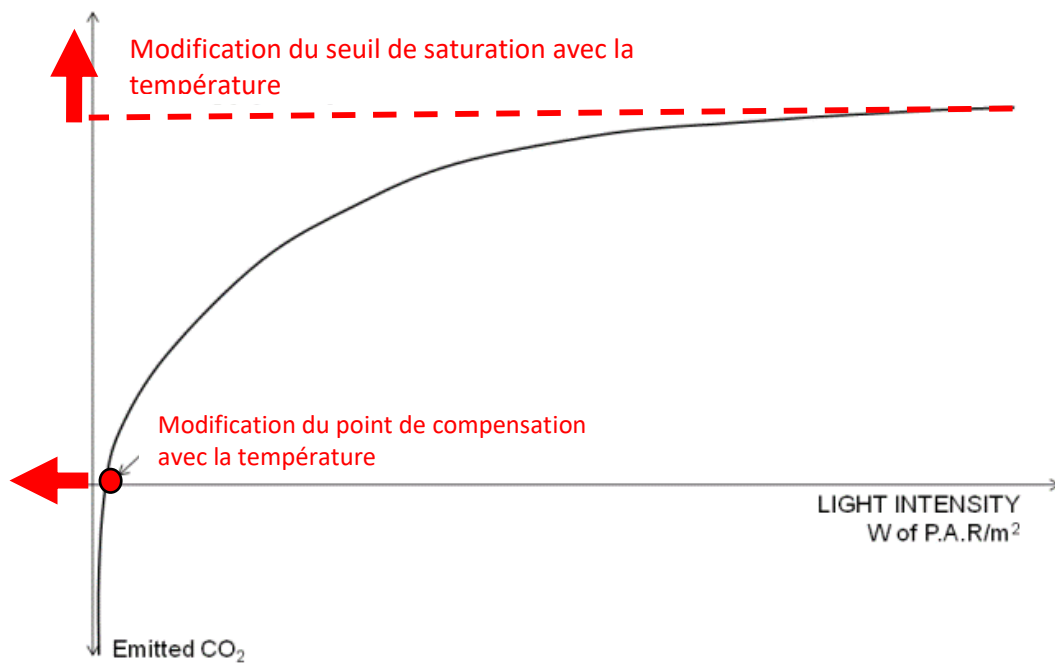


Figure 17 : Influence de l'intensité lumineuse sur l'activité photosynthétique – Champagnol  
1984

L'efficacité de la photosynthèse est déterminée majoritairement par l'intensité lumineuse et par la température des feuilles jouant ainsi sur les rendements et sur la quantité de sucre dans les baies<sup>26</sup>.

La température des feuilles a une influence à la fois sur le point de compensation et sur le seuil de saturation que l'on peut voir (Figure 17). En effet pour une température optimale, la feuille ne réalisera quasiment pas de respiration sauf si le rayonnement est quasi nul, et le seuil de saturation photosynthétique sera également plus important. Sur la figure 16, on voit bien que le seuil T0 de 10°C est important c'est à partir de cette température que l'on assiste à une croissance de la vigne alors qu'au-dessus de 35°C on assiste à une diminution de la vitesse de croissance associé à une diminution des rendements. L'optimum pour la croissance se situe autour de 24°C. Pour la floraison, la pollinisation, et la germination l'idéal est d'avoir des températures entre 20 et 30°C<sup>27</sup> sachant qu'au-delà de 25°C la phase de floraison est accélérée considérablement. On observe une corrélation certaine entre la somme de degrés jours supérieur à 10°C, la longueur des jours, la vitesse de développement phénologique et la croissance des fruits.<sup>28</sup>

Une fois l'étape de la véraison atteinte, la photosynthèse est stoppée à partir de 35°C de jour et 30°C la nuit<sup>29</sup>. La température nocturne est aussi une variable importante pour comprendre le comportement de la vigne. Des températures nocturnes trop importantes vont engendrer des rendements plus faibles et également une baisse d'acidité des raisins<sup>30</sup>

### 3.2.c) Effet de l'intensité lumineuse sur la vigne

Le rayonnement joue un rôle important dans l'efficacité photosynthétique. Lorsque rayonnement est quasi nul ou faible, la respiration sera plus importante que la photosynthèse. Au contraire pour un PAR très élevé le seuil maximum d'intensité photosynthétique sera atteint. (Figure 17). En 1996, Dokoozlian et Kliewer ont montré que l'ombre sur les baies impacte leurs deux premières étapes de développement ( à savoir la phase 1 de croissance rapide avec division et expansion cellulaire et la phase 2 de latence avant que le grain ne commence à se charger en sucre ) mais pas les suivantes, ce qui a systématiquement pour conséquence une diminution du poids et de la taille des grains et donc mathématiquement du rendement. Cependant la baisse

---

<sup>26</sup> Kriedemann 1968, 1977; Stoev and Slavcheva 1979; Stoev and Slatcheva 1982

<sup>27</sup> Motorina 1958

<sup>28</sup> Tonietto J, Carbonneau A, « Tonietto J, Carbonneau A A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agricultural and Forest Meteorology 124:81–97. »

<sup>29</sup> Kliewer and Torres 1972; Azuma et al. 2012

<sup>30</sup> Bourgade, « VITIFOREST : Evaluation de l'impact de l'arbre agroforestier en contexte viticole ».

de rendement s'accompagne toujours d'une augmentation de la taille des tiges et de la surface des feuilles, il s'agit en fait d'un mécanisme de compensation du manque de lumière, mis en avant par l'expérience d'Archer et Strauss en 1989.

### 3.2.d) Effet du microclimat sur le risque d'attaque fongique ou parasitaire

Le microclimat joue sur le risque de maladie fongique : il joue sur le risque d'infection primaire en favorisant ou non la survie du champignon dans le sol ou dans les organes morts. Le microclimat contrôle la germination et la croissance des spores permettant la reproduction asexuée des champignons. Les conditions microclimatiques vont aussi jouer sur la faculté du champignon à se transférer de plants en plants et d'un bout de terrain à l'autre. Le microclimat va aussi jouer de manière indirecte sur ce risque d'infection, en jouant sur le stade phénologique de la vigne, en jouant sur la composition des flavonoïdes qui jouent un rôle dans la lutte face aux agressions fongiques, et enfin en jouant sur la durée d'efficacité des produits anti-fongiques qu'ils soient bio ou non<sup>31</sup>. De précédentes études montrent qu'en théorie les arbres augmentent le risque d'apparition et la sévérité du mildiou qui aime les conditions humides et ombragées. Concernant l'oïdium, il est plus difficile de trancher puisque c'est un champignon qui aime les conditions ombragées avec peu d'écart de températures mais il tolère mal l'humidité. Concernant les acariens phytophages de la vigne, les arbres ont un effet bénéfique puisqu'ils accueilleraient des acariens auxiliaires pouvant s'attaquer à eux<sup>32</sup>.

### 3.2.e) Effet de la variation de la disponibilité en eau sur la vigne

L'impact du stress hydrique n'est pas très clair. Les conclusions peuvent être différentes en fonction de la longueur et de l'intensité de ce stress, un léger stress hydrique va améliorer la production et la qualité du vin tandis qu'un stress hydrique plus important va diminuer l'assimilation du carbone et donc les rendements mais aussi la qualité du vin.

En réalité les vignes s'accommodent bien face à la sécheresse, grâce à leur faible nombre de feuilles, de petites surfaces, mais aussi grâce à la perte des feuilles, ainsi que leur orientation et leur grosse cuticule. Les caractéristiques stomatales assurent également une bonne résistance à la sécheresse. Mais cette résistance dépend en très grande partie de la génétique de la vigne. Les arbres des systèmes agro-viticoles vont forcément engendrer de la compétition avec la

---

<sup>31</sup> Grimaldi, « Impacts microclimatiques de l'agroforesterie en viticulture : étude de cas dans le sud de la France ».

<sup>32</sup> Trambouze et Goma-Fortin, « Agroforesterie viticole : résultats de 11 ans d'étude sur la production et la vigueur des vignes ».

vigne mais cela va dépendre des espèces. Certaines espèces comme le chêne vont avoir un fonctionnement isohydrique en période de sécheresse à la différence de certaines espèces qui vont accepter de stocker moins d'eau avec en contrepartie une production plus faible de biomasse. La compétition hydrique va également dépendre de trois facteurs : la répartition spatiale des racines, le moment du prélèvement et la quantité d'eau prélevée. Cette compétition est donc très différente d'une année sur l'autre.

### 3.2.f) Impact du microclimat sur la composition et la qualité du vin

Les composés phénoliques (anthocyanes, tanins, flavonoïdes, flavonols) sont essentiels à la qualité du vin puisqu'ils permettent une bonne vinification. Leur teneur dans les baies augmente avec l'intensité lumineuse, la température (jusqu'à un certain seuil). Pour que cette teneur augmente il est nécessaire d'avoir une quantité d'eau suffisante. Cependant des températures et une intensité lumineuse trop élevées sont préjudiciables puisqu'elles font diminuer la teneur en acide malique et donc l'acidité.<sup>33</sup>

En réalité très peu d'études hormis celles citées précédemment font un état des lieux des connaissances sur l'agroforesterie viticole. Nous venons de voir que l'arbre influençait son microclimat et que le microclimat influence le développement, la croissance et parfois même la santé de la vigne. En théorie l'arbre devrait donc avoir des conséquences sur la vigne mais très peu d'étude s'y sont déjà intéressé. C'est la raison pour laquelle le projet VITAM est pertinent puisqu'il s'intéresse dans la pratique à l'effet de l'arbre sur le développement, la croissance et le développement des maladies de la vigne.

---

<sup>33</sup> Grimaldi, « Impacts microclimatiques de l'agroforesterie en viticulture : étude de cas dans le sud de la France ».

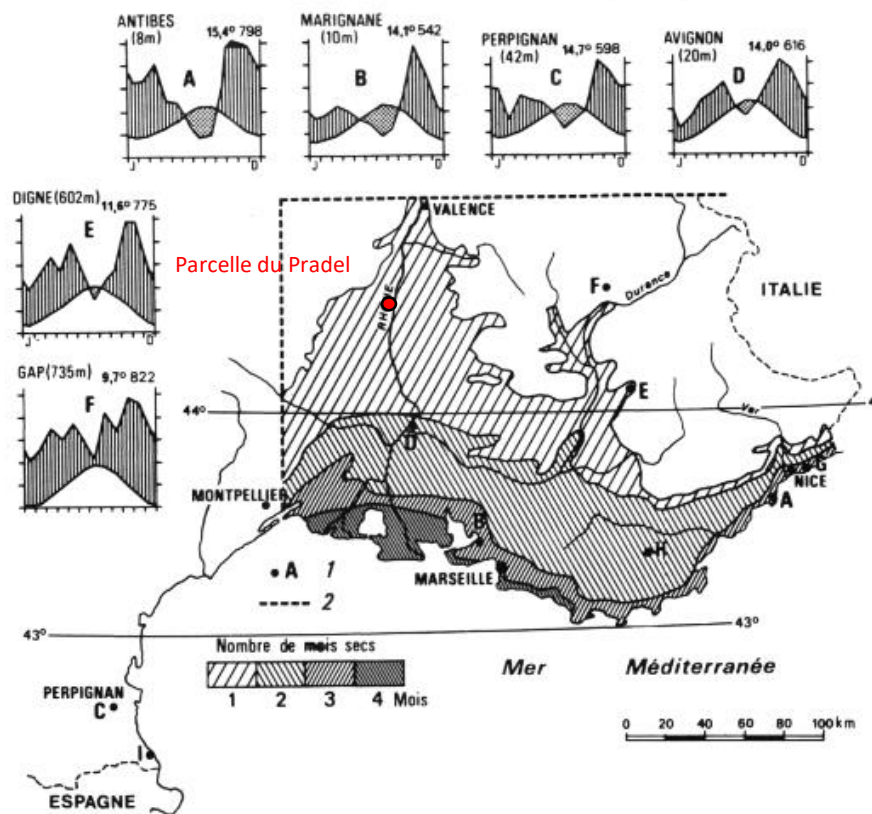


Figure 18 : Répartition et caractéristique du climat Méditerranéen – Le climat méditerranéen en France et en URSS



## 4) Matériel et méthodes

### 4.1) Le site expérimental

#### 4.1.a) Contexte régional

La parcelle expérimentale est située en bordure de plateau du Coiron à 700m d'altitude, au niveau de la vallée de l'Auzon à une altitude de 270 m d'altitude. Ce plateau est d'origine volcanique, sa formation résulte d'environ 20 coulées de lave basaltique datant de 4 à 8 millions d'années. Ce contexte géologique est à l'origine de la pédologie particulière de la parcelle. On retrouve un climat méditerranéen (Figure 18) marqué par des étés très chauds et très sec, avec la particularité d'avoir les maximums de températures et les minimums de pluviométrie au même moment. Les hivers sont doux et les automnes généralement pluvieux d'autant plus que l'Ardèche est plus haute en altitude que le reste des terres sous climat méditerranéen.<sup>34</sup> Deux vents traversent la zone, la bise provenant du nord- nord Est en hiver, comme le mistral en été.

#### 4.1.b) Description de la parcelle

La parcelle du Pradel compte pour 2Ha, elle est conduite en bio et en agroforesterie. Elle fait partie du domaine Olivier de Serres comptant lui 11 Ha. La parcelle est plane, sur la zone d'étude on observe des éboulis basaltique sur 1,7 m permettant une exploration efficace des racines et donc un bon accès à l'eau. Ces éboulis reposent sur de la glaise blanche de marne et de calcaire bien moins pénétrable par les racines. Il en résulte un sol argilo-limoneux profond et plutôt pierreux (pierrosité de 10%) Ce substrat volcanique est riche en éléments majeurs et en oligo-éléments (fiche d'analyse en annexe). Sur cette parcelle on retrouve plusieurs cépages : Syrah, Grenache et Sainsaut qui donnent naissance à 3 vins différents, un rosé, un rouge fruité et un rouge de garde dont la signature minérale est largement influencé par ce substrat basaltique . Chacun bénéficie de l'IGP vin d'Ardèche. La première vigne fut plantée le long de la route à l'Est en 1966, 10 ans plus tard des fosses y ont été creusées et n'ont pas montré de recoupement entre les systèmes racinaires. Pour le reste, la vigne a été plantée en 2012, suite à un sous-solage croisé avec un espace inter-rang de 2,3 m et un espace intra-rang de 1 m. Les différents arbres: muriers blancs, muriers noirs, amandiers, pommiers ont été plantés en même temps que la vigne. A noter la présence d'une bande enherbée entre les rangs gérée grâce au travail du sol<sup>35</sup>.

---

<sup>34</sup> Géo confluence ENS Lyon

<sup>35</sup> Arnaud, Interview d'Arnaud viticulteur au Pradel.

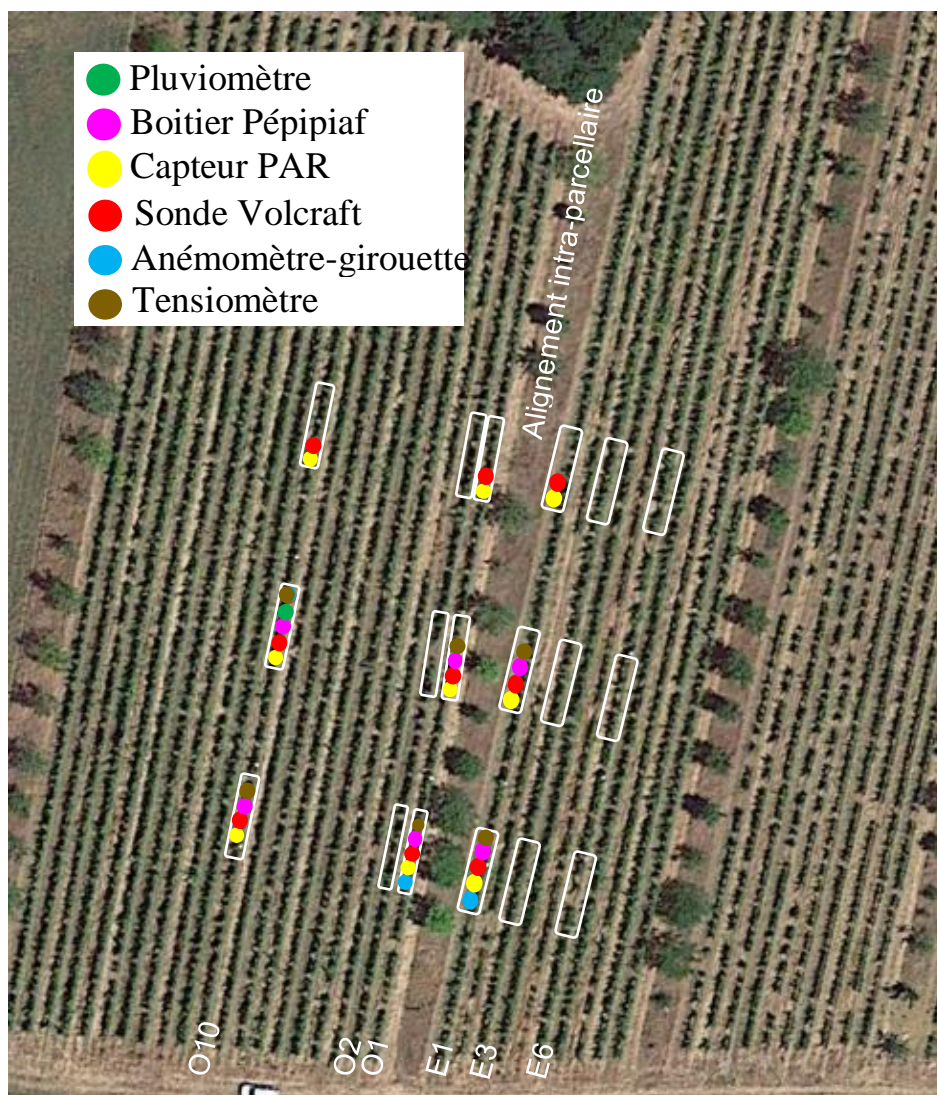
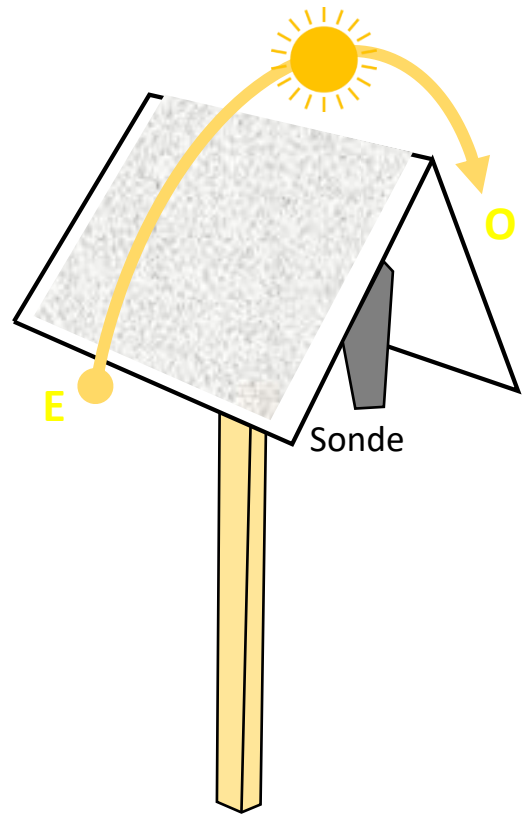


Figure 19 : photo aérienne des placettes détaillant les objets de mesure

## 4.2) Protocole et dispositif expérimental

### 4.2.a) Dispositif expérimental

L'alignement d'arbres qui nous intéresse dans le cadre de l'expérimentation est longue de 110 m, elle est orientée Nord Sud avec un angle de  $27^\circ$  selon un axe nord-est/ sud-ouest par rapport à l'axe nord-sud. Ces arbres sont taillés afin de réduire leur largeur pour le passage du tracteur et aussi favoriser la pousse en hauteur qui peut générer de l'ombre. Des placettes d'échantillonnage ont été disposées à différentes distances à l'est et à l'ouest pour tenir compte d'un effet plus ou moins prononcé de l'alignement d'arbres intra parcellaires. (Figure 19) A l'Est de l'alignement on s'intéresse à 3 rangs de vignes, le 1<sup>er</sup>, le troisième et le sixième en partant de l'alignement (Modalité : E1, E3, E6) ce qui permet de disposer d'un potentiel « gradient d'effet de l'arbre ». A l'ouest on étudie le premier rang, le deuxième rang, et le rang n°10 qui est suffisamment loin de l'alignement pour faire office de témoin (Modalité : O1, O2, O10 ou témoin). Sur chaque rang, 3 placettes constituées de 5 ceps consécutifs ont été suivies, soit 15 individus par rang. En plus des suivis, la parcelle fait aussi l'objet de relevés microclimatiques. Les variables microclimatiques comme l'humidité du sol, le vent, la température, le rayonnement sont mesurés aux abords directs de part et d'autres de l'alignement d'arbres mais également au niveau du témoin pour observer des différences. La figure 19 ci-dessus montre les emplacements de ces dispositifs de mesure microclimatique.



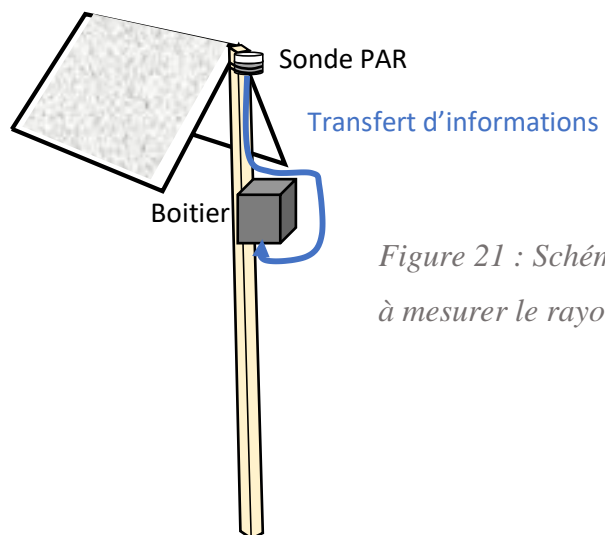
*Figure 20 : photo et schéma du dispositif expérimental servant à mesurer la température et l'humidité relative de l'air*

#### 4.2.b) Protocole pour les suivis microclimatiques

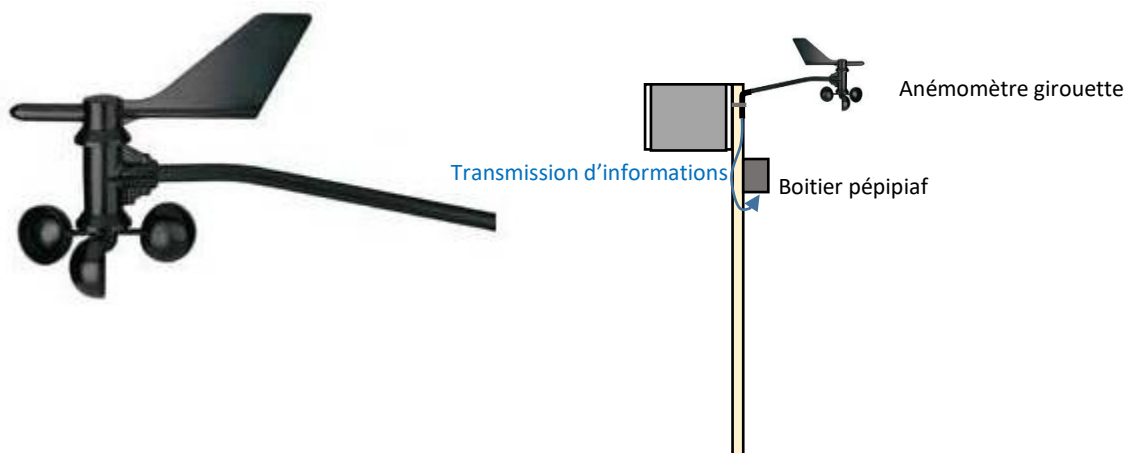
##### Suivi de la température et de l'humidité relative de l'air :

Les mesures de température et d'humidité relative de l'air (défini comme la teneur en vapeur d'eau de l'air rapporté à sa capacité maximale) sont obtenues grâce aux sondes VOLTcraft DL-121TH qui sont disposées sous des abris. (Figure 20) Le sommet du toit est orienté plein nord de telle sorte que les sondes ne soient jamais exposées directement au soleil, ce qui fausserait les mesures de température. La température est ainsi mesurée à une hauteur d'environ 1 m 80 qui correspond à la température de la partie sommitale de la canopée. Pour éviter que le rayonnement solaire ne réchauffe le toit et fausse les mesures, du papier aluminium tapisse la partie extérieure du toit (voir figure 23). Les mesures de température et d'humidité relative ont été réalisées toutes les 10 minutes depuis le 14 juin jusqu'au 24/08. Ces mesures sont réalisées au niveau des 3 placettes situées de part et d'autres de la haie et dans le témoin (voir figure 22). Les données de température seront traitées de différentes manières pour tenter de comprendre l'impact qu'elles ont sur la vigne. D'une part les maximums de température journaliers seront isolés puisque ce sont eux qui expliquent le dessèchement et que des températures au-dessus du seuil optimal de croissance risquent de faire ralentir cette dernière (Figure 16). Ensuite le calcul de la somme de degrés jour au-dessus de 10°C est essentiel puisque c'est cette valeur qui en théorie doit expliquer la vitesse de développement phénologique. La formule utilisée est la suivante (pour le mois de juillet) :

$$Somme\ Degrés\ Jour\ (juillet) = \sum_{1\ juillet}^{30\ Juillet} (T_{moyen} - 10^{\circ}C)$$



*Figure 21 : Schéma du dispositif expérimental servant à mesurer le rayonnement photosynthétiquement actif*



*Figure 22 : Anémomètre-girouette utilisé dans le cadre de l'expérimentation et schéma du dispositif*

### Suivi du PAR:

Le PAR ou Photosynthetically Active Radiation correspond à l'intervalle de longueur d'ondes compris entre 400 et 700 nm que les organismes photosynthétiques utilisent efficacement dans leur photosynthèse<sup>36</sup>.

Ce PAR est mesuré grâce aux capteurs Solems PAR80, les données sont collectées toutes les 10 mins. Ces capteurs PAR sont reliés à un boîtier PéPipiaf qui permet de centraliser les données des différents instruments de mesure. Les données sont ensuite transférées grâce aux logiciels DataPiaf. Pour disposer d'informations fiables les capteurs doivent être le plus horizontale possible ce qui justifie de bien fixer les abris sur lesquels sont disposés les capteurs. On retrouve ces capteurs sur chacune des placettes de part et d'autre l'alignement et dans le témoin. (Figure 21)

### Suivi du vent:

Le vent est mesuré grâce à des anémomètres-girouettes (présents en E1A, O1A, O10A) capables de déterminer la direction et la force du vent, (Figure 22)

### 4.2.c) Protocole pour les suivis agronomiques

- Suivi de la phénologie:

Du 26/04 jusqu'à la récolte des suivis phénologiques sont réalisés sur tous les individus faisant l'objet de l'étude (voir partie 4.2.a). Pour chaque cep, le stade phénologique majoritaire est identifié grâce à l'échelle BBCH (voir Annexe).

---

<sup>36</sup> McCREE 1971





Figure 23 : Mildiou sur grappe - BASF



Figure 24 : Oidium sur grappe - BASF



Figure 25 : Black rot sur feuille - BASF

Figure 26 : Tableau descriptif de la méthode des Apex – IFV Occitanie

<p><b>Apex en arrêt de croissance ou déchu</b></p> <p>Stade C</p>	<p><b>Apex en croissance ralentie, les feuilles étalées recouvrent l'apex</b></p> <p>Stade R</p>	<p><b>Apex en pleine croissance, les feuilles étalées ne recouvrent pas l'apex</b></p> <p>Stade P</p>



### Suivi de l'état sanitaire:

Comme nous l'avons vu précédemment les vignes sont touchées par certaines maladies comme le mildiou, l'oïdium, le black rot, l'anthracnose, l'esca. (Figure 23, 24, 25) Ces maladies s'attaquent au bois, aux feuilles et aux grappes compromettant à la fois les rendements mais aussi la qualité du vin. Un suivi sanitaire a été réalisé le 21 juillet sur chaque cep de l'étude afin de déterminer les maladies présentes, leur prévalence entre individus ainsi que leur prévalence au sein même de l'individu. Le protocole fut le suivant. Pour chaque cep, nous avons pris 10 feuilles réparties depuis l'apex jusqu'à la feuille la plus proche du sol. Pour chacune de ces feuilles on décrit les maladies présentes et le pourcentage de la surface touchée par la maladie. On réalise ensuite le même protocole sur 5 grappes pour chaque cep. Grâce à ces mesures, on peut calculer plusieurs indicateurs pour chaque individu: la fréquence d'attaque moyenne (FAM) qui correspond au rapport entre le nombre d'organes atteints sur le nombre total d'organes observés, et l'intensité d'attaque moyenne (IAM) c'est-à-dire le rapport entre la surface touchée sur la surface totale observée.

### Suivi de la croissance:

Pour mesurer la croissance, nous avons utilisé deux méthodes. La première a consisté à mesurer tous les rameaux de chaque individu faisant l'objet de suivi à un instant  $t$  (le 26/05/2023), ces données ont été exploitées en réalisant la somme de la longueur des rameaux pour chaque individu. Cette donnée nous donne des informations sur la croissance de la vigne et sa vigueur des années passées puisqu'elle mesure la croissance cumulée du cep sur toutes les années cumulées depuis son implantation. La deuxième méthode, la méthode des apex a pour objectif de mesurer la croissance de l'année à un instant  $t$ , c'est-à-dire sa vigueur. La méthode des Apex, développée par l'IFV Occitanie, permet d'évaluer la contrainte hydrique qui s'applique au cep. La méthode des apex repose sur l'observation des apex. Pour déterminer si l'apex est en arrêt de croissance, en croissance ralentie, ou en pleine croissance, il faut rabattre les deux dernières feuilles sommitales dépliées sur l'apex. Si ces feuilles se rabattent sur l'apex, la vigne est en croissance ralentie. Si ces feuilles se rabattent en dessous de l'apex la vigne est en pleine croissance. Lorsque l'apex est sec ou déchu l'apex est en arrêt de croissance. (Figure 26) Chaque cep fait l'objet de 10 observations.

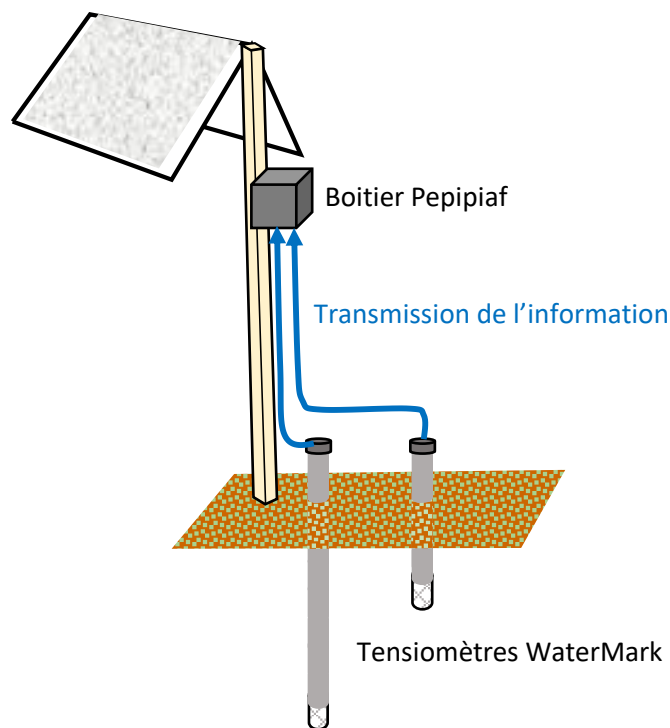


Figure 27 : Schéma du dispositif expérimental servant à mesurer la saturation en eau du sol

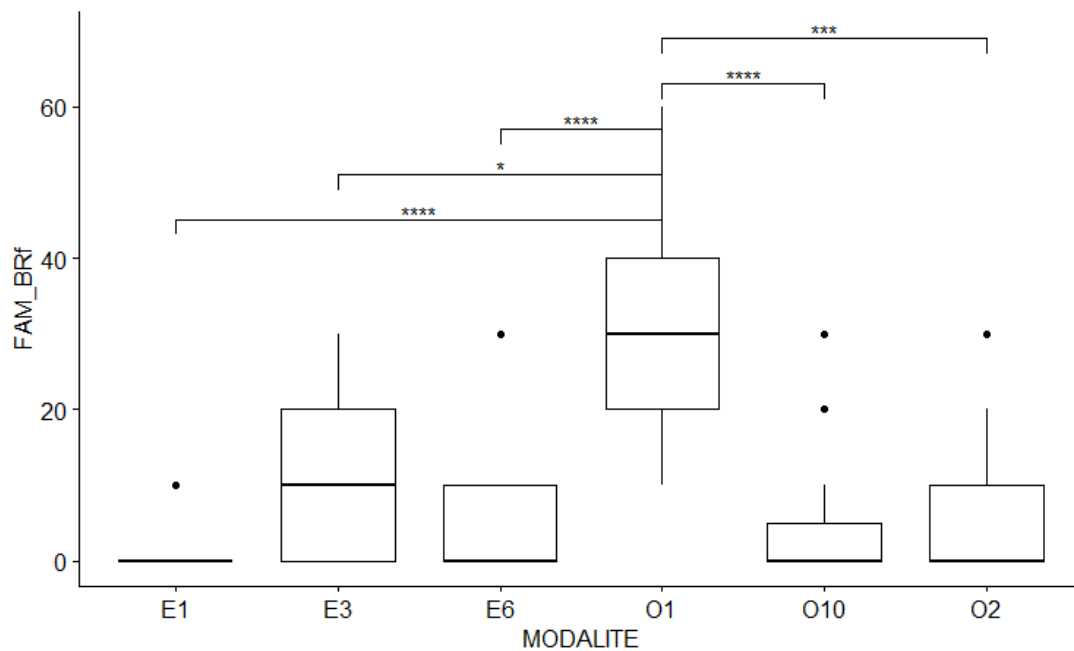


Figure 28 : Résultat du test de Wilcoxon sous forme de tableau puis sous forme de graphique. La modalité O1 est significativement différente des modalités E1, O3, E6, O10 et O2, la p-value est inférieure à 0,05 à chaque fois ce qui permet de rejeter l'hypothèse  $H_0$  selon laquelle les moyennes ne sont pas significativement différentes.

### Suivis tensiométriques :

L'état hydrique du sol ou plutôt la mesure de la disponibilité en eau pour les plantes est mesuré grâce aux tensiomètres Watermark. Ces tensiomètres mesurent la force exercée par la plante pour capter l'eau du sol. Ainsi on aura une valeur de 0 cbar lorsque le sol est gorgé d'eau et une valeur allant jusqu'à 240 cbar pour un sol complètement desséché. Comme cette mesure est ponctuelle dans l'espace, on dispose à chaque fois de deux tensiomètres par lieu de mesure, un à 20 et l'autre à 40 cm de profondeur<sup>37</sup>. Les modalités E1A, E1B, O1A, O1B, O10A et O10B sont équipées avec le dispositif détaillé figure 27.

### 4.3) Traitement statistique

Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide du logiciel Rstudio. Les conditions d'applications des tests paramétriques ont été vérifiées. Un test de Shapiro-Wilk au risque  $\alpha=5\%$  est utilisé pour vérifier la normalité des variables. Ce test est suivi d'un test du  $\chi^2$  de Bartlett au risque  $\alpha$  fixé à 5% pour vérifier l'homogénéité des variances. Pour chaque test une p-value  $> 0,05$  permet d'accepter  $H_0$  : « normalité ». Si ces deux tests sont vérifiés, on peut réaliser un test d'Anova à 1 facteur pour vérifier que des différences sont bien significatives. Ici la normalité des variables n'est pas vérifiée. Dans ce cas, un test de Kruskal-Wallis, suivi d'un test de Dunn et d'un test de Wilcoxon ont été effectués, il s'agit de tests non-paramétrique dont le but est identique mettre en avant les différences significatives. (Figure 28) Les lignes de code se trouvent en annexe.

---

<sup>37</sup> Chambre d'agriculture du Tarn

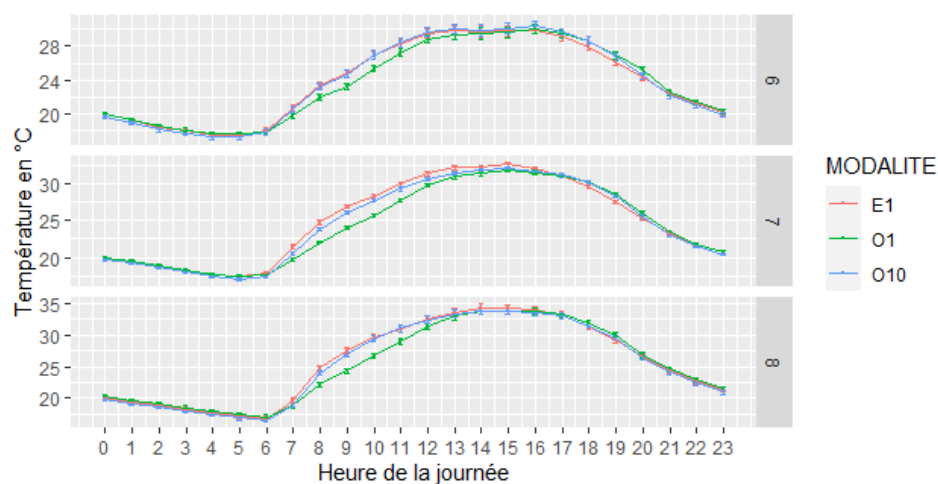


Figure 29 : Comparaison des températures moyennes journalières au cours de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août

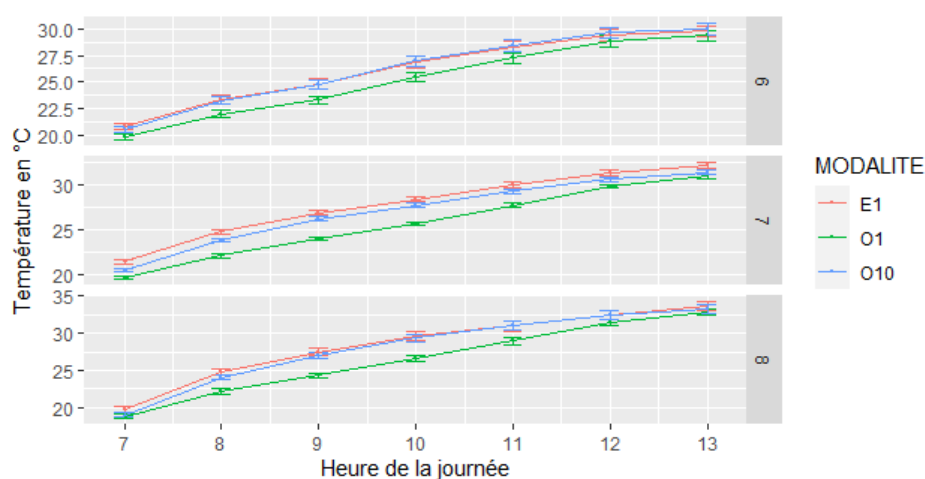


Figure 30 : Comparaison des températures moyennes entre 7 et 13h au cours de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août (utilisation de mean\_cl\_boot)

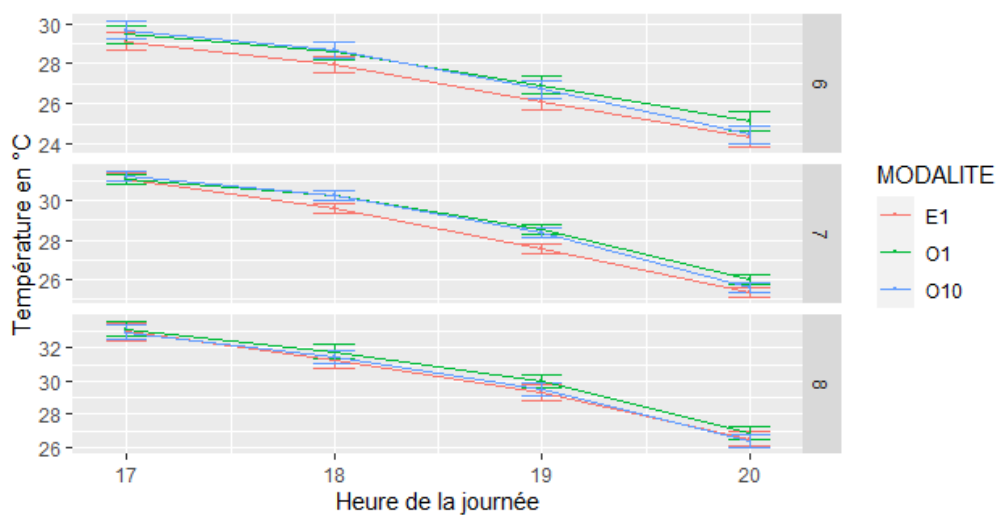


Figure 31 : Comparaison des températures moyennes entre 17 et 20h au cours de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'août (utilisation de mean\_cl\_boot)

## 5. Résultats

### 5.1) Caractérisation du microclimat

#### 5.1.a) Caractérisation de la température de l'air

La Figure 29 nous montre que les températures entre 20h et 6h sont très similaires entre les 3 modalités. Le pic de température pour les 3 modalités se situe aux alentours de 15h. La différence la plus nette entre les modalités semble se situer sur le créneau entre 7h et 13h. Entre 7 et 13 h, (Figure 30) la modalité la plus fraîche est la modalité O1, c'est-à-dire la première rangée à l'ouest de la haie. Au mois de juillet et d'août, entre 8 et 11h, il fait en moyenne 2,5°C de moins sur la rangée O1 que sur la rangée E1 et O10. L'après-midi la situation s'inverse. (Figure 31) C'est la modalité E1 qui semble être plus fraîche que les deux autres modalités surtout pour les mois de juin et de juillet.

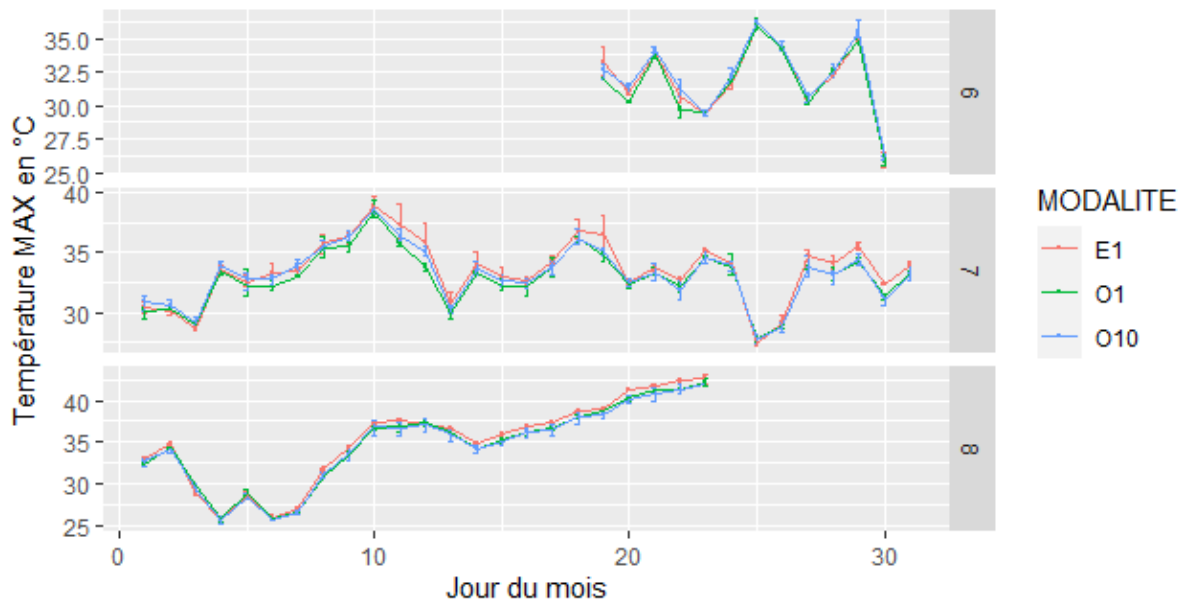


Figure 32: Comparaison des températures maximales journalières de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'aout(utilisation de mean\_cl\_boot)

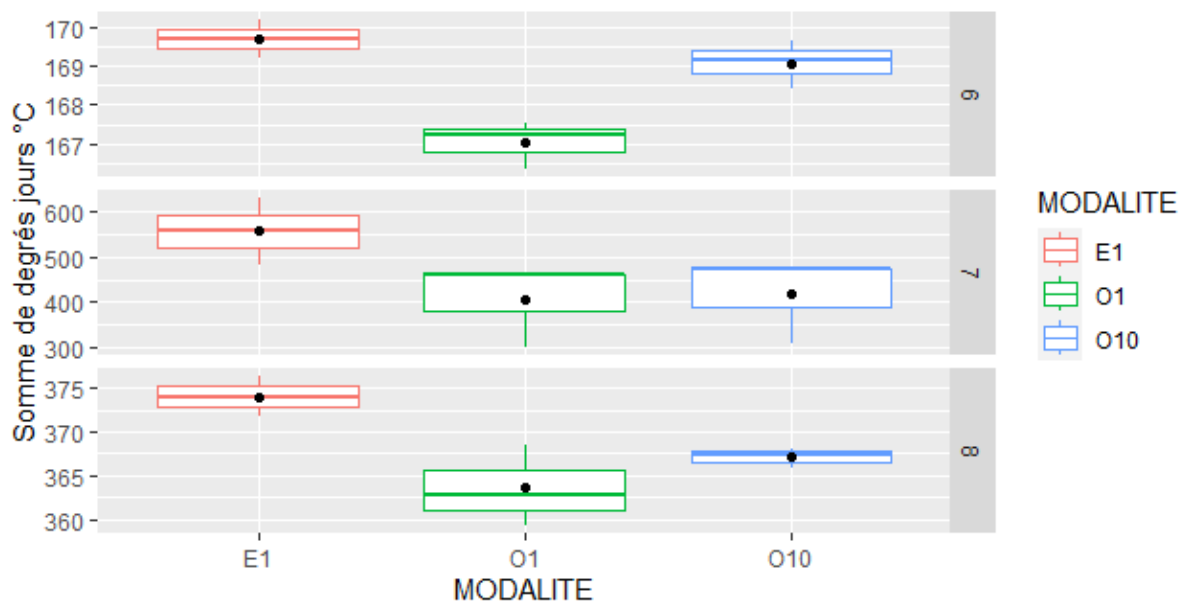


Figure 33 : Comparaison des sommes de degré jour de chaque modalité de la deuxième quinzaine du mois de juin, du mois de juillet et du mois d'aout. (Graphique avec boxplot nous donne la valeur du minimum, du 1<sup>er</sup> quartile, de la médiane, du 3<sup>ème</sup> quartile, du maximum de l'échantillon)

Sur le mois de juin, les températures maximales journalières (Figure 32) sont les mêmes pour chaque placette ce qui n'est pas le cas à partir du 10 juillet et du 10 août où il semblerait que la température maximum atteinte en E1 soit légèrement supérieure. La Figure 33 montre que la somme de degrés jour semble supérieure pour la modalité E1 au mois de juin, de juillet et d'août. Au contraire la somme de degrés jour de la modalité O1 semble plus faible en particulier pour le mois de juin et d'août.

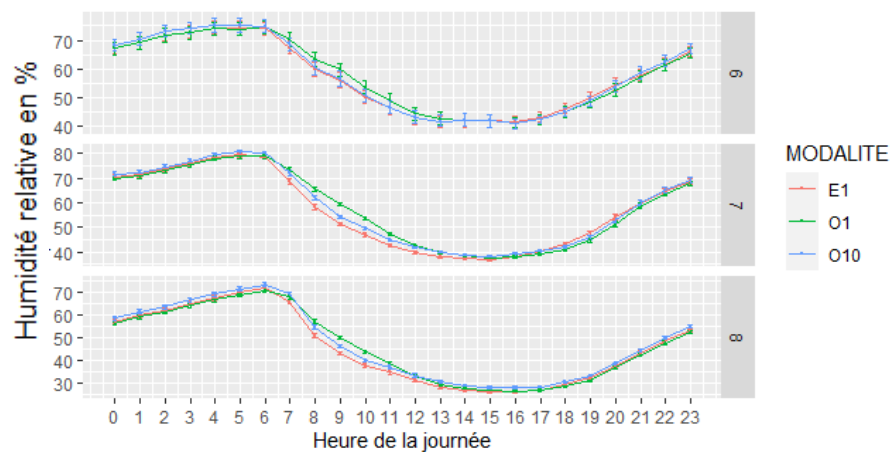


Figure 34 : Comparaison de l'humidité relative de l'air en % par heure sur une journée pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude

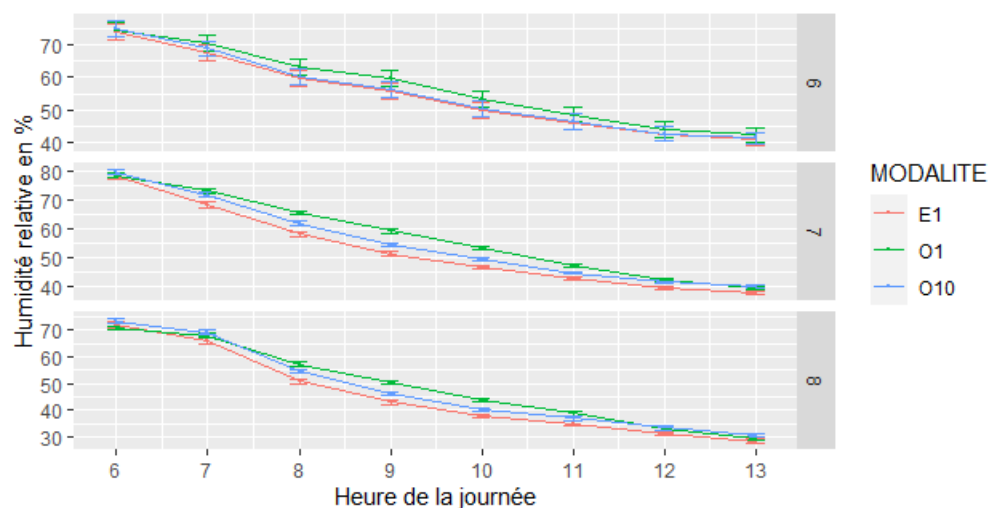


Figure 35: Comparaison de l'humidité relative de l'air en % par heure entre 6 et 13h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude

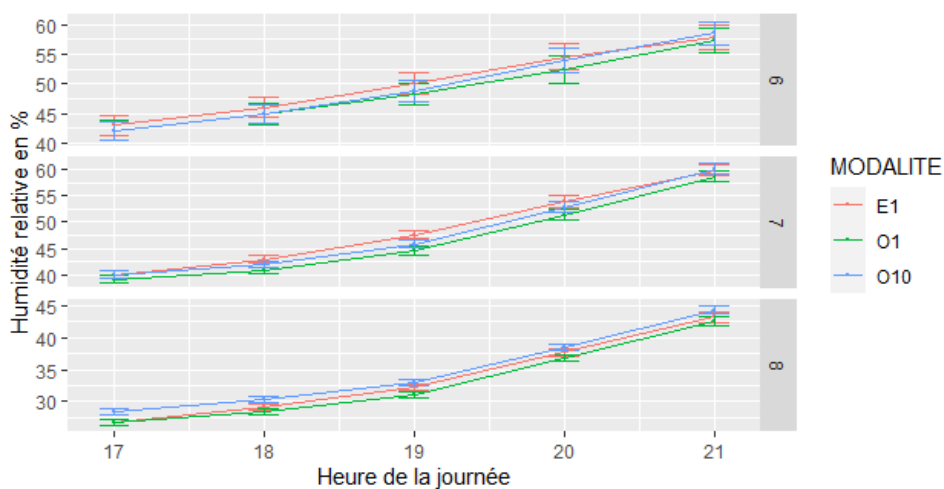


Figure 36 : Comparaison de l'humidité relative de l'air en % par heure entre 17 et 21h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude



### 5.1.b) Caractérisation de l'humidité de l'air

La figure 34 nous indique que l'humidité relative de l'air est la même pour les 3 modalités entre 21h et 6h du matin. Cependant, on observe des différences entre les modalités de 6h à 13h et de 17 à 21h.

La modalité E1 est à chaque fois la modalité la moins humide. Par rapport à la rangée O1 située de l'autre côté des arbres, l'humidité en E1 est entre 5 et 10% plus faible. Il semblerait que ce soit la modalité O1 qui est la plus humide entre 6 et 13 h quel que soit le mois. (Figure 35)

Entre 17 et 21h, il semblerait que ce soit la modalité E1 la plus humide et la modalité O1 la plus sèche. (Figure 36)

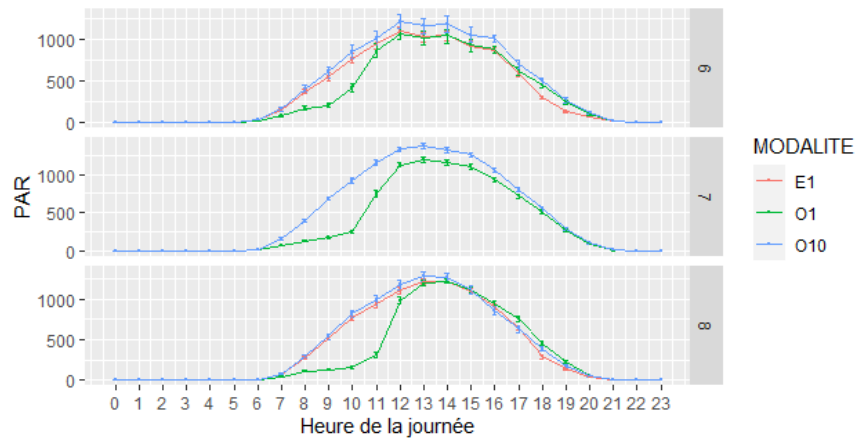


Figure 37: Comparaison du PAR moyen par heure sur une journée pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot)

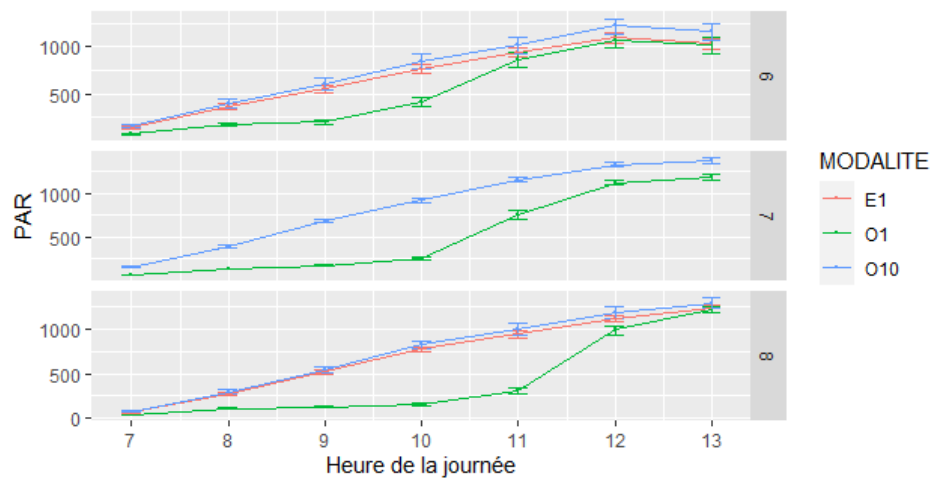


Figure 38 : Comparaison du PAR moyen par heure entre 7h et 13h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot)

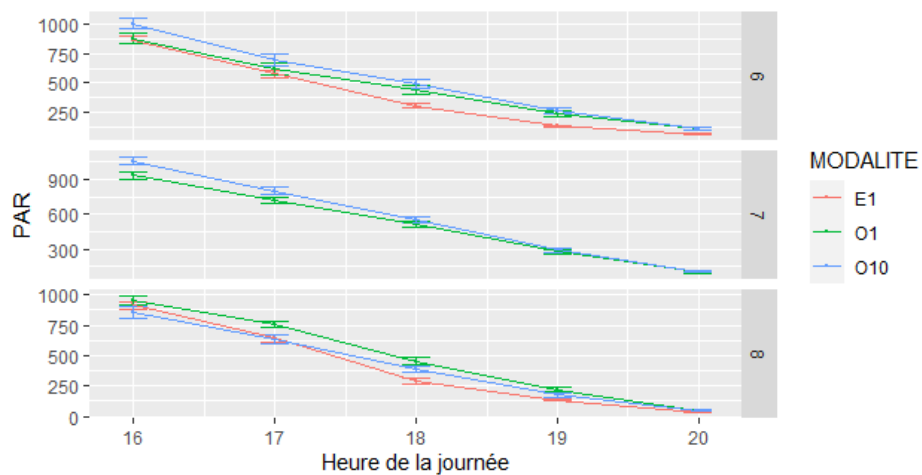


Figure 39: Comparaison du PAR moyen par heure entre 16h et 20h pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot)

### 5.1.c) Caractérisation du PAR

Une tendance se dégage sur ces 3 mois, le rayonnement photosynthétiquement actif reçu dans le témoin en O10 est systématiquement supérieur aux deux autres modalités tout au long de la journée. (Figure 37)

Le matin entre 7 et 13h la modalité O1 reçoit nettement moins de rayonnement, par exemple en juillet à 10 h la modalité O1 reçoit 70% de rayonnement en moins en août c'est 75% de rayonnement en moins pour la modalité O1. (Figure 38)

En fin d'après-midi entre 16 et 20h, c'est au niveau du rang E1 que le moins de PAR atteint les capteurs, cela représente une perte entre 30 et 40% de PAR pour le mois de juin et le mois d'août aux alentours de 18h. (Figure 39)

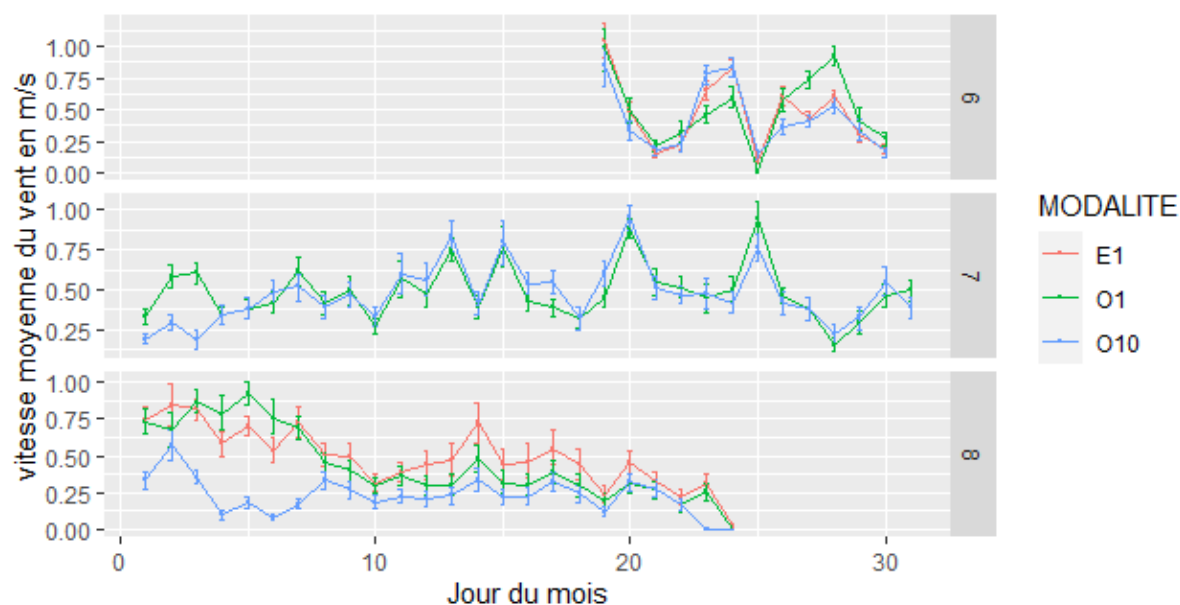


Figure 40 : Comparaison de la vitesse moyenne du vent pour les 3 modalités lors des 3 mois de l'étude (utilisation de mean\_cl\_boot)

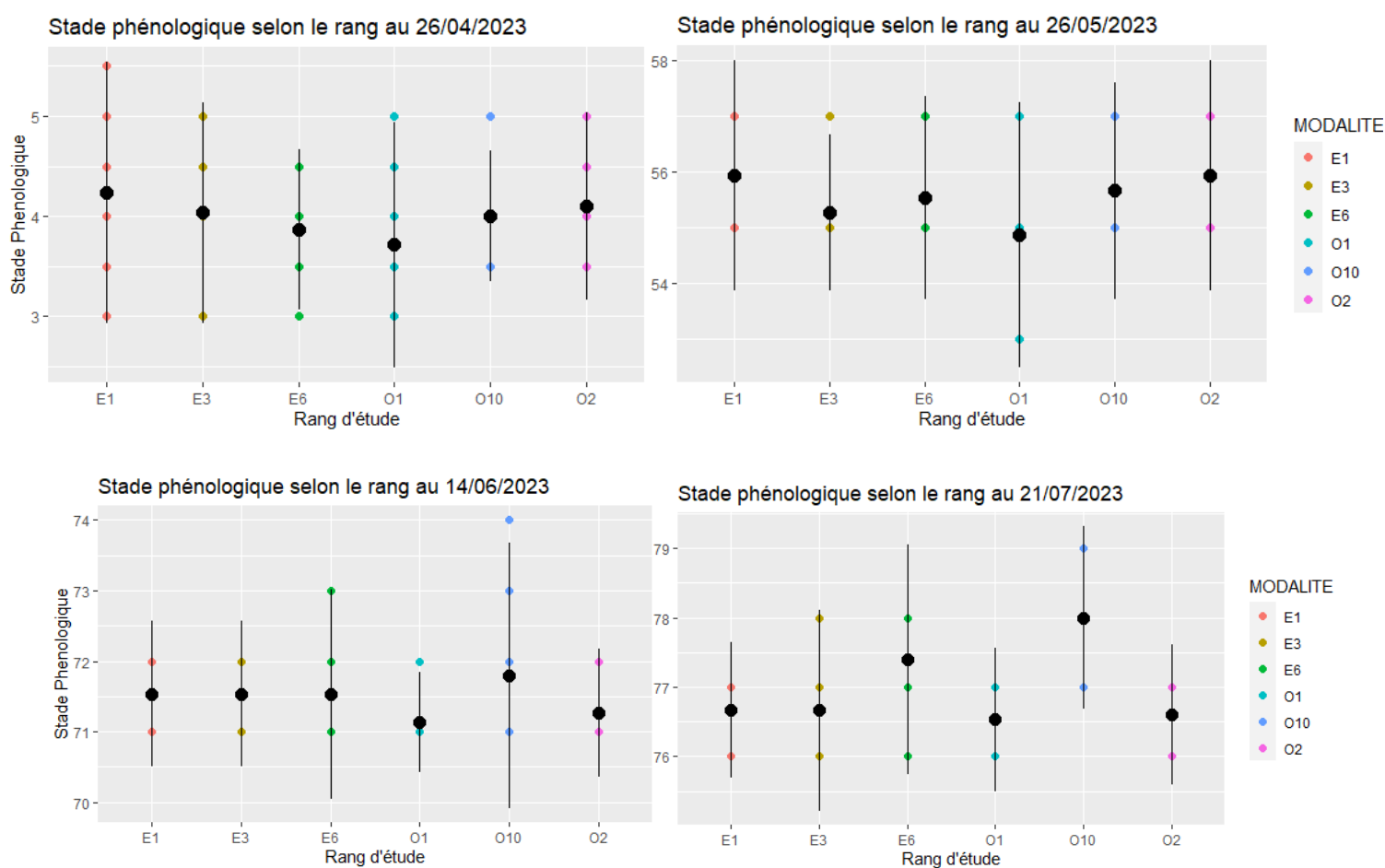


Figure 41 : Evolution du stade phénologique majoritaire de la vigne pour les 6 modalités depuis le 26/04 jusqu'au 21/07 (utilisation de mean\_cl\_boot)

#### 5.1.d) Caractérisation du vent

Les résultats concernant le vent ne permettent pas de dégager une tendance claire, aucune modalité ne semble moins venteuse, à l'exception du témoin lors du mois d'août. (Figure 40)

### 5.2) Evaluation des performances agronomiques

#### 5.2.a) Caractérisation de l'évolution phénologique de la vigne (Figure 41)

Le 26/04, le stade phénologique de la vigne est quasiment le même avec une très légère avance non significative pour les modalités E1 et O2 qui présente déjà des bourgeons au « stade de la bourre » et un léger retard pour la modalité O1 qui possède encore de nombreux bourgeons pas encore verts sur la fin de leur gonflement. La situation est identique au 26/05 bien que les stades aient évolué. Les boutons floraux en E1 et O2 sont pour une moitié agglomérés et pour l'autre séparés. O1 est en retard certaines grappes ne présentent pas encore de boutons floraux. Au 14/06, la situation est différente, la modalité témoin est en avance sur les modalités agroforestières. Seul les modalités E6 et O10 possèdent des grappes qui commencent à s'incliner vers le bas et dont les fruits font la taille de « plombs de chasse ». Il n'y a que la modalité O10 où l'on peut observer des baies plus grosses de la grosseur de « petit pois ». Enfin le 21/07, les modalités E6 et O10, sont en avance sur les autres modalités agroforestières dont le stade phénologique est très similaire. O10 reste cependant le rang le plus développé puisqu'on y observe déjà des fruits qui ont fini de grossir.

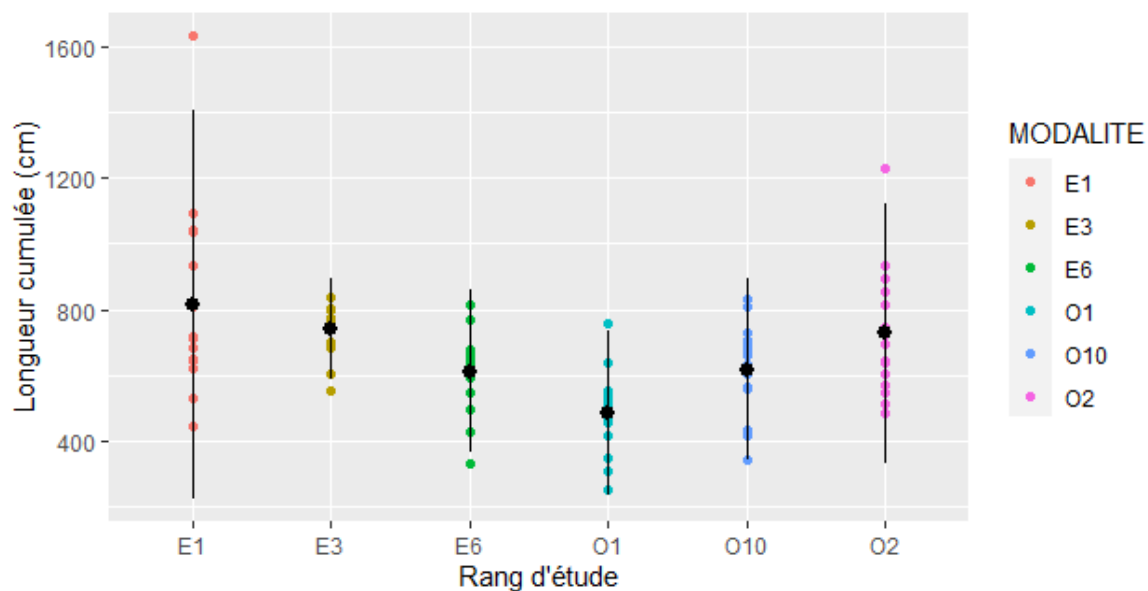


Figure 42 : Comparaison de la longueur totale de rameau cumulée de la vigne pour chaque cep des 6 modalités au 26/05(utilisation de mean\_cl\_boot)

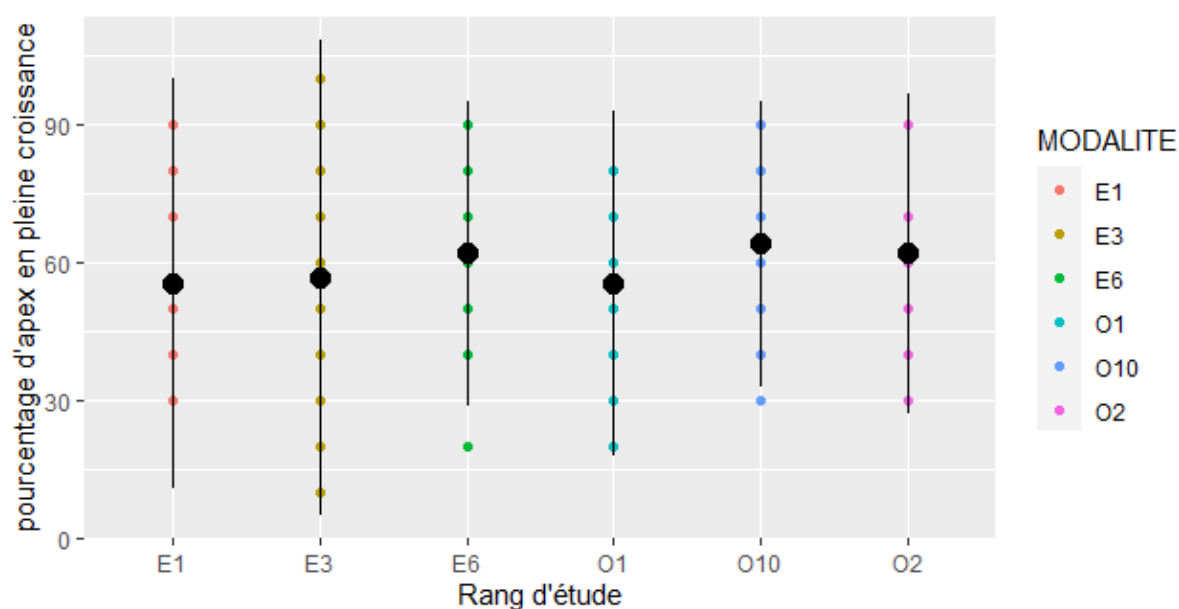


Figure 43 : Comparaison du pourcentage d'apex en pleine croissance entre les 6 modalités au 21/07(utilisation de mean\_cl\_boot)

### 5.2.b) Caractérisation de la croissance de la vigne

Les différences de longueur totale cumulée de rameau ne sont pas significatives. (Figure 42) Cependant la modalité O1 semble en retard en moyenne la longueur moyenne atteint 500 cm alors que pour E6 et O10 la moyenne est de 600 cm, en O3 et E3 la moyenne est de 700 cm, la moyenne en E1 est supérieure mais les individus sont très hétérogènes.

Les pourcentages d'apex en pleine croissance sont quasiment égaux, pour chaque modalité on retrouve 60% d'Apex en pleine croissance pour 40% d'apex en croissance ralentie, ces valeurs étant très comparable cela ne justifie pas le calcul de l'indice de croissance des Apex généralement utilisé. (Figure 43) Cette indice nous renseigne sur la contrainte hydrique, ici il n'y a pas de contraintes hydriques. L'utilisation de la chambre à pression se révèle donc inutile pour la mesure du potentiel hydrique foliaire.



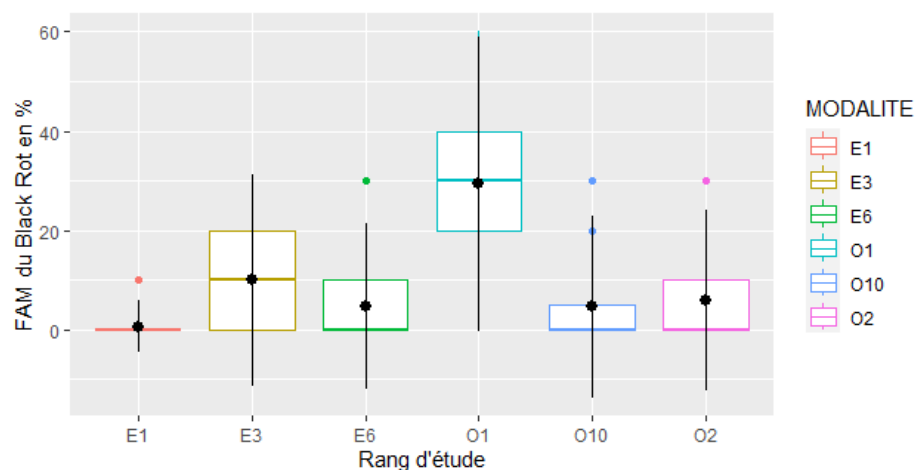


Figure 44 : Comparaison de la FAM (Fréquence d'Attaque Moyenne) du Black Rot sur feuille entre les 6 modalités au 21/07

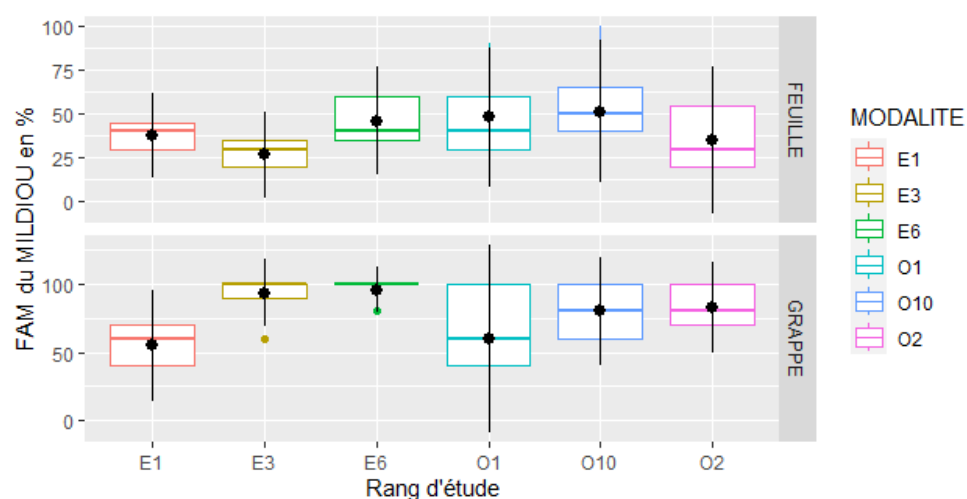


Figure 45 : Comparaison de la FAM (Fréquence d'Attaque Moyenne) du Mildiou, sur feuille et sur grappe, entre les 6 modalités au 21/07

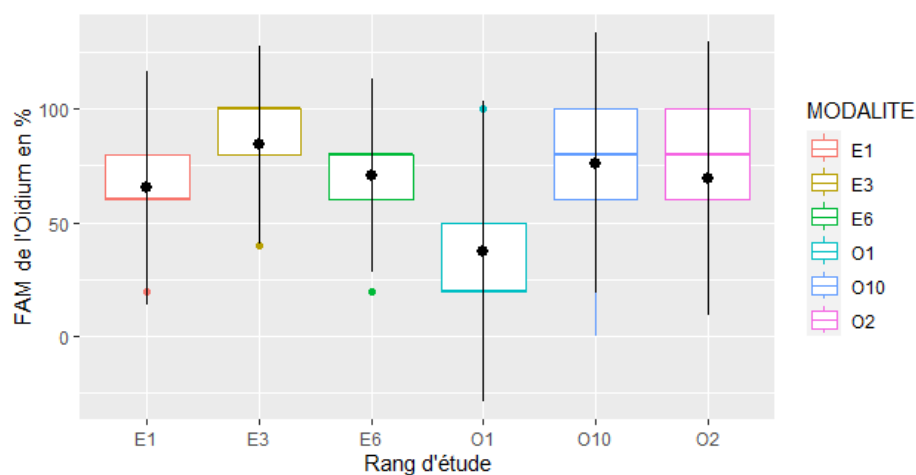


Figure 46 : Comparaison de la FAM (Fréquence d'Attaque Moyenne) De l'Oidium sur grappe, entre les 6 modalités au 21/07

### 5.2.c) Caractérisation de l'état sanitaire de la vigne

Black Rot : Ces données ont fait l'objet d'un test. Le test de Shapiro-Wilk n'ayant pas conclu à la normalité des variables, il a fallu utiliser un test non-paramétrique. Le test de Wilcoxon sur ces données (figure 28) montre qu'il y a significativement plus de Black Rot sur feuille dans la modalité O1 que dans n'importe quelle autre modalité. (Figure 44) En raisonnant en IAM, les résultats sont identiques avec environ 1,5% des surfaces foliaires touchées.

Mildiou : Il n'y a aucune différence significative en termes de FAM du mildiou. La modalité E1 semble un peu moins touchée que ce soit sur les grappes ou sur les feuilles. Globalement le mildiou est très présent, quasiment une feuille sur deux est touchée, et plus de 75% des grappes sont touchées sauf en O1 et en E1. Le mildiou touche en moyenne 5% des feuilles et 10% des grappes. (Figure 45)

Oidium : Aucune différence entre les modalités n'est significative, mais une tendance se dégage. En effet, la modalité E1 semble moins touchée que les autres avec moins d'une grappe sur deux qui est touchée. Tandis que les trois quarts des grappes des autres modalités sont touchées par le mildiou. (Figure 46)

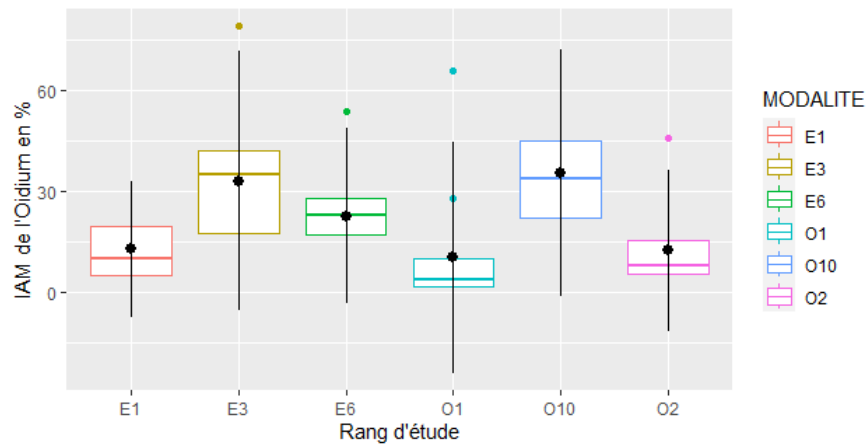


Figure 47: Comparaison de l'IAM (Intensité d'Attaque Moyenne) De l'Oidium sur grappe, entre les 6 modalités au 21/07.

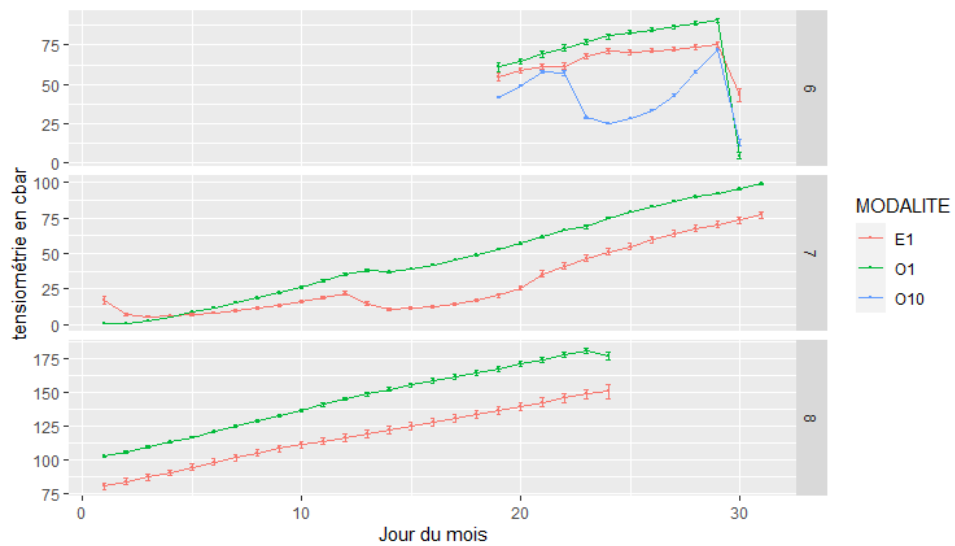


Figure 48: Comparaison de la tensiométrie à 20 cm de profondeur pour 3 modalités (E1, O1 et O10) entre le 19/06 et le 24/08

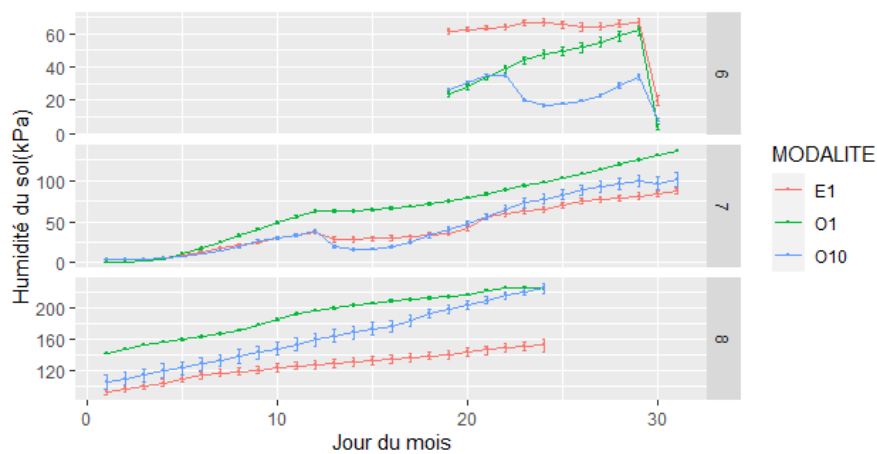


Figure 49: Comparaison de la tensiométrie à 40 cm de profondeur pour 3 modalités (E1, O1 et O10) entre le 19/06 et le 24/08

La figure 47 montre que l'oidium touche moins de grappes, la figure ci-jointe montre que lorsque les grappes de O1 sont touchées, elles le sont sur une surface moins importante bien que ce ne soit pas significatif.

D'autres maladies ont été décelées de manière plus anecdotique lors du suivi sanitaire. De l'érinose provoquée par un acarien a été détectée sur un individu de la modalité E1, O10, O1, O2. De l'esca a été retrouvé en grand nombre au niveau de la placette O10C.

#### 5.2.d) Caractérisation de la tensiométrie (Figure 48-49)

Les observations tensiométriques à 20 et à 40 cm sont très similaires. En juin, la modalité O10 possède le sol le plus humide, la pluie du jeudi 22 juin a humidifié le sol dans le témoin mais pas dans les modalités O1 et E1 contrairement à la pluie du 29 qui est venue engorger le sol d'eau pour chaque modalité. De même la pluie du 12 juillet a humidifié le sol en O10 tandis qu'en O1 et en E1, l'effet de la pluie ne s'est quasiment pas fait ressentir. Les résultats montrent que le sol de la modalité E1 est plus humide que le sol de la modalité O1 alors que la modalité O10 possède une situation intermédiaire sauf en juin où elle est plus humide.

## 6. Discussion

### 6.1) Effet des aménagements agroforestiers sur le microclimat de la vigne

Il semblerait que les arbres aient un effet rafraichissant sur le microclimat, puisque il fait plus frais à l'ouest des arbres le matin et plus frais à l'est l'après-midi. Cet effet, rafraichissant est sûrement dû à l'ombre projeté par les arbres. Le matin les arbres font de l'ombre à l'ouest et l'après-midi à l'est de la haie. Ces résultats confirment ceux obtenus l'année dernière puisque des diminutions pouvant atteindre les 2°C étaient mesurées à l'ouest le matin et à l'est l'après-midi. Mais les arbres ont un effet rafraichissant temporaire sur le microclimat seulement au moment où il crée de l'ombre. En effet La modalité E1 est à la fois la plus chaude le matin, la plus fraîche l'après-midi, et en moyenne la plus chaude puisque la somme de degrés jour est plus importante en E1 pour les 3 mois de l'étude. C'est aussi la modalité où les températures maximales sont le plus souvent supérieures à celle des autres modalités. Le fait que les arbres puissent réchauffer leur voisinage lorsqu'ils ne font pas d'ombres possède plusieurs explications. Selon Brutsaert, les arbres émettent de la chaleur par infra-rouge. Il aurait été intéressant d'avoir les valeurs de la vitesse moyenne du vent en juillet en E1. En effet les vents

jouent un rôle crucial dans la régulation thermique, en E1 il pourrait y avoir un effet d'abris réchauffant<sup>38</sup>.

Lorsque les rangs E1 et O1 (les plus proches des arbres) ne sont pas à l'ombre, l'humidité relative de l'air est plus faible que pour le témoin ce qui signifie que pour une même exposition au soleil, l'humidité sera plus importante sans que avec arbres. Ce résultat est sûrement dû au fait que les arbres représentent une source d'évapotranspiration supplémentaire. Ainsi lorsque la transpiration des arbres n'est pas compensée, par une moindre transpiration des vignes dû à l'ombre, l'humidité de l'air devient plus faible à proximité des arbres qui eux sont constamment exposés au soleil et donc toujours en évapotranspiration.

## 6.2) Effet des aménagements agroforestiers sur le développement de pathogènes fongiques

Cette étude a révélé que le black rot s'était développait de manière préférentielle et localisée sur les individus situés sur le premier rang à l'ouest de la rangée d'arbres. Ce champignon se propage de proche en proche relativement lentement par rapport au mildiou et à l'oïdium<sup>39</sup>. Ce qui explique son expansion moins importante sur la parcelle. Le champignon s'est développé préférentiellement en O1 potentiellement en raison des températures moins élevées et de l'humidité plus importante qui y règne. En effet ce champignon aime les températures plutôt douces entre 23 et 25°C dans l'idéal et il aime les humectations prolongées. Or les résultats montrent bien que la modalité O1 est plus humide et plus fraîche entre 7 et 13h. L'année dernière sur cette meme parcelle aucune trace de Black Rot n'a été retrouvée.

Les précipitations importantes de cette année sont potentiellement à l'origine de l'apparition de ces pathogènes fongiques. Cette année il s'est abattu 155,9 mm d'eau en juin sur Aubenas à 8km du Pradel, soit une augmentation de 109% par rapport à la moyenne calculée entre 1981 et 2010.<sup>40</sup> Soit seulement 40 mm de moins que l'année dernière sur une durée allant de janvier à juillet. Ces pluies ont sûrement jouées sur l'apparition du Mildiou qui en a besoin que ce soit pour la germination des œufs au printemps, ou pour assurer les contaminations primaires et secondaires ensuite.

---

<sup>38</sup> Grimaldi, « Impacts microclimatiques de l'agroforesterie en viticulture : étude de cas dans le sud de la France ».

<sup>39</sup> Petit, « Le black rot ».

<sup>40</sup> « Info climat ».

Concernant l'oïdium on peut supposer que les aménagements agro-forestiers ont un effet. L'oïdium craint la surexposition à la lumière à cause des UV et de la chaleur que cela dégage, mais il préfère les conditions sèches. L'humidité est néfaste au champignon, la FAM et l'IAM semblent légèrement inférieures pour les modalités E1 et O1. Il ne s'agit peut être pas d'une coïncidence étant donné que ces modalités sont plus humides en moyenne (Figure 35-36) respectivement entre 17 et 21h et entre 7 et 13h. En réalité il semble qu'il y ait une corrélation entre l'humidité relative de l'air et la diminution de la FAM de l'oïdium.

### 6.3) Effet des aménagements agroforestiers sur le développement et la croissance de la vigne.

L'analyse des stades phénologiques de la vigne montre que avant le débourrement (stade 9), les ceps de toutes les modalités sont quasiment tous au même stade de développement à l'exception de la modalité E1 légèrement en avance et de la modalité O1 légèrement en retard. Cette observation semble corrélée avec la somme de degrés jour mais seulement jusqu'à la floraison à la différence de ce qu'avait constaté Tonietto et Carbonneau. Le rang d'arbres a un effet réchauffant sur la modalité E1 (partie 6.1), cela a pour effet de rendre plus précoce l'arrivée des premiers stades phénologiques sur ce rang. Fin juillet après avoir passé le stade de la floraison et alors que les fruits sont en cours ou en fin de développement la réalité est totalement différente, ce sont les deux modalités les moins proches des arbres, E6 et le témoin qui sont le plus développées. Cette observation traduit un effet délétère des arbres sur le développement phénologique de la vigne à leur proximité. La compétition hydrique, lumineuse et nutritive peuvent expliquer ces résultats

En termes de croissance, il faut distinguer deux échelles de temps. Si on s'intéresse à la vigne depuis son implantation la rangée d'arbre a un effet totalement différent selon que l'on se trouve à l'est avec un effet bénéfique ou à l'ouest avec un effet délétère. Une hypothèse plausible est que la somme de degrés jour plus importante au niveau du rang E1 lui ait permis de plus croître. D'autant plus que l'après-midi l'ombre a pu créer un léger manque de lumière et donc déclencher un mécanisme de compensation mis en évidence par Archer et Strauss en 1989 qui accentue la taille des tiges. En O1, la croissance faible des rameaux pourrait avoir plusieurs origines, le manque de lumière en matinée, une somme de degrés jour bien plus faible (cet argument est valable seulement si les observations de cette année en termes de degrés jour sont extrapolables sur les dernières années), les arbres situés plus proches engendrant plus de compétitions.

La méthode des Apex s'intéresse à la croissance spontanée, le 21/07 pour cette étude. A cet instant t, la modalité E1 n'est pas plus avantagée que la modalité O1. Les températures plus importantes qui ont été bénéfiques au rang E1 par le passé ne le sont pas cette année. En effet cette année la température maximale de ce rang a souvent excédé les 35°C seuil à partir duquel la croissance de la vigne diminue d'après la figure 16. A cet instant t, ce sont les modalités les plus loins des arbres dont la vigueur est la plus importante. En résumé, les arbres génèrent de la compétition lumineuse, hydrique et nutritive néfastes pour la vigne. Il pourrait s'avérer intéressant pour lutter contre les extrêmes de température mais les résultats montrent que l'atténuation de la chaleur par les arbres n'a pas lieu au moment le plus critique c'est-à-dire vers 15h, au contraire ces arbres possèdent même un effet réchauffant intéressant en début de développement, mais désavantageux lorsque les hautes températures d'été arrivent.

#### 6.4) Effet des aménagements agroforestiers sur la disponibilité en eau de la vigne.

Les résultats permettent d'identifier un effet des arbres sur la disponibilité en eau dans le sol, le sol au niveau du témoin se recharge en eau lors des petites pluies. le jeudi 22 juin, il est tombé 22 mm, mais le mercredi 12 juillet, il est tombé 0,4 mm <sup>41</sup>. Ces pluies ont rechargé le sol dans le témoin mais pas au niveau des modalités agroforestières. Ceci peut s'expliquer par l'interception des pluies par les arbres. Les gouttes d'eau vont alors soit s'évaporer soit être restitué plus tard au sol<sup>42</sup>. Ce qui explique qu'il y ait plus de fluctuation dans le témoin. Le sol en E1 est plus humide qu'en O1, plusieurs explications possibles à cela. Tout d'abord l'alignement d'arbres est plus proche de la modalité O1 que de la modalité E1, ce qui pourrait accentuer le phénomène de compétition hydrique. Mais aussi le phénomène d'interception cité précédemment. Mais une autre explication plausible est la disparité des pluies entre le rang Est et le rang Ouest en effet les arbres modifient les vents or ce sont les vents qui transportent les pluies. D'après Darnhofer le côté au vent est bien plus arrosé que le côté sous le vent.

---

<sup>41</sup> « Info climat ».

<sup>42</sup> Myburgh 2004







*Figure 50 : Vue aérienne (Google earth) de la haie présente au nord de la partie ouest de l'expérimentation*

### 6.5) Limites de l'étude

Les données obtenues avec les anémomètres sont surement biaisées en effet comme on peut le voir sur la figure 50, au nord de la parcelle située à l'ouest de l'alignement d'arbres, on retrouve une haie d'arbres à l'effet brise-vent. Etant donné que le vent principal en été est le mistral soufflant du nord au sud, il se peut que ces arbres ne fassent pas de l'anémomètre en O10 un anémomètre « témoin » c'est-à-dire sans aucune influence de quelconque arbre. C'est sans doute la raison pour laquelle le vent dans le témoin n'est pas plus important qu'ailleurs alors que la zone semble totalement découverte.

Le budget étant limité, le matériel utilisé n'est pas standardisé et donc pas optimisé pour certaines mesures. Par exemple les abris conçus par Agroof ne permettent pas d'évacuer l'air chaud qui monte, ainsi l'air chaud se retrouve concentré sous le toit ce qui peut avoir pour effet une surévaluation des températures mesurées par les sondes Volcraft. Le matériel utilisé est très sensible et il arrive que certaines données soient totalement fausses soit parce que le dispositif a été mal installé, c'est le cas pour les tensiomètres à 20 cm de profondeur de la modalité O10. Les expériences ont lieu à l'extérieur dans un milieu vivant ce qui amène des imprévus, l'anémomètre situé en E1 n'a pas pu fonctionner au mois de juillet à cause de l'augmentation de la végétation qui a bloqué sa rotation. Mais des résultats erronés peuvent aussi être obtenus en raison de problème de transmission du à l'étanchéité du matériel. En réalité les expériences agronomiques sont rarement exploitables à 100% à cause d'erreurs liés aux conditions naturelles.

La recherche est participative et agronomique ce qui signifie que les expériences ont lieu sur le lieu de travail du viticulteur qui vit de sa récolte. Certaines opérations notamment mécaniques viennent malheureusement endommager les dispositifs, le temps de revenir sur le site pour réparer, une sonde peut se retrouver non abritée faussant ainsi les mesures. L'idéal serait d'avoir des parcelles uniquement expérimental bien que cette méthode ne permettrait pas de tenir compte des contraintes du métier et l'approche serait trop scientifique pour obtenir des résultats très concrets. La parcelle n'a pas été conçue pour de l'expérimentation, il se trouve que l'alignement d'arbres intraparcellaire n'est pas vraiment au milieu de la bande enherbée séparant les modalités E1 et O1, les arbres sont 1 mètre plus proche de la modalité O1 que de la modalité E1. Ce qui justifie peut-être certains des résultats obtenus.

Par contrainte de temps, plusieurs observateurs ont parfois été amenés à relever le développement de la vigne, provient alors un biais lié à l'appréciation subjective de

l'observateur. Par manque de temps également, les recherches ont porté sur 90 individus ce qui n'est pas suffisant pour obtenir des moyennes avec des niveaux de confiance très élevés. D'autant que l'échantillonnage réalisé n'est peut-être pas le plus représentatif de la diversité existante.

## 6.6) Perspectives

Dans une étude future, il pourrait s'avérer utile de connaître précisément la pédologie des modalités et du témoin pour savoir si c'est un facteur à exclure. Réaliser une tranchée pourrait être d'une grande aide afin de savoir comment se comportent les systèmes racinaires des arbres et de la vigne. Cette année il a énormément plu début juin au début de la floraison, il n'y a donc pas eu de stress hydrique sur la parcelle, impossible donc de dire à quel point les arbres entrent en compétition avec la vigne pour l'eau. Les résultats de l'année dernière montrent qu'il y a de la compétition cela serait intéressant de la quantifier. Il pourrait être envisageable afin d'étendre la période de l'étude à l'hiver et aux gels tardifs pour savoir si les arbres ont un intérêt dans l'atténuation des conséquences du gel pouvant endommager la vigne au pire des cas sinon les bourgeons.

Avec plus de moyen il pourrait être intéressant de placer davantage de dispositifs microclimatiques notamment ceux pour lesquels 3 placettes sont équipées, c'est-à-dire les anémomètres puisque le moindre problème empêche d'exploiter les résultats de l'entièreté de la modalité.

## 7. Conclusion

Cette étude a mis en avant l'impact des arbres sur son microclimat. L'arbre va générer de l'ombre à l'ouest le matin, à l'est l'après-midi. Cet ombre va avoir un effet rafraichissant sauf au moment le plus critique de la journée entre 13 et 15h, ce qui explique que les températures maximales puissent être atteintes sur des rangées proches des arbres. On assiste même à un effet réchauffant des arbres sur les zones où ils ne génèrent pas d'ombre. Cet effet est associé à un effet desséchant puisque à proximité des arbres, sans ombre de leur part, l'humidité relative de l'air est plus faible. Les arbres entrent en compétition avec les vignes pour l'eau, l'humidité du sol est plus faible à leur proximité et le sol se charge moins facilement en eau lors des pluies. Cette compétition pour l'eau mais aussi pour les nutriments et la lumière semble avoir un effet sur la vigne, en effet ce sont les deux modalités les plus éloignées des arbres qui se sont développées le plus rapidement. La proximité trop importante semble néfaste pour la vigne, c'est

le rang O1 dont la croissance cumulée et le développement sont le plus faible. Enfin les arbres ont un effet sur les attaques fongiques, il est significatif que le black rot a attaqué préférentiellement le rang O1. L'humidité relativement importante dans la zone à l'ombre des arbres semble être un facteur important de l'apparition ou non de certaines maladies. Ainsi, il n'est pas étonnant d'avoir moins d'oïdium qui craint l'humidité au niveau du rang O1.

Ce stage et l'aide à la réalisation du projet VITAM, m'a permis de gagner en autonomie puisqu'il m'a été demandé pour la première fois de mener à bien un projet concret en situation professionnelle. Ce stage a été très professionnalisant, au sein de l'entreprise j'avais mes propres missions, mon propre travail et j'ai dû interagir avec les autres membres à la manière d'un ingénieur en situation de travail, mais j'ai aussi eu l'occasion de participer à des réunions avec quelques très courtes interventions. Cela m'a fait gagner en capacité d'organisation et de gestion de projet puisqu'il fallait gérer les échéances successives et se répartir le travail sur toute la durée du projet afin de ne pas être dépassé au moment du rendu. Ce stage m'a familiarisé avec certains logiciels essentiels au traitement de données comme Excel, ou RStudio. J'ai également appris à me servir des dispositifs de suivis à les programmer et à les relever. J'ai pu me familiariser grâce à une formation à l'utilisation d'une chambre à pression. Ce stage m'a permis de développer ma rigueur et de voir les étapes et la réflexion qu'il est nécessaire d'avoir pour monter un projet de recherche en agronomie.

Mon activité a aussi servi à l'entreprise puisque j'ai pu aider aux relevés sur de nombreux projets : VITAM, Arboreol sur les grandes cultures, et Almanach en maraichage. J'ai contribué à la collecte et à l'élaboration des jeux de données sur Excel. J'ai également contribué à la mise en place des protocoles expérimentaux, aux suivis et à la collecte de données sur trois autres projets. Le projet RAME sur l'intégration des arbres fourragers dans la ration des ruminants, le projet APACHE sur le pâturage des arbres fourragers par les chèvres et le projet PPAM PPAM sur l'interaction entre les SAF et les plantes à parfum, aromatiques et médicinales.

## ANNEXE

Echelle BBCH : Echelle permettant de déterminer le stade phénologique de la vigne.

### La vigne Lorenz et al., 1994

#### **Échelle BBCH des stades phénologiques de la vigne** (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)

Code	Définition
<b>Stade principal 0: bourgeonnement ou débourrement</b>	
00	dormance: les bourgeons d'hiver sont pointus à arrondis, suivant la variété ils sont brun clair à foncé et les écailles sont plus ou moins appliquées aux bourgeons
01	début du gonflement des bourgeons: les bourgeons s'allongent à l'intérieur des écailles
03	fin du gonflement des bourgeons, les bourgeons ne sont pas encore verts
05	«stade de la bourre»: une protection cotonneuse est nettement visible
07	début de l'éclatement des bourgeons (débourrement): l'extrémité verte de la jeune pousse est juste visible
09	débourrement: l'extrémité verte de la jeune pousse est nettement visible
<b>Stade principal 1: développement des feuilles</b>	
11	première feuille étalée et écartée de la pousse
12	2 feuilles étalées
13	3 feuilles étalées
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles sont étalées
<b>Stade principal 5: apparition des inflorescences</b>	
53	les grappes (inflorescences) sont nettement visibles
55	les grappes augmentent de taille, les boutons floraux sont agglomérés
57	les grappes sont bien développées, les fleurs se séparent
<b>Stade principal 6: la floraison</b>	
60	les premiers capuchons floraux se séparent du réceptacle
61	début de la floraison: 10% des capuchons floraux sont tombés
62	20% des capuchons floraux sont tombés
63	floraison partielle: 30% des capuchons floraux sont tombés
64	40% des capuchons floraux sont tombés
65	mi-floraison: 50% des capuchons floraux sont tombés
66	60% des capuchons floraux sont tombés
67	70% des capuchons floraux sont tombés
68	la floraison s'achève: 80% des capuchons floraux sont tombés
69	fin de la floraison

### **Stade principal 7: développement des fruits**

- |    |   |
|----|---|
| 71 | nouaison: début du développement des fruits, toutes les pièces florales sont tombées                    |
| 73 | les fruits (baies) ont la grosseur de plombs de chasse, les grappes commencent à s'incliner vers le bas |
| 75 | les baies ont la grosseur de petit-pois, les grappes sont en position verticale                         |
| 77 | début de la fermeture de la grappe (les baies commencent à se toucher)                                  |
| 79 | la fermeture de la grappe est complète, les fruits ont fini de grossir                                  |
- 

### **Stade principal 8: maturation des baies**

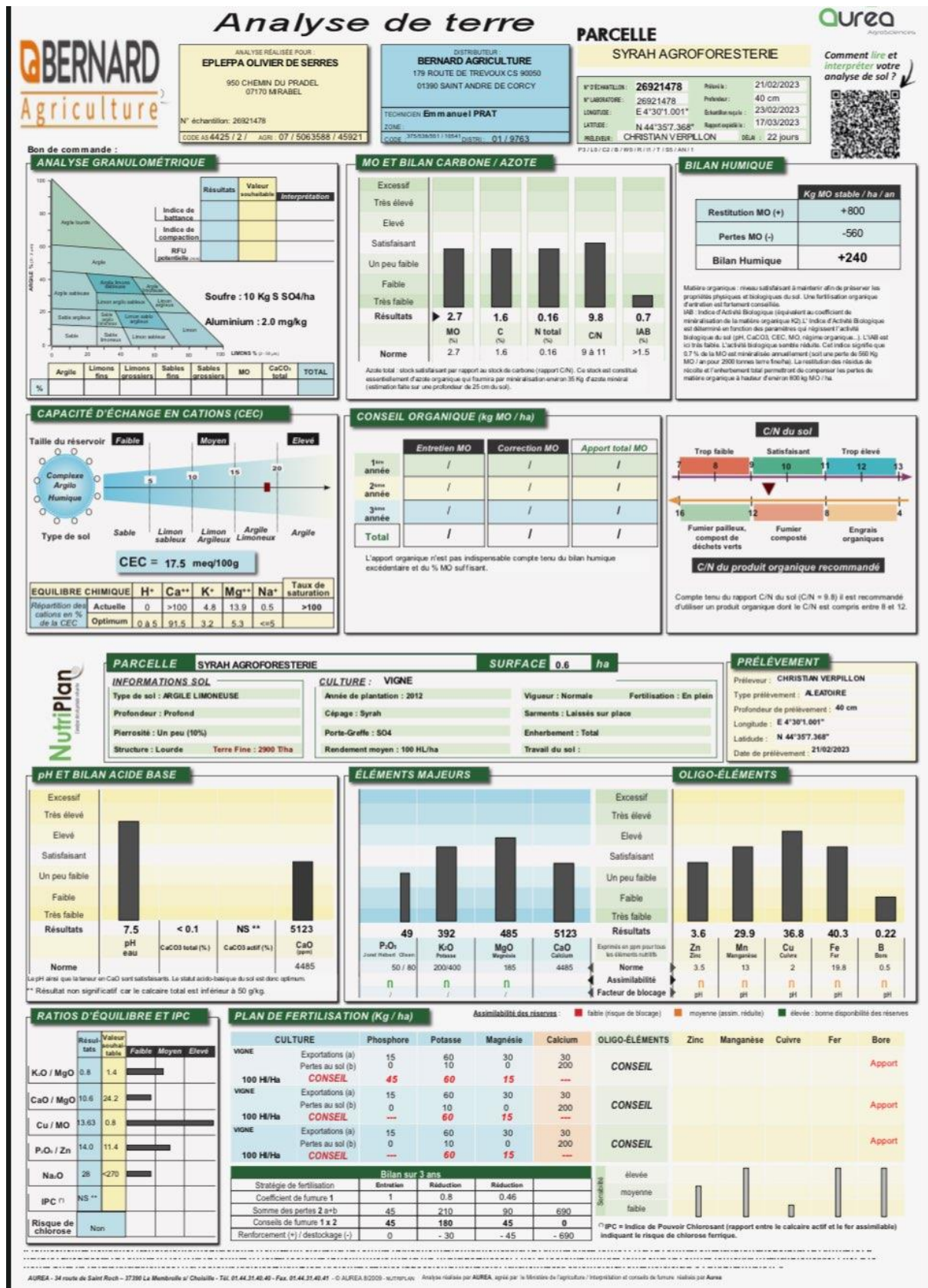
- |    |   |
|----|---|
| 81 | début de la maturation: les baies commencent à s'éclaircir et/ou à changer de couleur |
| 83 | éclaircissement et/ou changement de couleur en cours                                  |
| 85 | véraison: les baies deviennent molles au toucher                                      |
| 89 | les baies sont mûres pour la vendange   |
- 

### **Stade principal 9: sénescence ou début du repos végétatif**

- |    |  |
|----|--|
| 91 | après la vendange: l'aoûtement du bois est terminé |
| 92 | début de la coloration des feuilles                |
| 93 | début de la chute des feuilles                     |
| 95 | 50% des feuilles sont tombées                      |
| 97 | fin de la chute des feuilles                       |
| 99 | baies mûres en phase de conservation               |
-



# Analyse de terre de la parcelle expérimentale





### Lignes de code permettant de réaliser les tests statistiques évoqués en 4.3)

```
setwd("C:/users/thgar/Desktop/STAGE2A")
library(ggplot2)
library(Hmisc)
library(Rmisc)
library(ggpubr)
library(tidyverse)
library(rstatix)
library(car)
library(ade4) ##ACP
library(dplyr)
library(openxlsx)
library(agricolae)
library(emmeans)
library(lsmmeans)
library(multcomp)
library(multcompView)
library(factoextra)
library(FSA)
library(rcompanion)
library(tidyverse)

maladietot<- read.csv("duntest.csv",sep=";",header= TRUE,dec=".",)
maladietot$MODALITE=as.factor(maladietot$MODALITE)
str(maladietot)

# Test de Shapiro-Wilk: Normalité des variables
ggqqplot(maladietot$FAM_BRf)
maladietot %>% shapiro_test(FAM_BRf)

#Test d'Anova
lm1 <- lm(FAM_BRf~ MODALITE, data=maladietot)
Anova(lm1)

# Test de Bartlett
bartlett.test(residuals(lm1)~maladietot$MODALITE)

# Test de Kruskal-Wallis
kruskal.test(FAM_BRf ~ MODALITE, data = maladietot)

# Test de Dunn
Phocdunn <- dunnTest(FAM_BRf ~ MODALITE, data=maladietot, method="bonferroni")
Phocdunn
Phocdunns <- Phocdunn$res

#Test de wilcoxon
PWC <- maladietot %>%
  dunn_test(FAM_BRf ~ MODALITE, p.adjust.method = "bonferroni")
PWC

# Pour mettre le test de wilcoxon sous forme de graphique
ggboxplot(maladietot, x = "MODALITE", y = "FAM_BRf") +
  stat_pvalue_manual(PWC, hide.ns = TRUE, label="p.adj.signif", y.position=45, step.increase = 0.1)+
  ylab("FAM_BRf")+
  xlab("MODALITE")
```

## BIBLIOGRAPHIE

- Arnaud. Interview d'Arnaud viticulteur au Pradel, s. d.
- Bayala J, Wallace JS. « The water balance of mixed tree-crop systems. », 2015, 146-90.
- Bazireau, Marion. « <https://www.vitisphere.com/actualite-96745-du-changement-climatique-sur-le-mildiou-de-la-vigne-loidium-eudemis-.html> », 2022.
- Béral, Camille. Dossier scientifique et technique VITAM à destination de la Fondation De France (s. d.).
- Bourgade, E. « VITIFOREST : Evaluation de l'impact de l'arbre agroforestier en contexte viticole », 2020.
- Brandle JR, Hodges L, Wight B. *Windbreak practices. North American agroforestry: An integrated science and practice*, 2000.
- Chazdon RL. « Sunflecks and Their Importance to Forest Understorey Plants. » *Advances in Ecological Research. Elsevier*, pp 1–63, 1988.
- France AgriMer. « Les chiffre-clés de la filière Viti-Vinicole 2009 - 2019 », s. d.
- Grimaldi, Juliette. « Impacts microclimatiques de l'agroforesterie en viticulture : étude de cas dans le sud de la France », s. d.
- Gross G. « A numerical study of the air flow within and around a single tree. » *Boundary-layer meteorology* 40, 1987, 311-27.
- « Info climat », s. d. <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/aubenas-vals-lanas/07570.html>.

- Liagre Fabien et Dupraz Christian. *Agroforesterie: des arbres et des cultures*, s. d.
- Ministère de l'Agriculture. « La viticulture française », s. d.  
<https://agriculture.gouv.fr/infographie-la-viticulture-francaise#:~:text=17%25%20de%20la%20production%20agricole,soit%2012%20milliards%20d'euro>.
- Mosedale JR, Wilson RJ, Maclean IMD. « Climate Change and Crop Exposure to Adverse Weather: Changes to Frost Risk and Grapevine Flowering Conditions. », 2015. <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pone.0141218>.
- Petit, Audrey. « Le black rot », s. d. <https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/le-black-rot-de-la-vigne/>.
- SCOP Agroof. « Notre recherche en agroforesterie ». Agroof SCOP, s. d. <https://agroof.net/recherche/>.
- Sénat. « L'avenir de la viticulture française », s. d.  
<https://www.senat.fr/rap/r01-349/r01-3491.html#:~:text=Elle%20constitue%20un%20secteur%20essentiel,Airbus%20et%20de%20500%20TGV>.
- Tonietto J, Carbonneau A. « Tonietto J, Carbonneau A A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* 124:81–97. », 2004.
- Trambouze, William, et Nathalie Goma-Fortin. « Agroforesterie viticole : résultats de 11 ans d'étude sur la production et la vigueur des vignes », s. d.

- Van Leeuwen C, Destrac-Irvine A. « Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. », n° OENO One 51 (s. d.).
- Woodall GS, Ward BH. « Soil water relations, crop production and root pruning of a belt of trees. » *Agricultural Water Management* 53, 2002.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00162-7).