



LICENCE PROFESSIONNELLE

Option : Agriculture, Durabilité et Nouvelles Technologies

**RAPPORT DE STAGE**

**Impacts des pratiques biodynamiques sur les  
sols viticoles**



par **Côme de NAVACELLE**

Promotion 2021/2022



# Impacts des pratiques biodynamiques sur les sols viticoles



**Organisme d'accueil :**

Biodynamie Services

**Maître de stage :**

Yannick Lemut

**Rédigé par :**

Côme de Navacelle

**Présenté le :**

06 septembre 2022

## **Remerciements**

Je souhaite tout d'abord remercier Vincent Masson et toute l'équipe de Biodynamie Services pour leur accueil chaleureux et nos échanges riches en enseignements.

Je tiens aussi à remercier les enseignants chercheurs de l'université de Bourgogne, d'Agrosup Dijon et les nombreux intervenants qui ont partagé tout au long du premier semestre leur savoir et leurs connaissances.

Merci également à Yannick Lemut pour son tutorat et son encadrement dans la rédaction de ce mémoire.

Enfin, je suis très reconnaissant à tous les vignerons qui ont patiemment répondu à mes nombreuses questions et accepté que soient réalisés les essais présentés dans ce mémoire.

# Impacts des pratiques biodynamiques sur les sols viticoles

## Résumé

L'agriculture doit aujourd'hui répondre à de nombreux défis, tant sur le plan environnemental que sur le plan agronomique. La fertilité des sols agricoles est l'un de ces enjeux majeurs. Taux de matière organique, structuration des sols, biomasse, mais aussi gestion de la ressource « eau » sont les piliers de cette fertilité.

Initiée en 1924 par Rudolf Steiner, l'agriculture biodynamique a pour ambition de permettre au sol et à son environnement de fonctionner à son meilleur potentiel par l'application de préparations spécifiques (de Villaine, 2013).

L'objectif de ce stage est de mettre en comparaison des modalités de culture biodynamique et biologique afin d'observer d'éventuelles différences d'organisation et de structuration des sols viticoles. Cette étude a été menée sur dix parcelles appartenant à cinq vigneron de la région.

Après avoir exposé dans un premier temps les principes de la biodynamie et les conclusions des études publiées, ce rapport détaille les matériels et méthodes utilisés et présente les résultats obtenus. Enfin, une discussion est engagée au vu des résultats et une conclusion en est tirée.

# Table des matières

Introduction.....	10
Présentation de l'entreprise, contexte et problématique.....	11
1 <sup>ère</sup> Partie : Principes de la biodynamie et état de l'art.....	12
1.1) Historique.....	12
1.2) Fondements de la biodynamie.....	12
1.3) Les préparations biodynamiques.....	13
a) Préparation bouse de corne (500/500P).....	13
b) Préparation silice de corne (501).....	14
c) Préparations à base de plantes.....	15
1.4) La dynamisation.....	15
1.5) Pratiques biodynamiques.....	16
1.6) État des lieux des travaux de recherche.....	16
2 <sup>e</sup> Partie :Matériels et méthode.....	20
2.1) Mise en place des expérimentations.....	20
a) Conditions pédologiques.....	20
b) Conduite des vignobles.....	21
c) Pratiques biodynamiques.....	21
d) Choix des blocs d'essai.....	21
2.2) Mesures comparatives.....	22
a) Test de stabilité structurale (slake test).....	22
b) Test d'infiltration au cylindre.....	23
c) Test de pénétrabilité.....	24
d) Test bêche.....	25

e) Test par perte au feu.....	25
f) Morphochromatographie.....	26
3 <sup>e</sup> partie : Résultats des essais et discussion.....	28
3.1) Test de stabilité structurale (slake test).....	28
3.2) Test de pénétrabilité.....	28
3.3) Test d'infiltration au cylindre.....	28
3.4) Test à la fourche bêche.....	30
3.5) Test par perte au feu.....	31
3.6) Morphochromatographie.....	32
3.7) Discussion.....	33
4 <sup>e</sup> partie : Conclusion et pistes de réflexion.....	34

## Index des figures

Figure 1: Bouse de corne 500.....	14
Figure 2: Quartz dont est issue la silice de corne 501.....	15
Figure 3: Un dynamiseur Ecodyn.....	16
Figure 4: Réseaux d'interactions fongiques et bactériennes.....	20
Figure 5: Carte pédologique de la région.....	21
Figure 6: Verres et tamis utilisés pour le slake test.....	23
Figure 7: Cylindre utilisé.....	24
Figure 8: Pénétrromètre.....	25
Figure 9: Test à la fourche bêche.....	26
Figure 10: Étuve et four à moufle.....	27
Figure 11: Morphochromatographies des 20 modalités.....	27
Figure 12: Horizon superficiel en BD: +10 cm.....	31
Figure 13: Différence notable de couleur.....	32
Figure 14: Échelle de gradation des morphochromatographies.....	33
Figure 15: Parcelle La vernette / n°7:modalité AB, n°8:modalité BD.....	34
Figure 16: Parcelle: Folie. À gauche: AB / À droite: BD.....	41
Figure 17: Parcelle: Cornillaux. A gauche: AB / À droite: BD.....	42
Figure 18: Parcelle: Chasselas.....	42
Figure 19: Parcelle: Peupliers.....	42
Figure 20: Parcelle: Lavoir.....	42
Figure 21: Parcelle: Quarts. À gauche AB / À droite BD.....	42

Figure 22: Parcelle: Vineuse. À gauche AB / À droite BD.....	42
Figure 23: Parcelle: Reines.....	43
Figure 24: Parcelle: Bonnod nord.....	43
Figure 25: Parcelle: Vernette.....	43

## **Index des tableaux**

Tableau 1: Temps d'infiltration et écarts constatés.....	25
Tableau 2: Caractéristiques des parcelles de l'essai.....	33
Tableau 3: Classes de stabilité.....	34
Tableau 4: Classes de stabilité des échantillons.....	35
Tableau 5: Identification des morphochromatographies.....	41

## **Index des annexes**

Annexe 1 : Caractéristiques des parcelles de l'essai.

Annexe 2 : Classes de stabilité (slake test).

Annexe 3 : Classes de stabilité des échantillons (slake test).

Annexe 4 : Différences colorimétriques observées et tableau des codes Munsell.

Annexe 5 : Résultats du test par perte au feu.

Annexe 6 : Morphochromatographies comparatives.

Annexe 7 : Photos d'échantillons solubilisés dans la soude.

Annexe 8 : Échantillons dilués dans une solution de soude à 10 %.

## **Introduction**

Le monde agricole connaît aujourd'hui une profonde remise en question de son modèle dominant, l'agriculture dite « conventionnelle ». Cette dernière s'appuie sur un usage conséquent d'intrants de synthèse, que ce soit pour la fertilisation, la destruction des adventices ou la protection des cultures. Ces produits phytopharmaceutiques et leurs conséquences sur la santé humaine et sur l'environnement interrogent fortement la société.

La viticulture, de par son utilisation élevée d'intrants chimiques est la première concernée par cette dépendance aux produits de synthèse. D'après de nombreuses sources, la viticulture représenterait environ 20 % des dépenses nationales de pesticides pour une Surface Agricole Utile (SAU) de seulement 3 %<sup>1</sup>. Face à ces problématiques, de nombreux vignerons explorent de nouvelles voies en vue d'améliorer la résilience de notre modèle agricole. La viticulture biologique, précurseuse en la matière, connaît une réelle attractivité et concerne en 2021 20 % du vignoble français avec une croissance de 9 % des surfaces cultivées par rapport à 2020 (Agence bio, juillet 2022). La viticulture biologique fait néanmoins face à de nouveaux défis qui nécessitent de poursuivre la recherche d'alternatives. L'interdépendance des enjeux environnementaux, sociétaux et économiques nécessite une réflexion globale élargie. Le travail mécanique intense du sol, l'emploi répété du cuivre dans la lutte fongique sont par exemple deux pratiques qui questionnent quant à la vie des sols et leur fertilité.

Initiée en 1924 par Rudolf Steiner dans son « Cours aux agriculteurs », l'agriculture biodynamique souhaite répondre depuis qu'elle existe aux enjeux agro-environnementaux que l'on connaît. Elle est basée sur l'utilisation de préparations spécifiques et une vision globale de « l'organisme agricole », concept qui sera développé ultérieurement.

L'objectif de ce stage est de comparer les modes de culture biologique (AB) et biodynamique (BD) et d'observer les éventuels effets des pratiques biodynamiques sur les sols viticoles. Après avoir précisé le contexte de l'étude, ce rapport exposera les principes de la biodynamie et présentera les différents tests réalisés. Enfin, les résultats obtenus seront discutés et des pistes de réflexion ouvertes.

---

<sup>1</sup> Chiffres souvent cités, cependant les dernières données officielles trouvées datent de 2001 (ministère de l'Agriculture) ou 2006 (INRAE). <https://www.researchgate.net/> p14

## **Présentation de l'entreprise, contexte et problématique**

Située dans le Clunysois, à Château (F-71250), Biodynamie Services est une entreprise qui propose des formations à destination des agriculteurs désireux de changer de pratiques. Elle élabore et distribue de plus les préparations biodynamiques destinées aux agriculteurs biodynamistes.

Créée en 2005 par Pierre et Vincent Masson et forte de 7 salariés, BDS promeut l'agriculture biodynamique, notamment au travers de l'association Soins de la Terre dont elle est partenaire. Cette association vise à rendre accessibles les documents et publications scientifiques produits sur le sujet. De plus, elle s'appuie sur un réseau d'agriculteurs biodynamistes pour mener expérimentations et essais de terrain.

Les parcelles choisies dans les domaines partenaires de l'association présentent des modalités comparatives en culture « biologique » et « biodynamique » sur une même parcelle et doivent permettre de répondre à la problématique suivante :

Quels sont les effets observés des pratiques biodynamiques sur les sols viticoles ?

Pour y répondre, l'essai évalue plusieurs critères à l'aide de tests accessibles aux agriculteurs désireux de s'approprier ces outils d'aide à la décision. La structure du sol, l'infiltration et le stockage de l'eau, ainsi que la présence de matières organiques seront ainsi les axes clés de cet essai.

# **1<sup>ère</sup> Partie : Principes de la biodynamie et état de l'art**

## **1.1) Historique**

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, Rudolf Steiner, scientifique et philosophe d'origine autrichienne, fonde le mouvement anthroposophique. Ce mouvement cherche à élargir la compréhension du monde et de ses lois physiques, chimiques et biologiques en tenant aussi compte de leur aspect vivant, psychique et spirituel.

Dans un cycle de huit conférences, connu sous le nom de « Cours aux agriculteurs », R. Steiner développe auprès d'un public d'agriculteurs les bases de la méthode biodynamique. À sa suite, de nombreux chercheurs ont développé et adapté cette méthode à la pratique et aux conditions locales.

## **1.2) Fondements de la biodynamie**

L'agriculture biodynamique s'appuie sur un pré-requis incontournable, des pratiques agronomiques saines. Un travail du sol modéré, des rotations longues, l'utilisation de couverts végétaux, l'exclusion des intrants de synthèse sont parties intégrantes de la méthode biodynamique.

Un premier élément constitutif de la biodynamie est le concept d'organisme agricole. Il s'agit ici de constituer une « individualité écologique » (Masson, 2015) qui associerait l'élevage d'espèces animales adaptées au lieu à différentes productions végétales. L'ultra spécialisation du monde agricole depuis la fin de la seconde guerre mondiale a compliqué la possibilité de développer ces organismes agricoles qui présentent pourtant de nombreux avantages au vu des défis agro-environnementaux à relever : la fabrication et le transport des engrais de synthèse, des matières premières depuis les régions céréalières vers les régions d'élevage, le maintien de la biodiversité, la fertilité des sols, le bilan carbone du monde agricole, la qualité des eaux, sont autant de questions auxquelles la biodynamie se propose de répondre.

Un deuxième principe fondamental est l'emploi soigné des préparations biodynamiques (voir partie 1.3). La qualité de l'eau, les bonnes techniques de conservation, la dynamisation et la pulvérisation sont autant de points de vigilance.

Enfin, troisième point d'importance, les grands rythmes naturels (saisonniers, cosmiques...) doivent être autant que possible respectés afin de tirer parti de leur influence sur la croissance et la santé des êtres vivants.

L'objectif de ces pratiques est de renforcer les défenses naturelles du végétal, d'après l'idée selon laquelle « plus une plante est dans de bonnes conditions de culture, plus elle est apte à résister aux agressions » (Maraibio, 2014).

Il existe aujourd'hui deux organismes certificateurs qui font référence : Demeter, qui garantit le respect des pratiques biodynamiques pour tous les secteurs agricoles, et ce depuis 1932 ; Biodyvin est quant à lui un label spécifique au monde viticole. Créé en 1998, les vins certifiés ne doivent subir aucun ajout, aucun retrait ni aucune modification.

### **1.3) Les préparations biodynamiques**

#### **a) Préparation bouse de corne (500/500P)**



*Figure 1: Bouse de corne 500*

La bouse de corne, dite 500, est élaborée à partir de bouse de vache fraîche introduite dans des cornes enterrées durant l'hiver. Cette opération permet d'obtenir par fermentation une substance de texture colloïdale, humides. Diluée dans de l'eau à raison de 100 grammes par hectare pour environ 35 litres d'eau chauffée à 35 °C et dynamisée (voir partie 1.4), elle est couramment pulvérisée 2 fois par an en grosses gouttes le soir, au printemps et à l'automne.

Cette préparation s'adresse au sol et aux systèmes racinaires des plantes en stimulant l'activité microbienne et l'humification du sol. Elle régulerait le pH du sol vers la neutralité (FIBL, 2001), améliorant ainsi l'absorption des minéraux par les racines. Autre effet de cette préparation, les systèmes racinaires se développent en profondeur, permettant ainsi aux végétaux de mieux couvrir les différents horizons du sol (Masson, 2012).

La bouse de corne préparée, ou 500P, correspond à la 500 à laquelle on a ajouté les six préparations biodynamiques d'achillée millefeuille (502), de matricaire camomille (503), d'ortie (504), d'écorce de chêne (505), de pissenlit (506) et de valériane (507)(voir partie 1.3.c). Développée par Alex Podolinsky, cette préparation remplace la 500 avec des effets souvent meilleurs (Masson, 2012).

## **b) Préparation silice de corne (501)**



*Figure 2: Quartz dont est issue la silice de corne 501*

La silice de corne, ou 501, est élaborée à partir de quartz finement broyé (*Si, Silicium*). Elle est enfouie sous terre dans des cornes de vaches pendant tout l'été. Une fois séchée et triée à l'automne, elle est dynamisée (4gr/ha) et pulvérisée en fin brouillard tout au long de la croissance de la plante, de préférence tôt le matin.

La silice agit quant à elle au niveau du feuillage du végétal, renforçant la paroi cellulaire des feuilles et améliorant l'efficacité de la photosynthèse (Epstein, 1994). Les feuilles ayant reçu de la silice maintiennent un port érigé et une disposition foliaire favorable à la captation de la lumière (article paru en 2016 par J. G. Barth).

### **c) Préparations à base de plantes**

Les préparations à base de plantes (Achillée, Camomille, Ortie, Écorce de chêne, Pissenlit et Valériane) sont destinées à l'amélioration d'un compost (vitesse de décomposition plus grande, biomasse et abondance de vers de terre plus importante) (Zaller et Köpke, 2004).

La décoction de prêle des champs (508) est quant à elle utilisée en préventif contre les maladies cryptogamiques telle que le mildiou et l'oïdium. Cette préparation aurait un effet retard sur les champignons parasites, retardant la contamination par le mildiou situé dans le sol (Marchand et al., 2014).

### **1.4) La dynamisation**



*Figure 3: Un dynamiseur Ecodyn*

Il s'agit de brasser de manière énergique et ce pendant une heure les préparations 500/500P et 501 diluées dans l'eau avant de les pulvériser dans la foulée. Cela consiste à créer un vortex dans un sens puis dans l'autre, en alternance avec une phase de chaos.

En plus d'activer la préparation, la dynamisation permet d'obtenir une « profonde interpénétration » de la substance brassée et de l'eau (Steiner, 1924). Elle peut se faire manuellement ou à l'aide de dynamiseurs mécaniques (voir figure 3).

## **1.5) Pratiques biodynamiques**

Depuis 1924, la biodynamie a connu de nombreuses évolutions qui ont pu rendre moins évidents les limites et le cadre qui la définit. Les pratiques complémentaires à celles présentées auparavant sont nombreuses et variées : tisanes, infusion, macérations, ou encore poudres. Elles visent à accompagner et à équilibrer le végétal face à des situations spécifiques : gel, stress hydrique, sécheresse, etc. Il ne s'agit donc pas de soigner ponctuellement le végétal face à une attaque par exemple cryptogamique mais de le renforcer, de « créer de la santé ».

La biodynamie s'appuie sur des pratiques agronomiques vertueuses : travail du sol le plus limité possible, sur sol ressuyé, apport de matières organiques sous forme de compost, utilisation des couverts végétaux. Elle vient compléter ces pratiques dans le but d'équilibrer le milieu cultural, objectif ambitieux au vu de la forte spécialisation du modèle agricole dominant.

« La réussite et l'équilibre sont liés à la mise en œuvre de nombreux petits détails » (Masson, 2014). La qualité des préparations, de l'eau mais aussi la précision et la rigueur dans l'application des préparations sont cruciales pour obtenir les résultats attendus.

## **1.6) État des lieux des travaux de recherche**

Selon la définition du National Research Council, la qualité d'un sol se mesure par un ensemble de paramètres physiques (structure, porosité, profondeur), chimiques (disponibilité en éléments minéraux, taux de matière organique) et biologiques (micro-organismes, activité biologique). Concernant les effets des préparations biodynamiques sur la qualité des sols, le débat est intense et de nombreuses idées reçues circulent. Rudolf Steiner insiste dans son « Cours aux agriculteurs » (1924) sur un préalable indispensable à la diffusion de son enseignement, la démonstration scientifique de l'efficacité de ses préconisations. Comme beaucoup de pratiques agricoles, la biodynamie comprend un ensemble non homogène de pratiques, ce qui tend à diversifier les résultats d'expérimentations souvent effectuées in situ. Depuis maintenant une

cinquantaine d'années, un certain nombre de travaux de recherche ont d'ores et déjà été menés et fournissent des preuves substantielles des effets positifs de la gestion biodynamique.

Depuis 1978, l'institut de recherche de l'agriculture biologique (FIBL) mène un essai de longue durée qui compare les systèmes de culture biodynamique, organo-biologique et conventionnel. Les questions de recherche à l'origine de cet essai se sont modifiées : il s'agissait dans un premier temps de savoir si l'agriculture biologique fonctionne, pour évoluer par la suite vers des questions écologiques centrales et des processus essentiels qui se déroulent dans le sol (FIBL, 2016). Le FIBL s'intéresse désormais à l'efficacité agronomique, écologique et économique des différents systèmes agricoles, aux processus microbiologiques et aux interactions dans le sol, ainsi qu'au rapport sol/ puit de carbone/ gaz à effet de serre.

Les principaux résultats de ces essais montrent qu'au-delà de bilans de fumure identiques et insuffisants dans tous les systèmes, les systèmes biologique et surtout biodynamique sont plus économes en énergie (par rapport à la surface et par unité de rendement), améliorent les paramètres chimiques, physiques et biologiques du sol et voient augmenter leur biodiversité. Enfin, la teneur en carbone des sols biodynamiques est constante depuis le début de l'essai alors qu'elle baisse lentement en sols biologiques et rapidement en sols conventionnels. Hors cette teneur en matière organique joue un rôle crucial dans la structuration du sol (diminution de la battance, et ressuyage) et dans la nutrition des plantes (minéralisation et humification plus intense).

Sur un sujet annexe et complémentaire aux recherches du FIBL, Bavec et al. (2009) ont analysé l'empreinte écologique de différents systèmes de production dans un essai de terrain. Les systèmes biologique et biodynamique ont montré sur trois ans qu'ils présentaient des avantages par rapport au système conventionnel en termes de performance environnementale et d'efficacité écologique (utilisation de l'énergie et impact climatique). « Les cultures biologiques et biodynamiques ont besoin de moins d'énergie fossile par unité de produit récolté que les cultures conventionnelles » (FIBL, 2001). La consommation énergétique des systèmes biodynamiques est jusqu'à 50 % plus basse qu'en conventionnel, en lien avec la baisse de l'utilisation d'intrants,

engrais et pesticides. Bien que le rendement en soit souvent diminué, l'efficacité énergétique resterait 20 % à 50 % meilleure en agriculture biodynamique.

Une méta-analyse publiée en août 2021 conclut de l'étude d'une centaine de publications scientifiques que l'agriculture biodynamique apparaît comme le mode de culture ayant le meilleur impact sur les qualités écologiques du sol. Ainsi, 70 % des indicateurs biologiques mesurés en biodynamie sont plus élevés qu'en agriculture conventionnelle, et 52 % des indicateurs microbiens sont plus élevés qu'en agriculture biologique (Christel et al., 2021).

Une publication scientifique publiée en 2021 (Fritz et al.), se basant sur l'évaluation visuelle de la structure du sol (test Vess) a émis l'hypothèse que les différences dans l'activité microbienne des sols biologiques et biodynamiques étaient la cause des différences observées en faveur de la biodynamie : couleur de la terre végétale, pénétration des racines, structuration des agrégats, changement de couleur de la terre végétal au sol à une plus grande profondeur. Cette activité microbienne est stimulée par les pratiques biodynamiques (Juknevicienė et al., 2019) et conduit à une meilleure dynamique de fonctionnement des sols (Hartmann et al., 2015).

Une autre étude, pas encore publiée mais dont les résultats préliminaires sont déjà disponibles, a été menée par l'INRAE de Dijon et de Colmar, sous la direction de Lionel Ranjard (2022). Cette étude a évalué dans cent cinquante domaines viticoles (50 en conventionnel, 50 en biologique et 48 en biodynamique) la qualité microbiologique des sols grâce à des outils de microbiologie moléculaire (séquençage ADN). Ces outils permettent de mettre en relief l'abondance et la diversité microbienne ainsi que les réseaux d'interactions biologiques. Les 48 domaines en biodynamie présentent des réseaux d'interactions plus de deux fois plus nombreux (2,48) que l'agriculture biologique et plus de 1,6 fois plus nombreux que l'agriculture conventionnelle. Il est noté que ces résultats très en faveur de la biodynamie sont obtenus malgré des pratiques agronomiques parfois réputées défavorables à la microbiologie des sols.

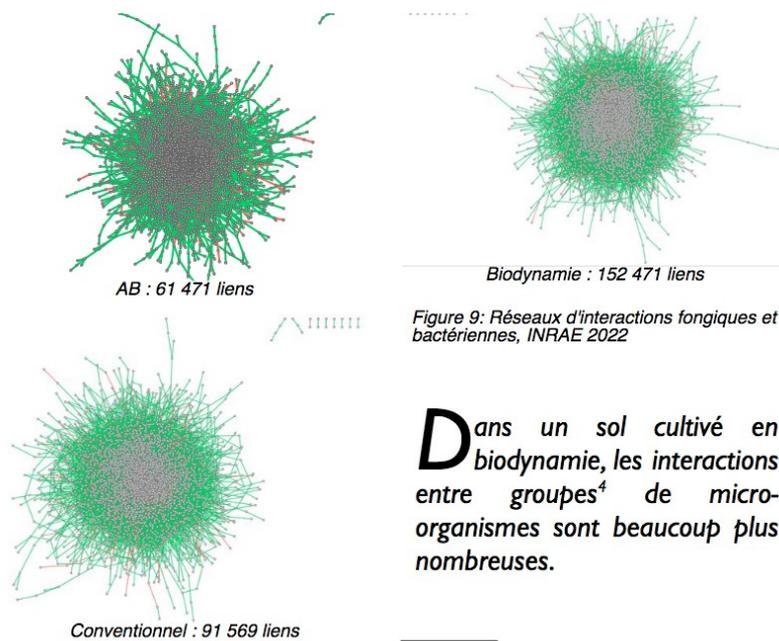


Figure 4: Réseaux d'interactions fongiques et bactériennes

Figure 9: Réseaux d'interactions fongiques et bactériennes, INRAE 2022

**D**ans un sol cultivé en biodynamie, les interactions entre groupes<sup>4</sup> de micro-organismes sont beaucoup plus nombreuses.

<sup>4</sup> Taxons, espèces, sous-espèces...

De nombreux témoignages d'agriculteurs biodynamistes viennent corroborer ces résultats et font état d'une plus grande diversité floristique, d'une structuration en profondeur de leurs sols et d'une agradation de la vie macrobienne (vers de terre, arthropodes).

## 2<sup>e</sup> Partie : Matériels et méthode

L'objectif de cette étude est de comparer les modes de culture biologique (AB) et biodynamique (BD) en évaluant plusieurs critères : la structure du sol, l'infiltration et le stockage de l'eau ainsi que la présence de matières organiques.

Six tests ont été menés dans dix domaines viticoles de Bourgogne afin d'observer d'éventuelles évolutions selon les pratiques. Ces domaines pratiquent, parfois de longue date, la viticulture biodynamique. Tous ont conservé au sein d'une ou plusieurs parcelles des blocs témoins n'ayant reçu aucune préparation biodynamique et conduits en agriculture biologique.

### 2.1) Mise en place des expérimentations

#### a) Conditions pédologiques

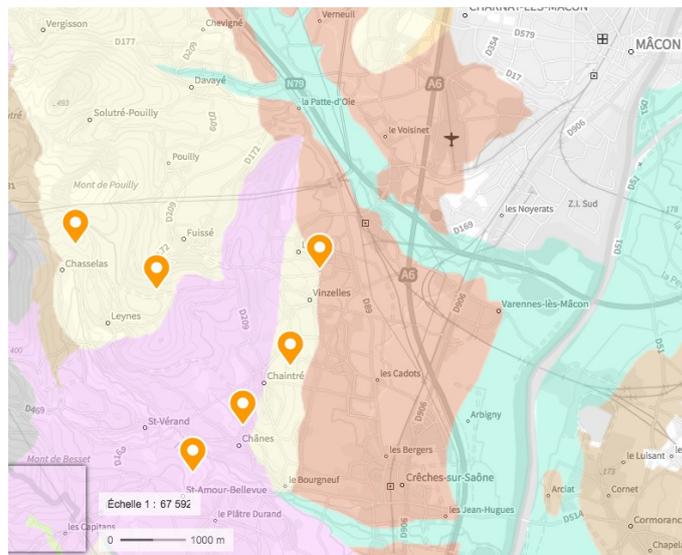


Figure 5: Carte pédologique de la région

Les parcelles sur lesquelles sont menées les essais présentent deux types de sol distincts ; les rendosols (en beige), sur lesquels sont situés 6 parcelles de l'essai, sont issus de matériaux calcaires, au pH basique et peu profonds (moins de 35 cm de profondeur), et les alocri sols (en violet) au pH acide et développés à partir de schistes pour les 4 autres parcelles de l'essai. Les caractéristiques précises de chacune des parcelles sont présentées en annexe 1.

## **b) Conduite des vignobles**

Bien que les pratiques agronomiques diffèrent d'un domaine à l'autre (travail du sol, enherbement naturel ou implanté, etc.), elles sont néanmoins similaires entre modalités AB et BD au sein de chaque domaine. De même, les traitements de protection fongique sont réalisés à l'identique avec des produits phytosanitaires homologués AB.

## **c) Pratiques biodynamiques**

Les pratiques spécifiques à la biodynamie peuvent différer d'un domaine à l'autre. Or, la qualité des pratiques biodynamiques (conditions de stockage et de mise en œuvre des préparations, dynamisation et pulvérisation...) influence fortement les résultats sur la microbiologie du sol.

Ainsi, dans l'étude menée par l'INRAE de Dijon en partenariat avec Soins de la Terre (EcoVitiSol), il ressort une corrélation positive entre la qualité des pratiques biodynamiques et la qualité microbiologique des sols : les bonnes pratiques sont les mieux représentées parmi les sols de bonne qualité microbiologique tandis que les sols en état biologique critique sont ceux où les pratiques biodynamiques sont jugées peu qualitatives.

## **d) Choix des blocs d'essai**

Les blocs d'essai menés en agriculture biologique (AB) sont situés dans tous les domaines au cœur de parcelles menées en agriculture biodynamique (BD). Ils ont été choisis avec soin en partenariat avec l'association Soins de la Terre afin de limiter autant que possible toute subjectivité et variations intra-parcellaire : les conditions pédoclimatiques mais aussi l'historique des parcelles ont été soigneusement étudiés. En effet, le remembrement massif des parcelles au cours de la deuxième partie du XX<sup>e</sup> siècle peut faire changer la nature des sols étudiés, tout comme la présence de haies ou l'inclinaison de la parcelle. Les dix à quinze rangs menés en agriculture biologique simple ont de ce fait été choisis dans chaque domaine au cœur de parcelles historiquement homogènes (cartes Géoportail et InfoTerre).

## 2.2) Mesures comparatives

De nombreux essais sont aujourd'hui proposés aux agriculteurs désireux de se réapproprier leurs sols et leur métier. Cette étude s'est faite à partir de six tests, dont quatre sont faciles à mettre en œuvre sans matériel spécifique. Il s'agit là de vérifier concrètement la pertinence de ces tests pour constater l'évolution d'un sol suite à un changement de pratiques. Deux autres tests ont été menés en laboratoire et nécessitent quant à eux un matériel scientifique et un savoir-faire technique.

Les échantillons de sol nécessaires à ces tests ont été prélevés en conditions légèrement humides, deux jours après un épisode pluvieux. Le cumul des précipitations du mois précédant les tests était de 17 mm à la station météorologique de Cluny et de 11 mm à la station de Saint Amour.

### a) Test de stabilité structurale (slake test)



*Figure 6: Verres et tamis utilisés pour le slake test*

La stabilité structurale est une propriété physique du sol. Elle se définit comme l'aptitude des agrégats du sol à résister à l'action dégradante des pluies. Elle dépend du taux d'argile, de la matière organique, mais aussi de la vie microbienne. En effet, la stabilité d'un sol est un indicateur de l'activité biologique qu'il renferme ; les liaisons entre les particules du sol (colloïdes) sont renouvelées par les processus biologiques. Plus cette activité est forte, plus les colloïdes se développent et permettent l'agrégation d'éléments minéraux nécessaires à la croissance des végétaux (Vert carbone, 2007).

Ce test permet d'évaluer la cohésion des agrégats du sol face à un épisode pluvieux, et donc la qualité du fonctionnement du sol. Il consiste à plonger dans de l'eau une motte de terre et de mesurer le temps de désagrégation de cette motte dans l'eau. Le protocole USDA (U.S. Department of Agriculture) qui a été choisi a été adapté au matériel disponible, à savoir un tamis à grosses mailles ; il a donc été choisi de doubler le temps proposé par ce protocole entre chaque étape.

Les mottes qui ont été prélevées sous les rangs de vigne ont été immergées pendant dix minutes, puis sorties et immergées à nouveau à 5 reprises en succession rapide. Un tableau (annexe 2) classe les mottes prélevées en fonction de leur stabilité, de 0 (sol sans structure) à 6 (sol très stable).

### **b) Test d'infiltration au cylindre**



*Figure 7: Cylindre utilisé*

Il permet d'évaluer la capacité d'infiltration du sol. Il s'effectue à l'aide d'un cylindre enfoncé à 2 cm de profondeur dans un sol nu dans lequel est versé un volume d'eau correspondant à une pluie de 40 mm, puis de 80 mm. Le temps d'infiltration complète de ce volume est alors mesuré pour être comparé.

L'objectif de ce test est de mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau et donc d'estimer la porosité d'un sol. Une faible vitesse d'infiltration traduit des phénomènes de dégradation des sols tels qu'une croûte de battance, une compaction ou encore une faible vie biologique.

### c) Test de pénétrabilité

Il s'agit d'enfoncer à vitesse et force constantes un pénétromètre (voir figure 8) dans le sol afin d'apprécier la variabilité de la structure du sol. Cela permet d'identifier les éventuels paliers de résistance (tassement en profondeur). Le manomètre intégré au pénétromètre permet de chiffrer l'intensité de la résistance du sol (en Pascal).



*Figure 8: Pénétromètre*

Il donne une indication sur « l'état de compacité du sol dans les différents horizons » (Guyomard, 2019). La variation de l'intensité de la résistance permet de repérer la sensibilité du sol au tassement ; Plus la résistance à la pénétration est élevée, plus le sol est tassé. Des travaux menés par l'université de Lausanne (HEPIA, 2021) sous la direction de Pascal Boivin ont montré que les sols en biodynamie montraient une plus faible résistance à la pénétration jusqu'à des profondeurs importantes. Il s'agit ici de vérifier que cette différence est perceptible à l'aide d'un pénétromètre simple.

#### **d) Test bêche**



*Figure 9: Test à la fourche bêche*

Ce test est à réaliser hors conditions sèches à l'aide d'une bêche à dent. Il s'agit de prélever à l'aide d'une fourche bêche un bloc de terre qui donnera de nombreuses indications sur le fonctionnement du sol ; humidité, couleur et odeur du prélèvement, texture du sol (plasticité et adhérence au toucher), structure des agrégats et macroporosités révélatrices de la vie biologique du sol.

Il a pour objectif d'observer la fertilité physique et biologique du sol. La présence de matières organiques, d'hydromorphie ou de vie macrobienne, l'état structural de la zone prélevée ou encore les zones de compaction sont ainsi mis à découvert et permettent à l'observateur de prendre les décisions adéquates. Ce test est un excellent outil de diagnostic qui permet aux agriculteurs d'observer leurs sols et peut les amener à faire évoluer leurs pratiques.

#### **e) Test par perte au feu**

Ce test a pour but de déterminer le taux de matière organique des différentes modalités et d'établir ou non un lien entre les pratiques biodynamiques et ce taux. Le protocole utilisé (MA.100-S.T1.1, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec) donne une indication sur la variation de masse résultant du chauffage d'un échantillon, s'exprime en pourcentage en masse de la matière sèche et se fait dans les conditions spécifiées ci-dessous.



Figure 10: Étuve et four à moufle

Les échantillons de terre prélevés sont préalablement tamisés (tamis de 2 mm), réduits en poussière à l'aide d'un pilon (200  $\mu$ m) puis séchés pendant 12 heures dans une étuve à 150° C pour évacuer l'eau. On porte alors l'échantillon prélevé à 375° C dans un four à moufle pendant 16 heures. En soustrayant alors le poids de l'échantillon calciné avec le poids de l'échantillon sec, on obtient la perte au feu de l'échantillon. On divise alors le résultat obtenu par 2 afin d'obtenir le taux de carbone organique.

#### **f) Morphochromatographie**



Figure 11:  
Morphochromatographies des 20  
modalités

La morphochromatographie circulaire propose une lecture graphique de formes et de couleurs permettant une mise en comparaison de différents échantillons et la lecture de caractères qualitatifs révélés par cette méthode (E. Pfeiffer, 1942). Elle doit permettre une approche globale de la qualité des matières organiques via une observation de l'intensité des couleurs et des formes morphogénétiques. On trouve dans l'étude menée par Mure et Gautronneau en 2003 des relations

entre les résultats de méthodes analytiques et ceux des morphochromatographies. Cela tend à démontrer que la morphochromatographie offre une approche simple quoique perfectible sur la qualité des M. O.

Cette méthode consiste à solubiliser un échantillon de sol avec de l'hydroxyde de soude (NaOH), puis d'évaluer la migration de la solution dans un papier cellulosique imprégné de nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub>) (Pfeiffer – Voith et Guggenberger, 1986). Les échantillons doivent auparavant être réduits en poussière et soigneusement triés auparavant (tamis 200 microns). Une fois immergés dans 50 ml de soude, ils sont secoués vigoureusement à trois reprises pour être mélangés. Après décantation de la matière solide, le liquide est prélevé à l'aide d'une pipette et déposé sur des verres de montre. Des disques de filtres papier (de marque Whatman) sont alors positionnés sur les verres de montre afin que la migration de la solution s'opère dans les disques. Une fois réalisée la migration, les disques sont laissés à la lumière deux semaines avant d'être comparés.

Ils seront présentés à un panel de personnes qui, après avoir vu 4 morphochromatographies différentes (un disque test, sans matière, un disque de sol pauvre en matière organique, un disque de sol riche en matière organique et un disque de compost), devront les classer selon leur forme et leur couleur.

## **3<sup>e</sup> partie : Résultats des essais et discussion**

Dans cette partie sont présentés les résultats obtenus test par test. Certains d'entre eux montrent des différences notables entre les deux modalités tandis que d'autres s'avèrent peu significatifs.

### **3.1) Test de stabilité structurale (slake test)**

Le test de stabilité structurale a été mené à l'aide du tableau de classification présenté en annexe 2. Les tamis utilisés présentent de gros renforts métalliques qui ont pu altérer les résultats obtenus en retenant artificiellement les échantillons plongés dans l'eau. Les écarts de classes relevés et présentés en annexe 3 ne le sont qu'à la marge et ne sont donc pas significatifs.

### **3.2) Test de pénétrabilité**

Réalisé à l'aide d'un pénétromètre analogique, ce test n'a pas montré de différence significative entre les modalités biologique et biodynamique. Il a été mené en complément du test d'infiltration afin de confirmer ou d'infirmer les différences observées par l'université de Lausanne en 2021 (P. Boivin). Les écarts de valeurs relevés entre plusieurs mesures au sein d'une même modalité, et ce à plusieurs reprises, ont conduit à l'exclusion de ce test par manque de répétabilité.

### **3.3) Test d'infiltration au cylindre**

À l'exception d'une parcelle (en gras dans le tableau suivant), tous les tests d'infiltration menés présentent des temps d'infiltration nettement supérieurs dans les modalités AB (voir tableau 2). La capacité d'infiltration des horizons superficiels dépend de l'état de la surface du sol (enherbement, fissuration, pierrosité) mais aussi de la structuration et de l'organisation des horizons successifs. On peut donc légitimement supposer que les sols biodynamiques présentent une meilleure organisation structurale qui favorise l'absorption d'une lame d'eau équivalente à 80 mm.

Tableau 1: Temps d'infiltration et écarts constatés

Parcelle	Conduite	Test d'infiltration (en sec.)		Écart	Écart
		40 mm/m <sup>2</sup>	80 mm/m <sup>2</sup>	%	%
Chasselas	AB	29	82	3,45 %	34,15 %
	BD	28	54		
Les cornillaux	AB	19	39,5	19,47 %	16,46 %
	BD	15,3	33		
Les reines	AB	122	395	30,33 %	34,18 %
	BD	85	260		
<b>À la folie</b>	<b>AB</b>	<b>52</b>	<b>192</b>	<b>-32,69 %</b>	<b>-7,29 %</b>
	<b>BD</b>	<b>69</b>	<b>206</b>		
Les peupliers	AB	59	262	8,47 %	18,32 %
	BD	54	214		
Lavoir	AB	40	172	27,50 %	43,02 %
	BD	29	98		
Bonnod nord	AB	19	37	15,79 %	5,41 %
	BD	16	35		
La vernette	AB	9	44	11,11 %	11,36 %
	BD	8	39		
Les quarts	AB	51	175	23,53 %	36,57 %
	BD	39	111		
La vineuse	AB	22	109	40,91 %	21,10 %
	BD	13	86		
			Moyenne =	14,79 %	21,33 %
			Médiane =	15,79 %	19,71 %

Ces écarts peuvent être mis en parallèle avec les observations menées lors du test à la fourche bêche. Un premier horizon plus profond et une structure plus grumeleuse ont été observés dans un certain nombre de modalités BD (voir partie 3.4).

### 3.4) Test à la fourche bêche

Mené selon le protocole mis en place par Pierre Masson (Guide pratique pour le profil à la fourche bêche, 2018), ce test a permis de relever des différences marquées entre les 2 modalités.



Figure 12: Horizon superficiel en BD: +10 cm

Première caractéristique relevée commune à toutes les parcelles de l'essai, l'organisation et la structuration des profils réalisés. Les modalités biodynamiques présentent dans leur ensemble des agrégats grumeleux et homogènes, facilement friables, tandis que les profils réalisés en modalité biologique présentent des agrégats plus anguleux, voire lamellaires. Sur les sols lourds de certaines parcelles, une tendance à la compaction s'observe dans un deuxième horizon quelle que soit la modalité, mais cet horizon apparaît plus loin en profondeur dans les sols biodynamiques (fig. 12).

Deuxième observation, les modalités biodynamiques semblent présenter une meilleure régulation du facteur eau au toucher. Ainsi, sur les sols à tendance séchante, l'humidité des sols est plus importante dans les modalités BD (48 h après de fortes pluies) que dans les modalités AB, tandis qu'ils ressuient plus rapidement dans les sols « lourds » (voir partie 3.1.b).

Enfin, dernière observation faite à l'aide du nuancier de Munsel, la variation de couleur des sols entre modalités. Dans certaines parcelles, les sols BD sont en effet plus foncés que les sols AB, ce qui indiquerait un taux de matière organique plus important (figure 13 et annexe 4).



Figure 13: Différence notable de couleur

### **3.5) Test par perte au feu**

Le taux de carbone organique des échantillons AB et BD varie entre 1.32 % et 3,21 % selon les parcelles et les modalités (voir annexe 5). L'hétérogénéité des résultats ne permet pas d'utiliser les résultats de ce test et pose question quant à la méthode de prélèvement des échantillons : ils ont été prélevés dans les 10 premiers centimètres, peut-être trop profondément.

On constate cependant que les couleurs plus foncées observées au profil à la bêche et celles observées sur les morphochromatographies dans certaines parcelles se traduisent de fait par un taux de matière organique supérieur pour les modalités biodynamiques (parcelles Chasselas, Folie et Cornillaux en annexe 4).

### 3.6) Morphochromatographie

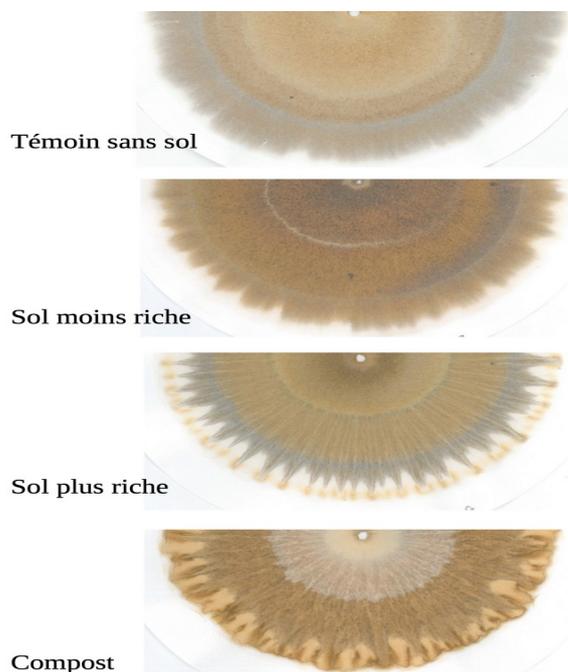


Figure 14: Échelle de gradation des morphochromatographies

La figure 14 présente les écarts de formes et de couleurs que l'on peut constater sur différents types de sol. Elle a été montrée au panel de personnes chargées de classer les deux modalités de chaque parcelle. 7 morphochromatographies sur 10 présentent des écarts plus ou moins marqués d'organisation et de couleurs entre modalités (voir annexe 6). Parmi elles, les quatre parcelles aux modalités très distinctes ont été discriminées à 100 % par le panel d'observateurs.

Deuxième constat, cette méthode est dite subjective et l'interprétation peut s'avérer délicate en cas de manque d'expérience. Ainsi, les personnes chargées de classer les morphochromatographies par modalité l'ont fait sans hésitation pour les parcelles Chasselas, Folie Cornillaux et Peupliers, et ce quel que soit leur degré d'expérience. En revanche, pour les parcelles présentant de faibles écarts d'organisation des formes et couleurs (Lavoir, Reines, Vernet), seules les personnes expérimentées ont su distinguer les différentes modalités. Enfin, trois des parcelles du test (Bonnod nord, Vineuse et Quarts) montrent des images très peu différenciées.

Il s'agit donc ici de constater des différences nettes entre modalités, tant sur le plan des formes radiales, des nuances de couleur que de la luminosité des chromatogrammes, sans chercher dans notre cas jusqu'à l'interprétation.

### 3.7) Discussion

Au sujet du test de stabilité structurale (slake test), il aurait été pertinent d'utiliser des tamis plus discriminants (type grillagés). En effet, lors de manipulations des échantillons sur paillasse (morphochromatographies), des écarts de décantation ont pu être constatés entre modalités sur certaines parcelles. La parcelle « La Vernette » est en cela intéressante ; une structure des agrégats quasi inexistante dans les 2 modalités (annexe 3) mais des vitesses de décantation distinctes (figure 15). D'autres parcelles présentent des écarts de décantation moins marqués mais bien présents (annexe 8). Ces différences ressortant peu au test de stabilité structurale, il serait intéressant de voir ce qui différencie ou corrèle ces deux approches.



Figure 15: Parcelle La vernette / n°7:modalité AB, n°8:modalité BD

Les tests à la fourche bêche ont montré de réels écarts d'organisation, de couleur et d'humidité (annexe 4). Le test d'infiltration est lui aussi révélateur de structuration des sols bien distincts. Ce sont les 2 tests qui se sont avérés les plus discriminants. Le pénétromètre ne s'est pas révélé utile pour observer d'éventuelles différences ; La vétusté du matériel peut être mise en cause pour expliquer l'hétérogénéité des résultats trouvés.

Les morphochromatographies permettent une approche qualitative quoique subjective des sols mais nécessitent de l'expérience et du savoir-faire. Leur interprétation se révèle ardue et le parti pris de cette étude a été de simplement constater les écarts entre modalités et de les soumettre à un panel restreint de personnes pour classification. Les morphochromatographies ont pu être classées avec 70 % de réussite par ces personnes, et ce quel que soit leur niveau d'expérience en la matière.

Au sujet du test par perte au feu, on constate que les modalités BD présentant des écarts de couleurs nets au profil à la bêche (parcelles Chasselas, Folie et Cornillaux en annexes 4 et 5) ont des

taux de matière organique supérieurs aux modalités AB. De même, ces modalités présentent une classe de stabilité relativement élevées (annexe 3) et supérieure aux modalités AB à l'exception de la parcelle Chasselas. Néanmoins, l'hétérogénéité des résultats demande de la prudence dans leur interprétation.

## **4<sup>e</sup> partie : Conclusion et pistes de réflexion**

Au terme de ces essais et après analyse des résultats obtenus, plusieurs constatations peuvent être faites et des axes de recherche complémentaires peuvent être dégagés.

Premier constat, tous les résultats discriminants sont en faveur des pratiques biodynamiques, même s'ils ne sont pas systématiques ; Les tests d'infiltration au cylindre ainsi que les tests à la fourche bêche semblent montrer une amélioration de la structure des sols biodynamiques. Cela est essentiel sur plusieurs points. Une bonne structure de sol implique un meilleur fonctionnement du sol ; exploration des racines des végétaux dans les différents horizons, régulation des excès et manques d'eau (effet tampon et rétention en eau), conditions de vie pour la microfaune, etc.

Les tests de stabilité structurale (slake test), de pénétrabilité ainsi que la perte au feu n'ont pas permis de mettre en évidence de potentielles différences entre modalités. Le matériel utilisé a sans doute joué un rôle dans les résultats peu discriminants des deux premiers ; Le tamis utilisé pour le test de stabilité (trop épais), et le manque de précision inhérente au pénétromètre analogique ont conduit à écarter ces tests des conclusions de cette étude. On constate cependant que les modalités BD des trois parcelles présentant le plus d'écart au profil bêche et aux morphochromatographies (parcelles Folie, Chasselas, Cornillaux) ont un taux de matière organique supérieur aux modalités AB.

Les morphochromatographies montrent dans 70 % des cas des différences nettes entre modalités et sont aisément différenciables. Elles montrent des variations de formes et de couleurs au sein d'une même parcelle entre modalités. 30 % d'entre elles ne montrent que peu de différences entre modalités, sans que l'on puisse en connaître la cause à ce stade. Il serait judicieux de multiplier les essais et d'élargir le nombre de personnes pour classification afin d'affiner les résultats obtenus. Les écarts de décantation constatés en préparation des morphochromatographies interrogent et pourraient constituer un axe de travail à venir. Des analyses plus poussées pourraient être effectuées sur les parcelles dont les écarts sont conséquents afin d'en explorer les causes.

Les tests menés au champ et ne nécessitant pas de matériels spécifiques s'avèrent donner de bonnes indications sur l'état de santé du sol, mais doivent cependant être accompagnés de mesures plus précises pour juger sereinement des différences entre modalités.

Les nombreuses observations menées sur les parcelles sont riches d'enseignements : la structure des sols nettement plus grumeleuse, la couleur plus sombre, l'humidité au toucher ainsi que la profondeur du premier horizon dans beaucoup de modalités biodynamiques sont autant d'éléments qui traduisent un effet bénéfique des pratiques biodynamiques sur la fertilité des sols. La vitalité des végétaux est le corollaire évident d'un sol en bonne santé. En améliorant la structure du sol, les pratiques biodynamiques participent à une plus grande résilience du végétal.

L'hypothèse de base à cette étude était que les pratiques biodynamiques amélioraient la structure du sol. La biodynamie répond de ce fait à deux enjeux majeurs de l'agriculture actuelle; la ressource en eau et sa régulation, et l'auto-fertilité du sol. Elle implique en outre une réflexion plus large sur l'autonomie des systèmes agricoles actuels et sur l'adéquation entre cultures et élevages pour entretenir voire accroître la fertilité des sols agricoles tout en étant économe en énergie et en intrants. Elle pose ainsi la question de l'organisation de notre modèle agricole et propose des solutions alternatives pérennes et résilientes.

## Index bibliographique

- Agence Bio (2022). Les chiffres du bio – <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france>
- Barth J.-G. (2016). Silicium : l'élément oublié des plantes terrestres. Récupéré du site de l'association Soins de la Terre - <https://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Silicium-le-%CC%81le-%CC%81ment-longtemps-oublie-%CC%81-des-plantes-terrestres- Jean-Georges-Barth.pdf>
- Bavek et al. (2010). Biodynamic agriculture research progress and priorities – <https://doi.org/10.1017/S174217050900252X>
- Christel et al. (2021). Impact of farming systems on soil ecological quality : a meta-analysis – <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-021-01302-y>
- Demeter, FIBL (2009) : Guide à l'agriculture biodynamique [https://demeter.ch/wp-content/uploads/2019/01/ClasseurDe-Renconversion\\_F\\_LesPreparationsBiodynamiques.pdf](https://demeter.ch/wp-content/uploads/2019/01/ClasseurDe-Renconversion_F_LesPreparationsBiodynamiques.pdf)
- De Villaine A. (2013). Préface « 35 questions sur la biodynamie à l'usage des amateurs de vin - Sang de la Terre
- Epstein E. (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- FIBL (2018). Compte-rendu de l'essai DOC du FIBL après 40 ans d'expérimentation – <https://www.demeter.fr/wp-content/uploads/2022/03/CR-ESSAI-DOC-FIBL-2018.pdf>
- Fritz et al. (2021). Aggregate stability and visual evaluation of soil structure – <https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1929480>
- Guyomard S. (2019) Évaluer la résistance du sol à la pénétration – <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturelle/strategie-technique-culturelle/article/evaluer-la-resistance-du-sol-a-la-penetration-avec-la-tige-penetro-217-144237.html>
- Hartmann et al. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming- *ISME J.* 9:1177-1194.
- Juknevicienė et al. (2019). The effect of horn-manure preparation on enzymes activity and nutrient contents in soil as well as great pumpkin yield - DOI:10.1515/opag-2019-0044.
- Maraibio (2014). Principes et techniques de production en maraichage. *Guide des légumes*.

Marchand et al. (2014) : Évaluation des caractéristiques et de l'intérêt agronomique de préparations simples de plantes, pour des productions fruitières, légumières et viticoles économes en intrants. *Innovations Agronomiques*.

Masson P. et V. (2014). Synthèse des bonnes pratiques biodynamiques – <https://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/rappel-des-bonnes-pratiques.pdf>

Masson, P. (2015). L'agriculture biodynamique, Présentation générale – [https://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Presentation\\_generale\\_de\\_la\\_BD\\_2015\\_9\\_5\\_c.pdf](https://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Presentation_generale_de_la_BD_2015_9_5_c.pdf)

Masson P. et V. (2018). Guide pratique pour le profil à la fourche bêche (éditions BioDynamie Services).

Masson V. (2021). Manuel pour l'élaboration et la mise en œuvre des préparations biodynamiques (éditions BioDynamie Services).

Mure J. P. (2011). Analyse critique de la morphochromatographie appliquée à l'étude qualitative des matières organiques – [http://www.itab.asso.fr/downloads/colloque-peuv/16\\_mure.pdf](http://www.itab.asso.fr/downloads/colloque-peuv/16_mure.pdf)

Pfeiffer E. (1959). A qualitative chromatographic method for the determination of biological values (éditions Living earth)

Pfeiffer E. (1984). Chromatography applied to quality testing – Biodynamic literature, Wyoming.

Projet EcoVitiSol – INRAE de Dijon – Ranjard L. (2022)  
<https://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/CR-ecovitisol-SDLT-2022.pdf>

Steiner, R. (2013). Cours aux agriculteurs (éditions Novalis).

Université de Lausanne, P. Boivin (2021). Travaux préliminaires : Effet à court terme de la biodynamie sur la structure du sol et la qualité de la matière organique – [https://www.unil.ch/files/live/sites/biogeosciences/files/shared/Sujets\\_memoire/2021-22/SujetMemoireSolBiodynamie.pdf](https://www.unil.ch/files/live/sites/biogeosciences/files/shared/Sujets_memoire/2021-22/SujetMemoireSolBiodynamie.pdf)

Vert carbone (2007). Synthèse sur la diversité de la pédofaune en système agroforestier – <http://www.vertcarbone.fr/wp-content/uploads/2018/03/La-Faune-du-SOL-.pdf>

Zaller J. et Köpke U. (2004). Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendment on yields, soil chemical, biochemical and biological properties in a long-term field experiment – [DOI 10.1007/s00374-004-0772-0](https://doi.org/10.1007/s00374-004-0772-0)

## Annexes

### Annexe 1

Tableau 2: Caractéristiques des parcelles de l'essai

Nom de parcelle	Localisation	Coordonnées GPS	Couche géologique	Exposition	Pente	Altitude	Enherbement
Chasselas	Chasselas (71570)	46,28 4,72	Argiles et marnes sur calcaires	Sud 187°	19,00 %	360 m	naturel
Les cornillaux	Leynes (71570)	46,43 4,73	Argiles et marnes sur calcaires	Ouest – sud ouest 240°	4,00 %	130 m	naturel
Les reines	Leynes (71570)	46,26 4,73	Tufs soudés et ignimbrites	Sud – ouest 230°	15,00 %	310 m	naturel
À la folie	Saint Amour (71570)	46,464,57	Cônes de déjection (alluvions)	Est – sud est 110°	2,00 %	260 m	non
Les peupliers	Saint Amour (71570)	46,24 4,76	Cônes de déjection	Est – sud est 118°	4,00 %	260 m	non
Lavoir	La Vineuse (71250)	46,46 4,57	Marnes gris sur calcaires	Sud 186°	19,00 %	300 m	naturel
Bonnod nord	Vinzelles (71680)	46,32 4,73	Calcaires marneux	Sud - sud ouest 200°	15,00 %	290 m	naturel
La vernette	Leynes (71570)	46,46 4,57	Granitoïde hypovolcaniques	Est 95°	10,00 %	310 m	non
Les quarts	Vinzelles (71680)	46,27 4,77	Calcaires marno-siliceux	Est 90°	12,00 %	260 m	couvert
La vineuse	La Vineuse (71250)	46,47 4,59	Argiles et marnes sur calcaires	Est – sud est 110°	15,00 %	330 m	naturel

## **Annexe 2**

Tableau 3: Classes de stabilité

	Classe de stabilité	Critères d'attribution
10 premières minutes	0	Sol trop instable (tombe dans le tamis).
	1	50 % de l'intégrité structurale perdue dans les 10 premières secondes.
	2	50 % de l'intégrité structurale perdue 10 sec. à 1 min. après insertion.
	3	50 % de l'intégrité structurale perdue 1 à 10 min. après insertion.
Après les 5 cycles de trempage	4	10 à 25 % de sol restant après 5 cycles de trempage.
	5	25 à 75 % de sol restant après les 5 cycles.
	6	75 à 100 % de sol restant après les 5 cycles.

### Annexe 3

Tableau 4: Classes de stabilité des échantillons

Nom de parcelle	Conduite	1er échantillon	2e échantillon
Chasselas	AB	3,5	3,5
	BD	5	5
Les cornillaux	AB	5	6
	BD	5	6
Les reines	AB	3	3,5
	BD	3,5	5
À la folie	AB	4	3,5
	BD	4,5	5
Les peupliers	AB	5	4,5
	BD	5	5
Lavoir	AB	6	6
	BD	6	6
Bonnod nord	AB	3	4,5
	BD	5	4,5
<b>La vernette</b>	<b>AB</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>
	<b>BD</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>
Les quarts	AB	3	3,5
	BD	3	3,5
La vineuse	AB	5	3
	BD	5	5

### Annexe 4

#### Différences colorimétriques observées



Figure 16: Parcelle: Folie. À gauche: AB / À droite: BD



Figure 17: Parcelle: Cornillaux. À gauche: AB / À droite: BD



Figure 18: Parcelle: Chasselas



Figure 19: Parcelle: Peupliers



Figure 20: Parcelle: Lavoir



Figure 21: Parcelle: Quarts. À gauche AB / À droite BD



Figure 22: Parcelle: Vineuse. À gauche AB / À droite BD



Figure 23: Parcelle: Reines



Figure 24: Parcelle: Bonnod nord



Figure 25: Parcelle: Vernette

**Codes Munsel :**

Modalité	Chasselas	Peupliers	Folie	Quarts	Bonnod
AB	7,5 yr 6-6	10 YR 5-4	10 YR 4-4	10 YR 4-2	7,5 YR 4-4
BD	7,5 YR 4-6	10 YR 3-4	10 YR 3-3	10 YR 4-3	7,5 YR 4-3

Modalité	Lavoir	Vineuse	Cornillaux	Vernette	Reines
AB	2,5 YR 4-4	10 YR 4-4	7,5 YR 5-3	7,5 YR 3-2	7,5 YR 4-6
BD	10 YR 4-4	10 YR 4-6	7,5 YR 4-6	7,5 YR 2,5-2	7,5 YR 4-3

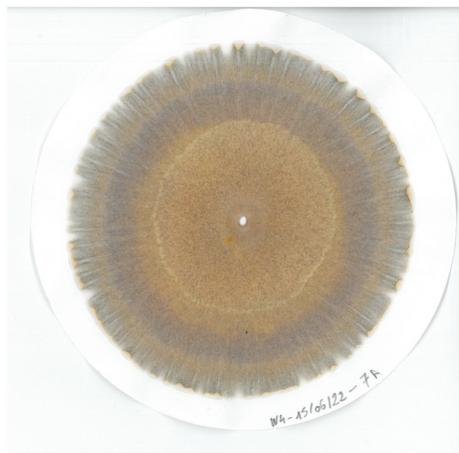
## Annexe 5

### Résultats du test de perte au feu

Parcelle	Modalité	Perte (en g)	Perte MS (en %)	MO estimée (en%)	Écart AB/BD
Chasselas	AB	0,52	3,56	1,78	<b>0,36 %</b>
	BD	0,62	4,28	2,14	
Les cornillaux	AB	0,82	5,59	2,79	<b>0,45 %</b>
	BD	0,93	6,49	3,24	
Les reines	AB	0,49	3,36	1,68	- 0,43 %
	BD	0,37	2,51	1,25	
La folie	AB	0,39	2,64	1,32	<b>0,96 %</b>
	BD	0,68	4,57	2,28	
Peupliers	AB	0,43	2,88	1,44	- 0,28 %
	BD	0,35	2,31	1,15	
Lavoir	AB	0,84	6,36	3,18	0,03 %
	BD	0,88	6,43	3,21	
Bonnod nord	AB	0,69	4,7	2,35	- 0,35 %
	BD	0,59	3,99	2	
Vernette	AB	0,81	5,75	2,87	- 0,27 %
	BD	0,76	5,21	2,6	
Quarts	AB	0,63	4,3	2,15	0,3 %
	BD	0,72	4,91	2,45	
La vineuse	AB	0,82	5,71	2,86	- 0,19 %
	BD	0,78	5,33	2,66	

## Annexe 6

### Morphochromatographies comparatives



Folie AB



Folie BD



Chasselas AB



Chasselas BD



Cornillaux AB



Cornillaux BD



Reines AB



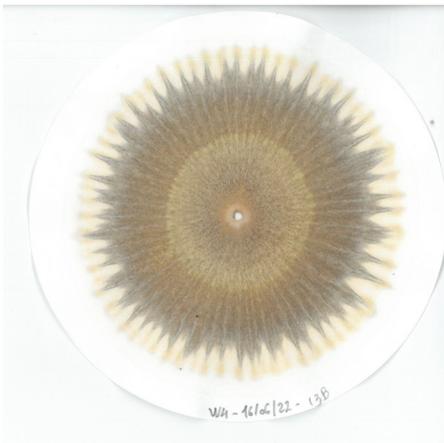
Reines BD



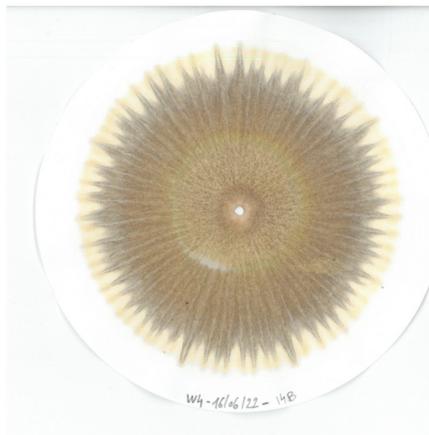
Peupliers AB



Peupliers BD



Bonnod Nord AB



Bonnod Nord BD



La vernette AB



La vernette BD



Les Quarts AB



Les Quarts BD



La vineuse AB



La vineuse BD

## **Annexe 7**

*Tableau 5: Identification des morphochromatographies*

<b>Parcelle</b>	<b>Tom</b>	<b>Cécile</b>	<b>Vincent</b>	<b>Tim</b>	<b>Isa</b>	<b>Flo</b>	<b>Visiteur</b>
Chasselas	V	V	V	V	V	V	V
Cornillaux	V	V	V	V	V	V	V
Reines	F	F	V	F	F	V	V
Folie	V	V	V	V	V	V	V
Peupliers	V	V	V	V	V	V	V
Lavoir	F	V	V	F	V	F	V
Bonnod	F	F	V	F	F	F	F
Vernette	F	F	V	V	V	V	F
Quarts	V	V	F	F	V	F	V
Vineuse	F	V	F	F	V	F	V

## Annexe 8

*Échantillons dilués dans une solution de soude à 10 % (morphochromatographies)*



Reines AB (5) et BD (6)



Folie AB (7) et BD (8)



Peupliers AB (9) et BD (10)



Lavoir AB (11) et BD (12)

