



**HAL**  
open science

# Impact des apports d'amendement et de fertilisant sur le rendement viticole : étude dans le vignoble audois au Domaine de Cigalus

Simon Ister

## ► To cite this version:

Simon Ister. Impact des apports d'amendement et de fertilisant sur le rendement viticole : étude dans le vignoble audois au Domaine de Cigalus. Agronomie. 2020. dumas-03174721

**HAL Id: dumas-03174721**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03174721v1>**

Submitted on 19 Mar 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**  
PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU  
**MASTER EN SCIENCES DE LA VIGNE**  
**ET DU VIN**

Impact des apports d'amendement et de fertilisant  
sur le rendement viticole  
Etude dans le vignoble audois  
au *Domaine de Cigalus (11200 Bizanet)*

par

**Simon ISTER**

Année de soutenance : 2020

Organisme d'accueil : Gérard Bertrand



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**  
PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU  
**MASTER EN SCIENCES DE LA VIGNE**  
**ET DU VIN**

Impact des apports d'amendement et de fertilisant  
sur le rendement viticole  
Etude dans le vignoble audois  
au *Domaine de Cigalus (11200 Bizanet)*

par

**Simon ISTER**

Mémoire préparé sous la direction de :  
**Aurélie METAY**

Organisme d'accueil :  
**Gérard Bertrand**

Présenté le :  
**03/11/2020**

Maître de stage :  
**Bastien GAILLARDON**



# Sommaire

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Contexte et état de l'art</b>                          | <b>2</b>  |
| 1.1. Contexte du projet                                      | 2         |
| 1.1.1. Contexte général                                      | 2         |
| 1.1.1.1. Entreprise  | 2         |
| 1.1.1.2. Historique du projet                                | 2         |
| 1.1.1.3. Parcelle expérimentale                              | 3         |
| 1.2. Etat de l'art   | 5         |
| 1.2.1. Facteurs de variabilité du rendement                  | 5         |
| 1.2.2. Le fonctionnement des sols et les pratiques agricoles | 5         |
| 1.2.3. La matière organique (MO) des sols                    | 6         |
| 1.2.4. Les amendements organiques                            | 7         |
| 1.2.5. L'impact des pratiques biodynamiques                  | 7         |
| 1.3. Problématique et démarche                               | 9         |
| 1.3.1. Problématique   | 9         |
| 1.3.2. Hypothèses et postulats                               | 9         |
| 1.3.3. Démarche  | 10        |
| <b>2. Matériel et méthode</b>                                | <b>11</b> |
| 2.1. Parcelle expérimentale                                  | 11        |
| 2.2. Modalités mises en oeuvre                               | 11        |
| 2.3. Indicateurs suivis                                      | 11        |
| 2.3.1. Indicateurs relatifs au vin                           | 12        |
| 2.3.2. Indicateurs relatifs au sol                           | 12        |
| 2.3.3. Indicateurs relatifs au végétal                       | 12        |
| 2.3.4. Synthèse des indicateurs mesurés                      | 14        |
| 2.4. Stratégie d'analyse de données                          | 14        |
| <b>3. Résultats</b>  | <b>16</b> |
| 3.1. Indicateurs relatifs au vin                             | 16        |
| 3.1.1. Dégustation normalisée de fin 2019                    | 16        |
| 3.1.2. Dégustation non normalisée de 2020                    | 16        |
| 3.2. Indicateurs relatifs au sol                             | 16        |
| 3.2.1. Humidité  | 16        |
| 3.2.2. Activité enzymatique                                  | 17        |
| 3.2.3. Biomasse microbienne                                  | 17        |
| 3.2.4. Matière organique                                     | 18        |
| 3.2.5. Tests bêche   | 18        |
| 3.3. Indicateurs relatifs au végétal                         | 19        |
| 3.3.1. Analyses pétiolaires                                  | 19        |
| 3.3.2. Indice de Croissance des Apex                         | 20        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.3. Potentiels de Base   | 21        |
| 3.3.4. Nitrogen Balance Index (NBI)   | 21        |
| 3.3.5. Poids des bois de taille   | 22        |
| 3.3.6. Dynamiques de maturation   | 22        |
| 3.3.7. Rendement  | 23        |
| <b>4. Discussion</b>  | <b>24</b> |
| 4.1. Résultats  | 24        |
| 4.1.1. Activité enzymatique : des résultats conformes aux prévisions                                      | 24        |
| 4.1.2. Biomasse microbienne : des résultats non conformes aux prévisions                                  | 24        |
| 4.1.3. Matières Organique : des prélèvements non standardisés ?   | 24        |
| 4.1.4. Analyses pétiolaires, suivi maturité et NBI : pas de stress azoté, au moins au pas de temps annuel | 24        |
| 4.1.5. Bois de taille : c'est la modalité témoin qui en a le plus   | 24        |
| 4.1.6. Corrélations entre indicateurs : absence de tendance claire  | 24        |
| 4.2. Méthodes   | 25        |
| 4.2.1. Test bêche : un indicateur peu pertinent   | 25        |
| 4.2.2. Potentiel de base : réfléchir les dates d'observation  | 25        |
| 4.2.3. Nitrogen Balance Index (NBI) : un indicateur difficilement exploitable                             | 25        |
| 4.3. Acteurs  | 26        |
| 4.3.1. Pesée des bois de taille : appliquer le protocole  | 26        |
| 4.3.2. Potentiel de base : une erreur en 2020   | 26        |
| 4.4. Retour sur les postulats   | 26        |
| 4.4.1. Homogénéité intra-répétition   | 26        |
| 4.4.2. Effet long terme des amendements   | 26        |
| 4.4.3. Classement de la modalité témoin   | 26        |
| 4.5. Perspectives   | 26        |
| 4.5.1. Hypothèses pour expliquer la faible expression végétative  | 26        |
| 4.5.2. Autres problématiques de la parcelle   | 27        |
| 4.5.3. Et (après-)demain ?  | 28        |
| 4.5.4. Evolution du protocole expérimental  | 28        |
| <b>5. Conclusion</b>  | <b>29</b> |

## Table des figures

|  | Page |
|--|------|
| ■ <a href="#">Figure 1. Fraction de couverture verte</a>   | 3    |
| ■ <a href="#">Figure 2. Zonage du court-noué sur la parcelle</a>   | 4    |
| ■ <a href="#">Figure 3. Positionnement des modalités et des placettes</a>                                | 4    |
| ■ <a href="#">Figure 4. humidité du sol : évolution 2019-2020</a>  | 16   |
| ■ <a href="#">Figure 5. activité enzymatique FDAH en U/g : évolution 2019-2020</a>                       | 17   |
| ■ <a href="#">Figure 6. biomasse microbienne en mg C / kg : évolution 2019-2020</a>                      | 17   |
| ■ <a href="#">Figure 7. matière organique : évolution 2009-2020</a>                                      | 18   |
| ■ <a href="#">Figure 8. classes de tassement du sol</a>  | 19   |
| ■ <a href="#">Figure 9. taux d'indicateurs et ratios dans les valeurs usuelles de variation</a>          | 19   |
| ■ <a href="#">Figure 10. taux d'indicateurs et ratios dans les valeurs usuelles de variation</a>         | 20   |
| ■ <a href="#">Figure 11. Indice de Croissance des Apex (iC-Apex) pour les 12 placette</a>                | 20   |
| ■ <a href="#">Figure 12. Potentiel de base (en bars absolus) pour les 12 placettes</a>                   | 21   |
| ■ <a href="#">Figure 13. NBI pour 60 feuilles par placette à 4 stades phénologiques</a>                  | 21   |
| ■ <a href="#">Figure 14. Masse des bois de taille en kilogrammes d'une centaine de ceps par modalité</a> | 22   |
| ■ <a href="#">Figure 15. Pour 3 dates. état comparé de 3 indicateurs</a>                                 | 23   |
| ■ <a href="#">Figure 16. Rendement comparé des modalités en 2019 et 2020</a>                             | 23   |

## Table des tableaux

|  | Page |
|--|------|
| ■ <a href="#">Tableau 1 : conclusions de diverses études sur l'impact relatif (à l'agriculture biologique ou conventionnelle) de l'approche biodynamique</a> | 7    |
| ■ <a href="#">Tableau 2 : Synthèse des analyses à réaliser sur la durée de l'expérimentation</a>   | 14   |
| ■ <a href="#">Tableau 3 : classement relatif des modalités</a>   | 25   |
| ■ <a href="#">Tableau 4 : autres hypothèses expliquant possiblement la faiblesse structurelle du rendement</a>   | 27   |
| ■ <a href="#">Tableau 5 : autres handicaps de la parcelle et solution pouvant être mises en oeuvre</a>   | 27   |
| ■ <a href="#">Table 12. aux A2-1 : paramétrage des différents apports réalisés depuis 2009 (3 parties)</a>   |      |



## Sigles et abréviations

| <b>Sigle /<br/>Abréviation</b> | <b>Signification</b>   |
|--------------------------------|--|
| AMF                            | Arbuscular Mycorrhizal Fungi (champignons mycorhiziens arbusculaire) |
| C                              | Carbone  |
| LDM                            | Laboratoire Développement Méditerranée                               |
| MO                             | Matière Organique  |
| MOS                            | Matière Organique des Sols   |
| N                              | Nitrogen (azote)   |
| N.S.                           | Non Significatif   |
| NBI                            | Nitrogen Balance Index   |
| S.U.                           | Sans Unité   |
| SRDV                           | Société de Recherche et de Développement Viticole                    |

## Introduction générale

“La relation terre/paysan a depuis longtemps été désacralisée, le sol étant devenu un élément parmi d’autres au sein d’un processus de production, dont peuvent disposer ceux qui détiennent les moyens de l’exploiter au mieux” (Conseil Economique, Social et Environnemental, 2010).

Récemment, sous l’impulsion de différents mouvements (biologique, permaculteur, agroécologique, ...), le regard de l’agriculteur sur son sol change. Le **sol** redevient un **patrimoine**. Patrimoine qu’il faut donc préserver, voire aggrader, pour pouvoir transmettre. Le sol est à nouveau considéré sous l’angle de sa **fertilité** intrinsèque. La science permet de se rendre compte de sa **complexité** jusque là insoupçonnée. En effet, un sol contient plusieurs milliers d’espèces animales et plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers d’espèces de micro-organismes pouvant représenter 1,5 t/ha de faune, 2,5 t/ha de bactéries (jusqu’à 1 milliard d’individus par gramme de sol) et 3,5 t/ha de champignons vivant dans le sol d’une prairie permanente (Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. 2017). Le sol redevient donc un sujet d’étude. Il est de nouveau considéré comme structurant pour les cultures, tant pour les aspects qualitatifs que quantitatifs.

Le domaine de Cigalus (situé à Bizanet, dans l’Aude) est un des premiers domaines du groupe Gérard Bertrand (acquis en 1995), et le premier où est expérimenté la biodynamie (certifié en 2010). La parcelle d’étude (appelée “Merlot Olive”), qui fait partie du domaine, a été acquise en 2009 et fait l’objet de pratiques biologiques et biodynamiques depuis cette date. Elle est considérée comme assez représentative du parcellaire du groupe qui fait face à des problématiques et **rendement** et de **blocage des maturités**. Problématiques pour lesquelles l’approche biologique et et biodynamique du groupe Gérard Bertrand ne permettent pas de répondre de façon satisfaisante à ce jour.

La problématique est donc : “sur la parcelle Merlot Olive, quelles nouvelles **pratiques de fertilisation du sol** (respectant les cahiers de charges bio et biodynamique) peuvent permettre de **remonter** puis stabiliser le **rendement** au-delà de 5 tonnes par hectare ?”

Pour y répondre, un audit a été commandé au consultant Yves Hérody qui a conclu que même si les sols avaient un niveau de matière organique satisfaisant, celle-ci étant dans une forte proportion fossilisée, l’activité biologique du sol était réduite, et donc sa fertilité amoindrie. Il recommandait en particulier des apports massifs d’**amendements organiques frais** (fumier assaini de l’ordre de 10 tonnes par hectare).

Il a donc été décidé de tester cette approche, cependant en la rendant réaliste d’un point de vue opérationnel (apport réduit à 5 t/ ha) et en cherchant à l’aggrader par des pratiques biodynamiques. La société GERMIFLOR, fabricant de fertilisants organiques et organo-minéraux, partenaire de Gérard Bertrand, y a vu l’opportunité de démontrer que ses produits (compost de marc de café, des pulpes d’olives, des feuilles de vinca, des pulpes de raisin et du marc d’œillette, associé à des farines de porc hydrolysées) pourraient amener au même résultat, c’est à dire relancer la vie du sol, augmentant sa fertilité et donc le rendement de la vigne.

L’étude consiste donc à **quantifier les effets sur le sol, la plante, le raisin et de le vin** d’un amendement de **compost de fumier frais biodynamique**, d’un **amendement organique** à rendement humus « élevé » et enfin de ce même amendement mais en corrigeant l’apport en azote pour le rendre similaire à celui du fumier.

Pour y répondre, le présent document adopte une structure classique avec contexte, matériel et méthode, résultats, discussion et conclusion.

# 1. Contexte et état de l'art

## 1.1. Contexte du projet

### 1.1.1. Contexte général

Le groupe Gérard Bertrand met en oeuvre un plan stratégique qui vise à augmenter de façon structurelle le rendement moyen du groupe, actuellement sous les 30 hL / ha. De multiples techniques sont mises en oeuvre pour y parvenir (complantation, irrigation, maîtrise de la coulure, etc.) et notamment celle d'adapter les pratiques d'amendement. Cette expérimentation vise à évaluer si ces nouvelles pratiques peuvent permettre, au moins localement, de relancer la vie du sol et redresser les rendements.

D'un point de vue plus personnel, du fait du confinement et de ses conséquences sur les entreprises, le stage a débuté, non pas le 31 mars mais le 3 juin. Les vendanges ont également démarré précocement (19 août). Le temps à consacrer au sujet (mesures, interprétations...) a donc été significativement réduit.

#### 1.1.1.1. Entreprise

La SCEA du domaine de Cigalus a été rachetée en 1995 par le groupe Gérard Bertrand et a depuis été plusieurs fois agrandi, notamment en 2009 avec le rachat des parcelles "Olive".

Le groupe Gérard Bertrand est multicartes. Il possède 15 domaines et châteaux en Languedoc-Roussillon sur plus de 800 hectares, pratique des activités de négoce et dispose d'un complexe oenotouristique.

La partie domaines et châteaux est regroupée sous le vocable "service Domaines" et regroupe tous les domaines viticoles du groupe. Tous les domaines sont soit certifiés en bio, soit en cours de conversion vers l'agriculture biologique. Dans la même logique, la quasi totalité des domaines sont soit certifiés biodynamiques, soit en cours de certification.

Cette activité de production de vins est à la fois cruciale pour le groupe mais marginale comparée aux volumes commercialisés en négoce. Le groupe se présente en effet comme le leader dans la distribution nationale des vins biologiques et la marque n°1 de vin français aux Etats-Unis (information communiquée par le service marketing de l'entreprise).

Les vins commercialisés en propre doivent classiquement répondre à des exigences qualitatives toujours plus importantes et des exigences quantitatives minimales. Le groupe s'emploie à faire rayonner les vins du Sud de la France dans le monde entier.

#### 1.1.1.2. Historique du projet

Le Domaine de Cigalus d'une superficie de 89 ha plantés est le berceau de la biodynamie du groupe Gérard Bertrand. Le domaine produit ses grands vins en IGP Pays-d'Oc et en IGP Aude-Hauterives (à un prix public de 31 € TTC). Bien que le domaine se situe dans le massif des Corbières, celui-ci ne possède pas de parcelles dans l'AOP correspondante car les **sols** y sont **considérés comme trop fertiles et non représentatifs des Corbières**. Le propriétaire précédent des parcelles "Olive" avait ainsi choisi de les planter (en 1995) en Caladoc, cépage productif. Au moment du rachat, les parcelles ont été pour la plupart surgreffées, et celle sujet de l'expérimentation en Merlot. Cependant, les rendements sont très décevants : 0,9 t / ha en 2016, 0 t / ha en 2017, 0,3 t / ha en 2018 et

4,3 t / ha en 2019, quand le rendement objectif est compris entre 5 t / ha et 8 t / ha (ce qui reste très raisonnable pour des vins en IGP sur des terres considérées comme fertiles).

Pour trouver les racines de ces difficultés, un audit a été commandé à Yves Hérody. Cet audit conclut à un dysfonctionnement hydrique des parcelles (eau stagnante amenant une asphyxie racinaire) et à un sol à faible niveau d'activité biologique. Les recommandations sont donc de réaliser un meilleur **drainage** des parcelles, de **réduire le travail du sol, d'enherber**, et de réaliser des apports massifs de **fumier** assaini, complété en **azote** par des farines animales.

Une expérimentation concernant la forme d'amendement organique au sol a donc été mise en place, dans le but de progresser vers un amendement raisonné et adapté au domaine et à la région (principalement sous l'angle azote). Il s'agira par-là d'étudier l'impact de la forme d'amendement au sol sur l'alimentation hydrique et minérale, sur la vigueur de la vigne, sur la maturité des raisins et enfin sur les qualités organoleptiques du vin. **Deuxième année** sur six ans d'expérimentation, les indicateurs mis en place commencent à révéler certaines informations sur l'évolution de la parcelle.

#### 1.1.1.3. Parcelle expérimentale

Il a été choisi une parcelle représentative des difficultés rencontrées (faible rendement structurel) et facile d'accès. C'est la parcelle "Merlot Olive" (du nom du précédent propriétaire) du domaine du Cigalus qui a été retenue. Comme toutes les parcelles qu'il m'a été donné de voir, elle présente une certaine hétérogénéité, que l'on peut notamment percevoir à travers une vue satellite "fraction de couverture verte" (figure 1).

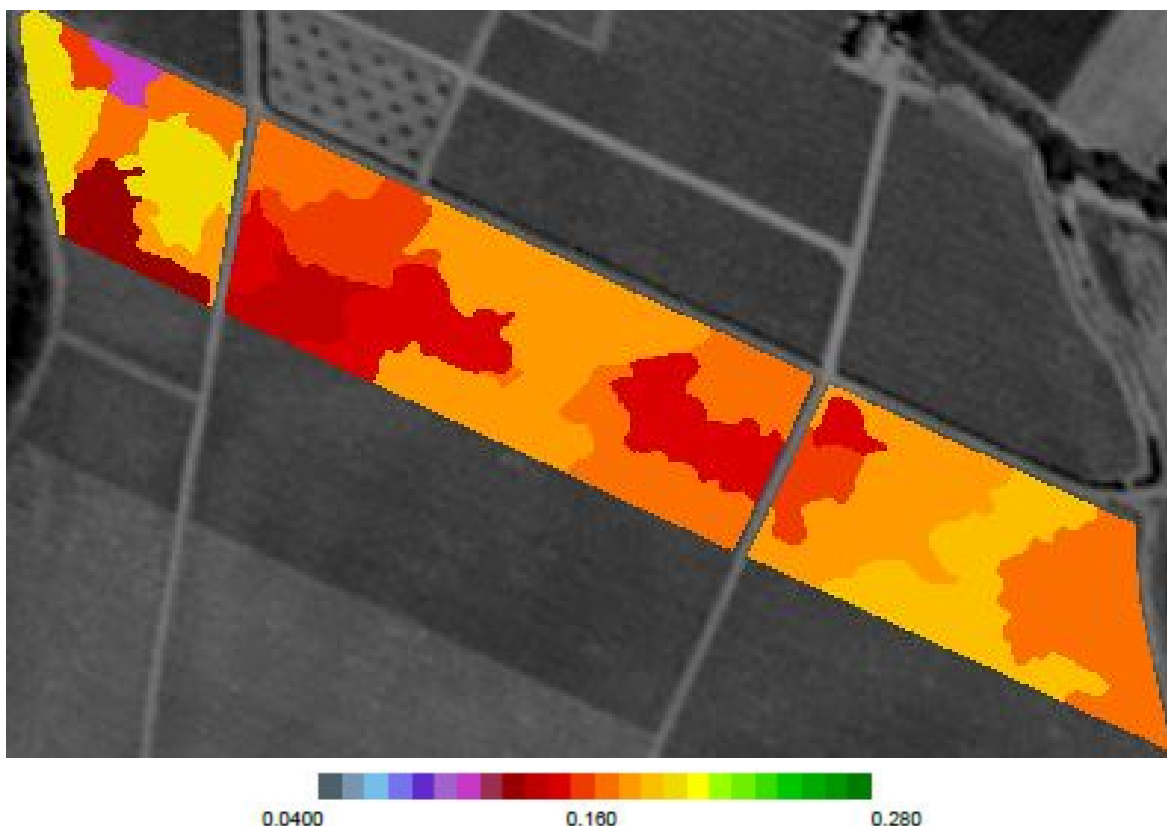


Figure 1. Fraction de couverture verte (Image SPOT7\_PAN - 03/08/2018 - résolution 1.5 m)  
Source : Oenoview, 2018

Cette hétérogénéité de la vigueur tient notamment à une hétérogénéité de l'atteinte des ceps par le court-noué. Une carte de contamination (figure 2) a été établie à dire d'expert (i.e. aux dires du régisseur de la parcelle de 2009 à 2017).

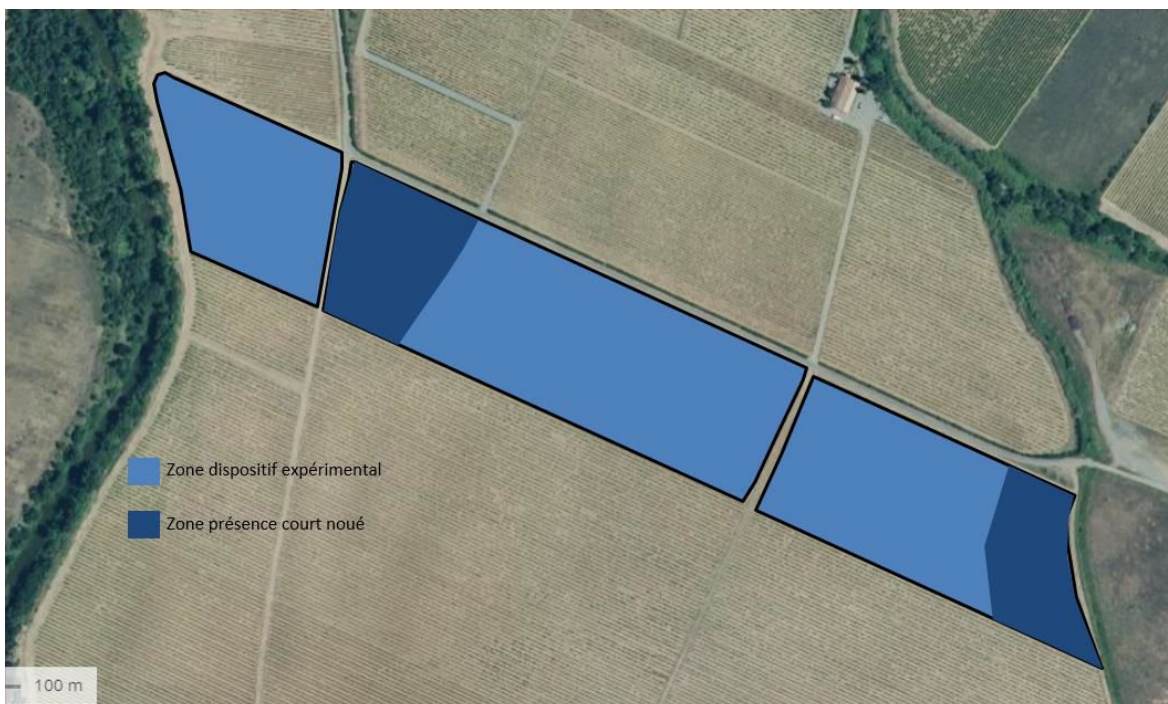


Figure 2. Zonage du court-noué sur la parcelle  
Source : Gilles de Baudus (régisseur historique), 2018

In fine, les placettes (figure 3) ont été positionnées pour réduire l'impact de l'hétérogénéité parcellaire.

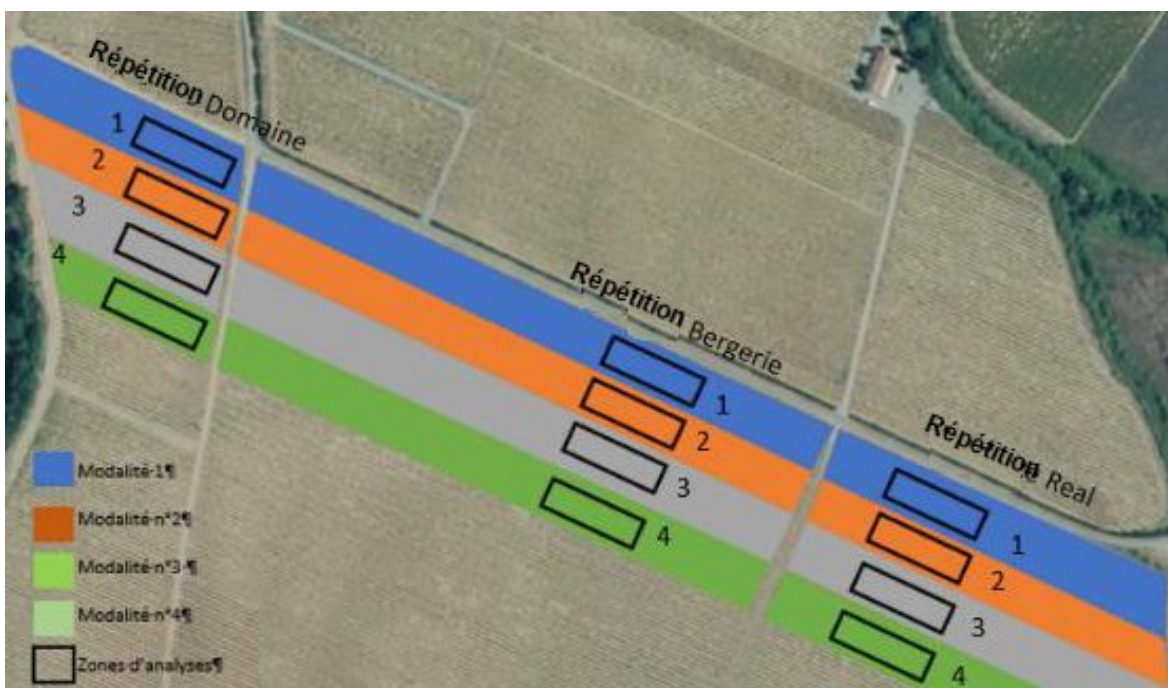


Figure 3. Positionnement des modalités et des placettes  
Source : Bastien Gaillardon (responsable R&D), 2019

Chaque modalité occupe 10 rangs et la parcelle fait 615 mètres de long. Chacune des 12 placettes est subdivisée en 2 zones : une zone restreinte pour les prélèvements ou mesures sur de faibles quantités (typiquement un ou quelques ceps) et des zones plus larges pour les prélèvements nécessitant davantage de ceps.

La parcelle présente une texture de type Limono-Argilo-Sableuse, à fort indice de battance, de structure instable, avec une réserve utile sur les 30 premiers centimètres de seulement 30mm et un rapport C/N bas compris entre 7 et 10.

## **1.2. Etat de l'art**

### **1.2.1. Facteurs de variabilité du rendement**

La carence ou le manque de vigueur (et donc le rendement) peuvent être liés au niveau de nutrition azotée, au mode d'entretien du sol, à des problèmes d'hydromorphie, de sécheresse, de compaction, ou de statut acido-basique (Guilbault P., 2011).

La variation de rendement inter-millésimes est attribuable à quasi-égalité au sol (via le poids des grappes) et au climat (via le nombre de grappes) (van Leeuwen C. et al. 2018).

En effet, un déficit hydrique réduit la taille des baies et provoque un arrêt de croissance précoce (Tregoat O. et al. 2002).

Un déficit précoce (avant véraison) peut même affecter le nombre final de cellules en réduisant la croissance des tissus du mésocarpe. Le stress tardif (pendant la maturation) affectera la croissance des cellules et l'hydratation des baies (Genesio, L. et al., 2015).

Quant à la nutrition azotée, elle va impacter le poids des baies / grappes lors des vendanges. Il n'a pas été observé d'impact sur le nombre de grappes (Vrignon-Brenas S. et al., 2019).

### **1.2.2. Le fonctionnement des sols et les pratiques agricoles**

Une étude (Habran A., 2015) fait le lien entre les 2 principaux facteurs de variabilité du rendement du paragraphe précédent : l'azote et l'eau. En effet, une partie des effets de la contrainte hydrique sont en fait liés à une carence azotée entraînée indirectement par la diminution d'absorption d'eau.

Les grands vins peuvent être produits sur une grande variété de sols (van Leeuwen C. et al. 2018), ce qui laisse à penser qu'on peut obtenir de grands vins sur une grande variété de sol, autrement dit que la qualité du vin n'est pas très sol-dépendante. En revanche, les pratiques agricoles à mettre en oeuvre pour aggrader un sol sont très sol-dépendantes (Salomé C et al., 2015), à l'exception des couverts végétaux sur l'inter-rang qui améliorent systématiquement le fonctionnement du sol (ibid).

Lesdits couverts végétaux provoqueraient en effet une augmentation de l'activité enzymatique (Virto et al., 2012).

A l'opposé, le labour (par rapport au non labour) aurait un impact négatif sur le stockage de carbone et d'azote dans le sol, sur toutes les activités enzymatiques et sur les indices biologiques (Riffaldi R. et al., 2005).

Ces deux pratiques pourraient avoir un fort impact sur le taux de mycorhization des ceps de vigne. Or les champignons mycorhiziens (AMF) amélioreraient la tolérance aux stress abiotiques (stress hydrique, salinité, chlorose ferrique, toxicité des métaux lourds...) (Trouvelot, S. et al., 2015).

### 1.2.3. La matière organique (MO) des sols

La MOS constitue un paramètre clé dans le sol (Cambou A., 2018), jouant un rôle prépondérant sur :

- la fertilité physique, en particulier, en favorisant l'agrégation, l'aération, la porosité, la rétention en eau, la croissance des racines, les échanges gazeux ;
- la fertilité chimique : elle a une capacité de tampon, elle régule le pH, retient les cations échangeables, constitue une réserve de nutriments ;
- la fertilité biologique : elle favorise l'activité microbienne, et l'activité et la diversité des espèces de la faune et de la flore du sol.

Outre son impact sur les fertilités, la matière organique est parée de bien d'autres qualités (Houot S., 2017). Elle :

- diminue la résistance à la pénétration
- augmente la vitesse d'infiltration
- abaisse les forces de traction nécessaires au travail du sol
- améliore la stabilité structurale

A titre d'exemple (non sourcé), le seuil critique en matières organiques pour garantir une stabilité suffisante (pour un sol donné) serait de 2,6%. Et les croûtes de battance disparaîtraient au-delà de 7% de taux de matières organiques.

D'autres auteurs (Johannes A. et al., 2017) considèrent que plus le taux de MO (matières organiques) est important, meilleures sont les propriétés physiques du sol considéré (et ceci indépendamment du contenu en argiles). Néanmoins, une bonne structure serait favorisée par un taux de MO au moins égal à 10% du contenu en argiles (ibid). Il est entendu que quelque soit le contenu en carbone d'un sol, il peut toujours être compacté (mécaniquement). Le carbone ne joue qu'un rôle d'"amortisseur".

Il suffirait donc d'apporter des quantités importantes d'amendements pour avoir un taux de MO élevé et tous les bienfaits associés. Mais les apports d'engrais minéraux comme d'engrais organiques ne suffisent pas à maintenir le taux de matière organique (dans les quantités apportées usuellement) (Maltas A. 2012). Contre-intuitivement, la majeure partie du carbone apporté (résidus animaux ou végétaux) retourne à l'atmosphère. La part de carbone accumulée dans le sol est seulement de l'ordre de 20% à 40% des apports (Peltre C., 2010).

Pour ce qui concerne les pertes en matières organiques du sol, elles le sont par minéralisation, modélisée par le  $k_2$  (coefficient de minéralisation) qui (Fertilisation raisonnée et Biogéochimie. INPT) :

- est maximal à pH 7, avec humidité moyenne, à 30°C
- croît avec le travail du sol
- décroît avec les argiles et les carbonates

On notera que l'on peut "décomposer" la matière organique en différentes classes, par exemple (Chambre d'Agriculture du Languedoc-Roussillon, 2011) :

- la MO stable "humus" (substances humiques (acides fulviques, acides humiques, et humines) + composés inertes (charbon...)) : 1000 ans de temps de résidence et 70% à 90% de la MO
- la MO facilement décomposable (débris végétaux) : 6% à 24% de la MO et 2 à 30 ans de résidence
- les organismes vivants (macrofaune + biomasse microbienne) : 2% à 12% de la MO et temps de résidence de 6 mois à 2 ans

#### 1.2.4. Les amendements organiques

Typiquement, une vigne conduite pour faire des vins qualitatifs à rendement modéré n'a pas besoin d'être fertilisée : la fourniture en azote du sol est généralement suffisante pour couvrir les faibles besoins de la vigne que l'on peut estimer entre 20 et 30 kg d'azote par hectare et par an pour un rendement de 50 à 70 hL/ha (Guilbault P., 2011).

Fertiliser est néanmoins une pratique relativement courante et qui apporte d'autres bienfaits, même si les engrais organiques n'affectent pas significativement les principales propriétés chimiques du sol, hormis les teneurs en éléments traces (Maltas A. 2012). En revanche, les engrais organiques ont un effet significativement positif sur l'activité et la biomasse microbienne et semblent modifier la composition de cette dernière (ibid).

On pourra noter par exemple que le fumier composté jeune est plus favorable aux vers de terre que le fumier mûre (FiBL, 2013) et que le compost renforce les communautés microbiennes (Mackie, K.A. et al., 2015).

Pour faire le lien avec la matière organique, on notera qu'un rapport C/N élevé implique une décomposition lente dans le sol mais un humus obtenu stable (Fertilisation raisonnée et Biogéochimie. INPT).

#### 1.2.5. L'impact des pratiques biodynamiques

Les effets sur la minéralisation du C et du N mettent des années à être visibles (Marinari S. et al., 2010). A titre d'exemple, Carpenter-Boggs (2000) n'ont pas été en mesure de reproduire les différences de façon fiable dans une comparaison sur deux ans entre une fertilisation biodynamique et biologique (Geier U., 2016). On sait donc que la plupart de **nos mesures** (réalisées au plus tard 2 ans après le début de l'expérience) **ne mettront pas en évidence des écarts significatifs** entre les modalités, mais que l'on peut espérer en observer les dernières années de l'expérimentation.

L'analyse scientifique (tableau 1) des résultats de la biodynamie sur les sols, les plantes, les fruits, le vin... fait l'objet de grandes controverses. Les études se suivent et se contredisent. Il a été choisi présenter non pas les résultats détaillés des principales études, mais plutôt la diversité des études (toutes celles indiquées ci-après n'ont pas été analysées par l'auteur) et de leurs résultats. On notera au passage que l'impact de la biodynamie du sol semble faire consensus.

*Tableau 1 : conclusions de diverses études sur l'impact relatif (à l'agriculture biologique ou conventionnelle) de l'approche biodynamique  
Source : l'auteur, août 2020*

| Critères          | Biodynamie différente de Bio  | Biodynamie différente du conventionnel | Pas de différence significative |
|-------------------|---|--|---------------------------------|
| Sol               |   |  |                                 |
| Flux de Phosphore | Maeder et al., 2005   |  |                                 |
| ph                | Fliessbach et al., 2001<br>Di Giacinto S. et al. 2020   |  | Berry, 2005                     |
| Battance          | Fliessbach et al., 2001   |  |                                 |
| Matière Organique | Turineck et al., 2009<br>Goldstein et al., 2004<br>Reganold, 1995<br>Maeder et al., 2002<br>Raupp & Oltmanns, |  | Burkitt et al., 2007            |



|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|   | 2006   |  |   |
| Ressuyage   | Berry, 2005  |  |   |
| Azote total   | Reganold, 1995   |  |   |
| Azote minéral   |  | Di Giacinto S. et al.<br>2020                  |   |
| Diversité microbienne   | Fliessbach et al., 2001<br>Maeder et al., 2002                             | Fliessbach et al., 2001<br>Maeder et al., 2002 |   |
| Biomasse  | Fliessbach et al., 2001<br>Maeder et al., 2002<br>Zaller J.G. et al., 2004 | Fliessbach et al., 2001<br>Maeder et al., 2002 | Berry, 2005<br>Burkitt et al., 2007   |
| Efficacité microbienne  |  |  | Reev et al., 2005<br>Goldstein et al., 2004                                 |
| Structure microbienne   |  | Di Giacinto S. et al.<br>2020                  |   |
| Activité biologique   |  | Meissner G. 2019                               | Berry, 2005<br>Goldstein et al., 2004                                       |
| Abondance vers de terre   | Zaller J.G. et al., 2004   | Burkitt et al., 2007                           |   |
| Biodiversité des vers de terre  | Fliessbach et al., 2001  |  |   |
| Macro-éléments  |  |  | Probst B. et al., 2008  |
| Potentiel foliaire de base (stress hydrique)                          | Döring et al., 2015  |  |   |
| Structure du sol  | Fliessbach et al., 2001  |  |   |
| Teneurs en protéines ou en acides aminés hydrolysables                | Scheller & Raupp, 2005   |  |   |
| <b>Plante</b>   |  |  |   |
| Rendement vigne   |  | Döring et al., 2015                            | Reev et al., 2005<br>Renato Vasconcelos Botelho et al., 2015                |
| Rendement autres cultures   | Goldstein et al., 2004<br>Raupp et König, 1996                             |  | Berry, 2005   |
| Masse des racines autres cultures                                     |  |  |   |
| Poids des baies   |  |  | Reev et al., 2005<br>ATV49, 2017  |
| Bois de taille  |  |  | Reev et al., 2005<br>ATV49, 2017<br>Renato Vasconcelos Botelho et al., 2015 |
| Longueur des sarments   | Meissner, 2014   |  |   |
| Densité foliaire  | Meissner, 2014   |  |   |
| Taux oligo-éléments foliaires   | Lorimer, 2014  |  |   |
| Teneurs des sarments  |  |  | ATV49, 2017   |
| Pourriture grise  |  |  | ATV49, 2017   |
| Indices de chlorophylle   | Meunier et al., 2013   |  |   |
| Vigueur   | Meissner, 2014   |  |   |
| Conductance stomatique (efficience d'utilisation de l'eau)            | Renato Vasconcelos Botelho et al., 2015                                    | Renato Vasconcelos Botelho et al., 2015        |   |
| Activité enzymatique foliaire en lien avec l'induction de résistances | Renato Vasconcelos Botelho et al., 2015                                    | Renato Vasconcelos Botelho et al., 2015        |   |

| Vin                                 |                       |                       |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Composition du moût                 |                       |                       | Meissner G., 2019     |
| Azote assimilable                   |                       |                       | ATV49, 2017           |
| ph                                  |                       |                       | Johnston et al., 2015 |
| Acidité totale                      |                       |                       | Johnston et al., 2015 |
| Acide tartrique                     |                       |                       | ATV49, 2017           |
| Indice des Polyphénols Totaux (IPT) |                       |                       | ATV49, 2017           |
| Degré d'alcool                      |                       |                       | Johnston et al., 2015 |
| Complexité aromatique               | Johnston et al., 2015 | Johnston et al., 2015 |                       |
| Cristallisation sensible            | Fritz J. et al., 2020 | Fritz J. et al., 2020 |                       |

### 1.3. Problématique et démarche

#### 1.3.1. Problématique

Compte tenu du décalage récurrent entre le rendement de la parcelle Merlot Olive et son potentiel (cf partie [Contexte et état de l'art](#)), la problématique est donc : un apport annuel d'un amendement et d'un fertilisant adaptés permet-il de redresser durablement les rendements de la parcelle ?

Avec une question secondaire : un compost biodynamique frais est-il plus adapté qu'un amendement biologique ?

#### 1.3.2. Hypothèses et postulats

Nous allons donc tester les hypothèses suivantes :

- un apport de compost biodynamique (à hauteur de 5 t/ha), complété par une fertilisation azotée (200 kg/ha d'AB'FLOR 13N), permet sur le long terme (à horizon 6 ans) de redresser le rendement et de le stabiliser (entre 5 t/ha et 8 t/ha)
- un apport d'amendement organique (1 t/ha de BIOMAZOR) couplé à un fertilisant azoté (200 kg d'AB'FLOR 13N) permet d'atteindre les mêmes objectifs
- réduire l'amendement organique (1,5 t/ha de BIOMAZOR tous les 2 ans) couplé à un fertilisant (500 kg d'AB'FLOR 8.10.2) avec une moindre apport azoté permet d'atteindre les mêmes objectifs
- l'absence d'amendement ne permet pas d'atteindre les rendements souhaités

Les postulats qui permettent d'étayer les hypothèses sont les suivants :

- la parcelle est considérée comme homogène à l'intérieur de chacune des 3 répétitions
- les amendements vont avoir des effets à long terme (années 4, 5, 6) sur la fertilité du sol, et donc la vigueur de la vigne, et donc le rendement
- les fertilisants vont avoir des effets à court terme (et tout au long de l'expérimentation) sur la vigueur de la vigne, et donc le rendement

On s'attend à ce que la modalité témoin soit ait des résultats inférieurs aux autres modalités sur tous les indicateurs, avec un effet probablement peu ou pas identifiable les premières années, mais qui va croître de façon exponentielle.

### 1.3.3. Démarche

Pour aborder la problématique, il a été choisi de tester 4 modalités sur une parcelle test (selon 3 répétitions), représentative du domaine Cigalus et qui, malgré sa jeunesse (25 ans), et la profondeur de son sol, a un faible développement végétatif et des rendements en-deçà des objectifs. Le choix de ces modalités est inspiré à la fois de l'audit précédemment évoqué (qui recommandait 10 t/ha à 12 t/ha de fumier composté frais, d'enherber et de favoriser le drainage de la parcelle) et du partenaire principal de l'expérimentation : la société GERMIFLOR.

Un pas de temps long a été retenu : 6 ans. La plupart des indicateurs seront suivis de façon annuelle pour chacune des modalités et pour chacune des placettes. Le compost étant réalisé maison, il est analysé chaque année. Le présent rapport détaille les résultats obtenus au cours de la **deuxième année de l'expérimentation**.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Parcelle expérimentale

La parcelle expérimentale (Merlot Olive) est une parcelle de plaine, de structure limono-argilo-sableuse, ayant un historique de rendement en-deçà des potentialités du terroir.

### 2.2. Modalités mises en oeuvre

Traditionnellement, le groupe Gérard Bertrand utilise des amendements organiques, type Biomazor de Germiflor, éventuellement complétés par des engrais azotés. L'audit réalisé par Yves Hérody préconisait en particulier des apports massifs de fumier assaini (supérieurs à 10 t/ha/an), complémenté en azote et en "sucres". Il a été choisi de réaliser 4 modalités :

- **Modalité 4** : Témoin Non Traité (TNT)  
Pas d'apport au sol.
- **Modalité 3** : Amendement organique couplé à une fertilisation azotée  
L'amendement organique est un compost végétal (associé à des poudres d'os et des protéines animales) Humiflor Biomazor (de GERMIFLOR) à hauteur de 1 t/ha/an (conformément aux recommandations du fournisseur), couplé à un engrais azoté, en l'occurrence de l'AB'FLOR 13N à hauteur de 200 kg/ha/an ; cette modalité apporte donc au sol 47 unités d'azote (UN) par an.
- **Modalité 2** : compost de fumier frais biodynamique (réalisé sur place) à hauteur de 5 t/ha/an, couplé au même fertilisant azoté que la modalité précédente pour la même quantité ; au vu des 2 analyses réalisées, le compost de fumier contient de 27 UN/ha à 39/UN/ha et donc cette modalité apporte au sol de 53 UN/ha/an à 65 UN/ha/an.
- **Modalité 1** : alternance d'amendement organique Humiflor à hauteur de 1,5 t/ha tous les 2 ans et d'engrais AB'FLOR 8.10.2 à hauteur de 500 kg/ha tous les 2 ans ; cette modalité apporte donc en moyenne 35,8 UN/ha/an. Cette modalité était censée correspondre à la modalité 3, mais en corrigeant l'apport azoté pour correspondre à l'apport de la modalité 2. Au vu des analyses réalisées sur le compost, on observe que le contenu azoté du compost diffère significativement des prévisions. Cette modalité pourra donc être revue. En l'état, elle n'est pas plus intéressante que la modalité 3.

Note : la société GERMIFLOR est partenaire de l'expérimentation. Elle cherche à démontrer que ses produits (Biomazor) sont au moins aussi performants que les composts de fumiers réalisés *in situ* pour stimuler la vie du sol et augmenter sa fertilité.

Les mesures sont effectuées avec 3 répétitions ("Real", "Bergerie" et "Domaine") par modalité ce qui permet de faire des comparaisons statistiques entre modalités.

Note : Pour certains indicateurs, la notion de répétition ne sera pas utilisée (quantité de données trop réduite).

### 2.3. Indicateurs suivis

Pour avoir une vue d'ensemble de la réaction du système à ces différents intrants, il a été choisi un grand nombre d'indicateurs. Certains ne seront mesurés qu'au départ et à la fin du projet, mais la plupart seront suivis à un pas de temps annuel, à un stage phénologique déterminé.

### 2.3.1. Indicateurs relatifs au vin

Sont réalisées, si possible, des **micro-vinifications**, et à l'issue de ces vinifications, des dégustations visant à évaluer les spécificités de chaque micro-vinification.

En 2019, en salle de dégustation avec 34 étudiants de Bordeaux Sciences Agro, a été réalisé un test triangulaire avec un vin témoin, un vin "compost" (modalité 2) et un vin "Germiflor" (modalité 3). Ce test a été couplé avec un classement des 3 vins selon le critère de typicité du Merlot.

En 2020, les 3 vins ont été dégustés dans des conditions non contrôlées par 7 dégustateurs avec redondance d'un des vins.

### 2.3.2. Indicateurs relatifs au sol

Seront réalisées en première année et en dernière année d'expérimentation des **analyses de sols** (paramètres physiques et chimiques) ainsi que des essais de **cinétiques de minéralisation** (norme XP U44-163 de décembre 2009). Je ne disposerai donc pas de nouvelles analyses de ce type. En revanche, sont réalisés en routine des **tests bêche** et des mesures de l'activité microbiologique et de la biomasse.

Les tests bêche ont été réalisés selon le protocole et la classification du Guide d'utilisation de l'ISARA Lyon (version de décembre 2016). Ils permettent de caractériser la structure du sol et son état de tassement. Les tests ont été réalisés le 2 avril par Bastien Gaillardon.

Les mesures d'**activité microbiologique et de biomasse** sont réalisées par le Laboratoire Développement Méditerranée (LDM) selon des prélèvements de terre à la tarière à 30 cm réalisés le 9 juin. Ces mesures regroupent les valeurs suivantes :

- taux de matières organiques (et donc de carbone organique)
- taux d'humidité
- biomasse microbienne (en mg de carbone par kilo de sol)
- activité enzymatique FDAH (fluorescein diacetate hydrolysis) en unité par gramme

Note : les taux de matières organiques s'avéreront non exploitables (au vu de l'incohérence des valeurs).

### 2.3.3. Indicateurs relatifs au végétal

Sont réalisés en début et en fin d'expérimentation des analyses de sarments. Je n'en dispose donc pas de nouvelles.

Sont réalisés en routine des analyses pétiolaires, cette année au stade fermeture de la grappe. Ces analyses sont réalisées par le SRDV (Société de Recherche et de Développement Viticole) et comprennent les teneurs en oligo-éléments dans les pétioles. L'azote total est déterminé par proche infra-rouge. Les autres éléments sont obtenus par minéralisation par voie humide en système ouvert puis détection et quantification par MP-AES. L'incertitude de mesure est de 20% (21% pour Ca et P). 50 pétioles ont été prélevés par couple modalité-répétition, avec un pétiole maximum par pied. Conformément au protocole SRDV, c'est un pétiole opposé à une grappe qui a été prélevé. On sait que l'analyse pétiolaire permet d'accéder à des normes "universelles" (ou à tout le moins, peu cépage-dépendantes) (van Leeuwen C. et al, 2011).

Pour rendre compte des dynamiques de croissance différentes mesures ont été réalisées jusqu'à une fois par semaine : les mesures de **NBI** (Nitrogen Balance Index), de **croissance des apex** et de **potentiels de base**.

Les mesures de NBI ont été réalisées via un appareil Dualex de Force-A. Les mesures ont été réalisées sur la 5ème feuille de plus de 3cm de diamètre en partant de l'apex. Le

NBI, comme son nom l'indique, est censé mesurer le statut azoté de la vigne. Il calcule le rapport chlorophylles en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  (mesuré à travers le flux de lumière traversant la feuille) sur flavonols en unités d'absorbance. Le protocole classique a été utilisé : mesure de 60 feuilles recto-verso pour chaque couple modalité-répétition. Le NBI est dorénavant considéré comme une mesure robuste du contenu en azote du végétal (Zoran G. et al., 2015), bien qu'il n'existe pas de références absolues (en dehors du Merlot dans un contexte bordelais).

Les mesures de croissance de l'apex ont été réalisées à l'aide de l'application Apex-Vigne réalisées par l'IFV et Montpellier SupAgro. C'est l'indicateur directement calculé par l'application qui a été utilisé. La plupart des observations ont pu être faites sur des rameaux non écimés. En cas d'écimage sévère, ce sont les dernières feuilles avant le point de rognage qui ont été utilisées. 50 observations sont faites par couple modalité-répétition.

Les potentiels de base ont été réalisés avant le lever du soleil avec un matériel prêté par l'INRA de Pech Rouge. Si les résultats des 3 premières feuilles prélevées sur un couple modalité-répétition sont homogènes (pas plus d'un bar d'écart), le potentiel de base de la placette est considéré comme égal à la moyenne de ces 3 mesures. Si les 3 mesures ne sont pas homogènes, 5 mesures sont réalisées et le potentiel de base de la placette est considéré comme égal à la moyenne de ces 5 mesures. Les feuilles sont prélevées en face des grappes. Concernant le suivi hydrique des placettes, la discrimination isotopique du carbone ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  C13), le potentiel tige et le potentiel foliaire de base auraient été pertinents (Tregoat O. et al., 2002). Cette année, c'est le potentiel de base qui a été utilisé. On sait que ce potentiel de base est corrélé de manière satisfaisante avec le poids des baies, la croissance des rameaux, la précocité de l'arrêt de croissance, le poids des bois de taille, etc. (C. van Leeuwen et al., 1994).

Sont également réalisés des contrôles de maturité (dynamique d'évolution du rapport sucres sur acides, de la concentration en azote assimilable, etc., via les analyses du laboratoire Dubernet). 3 relevés ont été réalisés en date du 11 août, du 18 août et du 10 septembre. On utilise donc au moins 3 indicateurs relatifs au statut azoté. Chaque indicateur étant imparfait, il est en effet recommandé de croiser plusieurs mesures (van Leeuwen C. et al, 2011).

Concernant la vigueur, les **rendements** de chaque modalité sont comparés (pesée des bennes) ainsi que la **masse des bois de taille**. Il était prévu de peser 2 piquetées sur 2 rangs pour chaque placette, soit environ 28 pieds, le jour même de la taille. La réalisation a été simplifiée en janvier 2020.

Sont enfin réalisées des **crystallisations sensibles** (sur les sarments). D'après Wikipédia, "la cristallisation sensible [...] est un procédé pseudo-scientifique de caractérisation utilisé notamment par les partisans de l'anthroposophie et de la biodynamie [...]. Pour ses adeptes, elle constitue une des méthodes globales d'évaluation de la qualité d'un produit [...] basée sur l'analyse de la forme macroscopique des cristaux obtenus par cristallisation dans une enceinte dont les conditions sont standardisées. [...]. On obtient ainsi une image avec des cristaux plus ou moins organisés selon la nature et le type d'additifs ajouté." Les cristallisations antérieures à 2020 ont été réalisées par la consultante Margarethe Chapelle. La cristallisation sensible consiste à décrire les images obtenues (une vingtaine de paramètres) et d'en tirer des conclusions quant aux propriétés de la matière organique analysée.

#### 2.3.4. Synthèse des indicateurs mesurés

Le tableau 2 résume l'ensemble des indicateurs mesurés.

Tableau 2 : Synthèse des analyses à réaliser sur la durée de l'expérimentation  
Source : protocole expérimental, Bastien Gaillardon (responsable R&D), 2019

|            | janvier | février | mars  | avril | mai   | juin | juillet            | août | septembre          | octobre  | novembre | décembre  |
|------------|---------|---------|---|-------|---|------|--------------------|------|--------------------|--|----------|---|
| année 2019 |         |         | Analyse de sol + granulométrie<br>Analyse du fumier<br>NEM Geneview |       | Test bêche<br>Activité microbiologique et biomasse<br>Cinétique de minéralisation |      | Analyse pétrolière |      | Contrôles maturité | Micro vinification (par GB si cela est possible)<br>Rendements / modalité si cela est possible |          | Analyse de sarmes<br>Cristallisation sensible<br>Pesée des bois de taille |
| année 2020 |         |         | Analyse du fumier   |       | Test bêche<br>Activité microbiologique et biomasse                                |      | Analyse pétrolière |      | Contrôles maturité | Rendements / modalité si cela est possible   |          | Cristallisation sensible  |
| année 2021 |         |         | Analyse du fumier   |       | Test bêche<br>Activité microbiologique et biomasse                                |      | Analyse pétrolière |      | Contrôles maturité | Rendements / modalité si cela est possible   |          | Cristallisation sensible  |
| année 2022 |         |         | Analyse du fumier   |       | Test bêche<br>Activité microbiologique et biomasse                                |      | Analyse pétrolière |      | Contrôles maturité | Micro vinification (par GB si cela est possible)<br>Rendements / modalité si cela est possible |          | Cristallisation sensible  |
| année 2023 |         |         | Analyse du fumier   |       | Test bêche<br>Activité microbiologique et biomasse                                |      | Analyse pétrolière |      | Contrôles maturité | Rendements / modalité si cela est possible   |          | Cristallisation sensible  |
| année 2024 |         |         | Analyse de sol + granulométrie<br>Analyse du fumier                 |       | Test bêche<br>Activité microbiologique et biomasse<br>Cinétique de minéralisation |      | Analyse pétrolière |      | Contrôles maturité | Micro vinification (par GB si cela est possible)<br>Rendements / modalité si cela est possible |          | Analyse de sarmes<br>Cristallisation sensible<br>Pesée des bois de taille |

## 2.4. Stratégie d'analyse de données

Vu mon niveau en statistiques, la quantité de données, et au regard du fait que les premières données analysées ne présentaient pas une distribution normale, j'ai choisi de baser mes analyses statistiques sur les tests de **Kruskal-Wallis**, moins puissants que les ANOVA, mais moins contraignants.

Les conditions à respecter pour effectuer les tests de Kruskal-Wallis sont :

- échantillon représentatif (par exemple, aléatoire),
- observations indépendantes,
- variable dite réponse quantitative,
- une variable dite explicative qualitative à trois niveaux ou plus,
- les distributions au sein des différentes sous-population sont, si possible, similaires mais de forme quelconque.

Ces conditions sont considérées comme toujours valables pour les jeux de données.

La moindre puissance du test utilisée m'a paru être un faible désavantage, compte tenu du fait qu'il ne s'agit que de la deuxième année de l'expérimentation, et que donc les effets les plus sûrs seront à observer en années 5 et 6.

Les analyses sont réalisées avec le **logiciel R**. Le package "agricolae" est utilisé pour réaliser les tests en eux-mêmes et déterminer les groupes. Les tests post hoc réalisés sont des tests de Wilcoxon. Les graphiques présentés sont réalisés avec les packages "ggplot2", "multcompView" et "ggpubr".

Au cours de mes recherches, j'ai pu découvrir que des controverses existaient de longue date vis-à-vis de la pertinence de l'utilisation des tests statistiques (cf par exemple "What If There Were No Significance Tests?" de Lisa L. Harlow, Stanley A. Mulaik et James H. Steiger). Des chercheurs considèrent plus robustes d'utiliser simplement les intervalles de confiance. J'étais donc parti pour utiliser uniquement ou en complément les intervalles de confiance. Or en 2013 le "BMC Medical Research Methodology" publie "comment les intervalles de confiance deviennent des intervalles de confusion". J'en suis donc revenu (quasi exclusivement) à la traditionnelle utilisation de tests statistiques, en l'occurrence non paramétrique.

Les jeux de données les plus simples (1 à 3 données par modalité et par journée d'observation) n'ont pas fait l'objet d'analyse statistique. La plupart des indicateurs sont

dans cette catégorie. **Seuls les indicateurs NBI et “Masse des bois de taille” ont ainsi fait l’objet de tests statistiques** (cf annexes 3 et 4)

Les résultats antérieurs à mon arrivée ont été produits par la stagiaire de l’an passé. On notera qu’à l’époque ce sont des tests de Student (2 à 2) qui ont été réalisés pour mesurer l’existence ou non d’écarts statistiquement significatifs entre les modalités (ainsi qu’un test de Friedman pour le classement des vins).



### 3. Résultats

J'ai choisi de présenter les résultats dans l'ordre où ils sont produits (dans l'idée que les effets des modalités iront croissants au cours du temps).

#### 3.1. Indicateurs relatifs au vin

##### 3.1.1. Dégustation normalisée de fin 2019

Le test triangulaire (réalisé par la stagiaire précédente) a donné des résultats statistiquement significatifs pour 2 comparaisons sur 3 : le vin issu de la modalité 2 (compost) a été jugé statistiquement différent du vin issu de la modalité 3 (Germiflor) et du vin issu de la modalité 4 (témoin). On notera la présence d'un biais important : des LSA (levures sèches actives) ont été utilisées dans la modalité Compost, alors que les 2 autres modalités ont été fermentées par des levures indigènes. **On ne peut donc conclure à une différence significative entre les vins du fait des différentes modalités.**

En revanche, lors du test de classement des différents vins selon le critère "typicité du Merlot", aucune différence statistiquement significative n'a été mise en avant. La prochaine fois, un autre critère pourrait être utilisé.

##### 3.1.2. Dégustation non normalisée de 2020

La dégustation du 17/06/2020 confirme l'existence de différences entre les vins même si tous les dégustateurs n'ont pas su identifier le vin en doublon. Le vin "compost" a de nouveau été le vin plébiscité par le plus grand nombre de dégustateurs.

#### 3.2. Indicateurs relatifs au sol

##### 3.2.1. Humidité

En 2019, comme en 2020, on observe peu de variabilité (figure 4). L'humidité est considérée comme homogène au sein de la parcelle (l'écart-type relatif est compris entre 5% et 6% en 2019 et 2020). On ne note pas d'évolution différenciée. **L'impact des modalités n'est pas perceptible.**

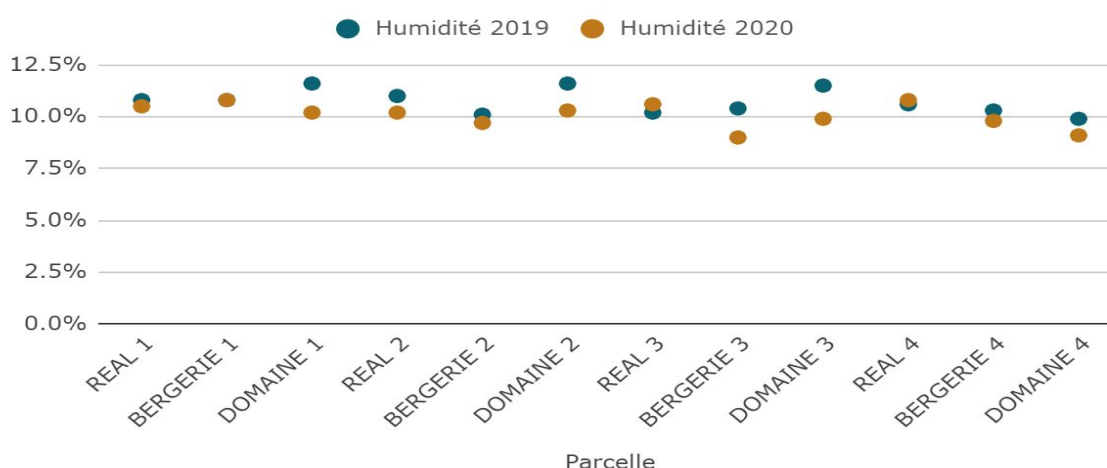


Figure 4. humidité du sol : évolution 2019-2020  
Source : SRDV, 2019 et 2020

### 3.2.2. Activité enzymatique

L'activité enzymatique croît de 9% en 2020 par rapport à 2019 (figure 5). Compte tenu des incertitudes de mesure et de prélèvement, je considère cette évolution comme non significative. Il existe 2 modalités pour laquelle l'évolution est confirmée pour les 3 répétitions : l'activité enzymatique croît significativement pour la modalité 1 (alternance) et l'activité enzymatique baisse significativement pour la modalité 4 (témoin). **La modalité a donc probablement un impact sur l'activité enzymatique du sol.**

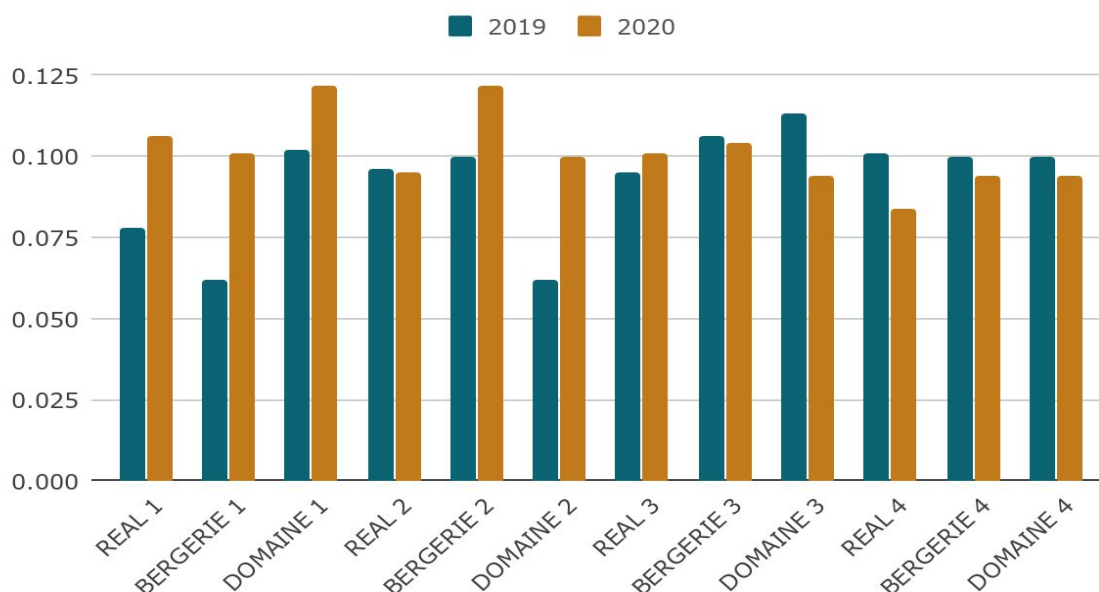


Figure 5. activité enzymatique FDAH en U/g : évolution 2019-2020  
Source : SRDV, 2019 et 2020

### 3.2.3. Biomasse microbienne

La biomasse microbienne (figure 6) est elle aussi orientée à la hausse avec une croissance de 8%. La biomasse croît significativement sur les 3 répétitions pour les modalités 1 (alternance) et 3 (Germiflor). Elle décroît pour toutes les répétitions sur la modalité 2 (compost). La modalité 4 présente des résultats contrastés. **La modalité a donc probablement un impact sur la biomasse microbienne du sol.**

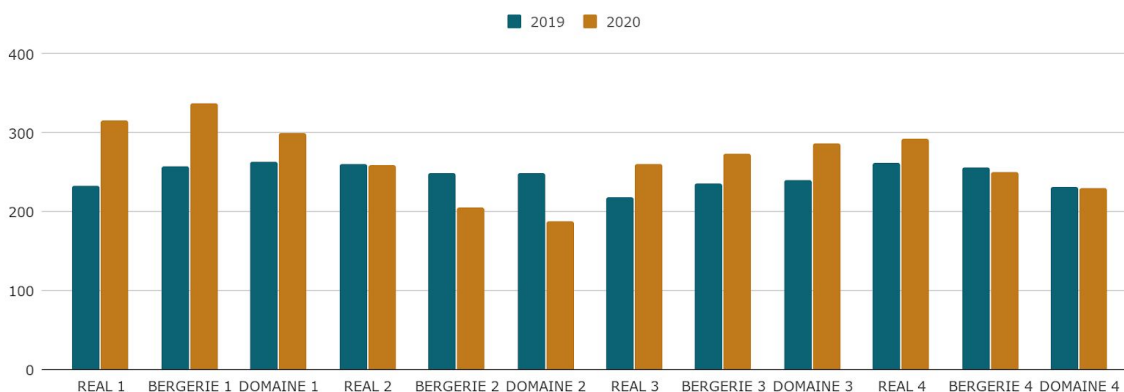


Figure 6. biomasse microbienne en mg C / kg : évolution 2019-2020  
Source : SRDV, 2019 et 2020

### 3.2.4. Matière organique

Je considère les données comme non exploitables. En effet, pour un même laboratoire, avec le même protocole, le taux de MO (figure 7) s'effondrerait de 25% en un an (22% si l'on retraits une donnée aberrante). Soit l'analyse présente un haut niveau d'imprécision, soit le prélèvement n'a pas été fait dans les mêmes conditions, soit le taux de MO présente de très fortes variations à l'échelle de la placette. Mais une baisse de 25% d'une année sur l'autre est impossible (bien qu'on s'attende à une baisse de la matière organique pour chacune des 4 modalités, les apports ne compensant pas la minéralisation). **On ne peut conclure quant à l'impact des modalités sur le taux de matière organique du sol.**

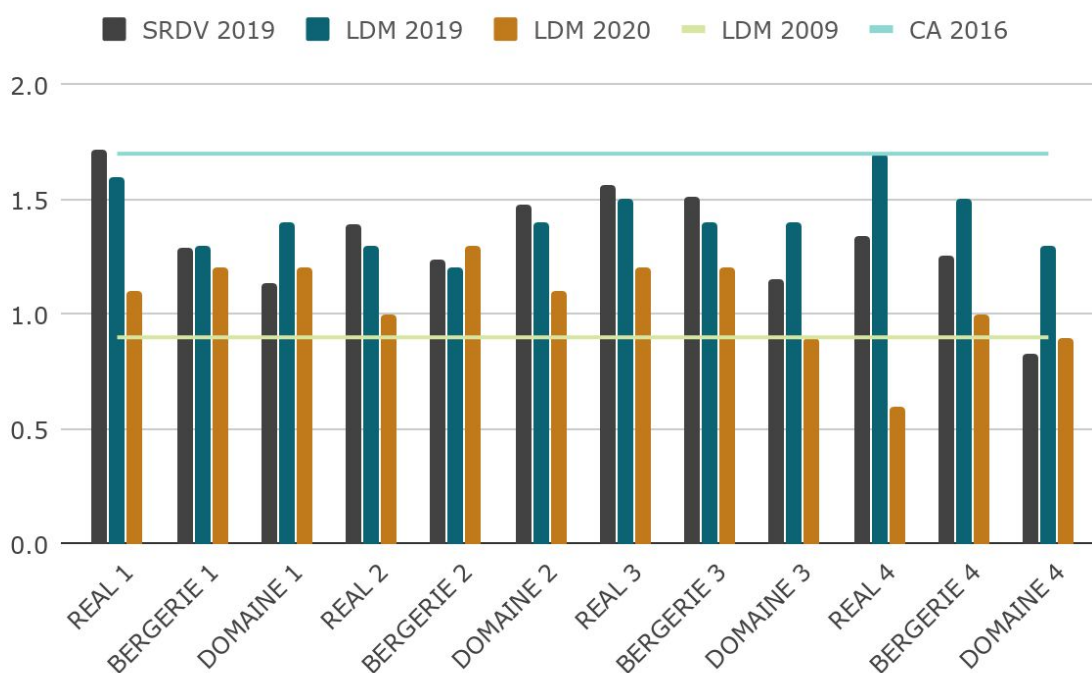


Figure 7. matière organique : évolution 2009-2020  
Source : SRDV, LDM et CA, 2009, 2016, 2019 et 2020

On peut en revanche affirmer avec un bon niveau de certitude que le taux de matières organiques de la parcelle est compris entre 0,9% et 1,5%, c'est à dire un niveau assez bas.

### 3.2.5. Tests bêche

On observe (figure 8) que la modalité 1 a toujours la classe la plus élevée et que la modalité 3 a toujours la classe la plus faible. Or les rangs enherbés de ces deux modalités ont reçu sensiblement les mêmes amendements : rien en 2020 et entre une tonne et une tonne et demi de Biomazor en 2019. **Les tests bêche ne permettent pas de percevoir de différences entre les modalités.**

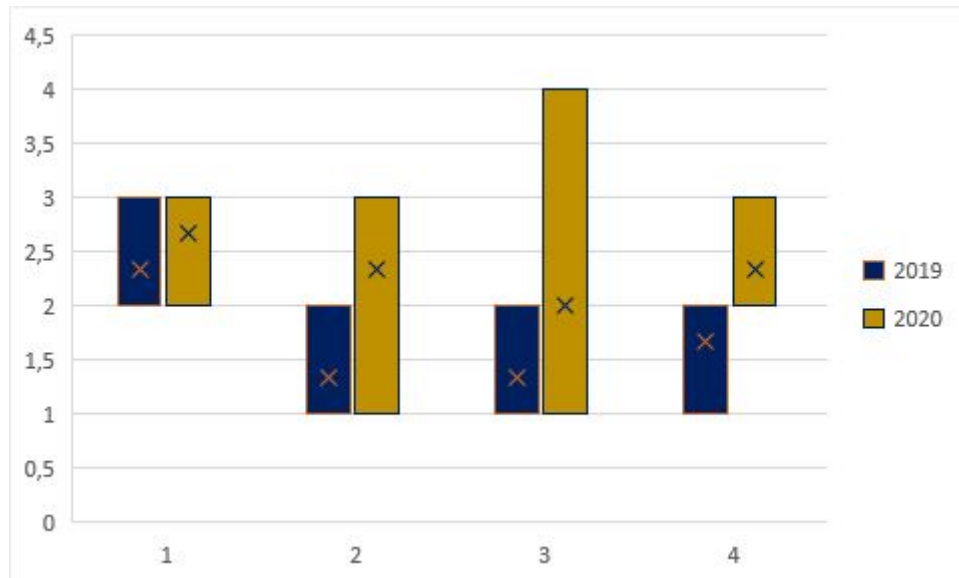


Figure 8. classes de tassement du sol (ensemble des valeurs et moyenne)  
Source : Gérard Bertrand, 2019 et 2020

### 3.3. Indicateurs relatifs au végétal

#### 3.3.1. Analyses pétiolaires

Les analyses pétiolaires permettent de quantifier 5 éléments majeurs (N, P, K, Ca, Mg) et 6 oligo-éléments (Na, Fe, Mn, Cu, Zn, B), en pourcentage de matière sèche et pour 100 pétioles. La SRDV a établi des limites usuelles de variation. Ce sont les plages dans lesquelles les résultats sont le plus fréquemment situés. Dans un souci de synthèse, j'ai défini un indicateur de "normalité" calculé comme le nombre d'indicateurs (azote pour 100 pétioles, etc.) ou ratios (rapport entre le potassium et le phosphore, etc.) situés à l'intérieur des limites usuelles de variation telles que définies par le SRDV, rapporté au nombre total d'indicateurs et ratios (en l'occurrence, 29). Cet indicateur correspond au taux moyen de valeurs dans la "norme".

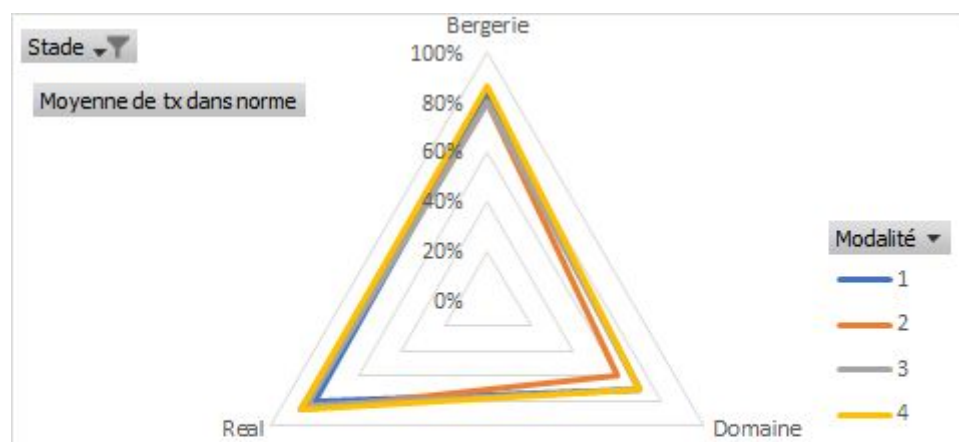


Figure 9. taux d'indicateurs et ratios dans les valeurs usuelles de variation  
Source : SRDV, 2019 (stade véraison)

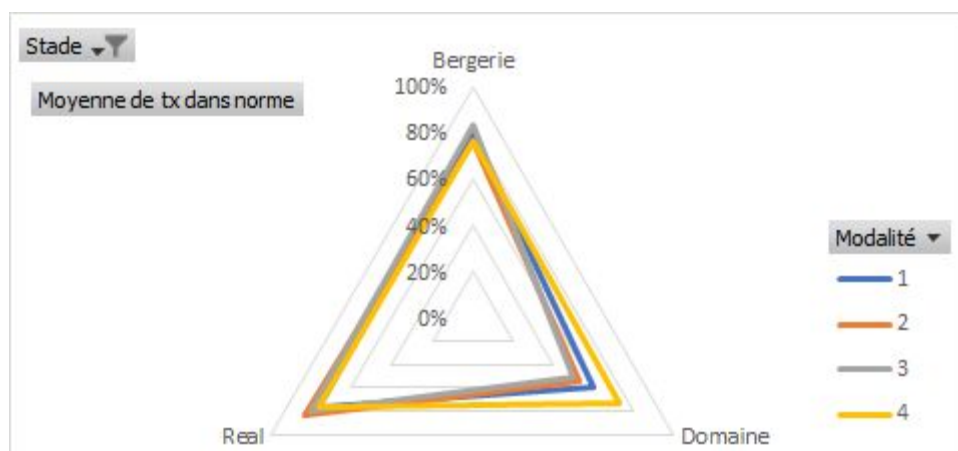


Figure 10. taux d'indicateurs et ratios dans les valeurs usuelles de variation  
 Source : SRDV, 2020 (stade fermeture de la grappe)

En 2019, tous les couples modalité-répétition sont proches (figure 9). La répétition Domaine est celle avec le plus de valeurs hors des valeurs usuelles de variation et dans cette répétition, c'est la modalité 2 "compost" qui est a le plus de valeurs en dehors des valeurs usuelles de variation.

On retrouve les mêmes tendances en 2020 (figure 10), avec une différenciation qui s'accroît au sein de la répétition Domaine. C'est la modalité 4 (témoin) qui a le plus d'indicateurs dans la norme. **Les apports auraient donc tendance à déséquilibrer les concentrations en minéraux dans la plante.**

Concernant l'azote (données non présentées), en 2020, toutes les couples modalités-répétitions sont soit dans les limites usuelles de variation, soit au-delà.

### 3.3.2. Indice de Croissance des Apex

L'indice de croissance des apex, anciennement indice d'arrêt de croissance, mesure la vitesse de croissance du végétal pour une parcelle ou une placette donnée.

On constate que **ce critère est non discriminant pour nos modalités** (figure 11). En particulier, lors du dernier relevé (11/08), toutes les placettes ont convergé vers les mêmes valeurs.

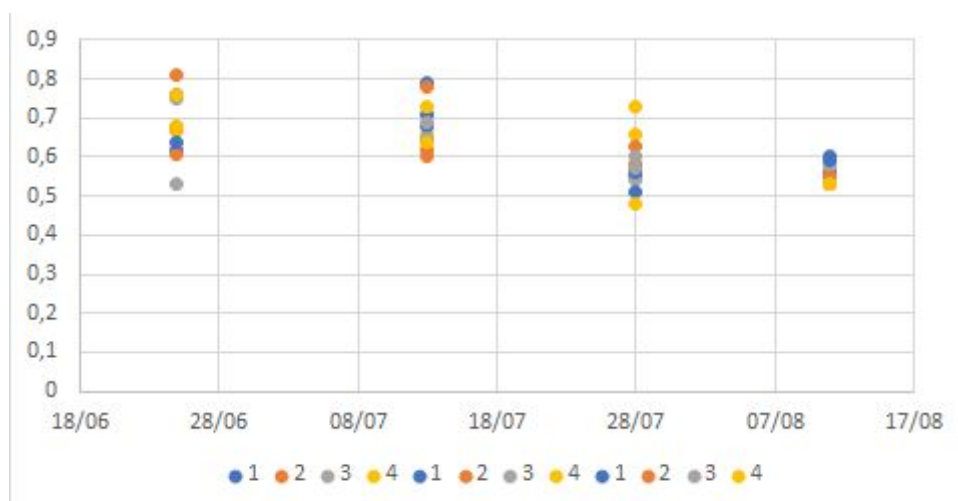


Figure 11. Indice de Croissance des Apex (iC-Apex) pour les 12 placettes  
 Source : ApeX-Vigne, 2020 (pour 4 dates)

### 3.3.3. Potentiels de Base

Parmi les 3 potentiels usuels, c'est le potentiel de base, indicateur de l'état hydrique du sol, qui a été retenu. Les valeurs (figure 12) n'indiquent **aucune spécificité pour aucune des modalités**.



Figure 12. Potentiel de base (en bars absolus) pour les 12 placettes  
Source : l'auteur, 2020 (pour 2 dates)

### 3.3.4. Nitrogen Balance Index (NBI)

Le NBI est un indicateur de statut azoté de la plante. Sa valeur absolue est difficilement interprétable (par manque de références). En revanche, c'est un indicateur pertinent pour comparer un même cépage, sur une même parcelle, à un même stade phénologique. Compte tenu de la richesse des données, des analyses statistiques avancées ont pu être réalisées.

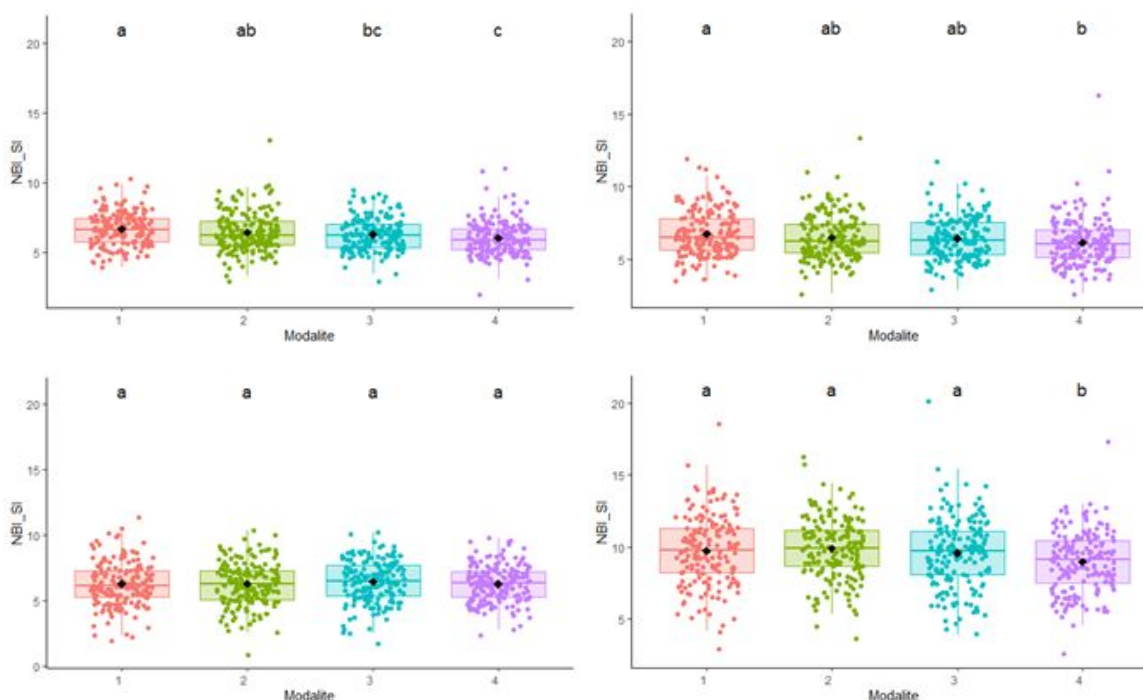


Figure 13. NBI pour 60 feuilles par placette à 4 stades phénologiques (haut-gauche, petit pois ; haut-droite, fermeture de la grappe ; bas-gauche, début de véraison ; bas-droite, fin de véraison)  
Source : Dualex, 2020 (pour 4 dates)

La figure 13 nous apprend que la modalité 1 est à 3 stades sur 4 dans un groupe différent de la modalité 4, et que donc le **NBI sera probablement un indicateur discriminant des modalités dans les années à venir.**

### 3.3.5. Poids des bois de taille

Les résultats présentés ci-après datent de janvier 2020, ils sont donc à rattacher à la première saison d'expérimentation.

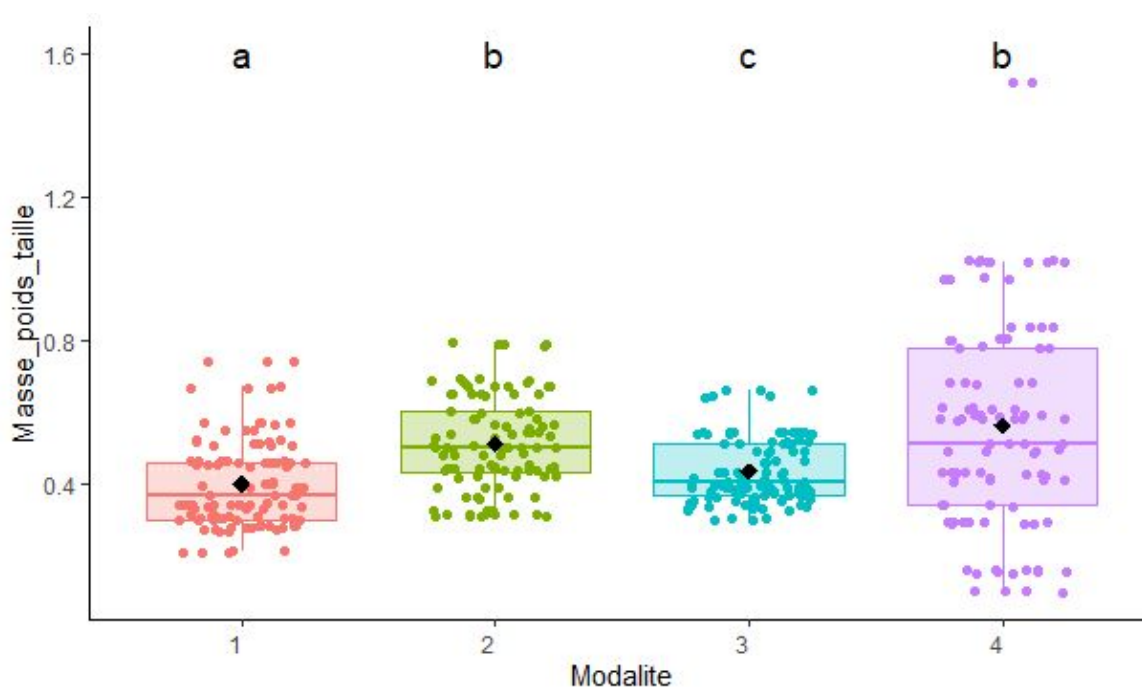


Figure 14. Masse des bois de taille en kilogrammes d'une centaine de ceps par modalité  
Source : Gérard Bertrand, janvier 2020

Les résultats présentés par la figure 14 sont assez surprenants. La modalité 2 (compost) et la modalité 4 (témoin) sont dans le même groupe, et c'est celui avec la plus grosse masse de bois (plus d'un demi kilo par cep), indicateur de vigueur. Ensuite vient la modalité 3 (Biomazor) et enfin la modalité 1 (alternance). On observe également une dispersion des valeurs bien plus importantes pour la modalité 4 (écart-type de 0,30 kg/cep, quand les autres modalités ont des écarts-types inférieurs ou égaux à 0,13 kg).

**Les apports, malgré les engrais, auraient donc tendance, au moins à court terme, à diminuer la masse des bois de taille, mais également à rendre plus homogène la parcelle.** En effet, l'écart-type relatif est compris entre  $\frac{1}{5}$  et  $\frac{1}{3}$  pour les modalités 1 à 4, mais dépasse 50% pour la modalité 4 (témoin).

Note : les tests ont été refaits sans les 2 valeurs aberrantes de la modalité 4. Les groupes statistiques sont restés inchangés.

### 3.3.6. Dynamiques de maturation

**On observe aucune tendance nette** (figure 15), que ce soit pour l'azote assimilable, l'absorbance à 280nm ou le ratio sucre sur acide.

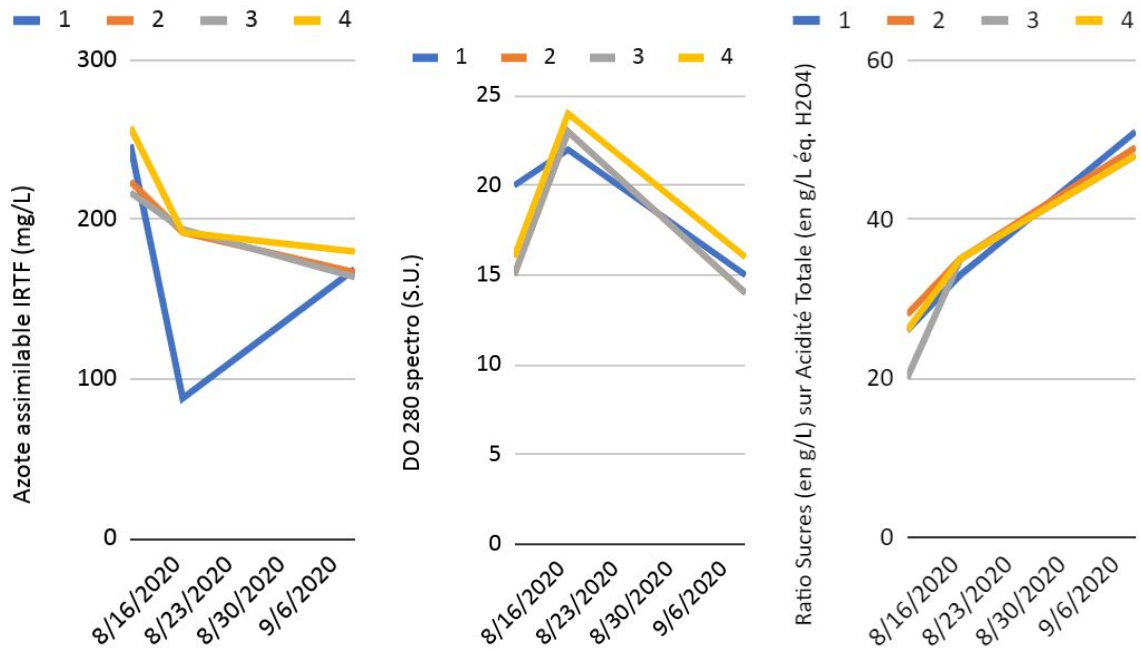


Figure 15. Pour 3 dates (11/08/2020, 18/08/2020 et 10/09/2020), état comparé de 3 indicateurs (azote assimilable à gauche, absorbance à 280nm au centre et ratio sucre/acide à droite)  
 Source : laboratoires Dubernet, août et septembre 2020

### 3.3.7. Rendement

Les rendements (figure 16) ne permettent **pas de conclusion** à date, même si, le rendement de la modalité témoin en année 2 est le plus élevé (+25% par rapport à la modalité 3).

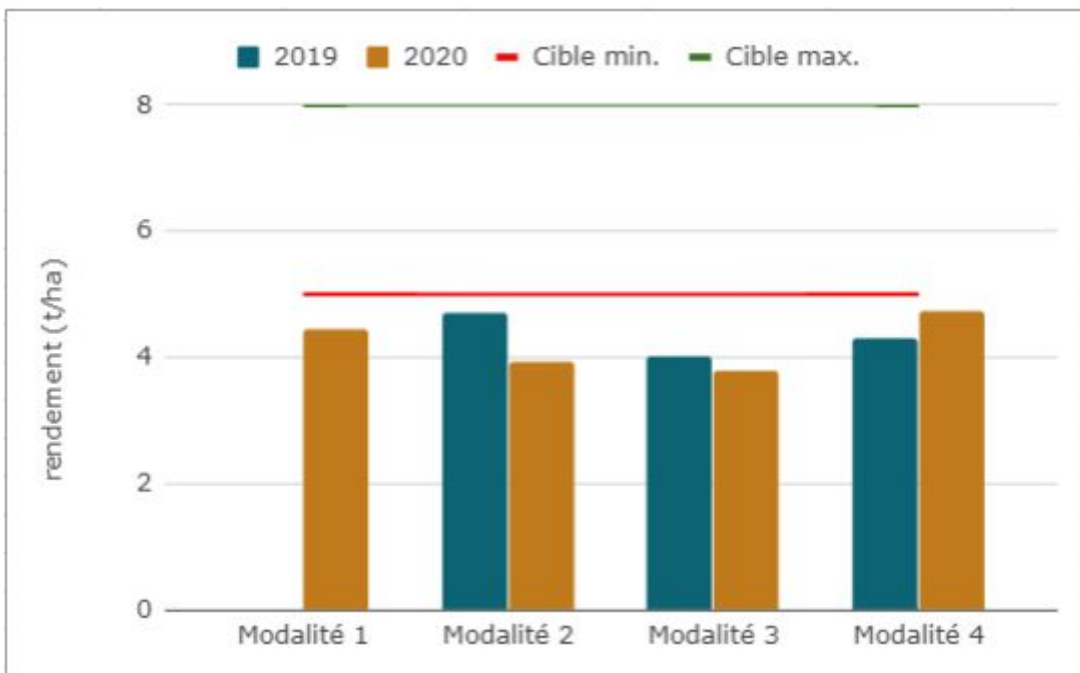


Figure 16. Rendement comparé des modalités en 2019 et 2020  
 Source : Régisseur de Cigalus, octobre 2020



## **4. Discussion**

### **4.1. Résultats**

#### **1.1.1 4.1.1. Activité enzymatique : des résultats conformes aux prévisions**

L'activité enzymatique est globalement en hausse sur les modalités 1 et 2 et en baisse sur la modalité 4, ce qui est conforme aux anticipations. Mais sur la modalité 3, 2 répétitions sur 3 sont en baisse, alors qu'on s'attendait à une hausse. Ces résultats devront être confirmés dans les années à venir.

#### **4.1.2. Biomasse microbienne : des résultats non conformes aux prévisions**

La biomasse microbienne est en hausse sur les modalités 1 et 3 ; sans orientation claire sur la modalité 4 et en baisse sur la modalité 2. Il était attendu une hausse sur la modalité 2 et une baisse sur la modalité 4. Ces résultats devront être confirmés dans les années à venir.

#### **4.1.3. Matières Organique : des prélèvements non standardisés ?**

Les données sont incohérentes. En 2009, sur une partie excentrée de la parcelle, un taux de 0,9% de Matière Organique (MO) a été mesuré par le laboratoire LDM. En 2016, sur un autre morceau de la parcelle, c'est un taux de 1,7% qui a été calculé par le SRDV. En 2019, chaque placette a fait l'objet d'une mesure de taux de MO, à la fois par le SRDV et par le LDM (écart-type de 0,21 point). Mais en 2020, le LDM détermine une baisse moyenne de 25% du taux de MO sur les placettes, ce qui est réputé impossible.

J'émetts l'hypothèse que les prélèvements n'ont pas été réalisés dans les mêmes conditions en 2019 et en 2020.

#### **4.1.4. Analyses pétiolaires, suivi maturité et NBI : pas de stress azoté, au moins au pas de temps annuel**

On observe des niveaux d'azote dans les pétioles et d'azote assimilable dans les baies plus que convenables, alors qu'on s'attendait à une alimentation déficitaire en azote. Seul le NBI va dans le sens d'un déficit. Une hypothèse plus fine et cohérente avec toutes ces données consisterait en "les vignes de la parcelle subissent un déficit azoté ponctuel ; probablement lors des phases d'inondation de la parcelle, et lors des jours ou semaines suivants".

#### **4.1.5. Bois de taille : c'est la modalité témoin qui en a le plus**

Les résultats des pesées des bois de taille sont surprenants. La modalité 4 (témoin) apparaît dans le groupe statistique de 2 modalités qui produit le plus de bois de taille, contrairement aux hypothèses initiales.

#### **4.1.6. Corrélations entre indicateurs : absence de tendance claire**

Un classement des modalités a été réalisé pour les indicateurs quantitatifs (tableau 3). Chaque modalité apparaît comme la mieux classée sur au moins un indicateur (et notamment la modalité témoin). Autrement dit, à ce stade de l'expérimentation, tous les indicateurs ne pointent pas dans la même direction.

Tableau 3 : classement relatif des modalités  
Source : l'auteur, août 2020

| Classement (1 "mieux" que 2, etc.)                       |                      | Modalité 1 | Modalité 2 | Modalité 3 | Modalité 4 | Commentaires   |
|--|----------------------|------------|------------|------------|------------|--|
| q<br>u<br>a<br>n<br>t<br>i<br>t<br>é<br>a<br>t<br>i<br>f | Rendement            | 3          | 1          | 1          | 4          | 2019   |
|  | Nombre de grappes    | 4          | 1          | 2          | 4          | Estimation rendement 2020                                |
|  | Bois de taille       | 4          | 1          | 3          | 1          |  |
|  | Biomasse microbienne | 1          | 2          | 2          | 2          | Vigueur de demain (ou du moins minéralisation de demain) |
|  | NBI                  | 1          | 2          | 2          | 4          |  |
|  | Classe de tassement  | N.S.       | N.S.       | N.S.       | N.S.       |  |
|  | Potentiels de base   | N.S.       | N.S.       | N.S.       | N.S.       |  |
|  | Analyses pétiolaires | 2          | 2          | 2          | 1          | Globalement peu de déséquilibres                         |

## 4.2. Méthodes

Plusieurs méthodes pourraient être revues.

### 1.1.2 4.2.1. Test bêche : un indicateur peu pertinent

Les tests bêche sont pratiqués dans les rangs enherbés ou dans les rangs travaillés. Dans les rangs travaillés, la structure du sol est, de mon point de vue, détruite justement par le travail du sol. Le sol est donc déstructuré.

Dans les rangs enherbés, le végétal a un fort impact sur la structure du sol.

Le test bêche vise à classer les sols selon leur niveau de tassement. Or cela me paraît une information secondaire. Il m'apparaît plus important de mesurer le développement du couvert végétal en masse, comme indicateur de la fertilité du sol.

### 4.2.2. Potentiel de base : réfléchir les dates d'observation

Le potentiel de base n'a pas été discriminant en 2020, les contraintes hydriques ayant été trop faibles. En 2021, il serait opportun de ne réaliser ces mesures que lorsque le stress hydrique a au moins atteint un niveau modéré. Un modèle hydrique est opérationnel sur des parcelles éloignées de seulement quelques kilomètres. Ce modèle, couplé à des observations de la parcelle (vitesse de croissance des rameaux, couleur jaunâtre des feuilles de la base...) permettraient de déclencher les mesures des potentiels de base.

### 4.2.3. Nitrogen Balance Index (NBI) : un indicateur difficilement exploitable

Le NBI est considéré comme un indicateur fiable d'estimation du contenu en azote du végétal. Il a cependant le gros défaut d'avoir très peu de références.

Cette année, les valeurs étaient usuellement autour de 6, soit plus de deux fois moins que les valeurs de l'an dernier (autour de 13 en début d'observation ; observations qui avaient été réalisées sur les feuilles au niveau des grappes) et nettement en-deçà des seules références connues : 8 à 11 pour le Merlot au stade fermeture de la grappe. Je n'ai pas

su interpréter les valeurs obtenues (d'autant plus que les analyses pétiolaires présentes des taux d'azote satisfaisants et que les analyses de raisins, des taux d'azote assimilables nettement suffisants).

### **4.3. Acteurs**

On a pu observer une interprétation variable des protocoles en fonction des acteurs.

#### **4.3.1. Pesée des bois de taille : appliquer le protocole**

Le protocole "pesée des bois de taille" a été *de facto* simplifié en 2020. En 2021, il serait préférable de se référer au protocole initial, plus précis.

#### **4.3.2. Potentiel de base : une erreur en 2020**

Le potentiel hydrique foliaire est devenu un potentiel de base en 2020 (par réflexe de l'auteur). Je n'ai pas de recommandation pour 2021.

### **4.4. Retour sur les postulats**

#### **4.4.1. Homogénéité intra-répétition**

Aucun élément nouveau n'est venu confirmer ou infirmer le postulat d'homogénéité satisfaisante de la parcelle au sein d'une répétition.

#### **4.4.2. Effet long terme des amendements**

L'effet spécifique des amendements sur le rendement en année 2 est indéterminé. En revanche, contrairement au postulat, l'amendement a eu un impact dès l'année 2 sur la vie du sol, ou du moins *a minima* sur la biomasse microbienne.

#### **4.4.3. Classement de la modalité témoin**

Contrairement au postulat, la modalité témoin n'est pas en retrait sur tous les indicateurs. Elle est dans le groupe de 2 modalités qui a eu la plus grosse masse de bois de taille.

### **4.5. Perspectives**

#### **4.5.1. Hypothèses pour expliquer la faible expression végétative**

Le protocole actuel part de l'hypothèse que la "nutrition" du sol permettra de remédier sur le moyen terme aux problématiques de rendement et de maturation de la parcelle. Nous faisons donc l'hypothèse implicite que, ces dernières années, les apports d'amendements et de fertilisants ont été insuffisants ou mal adaptés. D'autres facteurs participent bien entendu à la faiblesse du rendement et aux difficultés de maturation du raisin. Différentes hypothèses ont été listées dans le tableau 4.

Tableau 4. autres hypothèses expliquant possiblement la faiblesse structurelle du rendement  
Source : l'auteur, août 2020

| Hypothèse               | Avis                       | Commentaires   |
|-------------------------|----------------------------|--|
| Déficit en azote        | <b>Peu probable</b>        | Cf Azote assimilable, Azote pétiolaire & NBI comparé aux parcelles de référence  |
| Viroses généralisées    | <b>Possible</b>            | Beaucoup de faciès maladifs / rabougris  |
| Flux de sève déficients | <b>Possible</b>            | Base des rameaux cernée de plaies de taille + effet du surgreffage + faible ébourgeonnage  |
| Hydromorphie temporaire | <b>Possible / Probable</b> |  |
| Déficit hydrique        | <b>Peu probable</b>        | Pourrait être généré par une variation de niveau d'eau suite inondation trop rapide pour la colonisation des racines/radicelles. Mais peu probable vu $\delta$ C13 |
| Carences                | <b>Peu probable</b>        | Cf analyses pétiolaires  |
| Excès de vent           | ?                          | Un très fort taux de feuilles partiellement détruites  |
| Pas de vrai problème    | ?                          | Rendement 2020 à 6,2 t / ha ?  |

#### 4.5.2. Autres problématiques de la parcelle

La parcelle fait face à de nombreux handicaps qui tirent les rendements à la baisse. Le tableau 5 liste un certain nombre de handicaps, ainsi que des solutions possiblement à mettre en oeuvre.

Tableau 5. autres handicaps de la parcelle et solution pouvant être mises en oeuvre  
Source : l'auteur, août 2020

| Autres problématiques               | Solution possible  | Commentaires  |
|-------------------------------------|--|---|
| Court-noué                          | <b>Taille tardive favorable</b>  | Source : Guide des vignobles, CA34  |
| Déficit ponctuel d'azote ?          | <b>Apport Azote foliaire + revoir taille (favoriser réserves &amp; flux de sève)</b> | Dans la phase de retrait de l'eau stagnante et les semaines (?) qui s'ensuivent   |
| Structure instable (analyses sol)   | <b>Enherbement</b>   | Si maintien du couvert (ou a minima du racinaire)   |
| Risque d'asphyxie (analyses de sol) |  | Racines pivot   |
| Battance (analyses de sol)          |  |   |
| Hydromorphie temporaire             |  | En favorisant une transpiration élevée  |
| ph élevé (~8,4)                     |  | L'ABI (Activité Biologique Intense) fait baisser le ph (+ ajouter des EM = Micro-organismes Efficaces ?)  |
| Taux de MO orienté à la baisse      |  | Même avec 5t / ha / an de compost, balance humique négative (et donc fertilité toujours plus faible), outre l'enherbement, doubler la quantité de compost ? |

Note 1 : le régime hydrique de la parcelle a été établi comme déficient. Des investissements sont prévus pour améliorer l'évacuation des eaux en cas de forte pluie.

Note 2 : le rapport entre la surface foliaire et la masse de rendement était également une hypothèse envisageable. Cette année, avec le rendement observé le plus haut depuis 2016, et malgré une canopée peu développée, le rapport de la SFE (surface foliaire exposée) sur le rendement amène à des ratios corrects, de l'ordre de 1,2 m<sup>2</sup> par kg de fruit. Le potentiel photosynthétique est donc suffisant pour un tel rendement.

#### **4.5.3. Et (après-)demain ?**

Outre les problématiques actuelles, l'évolution probable du monde amènera de nouvelles problématiques, ou du moins le renforcement des problématiques actuelles : périodes de sécheresse allongées, épisodes climatiques extrêmes plus intenses et plus fréquents, incursion de nouveaux ravageurs, etc. Indépendamment des problématiques purement agronomiques, à long terme, on peut imaginer que la production de raisin devra se faire avoir moins d'énergies fossiles (et globalement moins d'énergie) ou *a minima* des ressources fossiles plus coûteuses.

#### **4.5.4. Evolution du protocole expérimental**

La modalité 1 (alternance) devait correspondre à la modalité 3 (Germiflor) en recalant l'azote apporté sur la modalité 2 (compost). Or, les quantités d'azote apportées par le fumier varient beaucoup (de presque 50% en 1 an). Le recalage statique de l'azote est donc illusoire. Une solution possible serait d'avoir un calage dynamique de la modalité 1 (quantité d'engrais azoté apporté), fonction des résultats analytiques du fumier de l'année. La modalité 1 pourrait également servir à tester un autre « traitement » pour la parcelle : réduction drastique du travail du sol et enherbement à gestion dynamique.

## 5. Conclusion

A l'issue de la première année d'expérimentation, les résultats auraient pu être considérés comme décevants du point de vue de l'expérimentateur. En effet, aucun indicateur ne donnait des résultats statistiquement significatifs. Mais en fait il n'en est rien. Il aurait au contraire été déconcertant de trouver des résultats significatifs dès l'année 1. S'agissant d'une expérimentation basée sur des apports au sol (quelques tonnes par hectare, pour un sol de quelques milliers de tonnes par hectare), principalement d'amendements, dont on sait que les effets sont des effets long terme. Le sol, de part sa masse, a un fort pouvoir tampon. La vie du sol évolue donc lentement, à l'échelle humaine. Et donc les effets sur la vigne et le vin sont nécessairement des effets long terme. **L'absence de résultats significatifs en première année était donc une bonne nouvelle.**

En **deuxième année**, de premiers résultats **statistiquement significatifs** apparaissent.

Conformément aux attentes, c'est la **modalité (1)** pour laquelle on a fait l'apport d'engrais organo-minéral le plus important (500 kg/ha de NPK) qui a le **NBI** (représentatif de la nutrition azotée de la plante) le plus élevé (valeur moyenne de 6,7) et **statistiquement différent de la modalité témoin** (valeur moyenne de 6,1).

Le **nombre de grappes par souche** est lui aussi significativement **différent** entre les modalités, avec la modalité témoin qui est quasiment celle qui a le moins de grappes par cep. Mais les choses se compliquent une fois les données de rendement obtenues : la **modalité témoin est celle qui a le rendement le plus élevé...**

De même, la modalité **témoin** est celle qui avait un **poids de bois de taille** le plus important, et statistiquement **supérieur** aux **modalités 3 et 1**.

Quant à la **biomasse microbienne**, surprenamment, elle **baisse en année 2 pour la modalité 2 (compost biodynamique)**. En revanche, conformément aux attentes, c'est la modalité 1, c'est à dire celle qui a reçu le plus fort amendement en année 1 qui est statistiquement celle qui a la plus forte biomasse.

Les **résultats** qui apparaissent **significatifs** en **année 2** sont donc **pour partie en phase avec la littérature**, et **pour une partie en contradiction**. S'agissant d'une expérimentation portant sur 6 années, les résultats probants sont attendus à partir de l'année 4.

Par ailleurs, amendement et fertilisant ne sont qu'une des clefs pour retrouver un niveau convenable de rendement pour la parcelle. Ainsi, il pourrait être pertinent de mettre en oeuvre **d'autres techniques** (drainage, réduction du travail du sol, enherbement) pour mesurer leur impact à long terme sur le rendement sur la parcelle.

## Références bibliographiques

- Cambou A., 2018. Evaluation du stock et de la stabilité du carbone organique dans les sols urbains. *Sciences de la Terre*. Agrocampus Ouest, 2018. Français. ffNNT : 2018NSARD086ff. fftel-02088714f. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02088714>
- Cerovic Z.G., Ben Ghazlen N., Milhade C., Obert M., Debuissou S., Le Moigne M., 2015. Nondestructive Diagnostic Test for Nitrogen Nutrition of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Based on Dual-Leaf-Clip Measurements in the Field. *J. Agric. Food Chem.* 2015, 63, 14, 3669–3680. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00304>
- Chambre d'Agriculture du Languedoc-Roussillon, 2011. Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Roussillon - Tome 1 - chapitre 2
- Conseil Economique, Social et Environnemental, Étude présentée par M. Hubert Bouchet, 2010, La terre agricole et son exploitation
- FiBL, 2013. Les Principes de la Fertilité des Sols
- Geier U., Fritz J., Greiner R., Olgrich-Mejer M., 2016. Biologisch-dynamische Landwirtschaft. Freyer B. (Hg.): *Ökologischer Landbau: Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen*. UTB ; 101-123.
- Genesio L., Miglietta F., Baronti S., Vaccari F.P., 2015. Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: Results from a four years field experiment in Tuscany. *Agric. Ecosyst. Environ.* 201, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.021>
- Guilbault P., 2011. Intérêts et limites des différentes formes d'azotes apportées au sol en viticulture, Colloque IFV Sud-Ouest - 2011 - Toulouse
- Habran A., 2015. Effets de la nutrition azotée sur les baies de différentes combinaisons porte-greffe/greffon de vigne : approches agronomique, métabolomique et transcriptomique. *Sciences agricoles*. Université de Bordeaux, 2015. Français. NNT : 2015BORD0325
- Houot S., 2017. Gérer les stocks de matière organique des sols pour entretenir leur fertilité et contribuer aux services écosystémiques rendus par les sols. *Journée d'information - Les sols : sources de vies*, Paris (FRA), 12/12/2017. (présentation orale).
- Johannes A., Matter A., Schulin R., Weiskopf P., Baveye P.C., Boivin P., 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter?, [Geoderma 302 (2017) 14–21], *Geoderma*, Volume 302, 15 September 2017, Pages 111
- Mackie, K.A., Marhan, S., Ditterich, F., Schmidt, H.P., Kandeler, E., 2015. The effects of biochar and compost amendments on copper immobilization and soil microorganisms in a temperate vineyard. *Agric. Ecosyst. Environ.* 201, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.001>
- Maltas A., Oberholzer H., Charles R., Bovet V., Sinaj S., 2012. Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (3): 148–155
- Marinari S., Lagomarsino A., Moscatelli M.C., Di Tizio A. et Campiglia E., 2010. Soil carbon and nitrogen mineralization kinetics in organic and conventional three-year cropping systems. *Soil and Tillage Research*. Volume 109, Issue 2, August 2010, Pages 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.002>
- Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2017. Données et études statistiques : Essentiels sur l'environnement. Disponible sur : <http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/sol-bio-diversite.htm> (consulté le 11 juillet 2020)

Peltre C., 2015. Potential carbon storage in soil after exogenous organic matter applications. *Soil study*. AgroParisTech, 2010. English. ffNNT : 2010AGPT0076ff. ffpastel-00602825f

Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R. and Cardelli R., 2002. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil and Tillage Research*, 67(1), 109–114. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00044-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00044-2)

Salomé C., Coll P., Lardo E., Metay A., Villenave C., Marsden C., Blanchart E., Hinsinger P., Le Cadre E., 2015. The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators* 61 (2016) 456–465. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.047>

Tregoat O., van Leeuwen C., Choné X. et Gaudillère J.-P., 2002. Etude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin, *J. Int. Sci. Vigne vin*, 2002, 36, n°3, 133-142

Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., van Tuinen, D., Adrian, M., Wipf, D., 2015. Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1449–1467. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0329-7>

van Leeuwen C., Seguin G., 1994. Incidence de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement végétatif et la maturité du raisin. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 1994, 28, n°2, 81-110. <https://doi.org/10.20870/oenone.1994.28.2.1152>

van Leeuwen C., Friant P., 2011. les méthodes d'estimation de l'alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble : état de l'art, Colloque IFV Sud-Ouest - 2011 - Toulouse

van Leeuwen C., Roby J.P., de Rességuier L., 2018. Soil-related terroir factors: a review. *OENO One*, 2018, 52, 2, 173-188

Virto I., Imaz M. J., Fernández-Ugalde O., Urrutia I., Enrique A., Bescansa P., 2012. Soil quality evaluation following the implementation of permanent cover crops in semi-arid vineyards. Organic matter, physical and biological soil properties. *Spanish Journal of Agricultural Research*, [S.I.], v. 10, n. 4, p. 1121-1132, oct. 2012. ISSN 2171-9292. [doi:http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2012104-613-11](http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2012104-613-11).

Vrignon-Brenas S., Metay A., Leporatti R., Gharibi S., Fraga A., Dauzat M., Rolland G., Pellegrino A., 2019. Gradual responses of grapevine yield components and carbon status to nitrogen supply. *OENO One* 2019, 2, 289-306





## **6. ANNEXES**

## 6.1. Annexe 1 : Synthèse des résultats obtenus

| Mesures                              | Sous-mesure                | Stade               | Unité          | Modalité | An 0      |      |  | An 1      |               |  | An 2      |                             |  |  |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------|----------|-----------|------|--|-----------|---------------|--|-----------|-----------------------------|--|--|
|                                      |                            |                     |                |          | Résultats | Test | Commentaires   | Résultats | Test          | Commentaires   | Résultats | Test                        | Commentaires   |  |
| Analyse de sol (+granulométrie)      | C/N                        | Fermeture de grappe | S.U.           | 1        | 11.4      |      | "Anormalément élevé"   | 8.3       |               | assez homogène (un prélèvement sur la modalité 4 hors norme)   |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 2        |           |      |  | 8.7       |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 3        |           |      |  | 8.5       |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 4        |           |      |  | 7.9       |               |  |           |                             |  |  |
| Analyse du fumier                    | Azote                      |                     | kg N/tMB       | -        |           |      |  | 7.8       |               | OK Fait  | 5.3       |                             | En nette baisse par rapport à 2019   |  |
| ND VI                                | Oenovie w                  |                     |                | 1        | 0.17      |      | Bonne homogénéité transversale (donc pour chaque secteur de prélèvement) |           |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 2        | 0.179     |      |  |           |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 3        | 0.175     |      |  |           |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 4        | 0.168     |      |  |           |               |  |           |                             |  |  |
| Test bêche                           | Classe de tassement du sol | Petits pois         | S.U.           | 1        |           |      |  | 2.3       |               | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur le tassement du sol en première année (les modalités 1 et 3 ayant reçu sensiblement les mêmes apports) | 1.3       |                             | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur le tassement du sol en deuxième année (les modalités 1 et 3 ayant reçu sensiblement les mêmes apports)             |  |
|                                      |                            |                     |                | 2        |           | 1.3  | 1.3  |           |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 3        |           | 1.3  | 1  |           |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 4        |           | 1.7  | 1  |           |               |  |           |                             |  |  |
| Activité microbiologique et biomasse | Biomasse microbienne       | Petits pois         | mg C/kg de sol | 1        |           |      |  | 252       | S t u d e n t | "La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur la vie microbienne du sol la première année après épandage"   | 318       | K r u s k a l - W a l l i s | La forme de fertilisation a un <b>impact statistiquement significatif</b> sur la biomasse microbienne dès la 2ème année : la modalité 1 (alternance) se détache comme la |  |
|                                      |                            |                     |                | 2        |           | 253  | 217  |           |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 3        |           | 232  | 274  |           |               |  |           |                             |  |  |
|                                      |                            |                     |                | 4        |           | 250  | 258  |           |               |  |           |                             |  |  |



|                     |  |          |        |   |  |  |  |      |               |  |      |   |
|---------------------|--|----------|--------|---|--|--|--|------|---------------|--|------|---|
| Contrôles maturité  | Taux de sucres réducteurs (Glucose + Fructose) | Maturité | g / L  | 1 |  |  |  | 245  | S t u d e n t | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur le niveau de sucres des raisins la première année après épandage   | 227  | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur le niveau de sucres des raisins la deuxième année après épandage                            |
|                     |  |          |        | 2 |  |  |  | 239  |               |  | 224  |   |
|                     |  |          |        | 3 |  |  |  | 233  |               |  | 227  |   |
|                     |  |          |        | 4 |  |  |  | 226  |               |  | 227  |   |
| Contrôles maturité  | Acidité (pH)                                   | Maturité | S. U.  | 1 |  |  |  | 3.54 | S t u d e n t | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur le niveau d'acidité des raisins la première année après épandage   | 3.41 | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur le niveau d'acidité des raisins la deuxième année après épandage                            |
|                     |  |          |        | 2 |  |  |  | 3.53 |               |  | 3.41 |   |
|                     |  |          |        | 3 |  |  |  | 3.51 |               |  | 3.37 |   |
|                     |  |          |        | 4 |  |  |  | 3.51 |               |  | 3.39 |   |
| Analyses d'encuvage | Azote assimilable                              | Maturité | mg / L | 1 |  |  |  | ?    | S t u d e n t | "La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur l'azote assimilable des moûts la première année après épandage"   | 169  | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur l'azote assimilable des raisins la deuxième année après épandage                            |
|                     |  |          |        | 2 |  |  |  | 158  |               |  | 167  |   |
|                     |  |          |        | 3 |  |  |  | 129  |               |  | 164  |   |
|                     |  |          |        | 4 |  |  |  | 134  |               |  | 180  |   |
| Rendements          | Nombre de grappes par souche                   | Maturité | S. U.  | 1 |  |  |  | 8.7  | S t u d e n t | "La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur le nombre de grappes par souche la première année après épandage" | 9.7  | La forme de fertilisation a un <b>impact</b> statistiquement <b>significatif</b> sur le nombre de grappes par cep, indicateur avancé du rendement |
|                     |  |          |        | 2 |  |  |  | 9.7  |               |  | 11.8 |   |
|                     |  |          |        | 3 |  |  |  | 10.3 |               |  | 10.3 |   |
|                     |  |          |        | 4 |  |  |  | 6.9  |               |  | 9.8  |   |
| Rendements          | Réel   | Maturité | t/ha   | 1 |  |  |  | -    | -             | Apparaît cohérent avec bois de taille et azote assimilable   | 4.57 | 25% d'écart entre les 2 modalités extrêmes. La hiérarchie de 2019 n'est pas respectée   |
|                     |  |          |        | 2 |  |  |  | 4.72 |               |  | 4.05 |   |
|                     |  |          |        | 3 |  |  |  | 4.02 |               |  | 3.90 |   |
|                     |  |          |        | 4 |  |  |  | 4.32 |               |  | 4.88 |   |
| Maturité            | Sucres / Acidité                               | Maturité | S. U.  | 1 |  |  |  | -    | S t u d e n t | "La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur la maturité"  | 51   | La forme de fertilisation n'a <b>pas</b> d'impact sur la maturité   |
|                     |  |          |        | 2 |  |  |  | 56.2 |               |  | 49   |   |

|  |  |                  |           |   |  |  |  |                               |  |   |    |  |
|--|--|------------------|-----------|---|--|--|--|-------------------------------|--|---|----|--|
| hno<br>logi<br>que                     | total  |                  |           | 3 |  |  |  | 59                            | e<br>n<br>t  | technologique des raisins la première année après épandage"   | 48 | technologique des raisins la deuxième année après épandage   |
|  |  |                  |           | 4 |  |  |  | 59.<br>2                      |  |   | 48 |  |
| Mat<br>urit<br>é<br>phé<br>noli<br>que | Con<br>cent<br>ratio<br>n en<br>tani<br>ns et<br>antho<br>cyane<br>s   | Mat<br>urit<br>é | mg<br>/ L | 1 |  |  |  | -                             | <<br>2<br>0<br>%<br>é<br>c<br>a<br>r<br>t                | "La forme de fertilisation n'a pas d'impact sur la maturité phénolique des raisins la première année après épandage"  |    |  |
|  |  |                  |           | 2 |  |  |  | 305<br>9                      |  |   |    |  |
|  |  |                  |           | 3 |  |  |  | 298<br>7                      |  |   |    |  |
|  |  |                  |           | 4 |  |  |  | 264<br>9                      |  |   |    |  |
| Mat<br>urit<br>é<br>phé<br>noli<br>que | Con<br>cent<br>ratio<br>n en<br>poly<br>phé<br>nols<br>(DO<br>280<br>) | Mat<br>urit<br>é | mg<br>/ L | 1 |  |  |  |                               |  |   | 15 | La forme de fertilisation n'a pas d'impact sur la maturité phénolique des raisins la deuxième année après épandage |
|  |  |                  |           | 2 |  |  |  |                               |  | 14  |    |  |
|  |  |                  |           | 3 |  |  |  |                               |  | 14  |    |  |
|  |  |                  |           | 4 |  |  |  |                               |  | 16  |    |  |
| Micr<br>o<br>vini<br>fica<br>tion      |  |                  |           | 1 |  |  |  | -                             | T<br>r<br>i<br>a<br>n<br>g<br>u<br>l<br>a<br>i<br>r<br>e | Vin Compost identifié comme différent (mais LSA utilisée dans la modalité Compost alors que les 2 autres modalités sont en levures indigènes)<br>3 vins considérés comme indifférents vis-à-vis du critère "typicité Merlot"<br>La dégustation du 17/06/2020 confirme l'existence de différences entre les vins. Mais pas de consensus (le vin Compost a cependant à nouveau été préféré) |    |  |
|  |  |                  |           | 2 |  |  |  | a                             |  |   |    |  |
|  |  |                  |           | 3 |  |  |  | b                             |  |   |    |  |
|  |  |                  |           | 4 |  |  |  |                               |  |   |    |  |
| Ana<br>lyse<br>de<br>sar<br>me<br>nt   | Azot<br>e  | Dor<br>man<br>ce | % M<br>S  | 1 |  |  |  |                               |  | Dans la norme   |    |  |
|  |  |                  |           | 2 |  |  |  |                               |  |   |    |  |
|  |  |                  |           | 3 |  |  |  | 0.7<br>8                      |  |   |    |  |
|  |  |                  |           | 4 |  |  |  |                               |  |   |    |  |
| Cris<br>talli<br>sati<br>on            |  | Rep<br>os<br>vég | S.<br>U.  | 1 |  |  |  |                               |  |   |    |  |
|  |  |                  |           | 2 |  |  |  | "Un<br>coureu<br>r de<br>fond |  |   |    |  |

|              |                                     |                                |                            |   |  |          |  |   |  |  |
|--------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---|--|----------|--|---|--|--|
| sensibl<br>e |                                     | état<br>if                     |                            | 3 | plutôt<br>qu'un<br>sprinte<br>r qui<br>va<br>avance<br>r sur<br>un<br>cycle<br>bien<br>établi" |          |  |   |  |  |
|              |                                     |                                |                            | 4 |  |          |  |   |  |  |
| Vig<br>ueur  | Pesé<br>des<br>bois<br>de<br>taille | Rep<br>os<br>vég<br>état<br>if | k<br>g<br>/<br>c<br>e<br>p | 1 |  | 0,4<br>0 | K<br>r<br>u<br>s<br>k<br>a<br>l<br>-<br>W<br>a<br>l<br>l<br>i<br>s | La forme de<br>fertilisation a un<br><b>impact</b><br>statistiquement<br><b>significatif</b> sur la<br>vigueur (masse<br>des bois de taille)<br>dès la première<br>année après<br>épandage<br>modalités :<br>(compost) et 2<br>(témoin) > 4<br>modalité 3<br>(Biomazor) ><br>modalité 1<br>(alternance) |  |  |
|              |                                     |                                |                            | 2 |  | 0,5<br>1 |  |   |  |  |
|              |                                     |                                |                            | 3 |  | 0,4<br>3 |  |   |  |  |
|              |                                     |                                |                            | 4 |  | 0,5<br>6 |  |   |  |  |

## 6.2. Annexe 2 : Bilan humique long terme de la parcelle

Je m'étais mis en tête un déficit structurel en alimentation azotée de la parcelle, due à des apports extérieurs déficitaires. Je m'étais alors mis en tête de vérifier ça en usant de modèles de bilans humiques, à décliner sur l'azote, le carbone, la matière organique et l'humus. Mais un calcul de bilan azote du premier ordre amène à la conclusion d'un net excès d'azote pour la vigne (au pas de temps annuel) :

Besoins estimés : maximum 40 UN / ha / an

Minéralisation : compris entre 48 UN / ha / an et 153 UN / ha / an (pour un taux de MO de 1,4%, un C/N de 8,35, une densité de 1,45, un taux de refus nul et un k2 compris entre 1,13% et 3,6%)

Fixation d'azote par les bactéries libres : de l'ordre de 20 UN / ha / an

Déposition atmosphérique de l'azote : de l'ordre de 10 UN / ha / an

Engrais verts : de l'ordre de +5 UN / ha / an

Apports foliaires : de l'ordre de quelques UN / ha / an

Engrais : de 0 (témoin) à 27 UN / ha / an

Dénitrification : de l'ordre de 10 UN / ha / an

Volatilisation NH<sub>4</sub><sup>+</sup> : de l'ordre de 20% des engrais minéraux (70% de la fraction ammoniacale des lisiers)

Lessivage/lixiviation : le différentiel

Ce large excès en azote m'a amené à imaginer un déficit ponctuel (et récurrent d'une année sur l'autre). Il me fallait être plus précis dans mes calculs. Une modélisation au pas de temps journalier. aurait été l'idéal. Un modèle au pas de temps mensuel m'a apparu être un bon compromis pour calculer les ordres de grandeur. J'ai trouvé des calculs basés sur le modèle **RothC** à pas de temps annuel pour mesurer l'impact d'apports extérieurs. Même si les calculs ne se font que sur le paramètre carbone (et donc sans modélisation azote), ce modèle m'a paru à la fois à ma portée et capable de fournir des résultats intéressants. J'ai donc développé un modèle basique sur Excel reprenant la méthodologie RothC. D'après le site web du projet QualiAgro de l'INRAE :

“Le modèle Hénin-Dupuis ne considère qu'un seul compartiment de MO dans le sol, alors que l'hétérogénéité de la nature de cette MO justifie la prise en compte de plusieurs compartiments dynamiques.

Dans le modèle RothC, trois compartiments sont considérés pour représenter les différents types de MO :

- BIO : la biomasse microbienne,
- HUM : la MO humifiée active,
- IOM : la MO inerte.

Trois compartiments sont également distingués pour décrire les types de MO arrivant dans le sol (PRO [c'est-à-dire les amendements que sont les Produits Résiduaire Organiques] et résidus de culture réunis) :

- DPM : la MO décomposable,
- RPM : la MO résistante à la dégradation,
- HUM : la MO directement intégrée au compartiment HUM du sol.

Les temps moyens de résidence de ces compartiments dans le sol sont de 1,2 mois pour le DPM, 3,3 ans pour le RPM, 1,5 ans pour le BIO, 50 ans pour le HUM et infini [considéré à 1000 ans dans ma modélisation] pour le IOM.”



J'ai pris l'année initiale de la modélisation en 2009, correspondant à l'année de rachat de la parcelle de Merlot Olive, et donc la première année pour laquelle je disposais des amendements et fertilisants appliqués. Les paramètres initiaux ont été définis arbitrairement avec des valeurs plausibles. La modélisation s'achève la dernière année de l'expérimentation, c'est à dire en 2024.

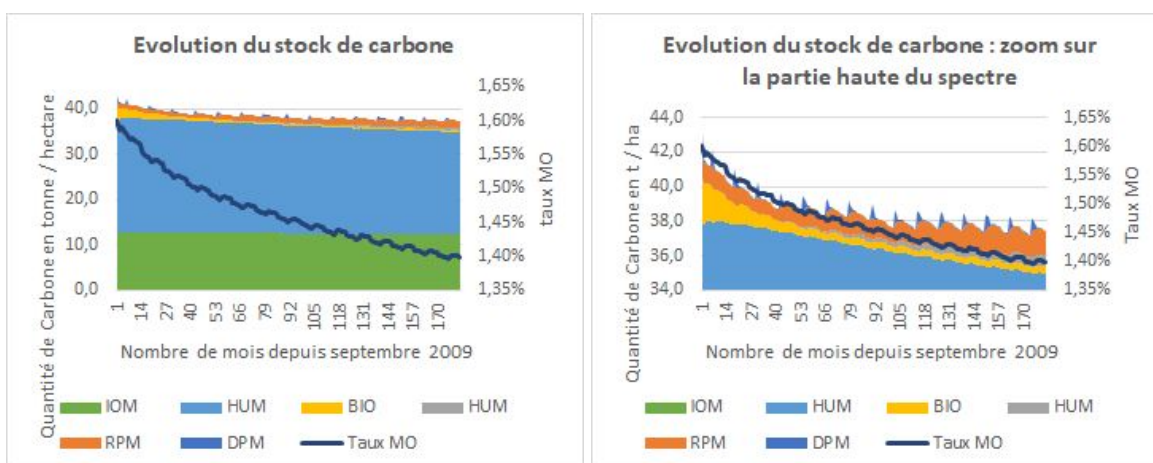
*Tableaux A2-1 : paramétrage des différents apports réalisés depuis 2009 (3 parties)  
Source : diverses, dont les données fournisseur, 2020*

| Nom               | Contenu  |
|-------------------|--|
| HUMIFLOR BIOMAZOR | Mazor (91%) + os + prot. animales                  |
| AB'FLOR 8.10.2    | Mazor + minéral                                    |
| AB'FLOR 13N       | soies de porc + farines de plume                   |
| Compost 2013-2015 |  |
| Compost 2018-2019 | Fumier frais                                       |
| Compost 2019-2020 | Fumier frais                                       |
| VEGETHUMUS        |  |
| Sarments          |  |
| Feuilles          |  |
| Engrais verts     |  |
| PRP 7-4-0         | activateur de biomasse microbienne + engrais orga. |
| EO 9-1,8-4,5      | engrais organique ?                                |

| Nom               | % N brut | % P brut | % K brut | % MO  | % MS  | k1  | ISMO |
|-------------------|----------|----------|----------|-------|-------|-----|------|
| HUMIFLOR BIOMAZOR | 2,1%     | 1,5%     | 2,0%     | 58%   | 80%   |     | 55%  |
| AB'FLOR 8.10.2    | 8,0%     | 10,0%    | 2,0%     | 90%   |       |     |      |
| AB'FLOR 13N       | 13,0%    | 0,0%     | 0,0%     | 90%   | 90%   |     |      |
| Compost 2013-2015 | 0,7%     | 0,4%     | 1,0%     | 17,7% | 33,8% | 60% | 70%  |
| Compost 2018-2019 | 0,8%     | 0,4%     | 1,2%     | 19,5% | 44,4% | 60% | 70%  |
| Compost 2019-2020 | 0,5%     | 0,4%     | 0,7%     | 15,9% | 23,1% | 60% | 70%  |
| VEGETHUMUS        | 2,2%     | 0,5%     | 1,0%     | 60%   | 82%   |     | 83%  |
| Sarments          | 0,3%     | 0,1%     | 0,3%     | 56%   | 50%   | 25% | 22%  |
| Feuilles          |          |          |          | 20%   | 20%   | 20% | 18%  |
| Engrais verts     | 0,5%     | 0,1%     | 0,6%     | 20%   | 20%   | 10% | 9%   |
| PRP 7-4-0         | 7,0%     | 4,0%     | 0,0%     | 55%   | 93%   |     | 19%  |
| EO 9-1,8-4,5      | 9,0%     | 1,8%     | 4,5%     | 58%   | 80%   |     | 0%   |

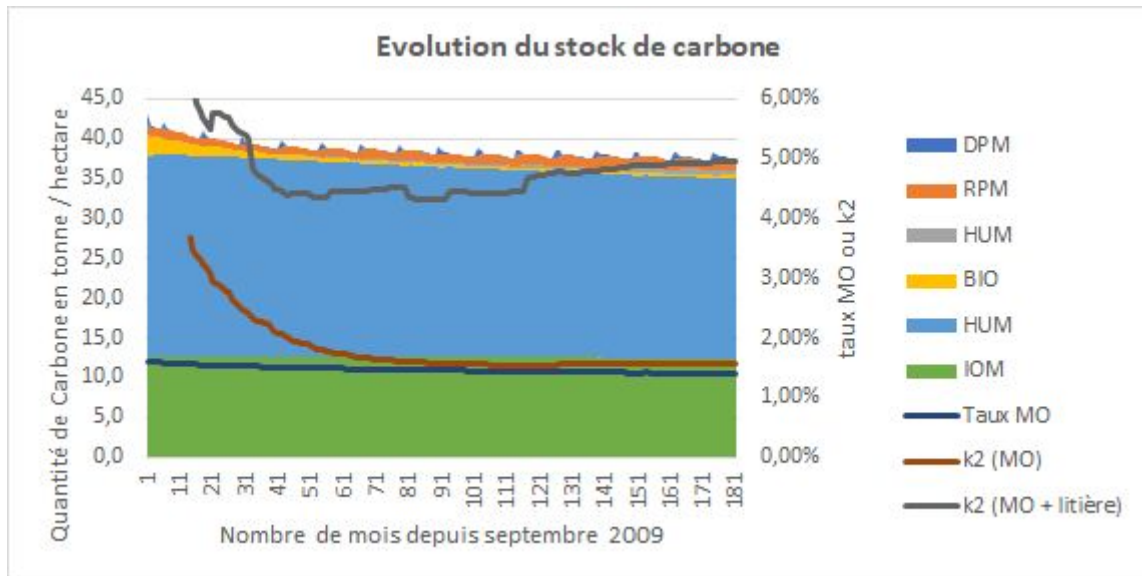
| Nom               | % N minéralisé<br>an 1 | % C minéralisé<br>an 1 | C/N  | fDPM | fRPM | fHUM |
|-------------------|------------------------|------------------------|------|------|------|------|
| HUMIFLOR BIOMAZOR | 22%                    |                        | 13,8 | 47%  | 45%  | 8%   |
| AB'FLOR 8.10.2    | 75%                    |                        |      | 90%  | 9%   | 1%   |
| AB'FLOR 13N       | 75%                    | 90%                    | 3,3  | 90%  | 9%   | 1%   |
| Compost 2013-2015 | 23%                    | 20%                    | 13,8 | 28%  | 60%  | 12%  |
| Compost 2018-2019 | 23%                    | 20%                    | 12,5 | 28%  | 60%  | 12%  |
| Compost 2019-2020 | 23%                    | 20%                    | 15,1 | 28%  | 60%  | 12%  |
| VEGETHUMUS        |                        |                        | 13   | 12%  | 72%  | 16%  |
| Sarments          |                        |                        |      | 87%  | 13%  |      |
| Feuilles          |                        |                        |      | 91%  | 9%   |      |
| Engrais verts     |                        |                        |      | 59%  | 41%  |      |
| PRP 7-4-0         |                        |                        | 3,5  | 92%  | 10%  | -2%  |
| EO 9-1,8-4,5      |                        |                        |      | 100% | 0%   | 0%   |

*In fine*, avec les données historiques, et les projections de la modalité, les résultats de la modélisation sont les suivants :



Figures A2-1 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 2  
Source : l'auteur, basé sur RothC, août 2020

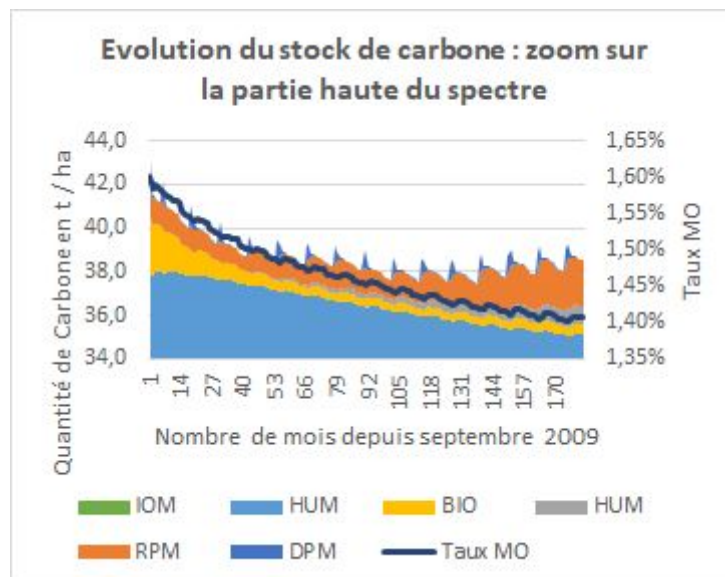
On observe sur les figures A2-1 que même si le total matière organique + apports et résidus tend à se stabiliser, le carbone du sol (représentant la matière organique) continue de baisser, malgré des apports de compost de 5 t de matière brute par hectare et par an.



Figures A2-2 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 2 + k2  
 Source : l'auteur, basé sur RothC, août 2020

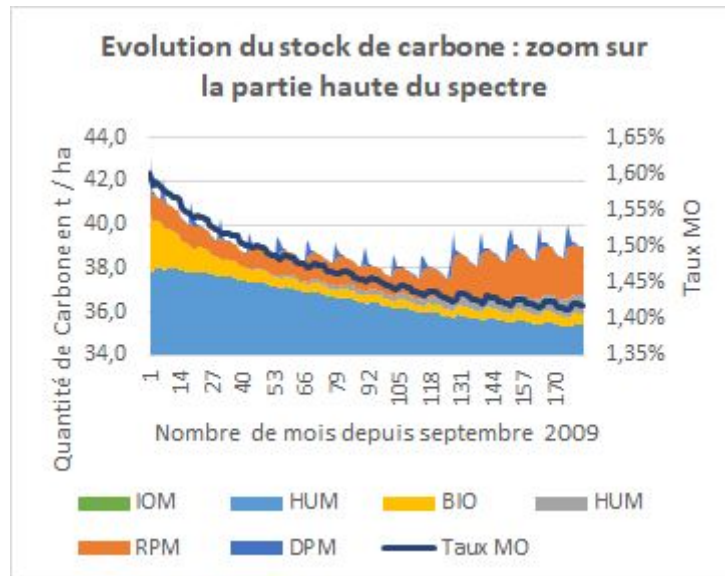
Dans le cadre de ce paramétrage, le k2 se stabilise autour de 2% (cf Figure A2-2). Si on définit un nouveau k2' qui englobe le carbone du sol et sa litière (composée de résidus végétaux et d'apports), celui-ci est nettement plus élevé autour de 5% et tend à croître.

Pour stabiliser le taux de matière organique, il faudrait au moins doubler les apports de compost (conformément au rapport d'Yves Hérody), cf figure A2-3.



Figures A2-3 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 2 avec double ration de compost  
 Source : l'auteur, basé sur RothC, août 2020

De même, pour stabiliser la matière organique avec du Biomazor, la quantité à apporter serait plutôt de l'ordre de 3,5 tonne de matière brute par an (figure A2-4).



Figures A2-4 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 3 avec une dose annuelle de Biomazor de 3,5 tonne  
Source : l'auteur, basé sur RothC, août 2020

Stabiliser le potentiel de fertilité demande donc des doses considérables d'apports extérieurs ! Pour réduire le volume de ces apports, une façon d'opérer consisterait à créer du carbone *in situ*, par exemple en ayant des couverts végétaux très développés.

Note : itk, fournisseur de solution pour la modélisation hydraulique sur les domaines irrigués du groupe est en train de développer un modèle azote, au pas de temps journalier, qui permettrait d'identifier les périodes de faim d'azote de la vigne (azote du sol absent ou non mobilisable et réserves propres de la vigne épuisées).



### 6.3.3. Evaluation de l'hypothèse d'homogénéité des résidus

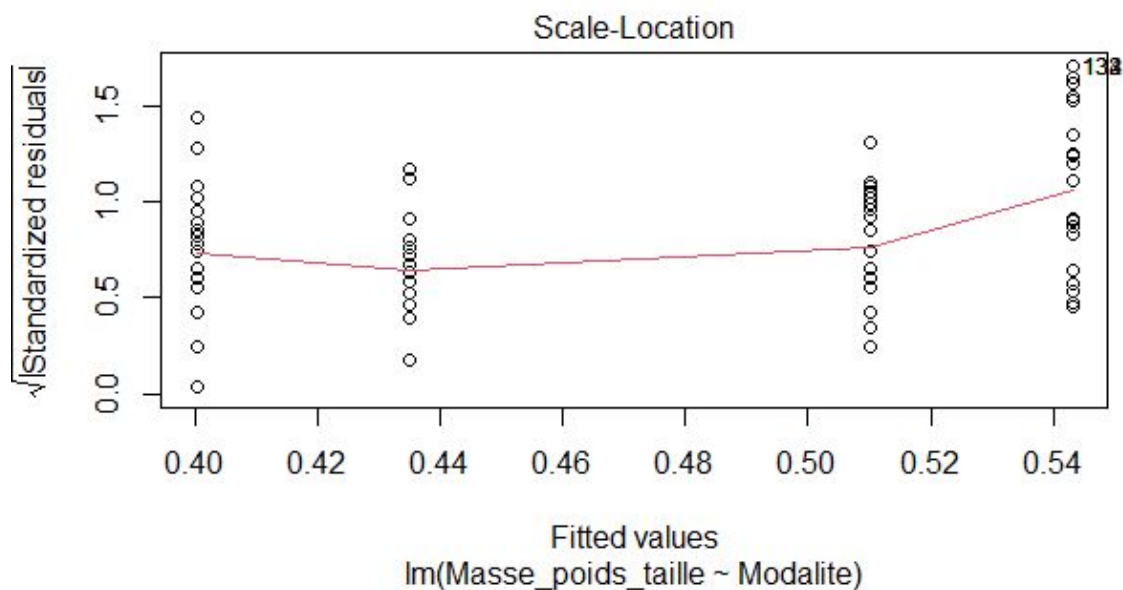


Figure A3-2 : graphique plot des résidus standardisés "plot(myeloma\_an,3)"  
Source : l'auteur, septembre 2020

```
> bartlett.test(residuals(myeloma_an)~Pesee_bois_taille_2020_pour_R$Modalite)
Bartlett test of homogeneity of variances
data: residuals(myeloma_an) by Pesee_bois_taille_2020_pour_R$Modalite
Bartlett's K-squared = 141.46, df = 3, p-value < 2.2e-16
```

Le plot des résidus standardisés, en fonctions des valeurs prédites par le modèle ANOVA (c'est-à-dire les moyennes de chaque groupe), montre que les dispersions des résidus sont relativement différentes. **L'hypothèse de l'homogénéité des résidus est rejetée** par le test de Bartlett, puisque la pvalue est inférieure à 0.05.

## 6.4. Annexe 4 : Tests de validité statistique : NBI

L'indicateur NBI (Nitrogen Balance Index) ne pouvait effectivement prétendre à une ANOVA à un facteur. **Les tests de validité ne sont pas satisfaits.** Les valeurs de NBI sont dans le jeu de données "mymeloma\_an".

### 6.4.1. Évaluation de l'indépendance

```
> durbinWatsonTest(myeloma_an)
lag Autocorrelation D-W Statistic p-value
1 0.09473139 1.806963 0.002
Alternative hypothesis: rho != 0
```

La pvalue étant inférieure à 0.05, on **rejette l'hypothèse de l'indépendance des résidus.**

### 6.4.2. Evaluation de l'hypothèse de normalité des résidus

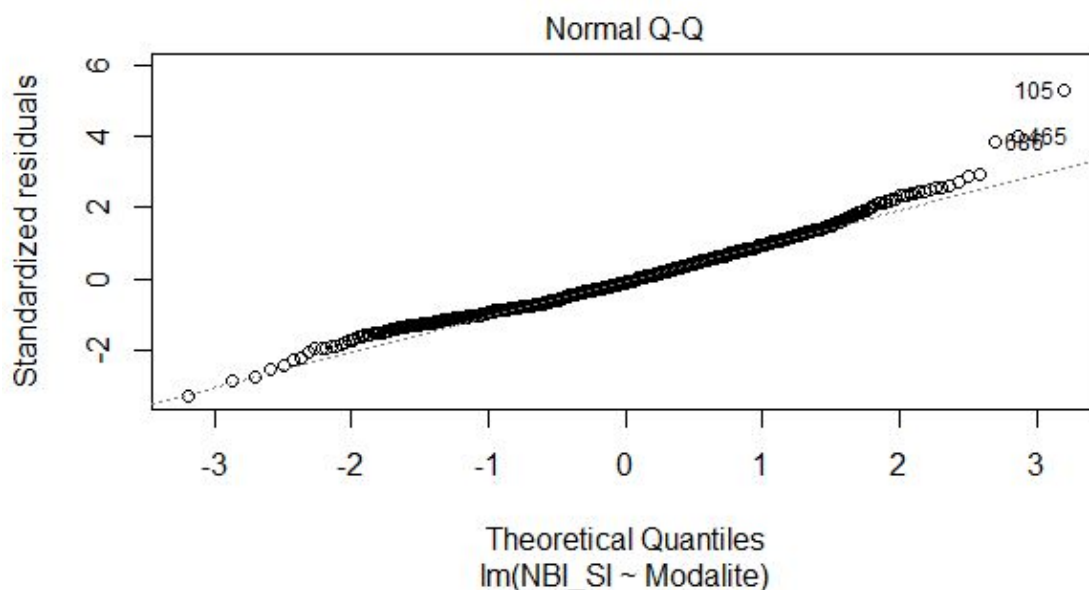


Figure A4-1 : diagramme quantile-quantile "plot(myeloma\_an,2)"  
Source : l'auteur, septembre 2020

```
> shapiro.test(residuals(myeloma_an))
Shapiro-Wilk normality test
data: residuals(myeloma_an)
W = 0.97857, p-value = 8.983e-09
```

Le QQplot met en évidence un défaut de normalité, tout comme le test de Shapiro Wilk qui **rejette l'hypothèse de normalité** (la pvalue est < 0.05).

### 6.4.3. Evaluation de l'hypothèse d'homogénéité des résidus

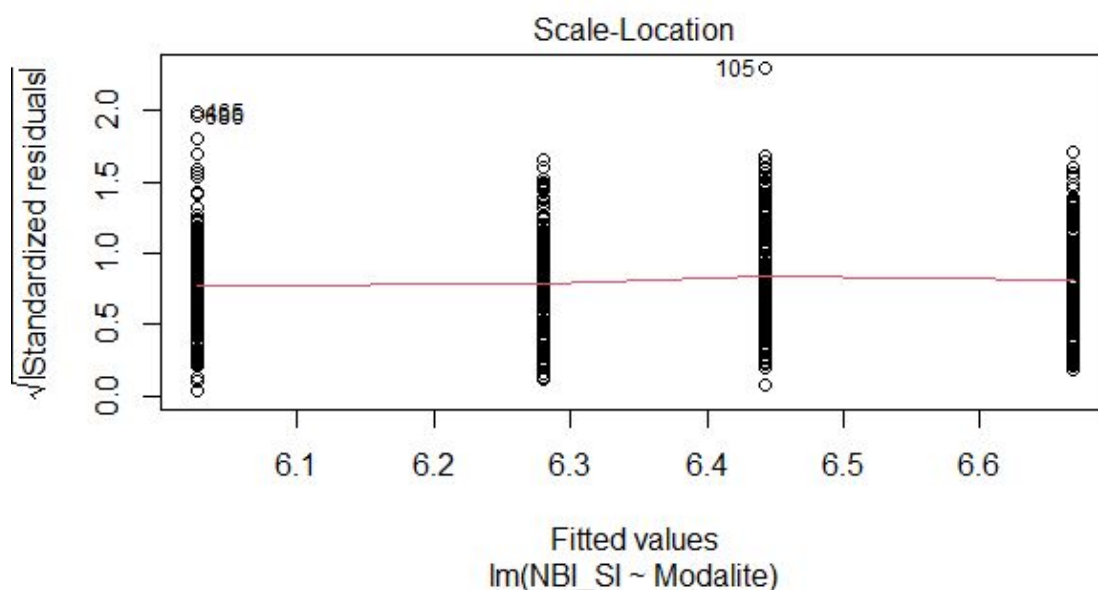


Figure A4-2 : graphique plot des résidus standardisés "plot(myeloma\_an,3)"  
Source : l'auteur, septembre 2020

```
> bartlett.test(residuals(myeloma_an)~Pesee_bois_taille_2020_pour_R$Modalite)
Bartlett test of homogeneity of variances
data: residuals(myeloma_an) by Donnees_Dualex_2020_pour_R$Modalite
Bartlett's K-squared = 7.016, df = 3, p-value = 0.07139
```

Le plot des résidus standardisés, en fonctions des valeurs prédites par le modèle ANOVA (c'est-à-dire les moyennes de chaque groupe), montre que les dispersions des résidus sont relativement homogènes. **L'hypothèse de l'homogénéité des résidus est acceptée** par le test de Bartlett, puisque la pvalue est supérieure à 0.05.



## Table des annexes

|  |           |
|--|-----------|
| <b>6. ANNEXES</b>  | <b>33</b> |
| 6.1. Annexe 1 : Synthèse des résultats obtenus                           | 34        |
| 6.2. Annexe 2 : Bilan humique long terme de la parcelle                  | 39        |
| 6.3. Annexe 3 : Tests de validité statistique : Masse des bois de taille | 44        |
| 6.3.1. Évaluation de l'indépendance                                      | 44        |
| 6.3.2. Évaluation de l'hypothèse de normalité des résidus                | 44        |
| 6.3.3. Évaluation de l'hypothèse d'homogénéité des résidus               | 45        |
| 6.4. Annexe 4 : Tests de validité statistique : NBI                      | 46        |
| 6.4.1. Évaluation de l'indépendance                                      | 46        |
| 6.4.2. Évaluation de l'hypothèse de normalité des résidus                | 46        |
| 6.4.3. Évaluation de l'hypothèse d'homogénéité des résidus               | 47        |

## Table des figures en annexe

|  | Page |
|--|------|
| ■ <a href="#">Figures A2-1 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 2</a>   | 41   |
| ■ <a href="#">Figures A2-2 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 2 + k2</a>  | 42   |
| ■ <a href="#">Figures A2-3 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 2 avec double ration de compost</a>                   | 42   |
| ■ <a href="#">Figures A2-4 : évolution du carbone du sol et de la litière pour la modalité 3 avec une dose annuelle de Biomazor de 3,5 tonne</a> | 43   |
| ■ <a href="#">Figure A3-1 : diagramme quantile-quantile “plot(myeloma_an.2)”</a>   | 44   |
| ■ <a href="#">Figure A3-2 : graphique plot des résidus standardisés “plot(myeloma_an.3)”</a>   | 45   |
| ■ <a href="#">Figure A4-1 : diagramme quantile-quantile “plot(myeloma_an.2)”</a>   | 46   |
| ■ <a href="#">Figure A4-2 : graphique plot des résidus standardisés “plot(myeloma_an.3)”</a>   | 47   |

## Table des tableaux en annexe

|  |            |
|--|------------|
| ■ <a href="#">Table 12. aux A2-1 : paramétrage des différents apports réalisés depuis 2009 (3 parties)</a> | Page<br>40 |
|--|------------|

## 7. Résumés

### Impact des apports d'amendement et de fertilisant sur le rendement viticole.

#### Etude dans le vignoble audois

**Résumé :** L'étude, réalisée dans l'Aude pendant 2 ans, vise à valider l'hypothèse selon laquelle des apports bien choisis d'amendement (compost biodynamique jeune) et de fertilisant azoté permettent de redresser des rendements faibles (inférieurs à 5 t / ha en plaine), grâce notamment à une aggradation de la vie du sol. De nombreuses études contradictoires ont été réalisées sur l'impact de la biodynamie sur la vigne. En revanche, elles tendent généralement à montrer que le rendement est inférieur et la vie du sol supérieure (par rapport au conventionnel). La présente étude compare 4 modalités (1 : alternance d'amendement organique et d'engrais azoté ; 2 : compost de fumier frais biodynamique + engrais azoté ; 3 : amendement organique + engrais azoté ; 4 : témoin) pendant 6 ans au moyen d'indicateurs relatifs au sol, à la vigne et au vin. En année 2, des différences statistiquement significatives apparaissent. La modalité témoin est une des deux modalités qui présentent la plus grande masse de bois de taille (>0,5 kg / cep), contrairement aux attendus. La modalité biodynamique présente une baisse de la biomasse microbienne du sol (-14% en 1 an), en contradiction avec la littérature. Le rendement maximal est obtenu sur la modalité témoin (4,74 t / ha).

Les effets des amendements organiques devant s'amplifier dans les années à venir, les résultats des années prochaines permettront probablement d'amplifier les différences entre modalités.

Pour viser une amélioration pérenne du rendement, d'autres opérations (enherbement, réduction du travail du sol, révision des pratiques de taille, etc.) pourraient être testées sur la modalité 1 dès à présent.

**Mots-clés :** biodynamie, amendement, engrais, sol, rendement, vigne

### Impact of soil enricher and fertilizer additions on vine yield.

#### Study in the Aude vineyard

**Abstract :** The study, carried out in Aude for 2 years, aims to validate the hypothesis according to which well-chosen contributions of soil enrichers (young biodynamic compost) and nitrogen fertilizers make it possible to restore low yields (less than 5 t / ha in the plains), thanks in particular to an aggravation of soil activity. Many contradictory studies have been carried out on the impact of biodynamics on the vine, but in general they tend to show that the yield is lower and the life of the soil higher (vs conventional).

The present study compares 4 modalities (1: alternation of organic soil enricher and nitrogen fertilizer; 2: fresh biodynamic manure compost + nitrogen fertilizer; 3: organic amendment + nitrogen fertilizer; 4: control) for 6 years by means of indicators about soil, vines and wine. In year 2, statistically significant differences appear. The control modality is one of the two modalities which present the greatest mass of pruning wood (> 0.5 kg / stock), contrary to expected. The biodynamic method shows a decrease in the microbial biomass of the soil (-14% in 1 year), in contradiction with the literature. The biggest yield is in the control modality (4,74 t / ha).

As the effects of soil enrichers are expected to intensify in the years to come, the results of the next few years will probably amplify the differences between modalities.

To aim for a lasting improvement of the yield, other operations (cover cropping, reduction of tillage, revision of pruning practices, etc.) could be tested on modality 1.

**Key words :** biodynamics, amendment, fertilizer, soil, yield, vine