



ISA Lille
48 Boulevard Vauban
59046 Lille Cedex

Soin de la Terre
Les Crêts
71250 Château

Mémoire de fin d'études

Positionnements et influences de la silice de corne 501 en viticulture
biodynamique

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur ISA Lille





ISA Lille
48 Boulevard Vauban
59046 Lille Cedex

Soin de la Terre
Les Crêts
71250 Château

Mémoire de fin d'études

Positionnements et influences de la silice de corne 501 en viticulture
biodynamique

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur ISA Lille



Tuteur de stage : Masson Pierre
Enseignant référant : Muchembled Jérôme

Résumé :

L'agriculture biodynamique est avant tout une agriculture biologique qui demande de bonnes bases agronomiques et un savoir-faire paysan. Elle se caractérise par certains principes spécifiques comme la notion d'organisme agricole diversifié et autonome, l'utilisation de préparations biodynamiques pour le sol et les plantes et la prise en compte des rythmes cosmiques dans les pratiques agricoles. L'emploi des préparations biodynamiques en viticulture, qui sont loin d'être de simples recettes à appliquer à une date précise, est un sujet d'actualité. Ainsi, BioDynamie Services et l'association Soins de la Terre, deux structures impliquées dans l'agriculture biodynamique, ont entrepris des recherches sur la préparation silice de corne dite 501. Pulvérisée sur les parties végétatives et fructifères des plantes, la silice de corne permet de réguler le processus végétatif et de renforcer les effets de la photosynthèse. Cependant, cette préparation suscite de nombreuses questions de la part des vignerons, notamment sur son emploi. Une expérimentation a donc été mise en place en 2017 et jusqu'en 2020, afin d'étudier les effets de la silice de corne en fonction de ses positionnements à différents stades phénologiques. En 2017, des résultats significatifs sur l'indice chlorophyllien semblent confirmer l'effet de la préparation sur la photosynthèse. D'autres résultats significatifs sur la compacité des grappes et la coulure ont été montrés mais ces dernières mesures étant probablement liées entre elles, ces résultats doivent être interprétés avec prudence. La préparation biodynamique n'a pas eu d'influence sur des processus végétatifs (croissance du rameau primaire, nombre d'entre-nœuds, etc.) quels que soient ses positionnements. Des résultats non significatifs mais montrant en moyenne, une meilleure répartition, aération du feuillage et exposition des grappes pour les modalités ayant reçu la silice de corne, demandent à être confirmés à l'avenir.

Mots clés : Biodynamie / viticulture / silice de corne 501 / positionnement / physiologie

Abstract :

The biodynamic agriculture is first of all an organic agriculture which requires a good agronomic basis and a farmer's know-how. It can be characterized by some specific principles such as the concept of a diversified and independent agricultural organization, the use of biodynamic preparations for soil and plants and the consideration of cosmic rhythms in agricultural practices. The use of these biodynamic preparations in viticulture, far from being a simple recipe to be applied at a precise date, is an actual subject in the biodynamic environment. Thus, BioDynamie Services and Soins de la Terre association, two structures involved in biodynamic agriculture, have begun researches on the horn silica 501. Sprayed on vegetative and fruitful parts of plants, the preparation makes it possible to regulate the vegetative process and to reinforce the effects of the photosynthesis. However, this preparation provokes many questions from the winegrowers who are questioning its employment. An experiment was therefore set up in 2017 and until 2020, in order to study the effects of horn silica according to its positioning at different phenological stages. In 2017, significant results on chlorophyll index seem to confirm the effect of the preparation regarding photosynthesis. Other significant results on cluster compactness and coulure have been obtained. However, since these two measures may be linked, these results must be interpreted carefully. Horn silica had no influence on vegetative processes (primary shoot growth, number of internodes, etc.), no matter the time of application. Other results less significant show, on average, a better distribution, ventilation of the leaves and better exposition of the cluster when the horn silica has been applied. These results have yet to be confirmed in the future.

Keywords : Biodynamie / viticulture / horn silica 501 / positioning or timing / physiology

Remerciements

Je tiens à remercier Pierre Masson, gérant de BioDynamie Services, de m'avoir fait confiance et grâce à qui j'ai pu réaliser un stage enrichissant et passionnant. J'aimerais également remercier Pierre Masson pour toutes ses connaissances transmises et son partage durant ces 8 mois de stage.

Merci à Vincent Masson, directeur de BioDynamie Services, pour son expérience et ses compétences en agriculture biodynamique.

Merci à Nadège Bossuyt, chargée de recherche et de communication, pour son implication dans mon étude, sa rigueur et son soutien tout au long du stage.

Merci à Jean-Philippe et Jean-Guillaume Bret, vignerons et propriétaires du Domaine de la Soufrandière, pour leur confiance et leur intérêt pour la biodynamie. Sans leur collaboration, l'essai n'aurait jamais vu le jour.

Merci à Harald Burch, responsable technique, pour son professionnalisme, ses compétences pratiques et son dynamisme lors de sa participation à mon étude.

Merci à toute l'équipe de BioDynamie Services, pour son accueil, son dynamisme et son partage.

Merci à toutes les personnes que j'ai pu rencontrer durant mon étude, scientifiques, agriculteurs, vignerons et stagiaires qui m'ont particulièrement enrichi.

Merci à Jérôme Muchembled, enseignant chercheur en agronomie au pôle agriculture ISA Lille, de m'avoir encadré dans mon projet de fin d'études.

Merci à Karin Sahmer, enseignant chercheur en statistiques au pôle économie, pour son aide précieuse en statistiques.

Merci à mon école, ISA Lille, pour sa formation et de m'avoir permis de réaliser cette étude dans le monde de la biodynamie.

Merci aux nombreux auteurs qui à travers leur ouvrage, m'ont passionné en donnant un sens profond à l'agriculture.

Table des matières

Introduction	1
I. Cadre de l'étude	2
1.1 BioDynamie Services	2
1.2 Association Soins de la Terre	2
II. Contexte, problématique et état de l'art	3
2.1 L'agriculture biodynamique	3
2.1.1 Origine et principes	3
2.1.2 Natures, emplois et propriétés des préparations biodynamiques	3
2.1.2.1 Les préparations biodynamiques à pulvériser (500, 500P et 501).....	4
2.1.2.2 Les préparations biodynamiques du compost (502 à 507).....	6
2.1.2.3 La dynamisation (brassage)	6
2.1.3 Influences et rythmes cosmiques	7
2.1.3.1 Rythmes lunaires	8
2.1.3.2 Rythmes et aspects planétaires	9
2.1.4 Certifications et surfaces	9
2.1.4.1 Demeter.....	9
2.1.4.2 Biodyvin	10
2.2 La silice en agriculture : état de la recherche	11
2.2.1 La silice et l'élément silicium	11
2.2.2 La préparation biodynamique silice de corne 501	12
2.3 Origines et objectifs de l'expérimentation	13
III. Méthodologie et moyens mis en œuvre	14
3.1 Parcelle expérimentale	14
3.1.1 Localisation.....	14
3.1.2 Caractéristiques techniques	14
3.1.3 Gestion et conduite	14
3.2 Dispositif expérimental	15
3.3 Traitements biodynamiques expérimentaux	15
3.4 Mesures expérimentales	16
3.4.1 Phénologie de la vigne.....	16
3.4.1.1 Floraison	16
3.4.1.2 Véraison.....	16
3.4.2 Physiologie de la vigne	17
3.4.2.1 Croissance du rameau primaire	17
3.4.2.2 Nombre de mérithalles (entre-nœuds)	17
3.4.2.3 Longueur du rameau anticipé (entre-cœur)	17
3.4.2.4 Indice Chlorophyllien (N-Tester).....	17
3.4.2.5 Point quadrat.....	18
3.4.2.6 Nombre de grappes par pied.....	18
3.4.2.7 Poids de la grappe.....	18
3.4.2.8 Compacité de la grappe	18
3.4.2.9 Taux de sucre dans la baie	18
3.4.3 État sanitaire de la vigne	19

3.4.3.1	Mildiou, oïdium et botrytis	19
3.4.3.2	Coulure	19
3.4.4	Morphochromatographie.....	19
3.4.4.1	Feuilles de vigne	19
3.4.4.2	Jus de raisins.....	19
3.4.5	Analyses statistiques	19
IV.	Présentation et analyse des résultats	20
4.1	Analyses expérimentales	20
4.1.1	Phénologie de la vigne.....	20
4.1.1.1	Floraison	20
4.1.2	Physiologie de la vigne	21
4.1.2.1	Croissance du rameau primaire	21
4.1.2.2	Nombre de mérithalles (entre-nœuds)	21
4.1.2.3	Longueur du rameau anticipé (entre-cœur)	22
4.1.2.4	Indice chlorophyllien (N-Tester)	23
4.1.2.5	Point quadrat.....	24
4.1.2.6	Nombre de grappes par pied.....	25
4.1.2.7	Poids de la grappe.....	25
4.1.2.8	Compacité de la grappe	26
4.1.2.9	Taux de sucre dans la baie	27
4.1.3	État sanitaire de la vigne	27
4.1.3.1	Coulure	27
4.1.4	Morphochromatographie.....	28
4.1.4.1	Feuilles de vigne	28
4.1.4.2	Jus de raisins.....	29
.....	30
V.	Discussions et perspectives	31
5.1	Choix des paramètres étudiés	31
5.2	Résultats significatifs.....	31
5.3	Résultats non significatifs.....	32
5.4	Méthode des morphochromatographies	33
5.5	Critiques du travail	34
5.6	Réponse à la problématique.....	35
5.7	Nouvelles pistes et recommandations pour les années à venir	35
	Conclusion.....	37
	Références bibliographiques	38
	Liste des annexes	47
	Table des figures	92
	Table des tableaux	93
	Liste des sigles et abréviations.....	94

Introduction

Première agriculture dite biologique, l'agriculture biodynamique a vu le jour grâce au philosophe et scientifique autrichien, Rudolf Steiner. C'est en 1924 à Koberwitz en Silésie, suite à de nombreuses questions d'agriculteurs et de scientifiques, qu'il posa les fondements de cette pratique sous forme de huit conférences connues sous le nom de « Cours aux agriculteurs ». L'agriculture biodynamique repose sur une compréhension globale et profonde des lois de la nature et de la plante dans son environnement et vise à assurer la santé du sol et des plantes (Florin, 2016). Elle se caractérise par certains aspects spécifiques comme le concept d'organisme agricole diversifié et autonome, l'utilisation de préparations biodynamiques en quantités infinitésimales dynamisées pour le sol et les plantes, puis par la prise en compte des rythmes cosmiques (solaires, lunaires, planétaires et stellaires) (Masson, 2015).

Aujourd'hui, au vu des résultats positifs obtenus autant sur le plan agronomique (fertilité des sols, etc.) (Fliessbach et al., 2001) que sur la qualité des vins (organoleptique, sanitaire et nutritionnelle) (Alföldi et al., 2006), la viticulture biodynamique suscite un intérêt grandissant de la part des producteurs, biologiques ou non (Masson, 2015). De nombreux vigneron et autres domaines prestigieux se convertissent à cette pratique chaque année. En France, depuis 10 ans, le nombre de domaines viticoles certifiés Demeter¹ augmente de 15% par an (Demeter-France, 2017).

L'agriculture biodynamique a donc fait l'objet, au cours des dernières décennies, de nombreuses études scientifiques qui attestent de son efficacité et notamment de celle des préparations biodynamiques (Turineck et al., 2009). Cependant, le mode d'action mécanique et la compréhension des mécanismes à l'œuvre dans leur efficacité sont délicats et demeurent un sujet d'actualité.

L'emploi de ces préparations biodynamiques en viticulture et notamment celle de la silice de corne (dite 501), occupe une place essentielle et joue un rôle indispensable dans l'efficacité de la méthode biodynamique. La silice de corne est une préparation destinée aux parties végétatives et fructifères des plantes, permettant d'équilibrer le végétal et de renforcer les effets de la photosynthèse (Masson, 2015). Les différents positionnements possibles et influences de cette préparation en viticulture, loin d'être de simples recettes à appliquer à une date ou un stade phénologique précis, sont au cœur de nombreuses questions de la part des vigneron. Bien que l'emploi de la préparation se fasse en fonction de l'état de la plante et des particularités de l'année, les recommandations divergent au sein du milieu biodynamique. En effet, certains préconisent une application précoce avant floraison, d'autres après la floraison jusqu'à la vendange ou bien encore après cette dernière. C'est pour cette raison qu'une expérimentation sur les différents positionnements de la silice de corne a été mise en place en 2017 dans la commune de Prissé, en Saône-et-Loire.

Quelles sont donc les influences et les conséquences des différents positionnements de la silice de corne sur la vigne ?

Après une présentation des structures d'accueil, de l'agriculture biodynamique et de la silice, le contexte expérimental et la méthodologie appliquée seront détaillés. Puis les résultats seront présentés, suivis d'une discussion argumentée.

¹ Marque garantissant la qualité biodynamique des produits agricoles bruts et transformés

I. Cadre de l'étude

1.1 BioDynamie Services

BioDynamie Services (B.D.S) est une S.A.R.L (Société À Responsabilité Limitée), créée en 2005 par Pierre et Vincent Masson respectivement gérant et directeur de l'entreprise. Elle se situe dans la commune de Château, dans le département de Saône-et-Loire (71) en région de Bourgogne-Franche-Comté (Annexe 1). Certifiée Demeter-France, l'entreprise souhaite aujourd'hui orienter son statut vers un modèle de SCIC (Société Coopérative d'Intérêt Collectif).

B.D.S est avant tout une entreprise spécialisée dans l'élaboration et la distribution de préparations biodynamiques dont elle assure la qualité par des essais pratiques de terrain et des recherches « qualité » via des méthodes quantitatives et qualitatives. Elle fournit également à ses clients, agriculteurs et jardiniers, du matériel et autres éléments nécessaires à la pratique de l'agriculture biodynamique, à savoir (B.D.S, 2017) :

- des plantes séchées pour réaliser des macérations, tisanes et décoctions ;
- des caisses en bois isolées par de la tourbe et des poteries de grès, destinées à conserver les préparations biodynamiques ;
- du matériel pour l'emploi des préparations biodynamiques (dynamiseurs et pulvérisateurs manuels) ;
- des possibilités de conseil et de formation, individuel ou collectif ;
- des éditions spécialisées (ouvrages, supports multimédias, etc.).

1.2 Association Soins de la Terre

L'Association Soins de la Terre a été fondée en 1995 par Suzanne Michon, Xavier Florin, Nicolas Joly et Ulrich Schreier puis a fusionné début 2015 avec une autre association, l'A.R.P.-B.D (Association pour la Recherche sur les Préparations BioDynamiques), fondée en 2010 par Pierre Masson. Cette fusion a permis d'élargir les objectifs et de procurer davantage de moyens pour travailler sur l'ensemble des pratiques biodynamiques (Masson, 2015).

L'Association Soins de la Terre dispose d'un conseil d'administration composé de 7 membres dont Pierre Masson (président), Ulrich Schreier (secrétaire général), Céline Tripoz (secrétaire), Vincent Masson (trésorier), Jean-Philippe Bourdy (membre), Jean-Guillaume Bret (membre) et Frédéric Lafarge (membre).

De plus, l'association joue un rôle de communication par la diffusion d'informations sur les bonnes pratiques biodynamiques. En collaboration avec des agriculteurs, vignerons, universités et instituts de recherche, elle propose, suit et soutient des projets de recherche basés sur des observations de terrain complétées par des analyses physiques, chimiques, biologiques et qualitatives (ex : morphochromatographie). Elle étudie l'évolution des sols et des composts, la formation d'humus, les préparations biodynamiques dans leur élaboration et leur emploi (Masson, 2015). Les recherches, actuelles et futures, concernent aussi les aspects suivants :

- la qualité des eaux pour l'emploi des tisanes et préparations biodynamiques ;
- l'efficacité du matériel (dynamiseurs et pulvérisateurs) ;
- les possibilités de l'homéopathie en agriculture et en jardinage ;
- la dégénérescence des végétaux (en particulier la vigne) ;
- la qualité des aliments.

II. Contexte, problématique et état de l'art

2.1 L'agriculture biodynamique

2.1.1 Origine et principes

Rudolf Steiner, philosophe et scientifique autrichien né en 1861, est à l'origine de l'agriculture biodynamique. C'est en 1924, suite aux différentes questions d'agriculteurs, préoccupés par l'état de déclin dans lequel se trouvaient leurs productions (végétales et animales) (Messal, 2012), qu'il présenta les bases de la biodynamie dans une série de huit conférences, connue sous le nom de "Cours aux agriculteurs". Il est également le fondateur d'un courant de pensée appelé "Anthroposophie" appliqué à différents domaines (agriculture, médecine, éducation, etc.) visant à élargir la compréhension du monde et de ses lois physiques, chimiques et biologiques tout en tenant compte de leur aspect psychique et spirituel (Masson, 2015). Ensuite, de nombreux chercheurs, comme Kolisko, Thun, Pfeiffer, Koepf, Weer et Podolinsky ont œuvré pour développer la méthode, analyser les effets des dilutions, les influences cosmiques et proposer des doses d'emploi des préparations biodynamiques (Masson, 2015 ; Florin, 2016).

L'agriculture biodynamique est une agriculture assurant la santé du sol et des plantes, basée sur une compréhension profonde des lois du vivant acquise par une vision qualitative et globale de la nature (Florin, 2016). Elle permet de régénérer des sols dégradés et contribue efficacement au perfectionnement de l'agriculture biologique (Shreier, 2017) (Annexe 2). La méthode biodynamique requiert de bonnes pratiques agronomiques (travail du sol modéré, rotations longues, culture de légumineuses, choix des semences, etc.) communes avec l'agriculture biologique et un savoir-faire paysan (Masson, 2015). La certification Demeter nécessite d'ailleurs le respect du règlement européen relatif à l'agriculture biologique (RCE n°889/2008) et interdit donc l'emploi d'engrais et de pesticides de synthèse et d'OGM (Organisme Génétiquement Modifié) (Demeter-France, 2017).

Quelques principes et aspects spécifiques caractérisent ensuite l'agriculture biodynamique. Parmi eux, la constitution d'un organisme agricole diversifié et d'individualité écologique (Steiner, 2013), visant à être le plus autonome possible sur le plan de la fumure, des semences et des fourrages (Masson, 2015). Une attention est portée sur l'intégration ou la reconstitution d'un paysage riche et diversifié au sein de cet organisme (Demeter-France, 2017). De plus, la méthode biodynamique nécessite l'emploi de préparations biodynamiques en quantités infinitésimales pulvérisées après dynamisation sur le sol et les plantes. La prise en compte des rythmes cosmiques (solaires, lunaires, planétaires et stellaires) dans les pratiques culturelles est également une des bases fondamentales de la biodynamie. D'autres pratiques sont utilisées pour réguler le parasitisme comme l'emploi de tisanes, de décoctions ou encore par la méthode d'incinération (plantes et ravageurs) dont les cendres sont répandues dans les zones à protéger (Masson, 2015).

2.1.2 Natures, emplois et propriétés des préparations biodynamiques

L'emploi des préparations est au cœur de l'agriculture biodynamique. Elles peuvent être distinguées en deux types : les préparations à pulvériser, destinées au sol (bouse de corne dite 500 et bouse de corne préparée dite 500P) et aux plantes (silice de corne dite 501) et les préparations destinées au compost (préparations dites 502 à 507). Toutes permettent d'accroître la santé du sol, des plantes, de réguler les processus de croissance et de renforcer les activités formatrices et structurantes issues de la périphérie cosmique (Masson, 2015 ;

Florin, 2016). Les préparations à pulvériser doivent être employées chaque année plus ou moins intensivement selon la situation (Masson, 2015). Le cahier des charges Demeter-France rend d'ailleurs leur passage (au moins une fois) obligatoire (Demeter-France, 2017). Loin d'être des produits standardisés, l'efficacité des préparations dépend de nombreux facteurs (élaboration, conservation, emploi, etc.) (Masson, 2015) et celles-ci peuvent être élaborées individuellement, en groupe ou achetées auprès d'organismes spécialisés (ex : B.D.S.) (Annexe 3).

2.1.2.1 Les préparations biodynamiques à pulvériser (500, 500P et 501)

La préparation **bouse de corne 500** est obtenue par la fermentation et la maturation de bouse de vache dans une corne de vache enterrée durant la période hivernale (octobre à avril) (Figure 1). La corne de vache permet une teneur en micro-organismes dans la bouse 70 fois plus élevée que si elle est placée dans un simple pot en verre (Joly, 2011). La préparation **bouse de corne préparée 500P**, issue des recherches de l'Australien Alex Podolinsky, correspond à la préparation bouse de corne 500 classique, dans laquelle les six préparations biodynamiques habituellement destinées au compost (2.1.2.2 Les préparations biodynamiques du compost (502 à 507)) ont été ajoutées selon un procédé particulier. Cet assemblage permet d'accroître de manière importante les effets de la préparation bouse de corne 500 (Masson, 2013).

Afin d'arriver à maturation et d'être prête à l'emploi, la préparation est conservée dans un récipient (verre, grès ou céramique) et placée au sein de caisses de conservation (Figure 1) constituées d'une double paroi contenant de la tourbe sèche permettant un isolement optimal (Masson, 2015).

Les bouses de corne 500 et 500P peuvent être appliquées plusieurs fois, idéalement deux fois au printemps et à l'automne, après dynamisation, en fin de journée (pas avant 17h), en grosses gouttes et sur le sol. La quantité de préparation à utiliser est de l'ordre de 100 g/ha dilués et dynamisés une heure dans 25 à 35 l d'eau à 37°C (Masson, 2015).

Ces préparations sont particulièrement destinées au sol et aux racines des plantes. Elles favorisent la structure du sol, l'activité microbienne et la formation d'humus permettant ainsi une meilleure absorption et rétention d'eau dans le sol (Masson 2015). Elles permettent également de réguler le pH (potentiel hydrogène) des sols, de renforcer la croissance générale du système racinaire et son développement en profondeur et stimulent donc la croissance globale des plantes (Masson, 2015).

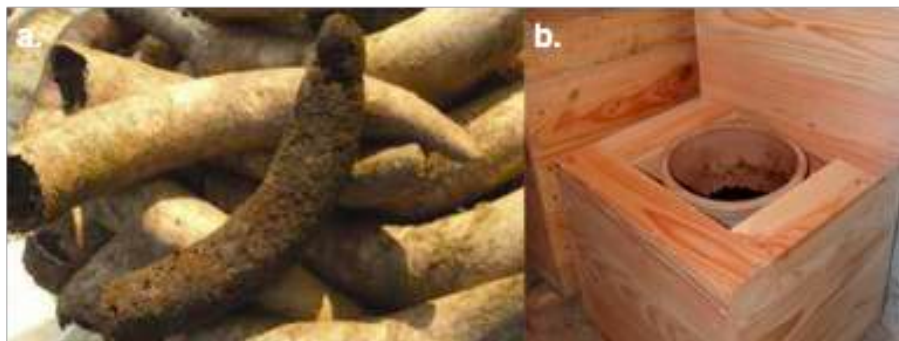


Figure 1 : La préparation biodynamique bouse de corne 500 après sa maturation dans le sol d'hiver (a.) et le stockage des préparations 500 ou 500P dans des caisses de conservation (b.) (Masson, 2015)

La préparation **silice de corne 501** est obtenue par le passage en terre dans une corne de vache, durant la période estivale (avril à novembre), de cristal de roche (quartz, l broyé jusqu'à l'obtention d'un état colloïdale (Figure 2, Annexe 4 et Annexe 5). Le quartz qui a séjourné dans une corne est différent d'un quartz ordinaire en exerçant un effet plus fort sur les plantes (Kolisko, 2017).

La préparation se conserve dans un récipient en verre (bocal, etc.), placé là où il recevra suffisamment de lumière solaire (du matin de préférence) mais en évitant un excès de lumière solaire trop directe (Masson, 2015). La conservation peut avoir lieu dans un bâtiment, une haie ou un buisson (exposition est ou nord-est) et si possible éloignée de tout champs électromagnétiques (appareils électriques, Wifi, etc.) (Figure 2) (Masson, 2015).

L'emploi et le moment d'application dépendent du stade de développement, de l'âge, de l'état de santé de la culture ainsi que des conditions climatiques du moment (Masson, 2015). Généralement appliquée au printemps et à l'automne, une à trois pulvérisations sont possibles au printemps à partir du stade cinq feuilles déployées et avant la fleur en viticulture (Masson, 2015). Des pulvérisations complémentaires peuvent être effectuées (à partir de la nouaison jusqu'à véraison) dans les années avec une pression cryptogamique importante (Masson, 2015). La pulvérisation sur des plantes qui souffrent de sécheresse, trop jeunes ou trop faibles doit absolument être évitée (Masson, 2015) ainsi que sur des sols non enherbés au risque de réduire la vie cryptogamique du sol (Joly, 2011). La préparation est appliquée après dynamisation, au plus près du lever du soleil (avant 8h) (Masson, 2015), moment où les effets de synergie entre le quartz et la montée de sève sont optima (Joly, 2011). La pulvérisation, manuelle (pulvérisateur à dos, etc.) ou mécanique (turbine, etc.), se fait après une légère filtration et à haute pression (3 à 12 bars) vers le haut sur la partie aérienne des plantes (Masson et al., 2015) (Annexe 6 et Annexe 7). La quantité de silice de corne utilisée est de l'ordre de 2 à 4 g/ha dilués et dynamisés une heure dans 25 à 35 l d'eau à 37°C.

Concernant l'emploi de la préparation en fonction des rythmes cosmiques, celle-ci peut être appliquée de préférence en lune ascendante ou à proximité de l'opposition de la lune avec Saturne lors des pulvérisations avant la récolte. Le rythme sidéral peut également être pris en compte (2.1.3Influences et rythmes cosmiques) (Masson, 2017).

Les influences de la préparation varient selon la nature du sol, le climat, la saison, la date d'application, leur fréquence, le stade physiologique de la plante et son état de santé (Masson, 2015). En viticulture, la silice de corne permet de maîtriser le processus végétatif en favorisant ou modérant la vigueur végétative, de renforcer les effets de la lumière solaire donc de la photosynthèse et d'atténuer les tendances aux maladies (Masson, 2015). Elle est essentielle pour la structuration interne des plantes et leur développement, la qualité et la résistance de l'épiderme des feuilles et des fruits (Masson, 2015) et favorise le processus de fructification, le goût et les arômes (Joly, 2014).



Figure 2 : La préparation biodynamique silice de corne 501 avant sa maturation dans le sol d'été (a.) et son stockage dans un bocal en verre (b.) (M.A.B.D, 2014 ; Masson, 2017)

2.1.2.2 Les préparations biodynamiques du compost (502 à 507)

La pratique du compostage en tas en agriculture biodynamique exige l'apport de six préparations spécifiques. Ces préparations biodynamiques du compost sont, pour quatre d'entre elles, obtenues au travers d'un processus fermentaire dans des organes animaux (vessie, mésentère, intestin et crâne), enterrés tout l'hiver durant une période déterminée (Masson, 2015). Les plantes (fleurs) et les enveloppes animales associées ont des relations thérapeutiques entre elles (Florin, 2016). Les six préparations favorisent certains processus dans le sol et les plantes (Steiner, 2013) et sont désignées par leur numéro d'ordre de 502 à 507 (Masson, 2015) :

- **achillée millefeuille** (*Achillea millefolium*) **502**, joue un rôle particulier dans la mobilité du soufre et de la potasse ;
- **camomille** (*Matricaria chamomilla*) **503**, liée au métabolisme du calcium, elle empêche les maladies des cultures et régularise les processus de l'azote ;
- **ortie** (*Urtica dioïca*) **504**, en rapport avec l'azote et le fer, elle renforce l'influence des deux premières préparations et favorise une bonne humification ;
- **écorce de chêne** (*Quercus robur*) **505**, en rapport avec le calcium, elle régularise les maladies des plantes dues à des phénomènes de prolifération et d'exubérance ;
- **pissenlit** (*Taraxacum officinale*) **506**, joue un rôle important pour la mise à disposition de l'acide silicique pour les plantes et parvient à limiter l'effet de l'excès de la matière organique terrestre sur les plantes ;
- **valériane** (*Valeriana officinalis*) **507**, utilisée sous forme liquide, la préparation aide à la mobilité du phosphore dans les sols, forme un « manteau » protecteur et régulateur autour du compost et joue un rôle d'auxiliaire en cas de gel ou de grêle.

Avant leur emploi, ces préparations sont également stockées, individuellement, dans des caisses de conservation à six compartiments (Masson, 2015). L'ajout de deux grammes de chacune des préparations dans le compost, placées à égale distance les unes des autres, suffisent pour des volumes pouvant aller jusqu'à 10-15 m³ (Masson, 2015).

Ces préparations agissent sur le phénomène de compostage (réduction de la montée en température et des pertes de substances et amélioration de la conservation des nitrates et phosphates) et sur le sol en permettant d'accroître sa vitalité, la mobilisation des éléments et les interactions entre le cosmos, le sol et les plantes (Masson, 2015 ; Florin, 2016).

2.1.2.3 La dynamisation (brassage)

Lié à l'emploi des préparations biodynamiques à pulvériser (500, 500P et 501) et éventuellement aux tisanes, le processus de brassage fait partie des pratiques essentielles de la méthode biodynamique (Thies, 1968). Ces substances sont diluées et brassées dans l'eau selon un procédé rythmique pendant une durée déterminée en fonction de leur nature.

La dynamisation consiste à former de manière répétée un vortex (tourbillon) profond suivi d'un chaos énergétique (Figure 3). Pour cela, il faut d'abord imposer un mouvement circulaire, en partant du centre vers la périphérie jusqu'à l'obtention d'un tourbillon, forme de mouvement fondamentale de l'eau (Müller et Auerbach, 1998). Sa formation doit être énergétique, sans projections d'eau et être la plus profonde possible (Masson, 2015). Ensuite, en revenant au centre, le vortex est alors détruit par un mouvement brusque et vigoureux dans le sens opposé afin de créer un chaos. Enfin, la dynamisation reprend dans le sens opposé selon le même principe avec un rythme actif, énergétique et sans pauses (Masson, 2015).

Le récipient utilisé, fabriqué avec un matériau naturel (cuivre, poterie de grès, fer émaillé, etc.), doit être propre et non pollué (pas d'utilisation antérieure de produits de synthèse) et

avoir une forme cylindrique et légèrement arrondie afin de faciliter le mouvement du liquide (Masson, 2016). La dynamisation doit avoir lieu à l'extérieur (à la lumière solaire) et dans un contexte sonore optimal. L'eau utilisée doit être de qualité, si possible de l'eau de pluie ou d'un cours d'eau ou d'une source non calcaire avec un pH inférieur à 6,5 et conservée dans de bonnes conditions (Masson, 2015). Celle-ci est préalablement tiédie à une température maximale de 37°C en utilisant un chauffage au bois ou gaz (Masson, 2015).

Il existe différentes méthodes de dynamisation et types de dynamiseurs souvent déterminés en fonction des surfaces concernées (Annexe 8 et Annexe 9). La dynamisation manuelle, réalisée avec la main, un bâton ou une pale en bois, permet de bien percevoir le procédé rythmique créé (vortex/chaos) (Masson, 2015). Les transformations subtiles qui ont lieu lors de la dynamisation sont favorisées par un brassage manuel et rythmique, qui ne peut être remplacé par un processus mécanique (Thies, 1968). C'est une méthode adaptée à de petites surfaces et pour des volumes maximums de 120 l. La dynamisation mécanique peut être réalisée avec différents types de dynamiseurs dont ceux de modèle australien, dotés d'un palpeur permettant de saisir le juste moment d'inversion du vortex et d'apporter une dynamique rythmique (Masson, 2016). Cette méthode convient à des volumes pouvant aller jusqu'à 250 l et permet un gain de temps (Dreyfus, 2008).

Le processus de dynamisation permet de modifier les qualités de l'eau et de multiplier les forces vivantes et les informations contenues dans la préparation (Masson, 2016). La substance dynamisée cède rythmiquement à l'eau de dilution les forces qu'elle a concentré (Thies, 1968) et gagne en efficacité (Podolinsky, 2015).

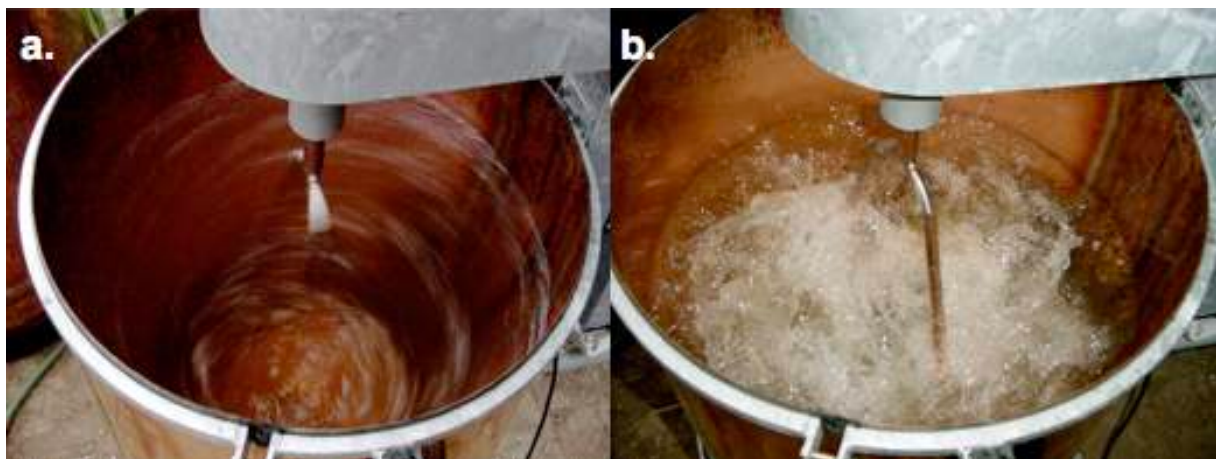


Figure 3 : Formation du vortex (a.) et du chaos (b.) dans un dynamiseur mécanique en cuivre (Eco-Dyn, 2014)

2.1.3 Influences et rythmes cosmiques

Le travail en lien avec les rythmes cosmiques est un des aspects spécifiques de l'agriculture biodynamique. De nombreuses études démontrent l'influence des rythmes cosmiques sur le monde végétal (Endres et Schad, 1997). Pour les différentes activités (travaux du sol, semis, emploi des préparations biodynamiques, etc.), il est essentiel de prendre d'abord en compte les critères agronomiques, l'état du sol, les besoins de la plante et les conditions météorologiques locales (Masson et al., 2017). Le rythme solaire (saisons, alternances jour-nuit) est primordial, la lumière et la chaleur provenant du soleil sont les facteurs principaux qui déterminent l'activité des plantes (Masson, 2017). Ensuite, les rythmes lunaires et aspects planétaires peuvent être pris en compte (Spiess, 1994) et intégrés afin d'optimiser l'efficacité de travaux agricoles et donner aux plantes une relation nouvelle avec le ciel (Florin, 1992).

2.1.3.1 Rythmes lunaires

Le rythme **synodique** est un rythme luni-solaire qui commence de la nouvelle lune et correspond à la conjonction de la lune avec le soleil. Ce cycle dure 29,53 jours et mesure le passage de la nouvelle lune par le premier quartier pour arriver à la pleine lune (phase croissante) pour ensuite parvenir à la nouvelle lune suivante en passant par le dernier quartier (phase décroissante) (Zürcher, 2008) (Annexe 10). En lune croissante, excepté pour les jours de la nouvelle et de la pleine lune, les semis lèvent vite (Fritz, 1994), la croissance maximale est atteinte, l'application d'extraits végétaux (tisanes, décoctions, etc.) et de traitements à base de minéraux (cuivre, soufre, etc.) sont optimisés et les fertilisations foliaires sont rapidement assimilées et ont un maximum d'efficacité (Masson, 2017).

Le rythme **tropique** dure 27,3 jours et concerne la hauteur de trajectoire lunaire par rapport à l'équateur céleste (Zürcher, 2008). La phase du cycle commençant du plus bas niveau (lunistice sud) jusqu'à la fin du passage dans la constellation du Scorpion, caractérise la lune montante (ou ascendante). Le passage de la lune de son plus haut niveau (lunistice nord) jusqu'à la fin de son passage dans la constellation du Taureau, correspond à la lune descendante (Masson, 2017) (Annexe 10). En lune montante, les forces de croissance sont plus importantes dans les parties aériennes et avec une plus grande vitalité (Masson, 2017). En lune descendante, l'activité est plus intense en dessous de la surface du sol et la terre inspire les forces de croissance dans la zone racinaire (Masson, 2017).

Le rythme **sidéral** dure 27,3 jours et correspond au mouvement accompli par la lune lorsqu'elle se déplace sur le fond des étoiles fixes et devant les différentes constellations zodiacales (Masson, 2017) (Annexe 10). En revanche, une source d'erreur vient du fait que les constellations observées varient en raison du lent mouvement giratoire de l'axe de la Terre (Zürcher, 2008). Ce rythme confirme donc partiellement son rôle dans le soutien au développement des différents organes de la plante (Masson, 2017) :

- racines en lien avec les constellations liées à l'élément « Terre » : Taureau, Vierge et Capricorne ;
- feuilles en lien avec les constellations liées à l'élément « Eau » : Poissons, Cancer et Scorpion ;
- fleurs en lien avec les constellations liées à l'élément « Air-Lumière » : Verseau, Gémeaux et Balance ;
- fruits en lien avec les constellations liées à l'élément « Feu-Chaleur » : Bélier, Lion et Sagittaire.

D'une durée de 27,55 jours, le rythme **anomalistique** se caractérise par la trajectoire elliptique de la lune qui détermine un passage à une distance minimale de la Terre, le périhélie, puis à une distance maximale nommée apogée (Spiess, 1994) (Annexe 10). La position de la lune au périhélie favorise les forces de reproduction, de croissance (Steiner, 2013), les semis réalisés (Spiess, 1994), le rendement et la vigueur des plantes mais au risque de les sensibiliser aux maladies cryptogamiques alors que celle à l'apogée apporte une intensification des forces solaires et accroît le caractère séchant et lumineux (Masson, 2017).

Le rythme **draconitique** dure 27,2 jours et détermine les nœuds lunaires. La lune, qui est inclinée d'environ 5° par rapport au plan de l'écliptique, traverse une fois ce plan en montant (nœud ascendant) et une autre fois en descendant (nœud descendant) (Annexe 10). Les influences négatives des nœuds concernent les travaux du sol, les plantes, les préparations biodynamiques, la récolte ou bien la transformation des produits agricoles (Masson, 2017). Ces périodes négatives varient en fonction des différentes recommandations (de 3 à 36 heures encadrant le nœud).

2.1.3.2 Rythmes et aspects planétaires

Comme la lune, les planètes ont une orbite inclinée par rapport au plan de l'écliptique et passent par des positions considérées négatives, appelées **nœuds des planètes** (Masson, 2017). La durée de ces périodes négatives est plus importante que les nœuds de la lune et varie selon les différentes recommandations. Les nœuds des planètes sont ceux de Vénus et Mercure (planètes infra-solaires) et de Mars, Jupiter et Saturne (planètes supra-solaires). Ils provoquent souvent des perturbations au niveau du sol et des plantes ou encore la transformation des produits agricoles (Masson, 2017).

Les **trigones** correspondent aux positions de deux planètes formant un angle de 120° entre elles par rapport à la Terre (Annexe 11). Les influences varient en fonction des planètes concernées (Masson, 2107). Les trigones avec la lune ont des influences sur la formation et le goût des fruits, la résistance aux maladies et la rapidité de montée en graines (Masson, 2017).

Les **oppositions** se traduisent par les positions de deux planètes formant un angle de 180° entre elles par rapport à la Terre (Annexe 11). Elles sont généralement favorables au processus de vie (Masson, 2017) et particulièrement celle de la lune avec Saturne qui permet d'obtenir, pour les semis réalisés, des plantes vigoureuses avec un très bon développement (Proctor, 2004).

Les **conjonctions**, correspondant aux positions de deux planètes formant un angle de 0° par rapport à la Terre (Annexe 11), affaiblissent et perturbent les processus de vie et peuvent provoquer des situations négatives pour le sol, les plantes et les différents travaux réalisés (Masson, 2017).

Les **quadratures** sont caractérisées par la position angulaire de 90° entre deux planètes par rapport à la Terre (Annexe 11). Elles sont considérées comme neutres entre les planètes infra et supra-solaires mais deviennent négatives en présence d'une planète supra-saturnienne (Uranus, Neptune ou Pluton) (Masson, 2017).

2.1.4 Certifications et surfaces

La certification, garantissant au consommateur le respect d'un cahier des charges spécifique, est assurée pour l'agriculture biodynamique par la marque Demeter et pour la viticulture seulement, par Biodyvin. En France comme à l'étranger, beaucoup de domaines viticoles pratiquent la méthode biodynamique de manière conforme mais ne rentrent pas pour autant dans un processus de contrôle et de certification ou bien choisissent une certification (ou plusieurs) relative à l'agriculture biologique (A.B, Nature & Progrès, etc.).

2.1.4.1 Demeter

La marque Demeter certifie depuis 1932 la qualité biodynamique des produits agricoles bruts et transformés (alimentaires, cosmétiques et textiles) (Figure 4). La certification Demeter nécessite la certification biologique (A.B) conforme au règlement européen ainsi que le respect du cahier des charges Demeter de production et/ou de transformation. Le cahier des charges Demeter est élaboré au niveau international dans chaque pays puis adapté aux conditions locales (Lamine et Bellon, 2009). La durée de conversion est égale à celle de l'A.B mais le cahier des charges est plus strict, notamment concernant la viticulture et vinification (Demeter-France, 2017) (Annexe 12, Annexe 13 et Annexe 14). Un contrôle est effectué de manière annuelle chez les opérateurs par des contrôleurs internes à Demeter-France ou par des organismes de contrôle biologique (Agrocert, Alpes Contrôles, Certipaq et Ecocert).

La certification Demeter est représentée dans plus de 50 pays. En France, en 2015, la marque Demeter-France a contrôlé et certifié environ 600 transformateurs, entreprises et producteurs sur plus de 11500 ha. En viticulture, 5500 ha de vignes sont certifiés, qui représentent 418 vigneronns répartis dans les différentes régions viticoles de France. Depuis 10 ans, environ 15% de vigneronns demandent la certification chaque année et 50 nouvelles demandes ont eu lieu pour le début de l'année 2017 (Demeter-France, 2017). Dans le monde, la marque Demeter certifie près de 5000 domaines sur une surface de 120000 ha dont 2500 domaines en Europe, représentant 80000 ha. Au sein du monde viti-vinicole, deux options de certification sont possibles (Demeter-France, 2017) :

- certification en viticulture mais pas en vinification : la mention « vin issu de raisins Demeter » peut être utilisée mais l'utilisation du logo n'est pas autorisée ;
- certification en viticulture et vinification : la mention « vin biodynamique » ou « vin Demeter » peut être utilisée et l'utilisation du logo Demeter (au choix) est autorisée.



Figure 4 : Logos de la marque internationale Demeter-France (Demeter-France, 2017)

2.1.4.2 Biodyvin

Le S.I.V.C.B.D (Syndicat International des Vignerons en Culture Bio-Dynamique) est composé uniquement de vigneronns, 122 au total, pratiquant l'agriculture biodynamique sur l'intégralité de leur domaine et revendiquant leurs pratiques au travers de la marque Biodyvin (Biodyvin, 2017) (Figure 5). La certification Biodyvin nécessite la certification biologique conforme au règlement européen. Elle garantit depuis 2002 les vins issus de l'agriculture biodynamique et s'est étendue à la partie vinification depuis 2008. Un contrôle annuel est réalisé par Ecocert, interlocuteur privilégié mais non exclusif du S.I.V.C.B.D afin de vérifier le respect des cahiers des charges en viticulture et vinification (Biodyvin, 2017).

Le S.I.V.C.B.D et la certification sont représentés dans quatre pays : France, Allemagne, Italie et Portugal. La marque Biodyvin certifie au total 119 domaines viticoles avec une surface totale de 3000 ha (Biodyvin, 2017).



Figure 5 : Logo de la marque Biodyvin (Biodyvin, 2017)

2.2 La silice en agriculture : état de la recherche

2.2.1 La silice et l'élément silicium

La silice, composée de silicium et d'oxygène, de formule chimique SiO_2 , tire son nom de son gisement le plus important dans la nature : le silex et le sable (Kolisko, 2017). Le silicium (Si) est noir et opaque à la lumière alors que la silice, produit de sa réaction avec l'oxygène, est incolore et transparente (Barth, 2016). La proportion totale de silice dans la croûte terrestre a été évaluée à environ 97% (Kolisko, 2017). En proportion, le silicium est l'élément le plus répandu sur Terre (26,7%) et dans l'Univers après l'oxygène (Remer, 1996). La silice est présente dans toutes les plantes selon une proportion variant de 0,1 à 10% de leur poids sec (Hodson et al., 2005). Cette proportion est similaire à celles de macronutriments dits essentiels tels que l'azote, le phosphore, le soufre, le calcium ou encore le magnésium (Epstein, 1994). Second élément le plus abondant dans les sols (Epstein, 1994), la silice y est disponible et absorbée par les racines sous la forme d'acide ortho-silicique Si(OH)_4 (Casey et al., 2003).

La silice est présente dans la plante sous deux formes : la silice amorphe hydratée et l'acide silicique soluble (Fawe et al., 1998). Elle se situe essentiellement dans les parois cellulaires, les vacuoles des cellules végétales et dans les racines. Sa teneur varie en fonction de la nature du sol, la saison, la phénophase de la plante, les espèces ou le génotype d'une même espèce (Epstein, 1994). En revanche, la silice ne fait pas partie des macro et micro éléments dans la nutrition des plantes (Bouzoubaâ et al., 2009) et les sols sablonneux siliceux sont des sols pauvres avec des rendements peu élevés (Remer, 1996).

Pourtant, de nombreuses études montrent l'importance des propriétés de la silice et de l'élément silicium pour les plantes notamment dans leur croissance, leur solidité mécanique, leur nutrition minérale et leur résistance dans un milieu difficile et face aux maladies et parasites (Epstein, 1994). En effet, à concentration élevée dans le milieu de culture, le silicium influence favorablement la croissance d'une plante (Ma et al., 2001). De plus, de par son accumulation dans les parois végétales, la silice augmente leur stabilité et leur robustesse structurelle permettant de maintenir un port érigé et une disposition foliaire favorable à la captation de la lumière et donc à la photosynthèse (Epstein, 1994). L'activité du métabolisme des racines est également assurée par la teneur en silice (Voronkov, 1975). D'un point de vue nutritionnel, la silice permettrait d'atténuer les déséquilibres nutritionnels et de modifier l'absorption des nutriments du milieu (Kleiber, 2015) et le transport par les plantes de certains éléments essentiels (Ca, P, K, Mg) (Bouzoubaâ, 1991) (Figure 6). Elle permet aussi à la plante de conserver un statut hydrique (jusqu'à 30% d'économie d'eau) favorable à son développement en diminuant sa transpiration cuticulaire (Bouzoubaâ et al., 2009). Ensuite, concernant son rôle dans l'état sanitaire des plantes, l'accumulation du silicium dans les parois végétales, plus importante dans un milieu enrichi (Bouzoubaâ, 1991) (Figure 6), agit contre la pénétration des agents pathogènes insectes et champignons (Savant et al., 1999). Ce rôle positif concernant la résistance aux pathogènes, notamment pour le raisin, est aussi constaté lors d'application foliaire de silice (Bowen et al., 1992). Les défenses naturelles déclenchées par le silicium permettent d'atténuer les effets de stress abiotiques (toxicité des métaux lourds, sécheresse, excès d'eau, vent, températures extrêmes et salinité) et biotiques (insectes, herbivores, nématodes, champignons, bactéries et virus) (Epstein 1994).

Enfin, les influences des énergies solaires et cosmiques sont diffusées par la silice dans leurs qualités respectives directement ou indirectement dans la plante (Voronkov, 1975). La silice met la plante en relation avec le cosmos en s'associant à la lumière et à la chaleur (Remer, 1996) et transmet l'activité des forces formatrices des étoiles fixes et des planètes supra-solaires (Mars, Jupiter et Saturne) (Steiner, 2013).

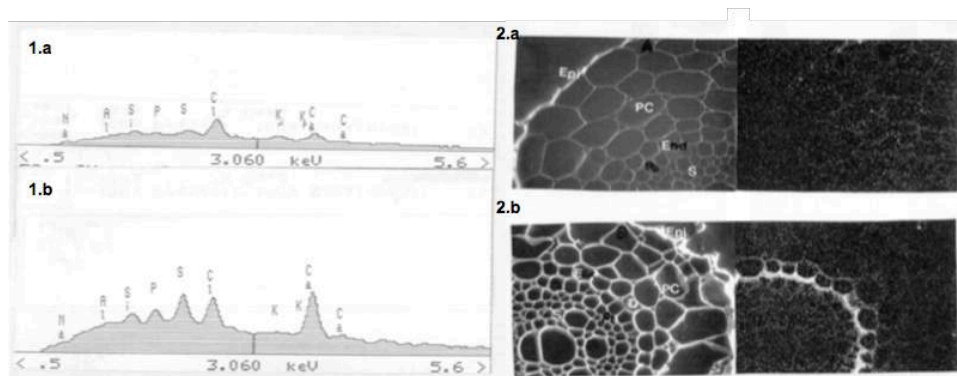


Figure 6 : Amélioration de la nutrition minérale (riz) et accumulation silicatée dans les parois de l'endoderme (blé) dans des milieux de culture enrichis (acide ortho-silicique) (1.b et 2.b) par rapport à des milieux non enrichies (1.a et 2.a) (Bouzoubaâ, 1991)

2.2.2 La préparation biodynamique silice de corne 501

De nombreux essais attestent aujourd'hui des résultats positifs de l'application des préparations biodynamiques (Annexe 15), sur la fertilité et la matière organique des sols (Turineck et al., 2009), le maintien du taux d'humus (Bachinger, 1998), l'activité microbienne, le pH des sols, le stockage et la répartition du carbone, la stabilité des agrégats (Fließbach et al., 2001), la croissance des racines (Adele, 1978) et la qualité et conservation des aliments (Elsaidi, 1982) (Annexe 16 et Annexe 17).

La silice est l'élément de base de la préparation silice de corne 501, les influences de cette dernière sur les plantes sont donc supposées être liées aux influences relevées de la silice, évoquées dans la partie précédente. Des travaux scientifiques ont donc été menés en viticulture afin d'explorer les effets de la silice de corne notamment sur la physiologie de la vigne, son état sanitaire et sur la composition et qualité organoleptique des raisins et vins obtenus. La préparation influence significativement des paramètres végétatifs comme la réduction de la longueur des rameaux primaires et anticipés (entre-cœurs) et de la densité foliaire donnant à la vigne un aspect plus aéré (Meissner, 2010) (Figure 7). Elle a une action directe sur la gibbérelline et l'allongement des tiges (Fritz, 2005). Elle renforce les effets de la lumière et de la chaleur (Fourès, 2012) et son application a un effet nettement positif sur l'indice chlorophyllien (Meunier et al., 2013) et pratiquement significatif (Lorimer, 2014) (Figure 7). Les teneurs en Mg, K et en phyto-alexine (rôle dans la lutte contre les pathologies viticoles) dans les feuilles sont significativement améliorées (Lorimer, 2014). La compacité des grappes est significativement inférieure avec le passage de la préparation (Meissner, 2014). Elle optimise également des paramètres génératifs comme la maturité phénolique et l'équilibre sucres/acides dans les raisins et peut augmenter la richesse en sucre des moûts d'environ 10% (Meissner et al., 2012). Les baies de raisins contiennent un taux de phénols et d'anthocyanes totaux plus important (Meunier et al., 2013). Elle diminue l'épaisseur de la pellicule des baies (Meunier et al. 2013), le poids des baies et des grappes (Chassaing, 2017) et d'une manière générale améliore la qualité nutritive des produits, le goût, les arômes et la conservation (Spiess, 1994).

D'autres essais ont également montré les influences de la préparation à différents positionnements mais qui peuvent aussi varier en fonction d'autres facteurs (climat, fréquence, état de santé, etc.) (Masson, 2015). L'emploi de la silice de corne en début de saison avant la floraison a tendance à renforcer le développement végétatif et la croissance des rameaux (Abarzúa, 2015). Mais cette tendance s'est inversée dans un essai similaire et montre qu'une

application avant la floraison régule le développement végétatif et la vigueur ainsi que le nombre et le poids des grappes par pied (Li, 2016). La compacité de la grappe est plus faible quel que soit le positionnement de la préparation (Abarzúa, 2015). Des hypothèses formulées sont qu'une application précoce avant floraison agit sur la gibbérelline et l'allongement des mérithalles alors qu'entre la fleur et vendange, elle limite le développement végétatif et favorise la concentration vers le fruit (arômes, épaisseur de la pellicule, etc.) en agissant sur l'éthylène (Fourès, 2012). Une application tardive, après la vendange, accélère la mise en repos de la vigne, l'accumulation de réserves et une meilleure initiation florale (Fourès, 2012). Des recherches de morphochromatographies sur jus de raisins présentent des images plus qualitatives en présence de la préparation silice de corne, notamment ses applications à quatre stades : débourrement, floraison, véraison et avant vendange (Fritz et al. 2017).

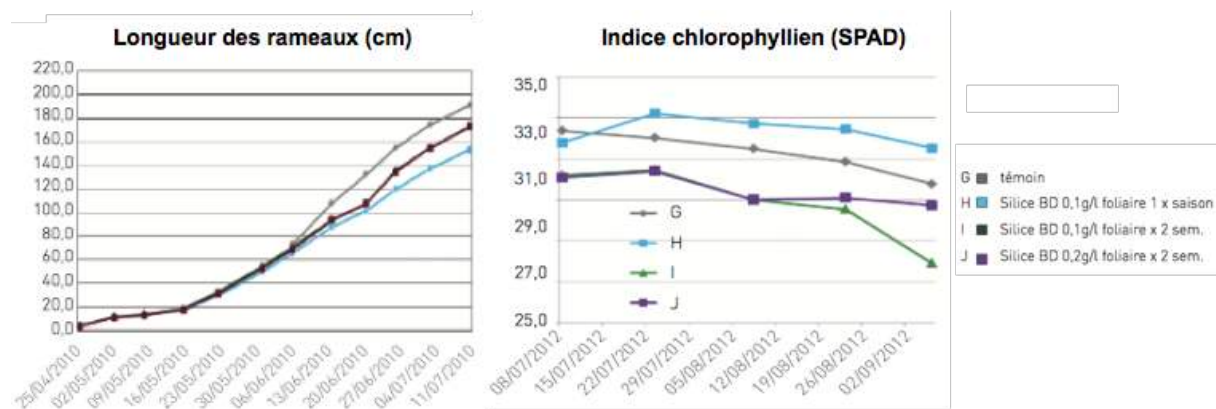


Figure 7 : Influences de la silice de corne sur la longueur des rameaux et l'indice chlorophyllien (Meunier et al., 2013)

2.3 Origines et objectifs de l'expérimentation

Les incertitudes concernant l'emploi des préparations biodynamiques et notamment celles vis-à-vis de la silice de corne, sont toujours d'actualité dans le milieu biodynamique. En effet, aucun schéma fixe n'existe concernant son emploi en viticulture (Fritz, 2017) qui dépend de nombreux facteurs (Masson, 2015). Différents courants, points de vue et recommandations existent aujourd'hui et donnent naissance à de nombreuses questions de la part des vignerons qui s'interrogent sur le positionnement de la préparation et ses conséquences. Afin d'éclaircir cette problématique, des essais sur les positionnements de la silice de corne ont été mis en place depuis plusieurs années en France, Allemagne et Italie sous l'impulsion de Pierre et Vincent Masson, du Dr. Georg Meissner de l'Université de Geisenheim et d'Adriano Zago, conseiller en biodynamie en Italie. Les hypothèses sont que les influences et les conséquences de la silice de corne 501 sur la vigne varient en fonction de son positionnement. Les objectifs de l'expérimentation mise en place en 2017 sur la parcelle de Prissé en Saône-et-Loire, sont : egep

- d'étudier les influences et les conséquences de la silice de corne 501 à différents positionnements sur la vigne via des mesures quantitatives et qualitatives ;
- de dégager un ou plusieurs stades privilégiés d'application de la silice de corne 501 en fonction des besoins du vigneron et des objectifs et critères agronomiques souhaités ;
- d'optimiser l'emploi de la silice de corne 501 en viticulture ;
- d'établir un dispositif expérimental et un plan de recherche sur le long terme (minimum 3 ans).

III. Méthodologie et moyens mis en œuvre

3.1 Parcelle expérimentale

3.1.1 Localisation

La parcelle « Bonnode Nord » appartient au Domaine de la Soufrandière, certifié Demeter, et aux vignerons Jean-Philippe et Jean-Guillaume Bret. Elle se situe dans la commune de Prissé dans le département de Saône-et-Loire, aux coordonnées D.M.S (Degrés, Minutes et Secondes) suivantes : 46°19'07.6"N 4° 43'38.5"E (Annexe 18 et Annexe 19).

3.1.2 Caractéristiques techniques

La parcelle expérimentale mesure 2268,6 m², soit environ 0,23 ha. L'inter-rang² est d'un mètre et l'écartement entre deux rangs de vigne est de 1,20 m. La parcelle a été choisie pour son homogénéité (Tableau 1). Le matériel végétal (cépage, porte-greffe et clone) est identique. Les pieds de vignes sont de vigueur³ relativement homogène (moyenne-élevée) mais plus faible au milieu de la parcelle. Des observations et mesures du débourrement ont permis de constater son homogénéité.

Tableau 1 : Caractéristiques techniques de la parcelle expérimentale

LIEU (COMMUNE)	Prissé
APPELLATION D'ORIGINE CONTROLÉE (A.O.C)	Saint-Véran
NOM	Bonnode Nord
SURFACE (HA)	≈ 0,23
DENSITÉ DE PLANTATION (PIEDS/HA)	8 000
VIGUEUR	Moyenne-élevée
RENDEMENT MOYEN (HL/HA)	40-45
TYPE DE SOL	Argilo-limoneux
PORTE-GREFFE	3309
CÉPAGE	Chardonnay
PENTE (%)	5-7
ANNÉE DE PLANTATION	2000
TAILLE	Guyot simple (en arcure)
MODE D'AGRICULTURE	Biologique depuis 2000 et Biodynamique depuis 2016

3.1.3 Gestion et conduite

Les différentes interventions (ébourgeonnage, mouchage, écimage et rognage) sur la parcelle expérimentale ont été réalisées de manière homogène (Annexe 20).

Sept traitements phytosanitaires ont été appliqués, essentiellement à base de bouillie bordelaise, hélioterpen, héliosoufre, microthiol. La parcelle expérimentale a reçu des apports totaux d'environ 6,5 kg/ha de bouillie bordelaise, 5 l/ha d'hélioterpen, 16 l/ha d'héliosoufre et 26 kg/ha de microthiol (Annexe 20). La vendange a eu lieu le 6 septembre.

Il s'agit de la deuxième année de pratiques biodynamiques sur la parcelle « Bonnode Nord ». En 2016, la parcelle a reçu les préparations bouse de corne 500P et silice de corne 501. En 2017, le passage de la bouse de corne 500P a eu lieu le lundi 27 mars.

² Distance entre deux pieds qui se suivent

³ Diamètre du bois et intensité végétative de la vigne

3.2 Dispositif expérimental

L'expérimentation comprend cinq modalités et quatre répétitions (Tableau 2) correspondant à différents positionnements de la préparation silice de corne 501. Chaque modalité est constituée de 400 pieds, soit 100 pieds par répétition. Une modalité correspond à une surface de 453,72 m² et une répétition à 113,43 m². Une répétition contient quatre rangs en largeur dont deux réservés aux mesures et deux autres en guise de clôture (Figure 8).

Tableau 2 : Description des modalités de l'expérimentation

Modalité	Couleur	Description/traitement
Témoin (T)	Blanc	Pas de traitement silice de corne 501 mais 3 traitements à l'eau de pluie repartis dans la saison
Vigneronne (V)	Gris	5 traitements silice de corne 501 avant la floraison et la vendange selon les besoins de la vigne et les conditions météorologiques
Avant Fleur (AF)	Bleu	3 traitements silice de corne 501 à partir du stade 5 feuilles déployées jusqu'à la floraison
Entre Fleur et Vendange (EFV)	Rouge	3 traitements silice de corne 501 entre la floraison et la vendange
Après Vendange (AV)	Jaune	3 traitements silice de corne 501 après la vendange

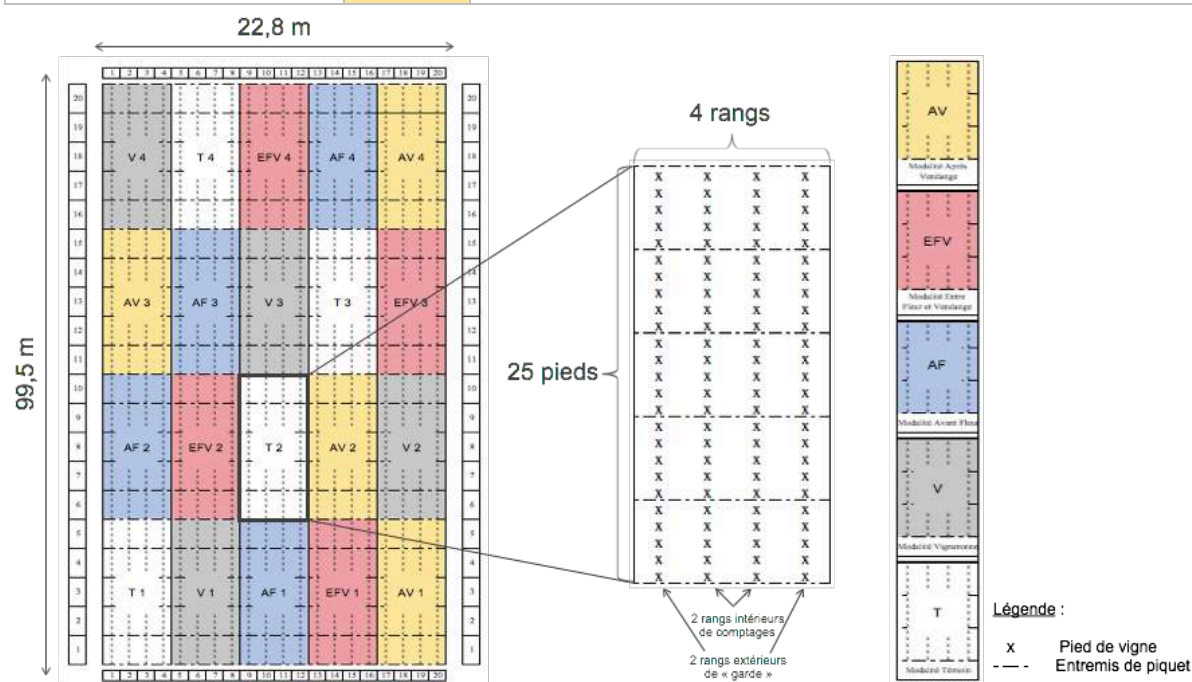


Figure 8 : Dispositif expérimental : modalités et répétitions au sein de la parcelle

3.3 Traitements biodynamiques expérimentaux

Les dates d'application ont été choisies selon les conseils de Pierre Masson, en fonction des conditions météorologiques du moment et de l'agenda biodynamique Lunaire et Planétaire 2017 (Masson, 2017) (Annexe 21). La préparation silice de corne et l'eau de pluie utilisées pour chaque traitement proviennent de B.D.S (Figure 9).

Pour les traitements des modalités V, AF et EFV, la procédure a commencé peu avant le lever du jour. La quantité nécessaire de silice de corne pour une surface d'un hectare a été préparée, soit 4 g de la préparation dilués et dynamisés dans 35 l d'eau à 37°C (chauffage au

gaz). La dynamisation a débuté vers 5h dans un D 37 (dynamiseur 37 litres) mécanique à cuve en cuivre durant 1h (Annexe 6 et Annexe 22). Ensuite, un volume de 1,6 l a donc été nécessaire pour le traitement d'une modalité (0,046 ha). La même quantité d'eau (1,6 l) a été utilisée pour le traitement de la modalité T. Concernant le traitement de la modalité AV, les recommandations indiquent que l'emploi de la préparation doit avoir lieu en jour « fruit », tôt le matin sur des feuilles encore vertes ou plus tard en fin de journée sur des feuilles jaunissantes (Bouchet, 2003). La procédure a été similaire, excepté les heures de début de dynamisation (16h) et de fin de traitement (18h) pour l'application en fin de journée. Les pulvérisations ont été effectuées à l'aide d'un pulvérisateur à dos en cuivre avec une buse réglable (Figure 9) et les dérives ont été stoppées à l'aide d'une bâche (Annexe 23). Les quatre rangs de chaque répétition ont pu être pulvérisés en un seul passage. Les traitements des modalités T, V, AF et EFV ont été réalisés dans des conditions météorologiques similaires et avant 8h du matin afin d'éviter des températures trop élevées.



Figure 9 : Préparation silice de corne (a.), dynamiseur mécanique (b.), pulvérisateur à dos (c.) et buse réglable (d.)

3.4 Mesures expérimentales

Les mesures réalisées afin d'étudier les effets de la silice de corne sur la phénologie et la physiologie de la vigne concernent des processus végétatifs (rameaux, feuilles, etc.) et génératifs (grappes, etc). La modalité AV est considérée comme un témoin pour cette première année d'expérimentation.

3.4.1 Phénologie de la vigne

3.4.1.1 Floraison

La floraison correspond à l'épanouissement de la fleur et à son apparition sur l'inflorescence : les boutons floraux s'ouvrent et laissent place aux fleurs (Reynier, 2011). La date de floraison correspond au stade I de Baggiolini ou au stade BBCH 65 (Baggiolini, 1952) (Annexe 24). Cette mesure a été effectuée en considérant 5 classes distinctes (Annexe 25).

15 inflorescences par répétition, soit 60 inflorescences par modalité ont été observées, les premières situées sur les mêmes rameaux que pour la croissance du rameau primaire. Les mesures ont été réalisées le 1^{er} juin pour les modalités T, V et AF.

3.4.1.2 Véraison

Les mesures de véraison sont plus difficiles à observer lorsqu'il s'agit d'un cépage blanc. Or la parcelle étant constituée de Chardonnay, les mesures n'ont pu être réalisées.

3.4.2 Physiologie de la vigne

3.4.2.1 Croissance du rameau primaire

La croissance du rameau primaire, issue de l'œil latent, se caractérise par l'allongement des rameaux et l'étalement et l'accroissement des jeunes feuilles jusqu'au stade adulte (Galet, 2000). La croissance du rameau dépend de sa position sur le sarment (Reynier, 2011) et peut varier en fonction de différents facteurs comme le mode de conduite (Galet, 2000).

5 pieds par répétition ont donc été sélectionnés. Sur chaque pied, 3 rameaux, situés à la base, au milieu et à l'extrémité de la baguette ont été marqués (Annexe 26). 15 rameaux par répétition, soit 60 rameaux par modalité ont été mesurés avec un mètre, de la base jusqu'à l'apex. La croissance a été calculée en faisant la différence entre deux mesures successives. Les mesures ont commencé le 26 avril et ont été répétées chaque semaine jusqu'au premier écimage le 31 mai pour les modalités T, V et AF.

3.4.2.2 Nombre de mérithalles (entre-nœuds)

Le mérithalle ou entre-nœud correspond à la jonction de deux nœuds et assure la croissance en longueur de la tige (Carbonneau et al., 2007). Les feuilles contribuent à leur croissance longitudinale à travers des influences hormonales (gibbérélines et auxines) trophiques et environnementales (Menhenett et Alleweldt, 1961).

15 rameaux par répétition, soit 60 par modalité ont été mesurés sur les mêmes pieds et rameaux que pour la mesure de la croissance du rameau primaire (Annexe 26), le 19 juin pour les modalités T, V et AF.

3.4.2.3 Longueur du rameau anticipé (entre-cœur)

La croissance du rameau anticipé ou entre-cœur est issue du prompt-bourgeon et sa longueur finale dépend de sa position sur le rameau et des conditions générales de la culture (Reynier et al., 2011). Un développement moins important du rameau anticipé peut contribuer à une meilleure exposition des feuilles et des grappes et à une sensibilité aux parasites moins importante (Schneider, 1985).

15 rameaux par répétition, soit 60 rameaux par modalité ont été mesurés de la base de celui-ci jusqu'à l'apex. Les mesures ont été réalisées sur les mêmes pieds et rameaux (excepté le rameau situé à l'extrémité de la baguette) que pour la mesure de la croissance du rameau primaire et sur les rameaux anticipés les plus longs (Annexe 26), souvent situés au milieu du rameau (Reynier et al. 2011). Les mesures ont eu lieu le 3 août pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.2.4 Indice Chlorophyllien (N-Tester)

La chlorophylle, principal pigment photosynthétique des végétaux, permet l'absorption de la lumière et la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique (Féret, 2009). Cette mesure a été réalisée avec un N-Tester, appareil optique qui mesure la teneur en chlorophylle de la feuille. La valeur obtenue est en relation avec la photosynthèse, la nutrition azotée (Spring, 1999) et dépend fortement du stade de croissance de la culture (Serrano et al., 2010).

60 feuilles par répétition, soit 240 feuilles par modalité ont été mesurées en fin de journée sur des feuilles jeunes (entre la cinquième et septième en partant de l'apex) et adultes (entre la dixième et douzième en partant de l'apex). Elles ont été réalisées aux stades nouaison (23 juin), véraison (4 août) et avant vendange (5 septembre) pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.2.5 Point quadrat

La méthode du point quadrat permet de traduire le contrôle de la vigueur, l'aération de la zone des grappes, l'opulence et la répartition du feuillage (Smart, 1989). La structure végétative ou canopée est un facteur déterminant de la quantité et distribution du rayonnement et donc de la transpiration et photosynthèse dans les feuilles (Mabrouk et al., 1997). La méthode consiste à insérer à plusieurs reprises, tous les 10 cm au niveau de la zone des grappes (80 cm de hauteur), une fine baguette au sein du rang de vigne afin de déterminer la nature du point d'intersection : feuille externe (à l'extérieur de la canopée) (FE), feuille interne (à l'intérieur de la canopée) (FI), grappe (G) ou trou (vide) (T) (Annexe 27).

50 insertions par répétition, soit 200 insertions par modalité ont été réalisées le 18 août pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.2.6 Nombre de grappes par pied

Le nombre de grappes par pied permet de donner une estimation du rendement de l'année.

10 pieds par répétition, soit 40 pieds par modalité ont été comptés le 18 août pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.2.7 Poids de la grappe

Le poids de la grappe varie en fonction du nombre et du poids des baies et de paramètres extérieurs comme les pratiques culturales (Galet, 2000). Le poids de la grappe entraîne un changement de direction plus ou moins important et influence donc le positionnement et l'exposition de la grappe (Galet, 2000).

5 grappes par répétition soit 20 grappes par modalité ont été pesées le 1^{er} septembre pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.2.8 Compacité de la grappe

La configuration des grappes joue un rôle important dans le développement de pathologies viticoles comme le botrytis, favorisé par une grande compacité (Pieri et al., 2001). Une moindre compacité fait partie des conditions de bonne maturation des baies et de la qualité des raisins (Pacottet, 2012). Cette mesure a été déterminée via la méthode de B. Schildberger qui se caractérise par la courbure de la grappe selon différentes classes (Annexe 25).

15 grappes par répétition, soit 60 grappes par modalité, sur le rameau primaire situé au milieu du sarment, ont été mesurées le 21 août pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.2.9 Taux de sucre dans la baie

La période de maturation des baies, marquée par le début de la véraison (Cabonneau et al., 2007), se poursuit jusqu'à la maturité des baies (Galet, 2000). Le taux de sucre dans la baie se caractérise par la présence d'hexoses (glucose, fructose et saccharose) et dépend de nombreux facteurs comme l'exposition des grappes ou encore le mode de conduite (Galet, 2000). Ce taux a été mesuré sur les premières gouttes issues de la baie, à l'aide d'un réfractomètre ATAGO® donnant des mesures en degré Brix (°Bx), permettant d'obtenir le pourcentage en poids de sucre dans la substance (Galet, 2000).

15 baies par répétition soit 60 baies par modalité, sur des grappes et pieds différents, ont été mesurées le 30 août pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.3 État sanitaire de la vigne

3.4.3.1 Mildiou, oïdium et botrytis

Les conditions météorologiques et générales de l'année 2017 ont été particulièrement favorables à un bon état sanitaire de la vigne dans la parcelle. Les mesures et comptages concernant les pathologies viticoles mildiou, oïdium et botrytis n'ont donc pas été réalisés.

3.4.3.2 Coulure

La coulure se caractérise par la chute d'un nombre élevé de fleurs par rapport au taux de coulure « naturel », due à une absence de fécondation ou d'un avortement précoce des embryons (Carbonneau et al., 2007). Les causes peuvent être physiologiques avec des déséquilibres entre photosynthèse-vigueur-réserves et carences en éléments minéraux (Carbonneau et Ollat, 1993). Elle peut être mesurée via différentes classes (Annexe 25).

25 grappes par répétition soit 100 grappes par modalité, sur le rameau primaire situé au milieu du sarment, ont été mesurées le 3 juillet pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.4 Morphochromatographie

La morphochromatographie est une méthode d'évaluation donnant des indicateurs spécifiques de qualité d'une substance organique par la formation d'images (Mure, 2004) et apportant des informations complémentaires aux analyses quantitatives (Gelin, 2011). Ces images sont obtenues par la migration sur du papier filtre, préalablement imprégné de nitrate d'argent, de l'extrait d'une substance mélangé à un certain volume de soude (Masson, 2015).

3.4.4.1 Feuilles de vigne

5 feuilles par répétition, soit 20 feuilles par modalité ont été prélevées. Pour chaque modalité, les feuilles des répétitions 1 et 2 ont été associées et mélangées ensemble ainsi que celles des répétitions 3 et 4 afin d'avoir 2 répétitions par modalité (T1-2, T3-4, etc.). Les 8 broyats de feuilles obtenus ont été analysés à 2 quantités (0,75 g et 1,25 g) et 3 dates (J0, J1 et J3), grâce à un travail réalisé en interne et selon un protocole expérimental précis (Annexe 28 et Annexe 29) pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.4.2 Jus de raisins

5 grappes par répétition, soit 20 grappes par modalité ont été prélevées. Pour chaque modalité, les grappes des répétitions 1 et 2 ont été associées et mélangées ensemble ainsi que celles des répétitions 3 et 4 afin d'avoir 2 répétitions par modalité (T1-2, T3-4, etc.). Les 8 jus de raisins obtenus ont été analysés à 2 quantités (0,175 ml et 0,225 ml) et 3 dates (J0, J1, J5 et J7), grâce à certains travaux (Fritz, 2017) et selon un protocole expérimental précis (Annexe 30) pour les modalités T, V, AF et EFV.

3.4.5 Analyses statistiques

Les analyses statistiques des mesures expérimentales ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT. Les modèles choisis ont été basés sur l'analyse de la variance (ANOVA) et le test d'indépendance du χ^2 . Les résultats obtenus avec une p-value < 0,05 ont été considérés comme étant significatifs. Les écart-types sont représentés par des barres verticales noires.

IV. Présentation et analyse des résultats

4.1 Analyses expérimentales

4.1.1 Phénologie de la vigne

4.1.1.1 Floraison

L'analyse globale des résultats ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V et AF (p -value > 0,05). En moyenne, le pourcentage de fleurs ouvertes par inflorescence de la modalité V est légèrement supérieur par rapport à la modalité T, excepté la modalité AF (Figure 11 et Figure 10). Les modalités V et AF montrent des écart-types plus faibles que la modalité T : T (23,6) > AF (20,9) > V (19,6).

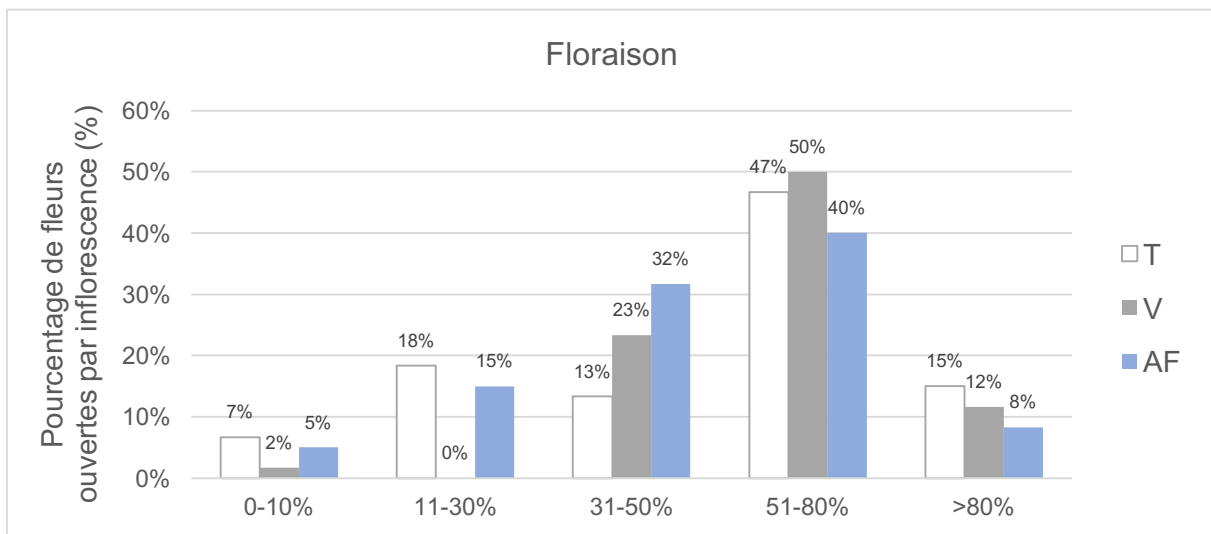


Figure 11 : Floraison et pourcentage moyen de fleurs ouvertes par inflorescence (%) avec 5 classes pour les modalités T, V et AF

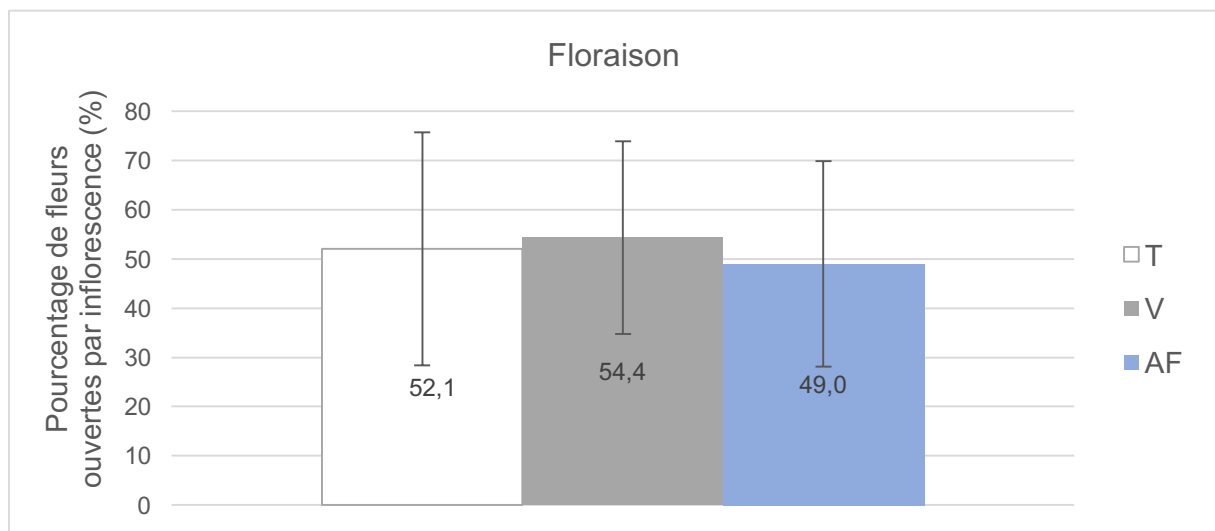


Figure 10 : Floraison et pourcentage moyen de fleurs ouvertes (%) pour les modalités T, V et AF

4.1.2 Physiologie de la vigne

4.1.2.1 Croissance du rameau primaire

L'analyse globale des résultats (dates confondues) ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V et AF (p -value $> 0,05$). La moyenne de la croissance du rameau primaire reste relativement similaire entre les modalités jusqu'à la dernière mesure du 24/05 - 31/05 où une légère différence apparaît pour les modalités V et AF par rapport à la modalité T (Figure 12). Pour les trois modalités, les écart-types sont de plus en plus élevés au fil des mesures. La dernière mesure du 24/05 - 31/05 montre un écart-type relativement plus important pour la modalité T par rapport aux modalités V et AF : T (10,4) $>$ V (7,2) $>$ AF (5,8).

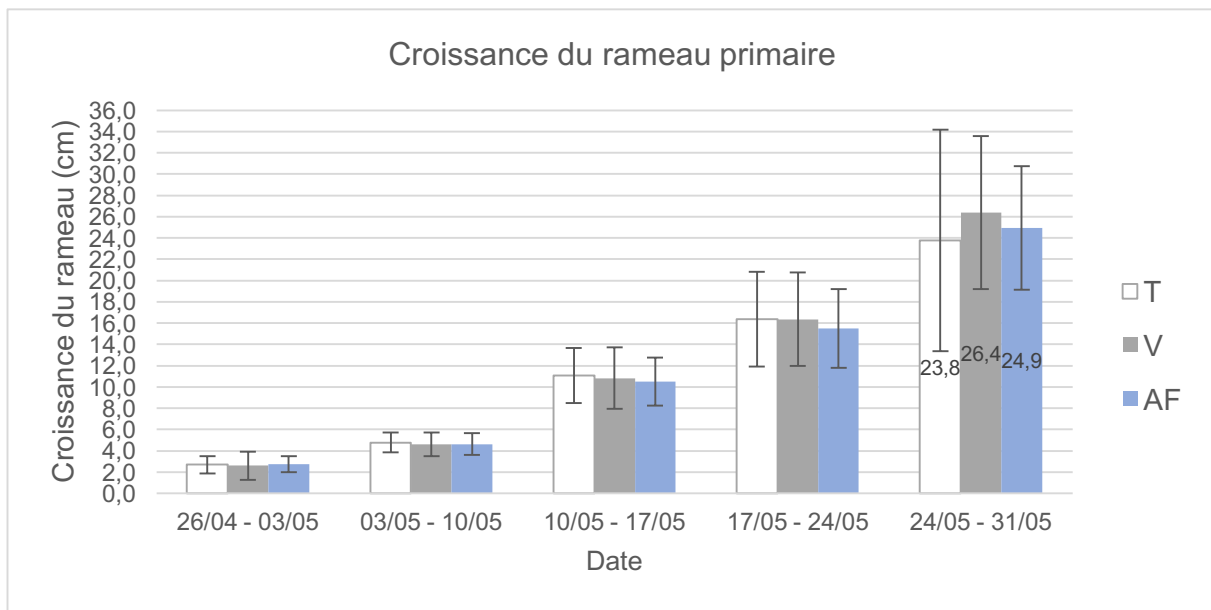


Figure 12 : Moyenne hebdomadaire de la croissance du rameau primaire (cm) du 26/04 au 31/05 pour les modalités T, V et AF

4.1.2.2 Nombre de mérithalles (entre-nœuds)

L'analyse des résultats ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V et AF (p -value $> 0,05$). En moyenne, le nombre de mérithalles des différentes modalités est quasiment identique. La moyenne des modalités V et AF ayant reçu la préparation est sensiblement plus faible que celle de la modalité T (Figure 13). Les écart-types des modalités sont également proches mais plus élevés pour les modalités V et AF par rapport à la modalité T : AF (2,7) $>$ V (2,6) $>$ T (2,4).

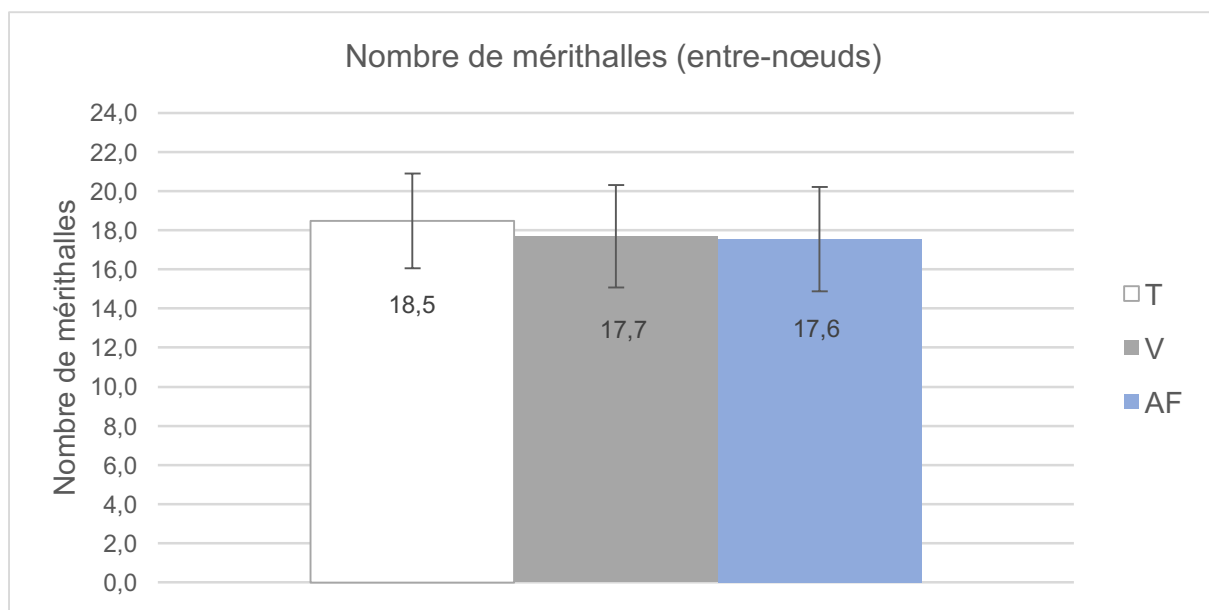


Figure 13 : Moyenne du nombre de mérithalles pour les modalités T, V et AF

4.1.2.3 Longueur du rameau anticipé (entre-cœur)

L'analyse des résultats ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V, AF et EFV ($p\text{-value} > 0,05$). En moyenne, la longueur du rameau anticipé des modalités T, V et AF est sensiblement la même, excepté la modalité EFV avec une longueur moyenne plus faible (9,67 cm) (Figure 14). À cette période, la modalité EFV a reçu deux passages de la silice de corne. La modalité EFV montre un écart-type plus faible que les modalités V, AF et T : $V (6,56) > AF (4,77) > T (4,66) > EFV (3,83)$.

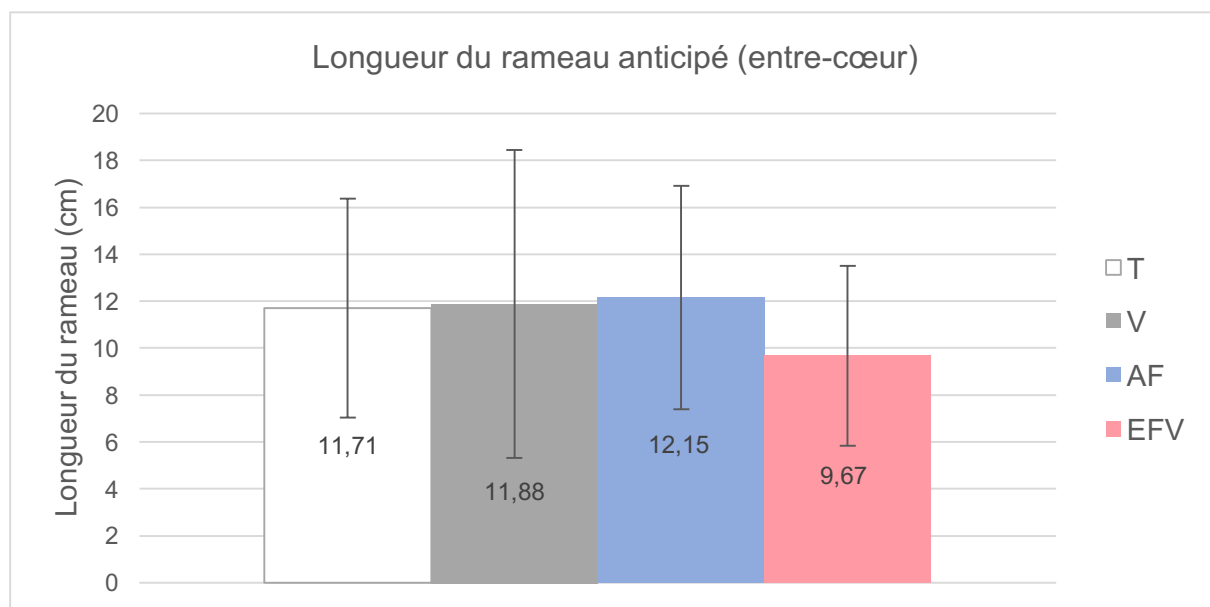


Figure 14 : Moyenne de la longueur du rameau anticipé (entre-cœur) pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.2.4 Indice chlorophyllien (N-Tester)

L'analyse globale des résultats (trois stades confondus) sur les jeunes feuilles ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V, AF et EFV (p -value $> 0,05$). En revanche, l'analyse des résultats au stade nouaison montre des différences significatives entre la modalité EFV et les modalités V et AF (p -value $< 0,05$). Au stade véraison, des différences significatives sont observées entre les modalités V et T (p -value $< 0,05$). En moyenne, aux trois stades confondus, l'indice chlorophyllien des modalités V, AF et EFV est supérieur à la modalité T : V (507) $>$ AF (496) $>$ EFV (488) $>$ T (482). Au premier stade de nouaison, la moyenne de la modalité EFV est nettement inférieure aux modalités T, V et AF. Au moment de la véraison, les trois modalités V, AF et EFV sont supérieures à la modalité T. Enfin au dernier stade de la vendange, la modalité V est nettement supérieure aux modalités T, AF et EFV (Figure 15). Les écart-types au stade nouaison sont relativement différents entre les modalités V, AF, EFV et la modalité T : T (20) $>$ V (12) $>$ EFV (10) $>$ AF (7). Les écart-types aux stades véraison et vendange montrent peu de différences entre les différentes modalités.

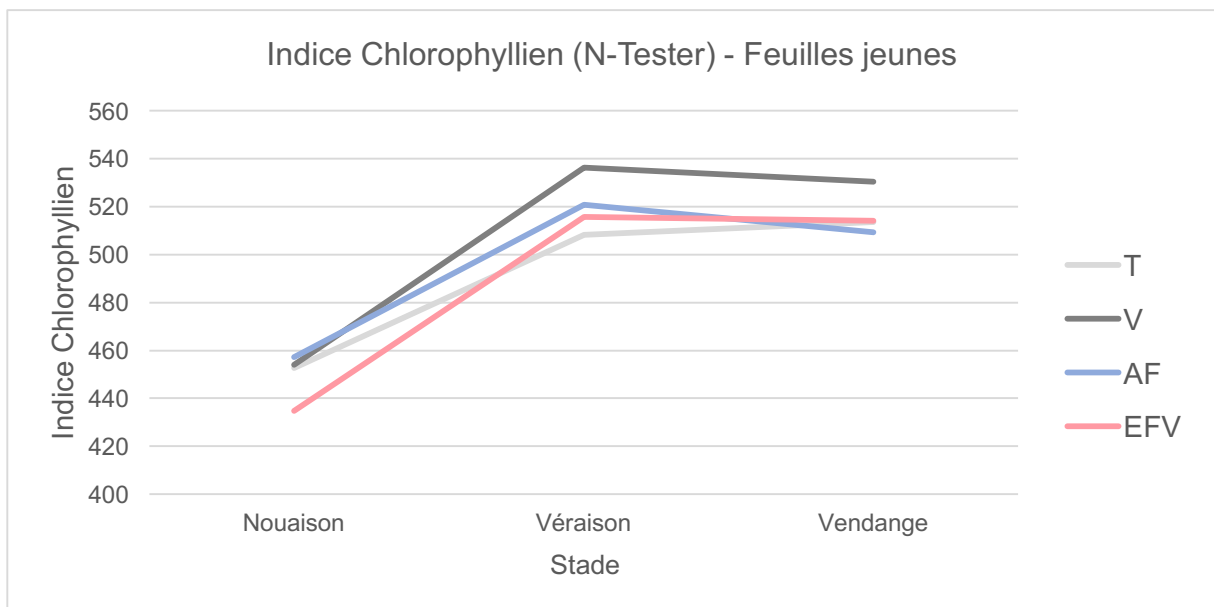


Figure 15 : Moyenne de l'indice chlorophyllien (N-tester) sur feuilles jeunes à trois stades (nouaison, véraison et vendange) pour les modalités T, V, AF et EFV

L'analyse globale des résultats (trois stades confondus) et celle aux différents stades sur les feuilles adultes ne montrent pas de différences significatives entre les modalités T, V, AF et EFV (p -value $> 0,05$). En moyenne, aux trois stades confondus, l'indice chlorophyllien des différentes modalités est relativement proche : V (543) $>$ AF (540) $>$ T (540) $>$ EFV (533). Au premier stade nouaison, la moyenne des modalités V et AF est supérieure à celle de la modalité T. Au moment de la véraison, la modalité EFV est inférieure à la modalité T. Au dernier stade de la vendange, les modalités AF et EFV sont nettement inférieures à la modalité T, excepté la modalité V (Figure 16). Les écart-types au stade nouaison des modalités AF et EFV sont plus faibles par rapport à la modalité T : I. Les écart-types aux stades véraison et vendange montrent peu de différences entre les différentes modalités.

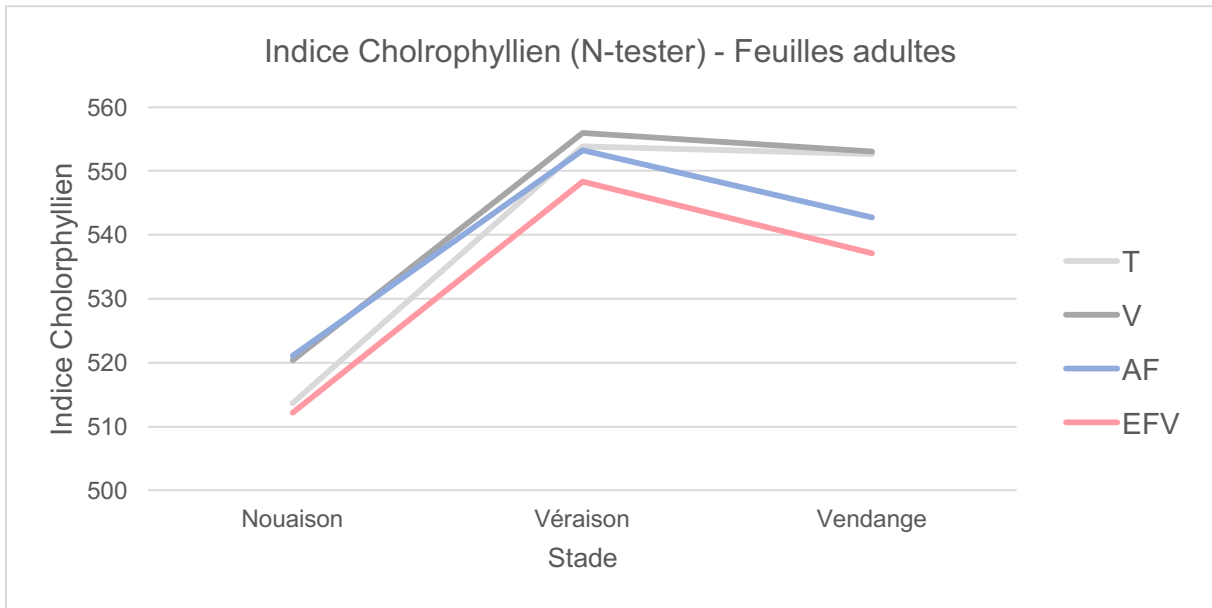


Figure 16 : Moyenne de l'indice chlorophyllien (N-tester) sur feuilles adultes à trois stades (nouaison, véraison et vendange) pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.2.5 Point quadrat

L'analyse globale des résultats ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V, AF et EFV (p -value > 0,05). Le point d'intersection FE est le plus affecté par la méthode. Pour cette classe, la modalité T présente une moyenne plus élevée que les modalités V, AF et EFV. Le second point d'intersection FI montre peu de différences de moyennes entre les modalités. Ensuite, au point d'intersection T, les modalités AF et EFV sont légèrement supérieures à la modalité T. Enfin, les modalités V, AF et EFV montrent une moyenne plus élevée par rapport à la modalité T concernant le point d'intersection G (Figure 17).

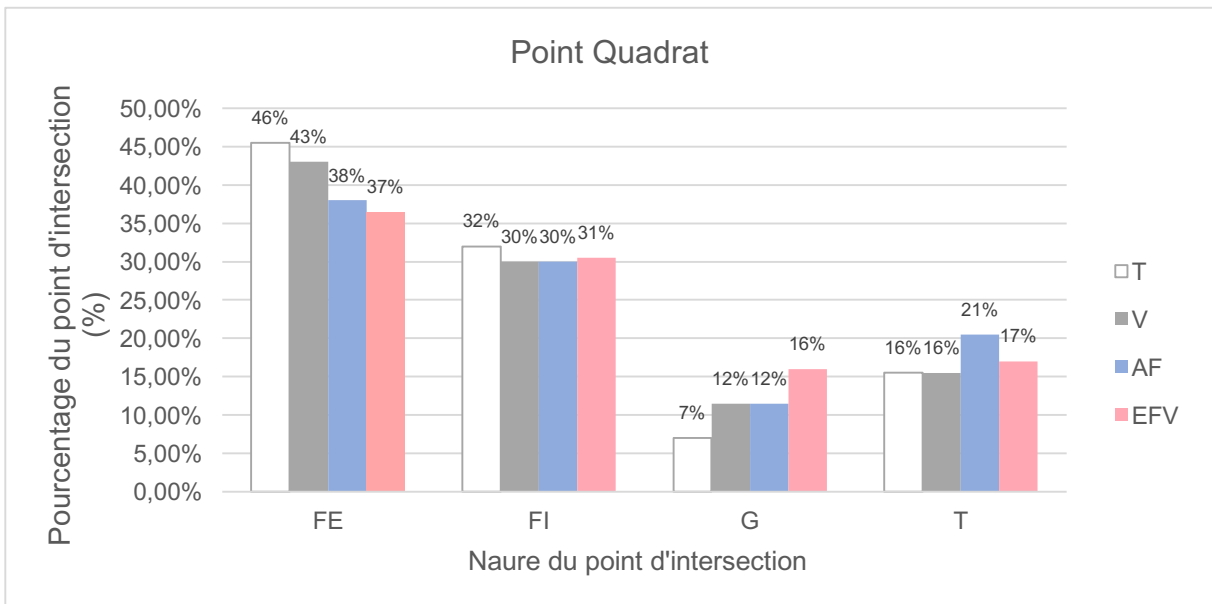


Figure 17 : Moyenne, pourcentage (%) et nature du point d'intersection pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.2.6 Nombre de grappes par pied

L'analyse globale des résultats ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V, AF et EFV (p -value > 0,05). En moyenne, le nombre de grappes par pied est quasiment identique entre les modalités et légèrement supérieur dans les modalités V, AF et EFV par rapport à la modalité T (Figure 18). Les écart-types sont relativement similaires entre les modalités et dans l'ordre suivant : AF (5,16) > V (5,03) > T (4,98) > EFV (4,32).

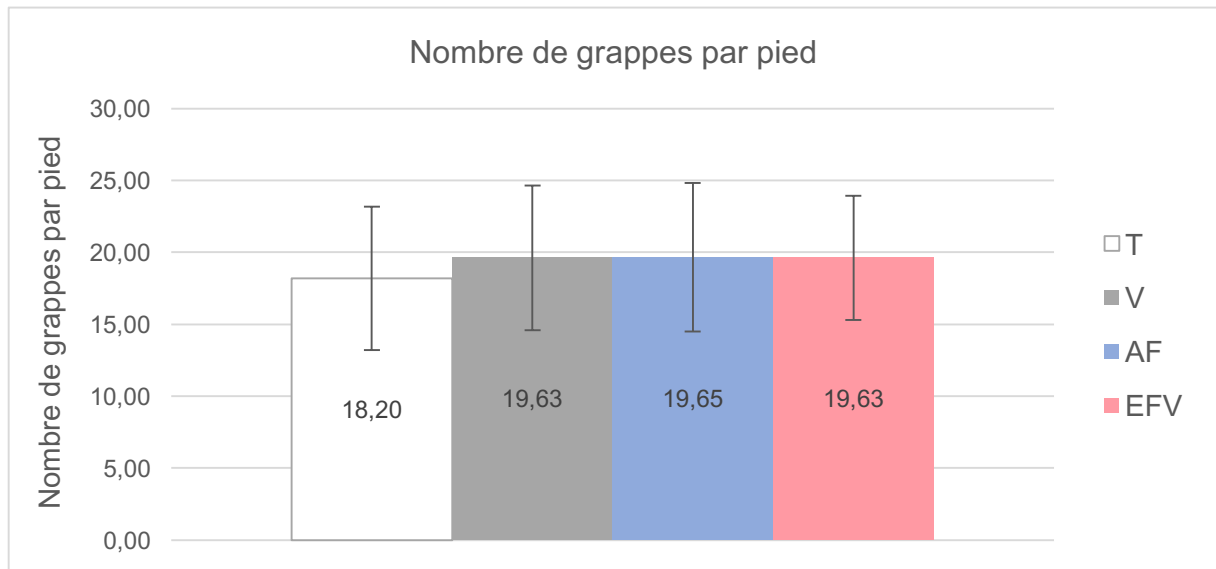


Figure 18 : Moyenne du nombre de grappes par pied pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.2.7 Poids de la grappe

L'analyse globale des résultats ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V, AF et EFV (p -value > 0,05). En moyenne, le poids de la grappe des modalités AF et EFV est plus faible par rapport à la modalité T, excepté la modalité V qui montre un poids plus important (Figure 19). Des écart-types plus élevés sont observés pour les modalités AF et EFV par rapport à la modalité T : AF (36,2) > EFV (34,7) > T (30,6) > V (29,9).

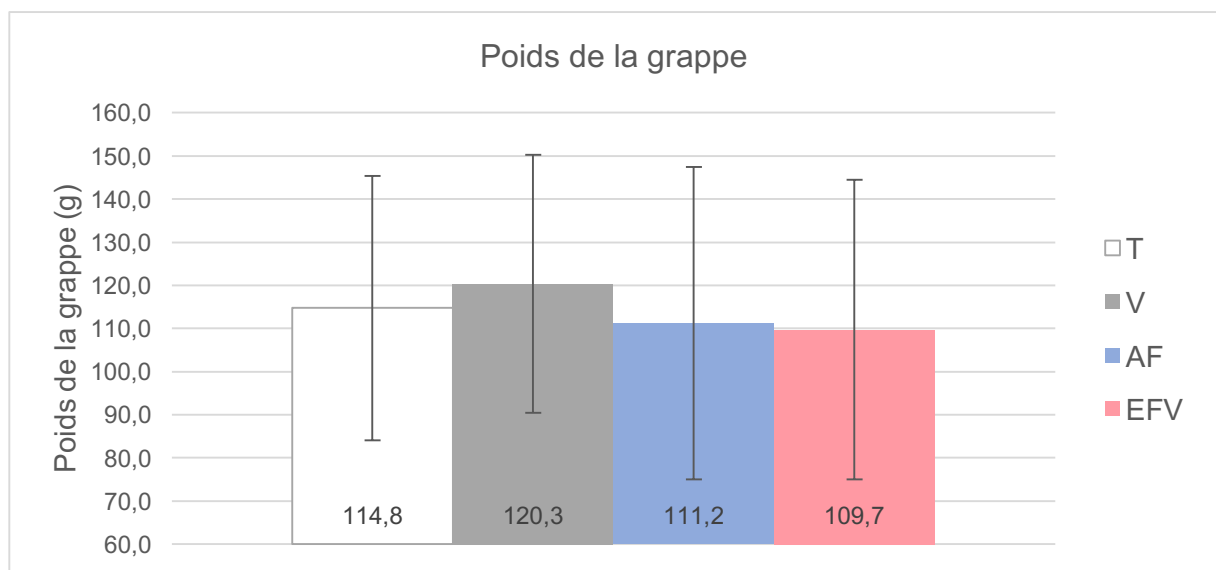


Figure 19 : Moyenne du poids de la grappe (g) pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.2.8 Compacité de la grappe

L'analyse des résultats ne montre pas des différences significatives entre la modalité T et les modalités V, AF et EFV (p -value $< 0,05$). En moyenne, la compacité de la grappe de la modalité T est plus élevée que les modalités V, AF et EFV avec des écart-types proches (Figure 21). Concernant l'angle de torsion $> 90^\circ$, la moyenne des modalités V, AF et EFV est largement supérieure à celle de la modalité T. Le même résultat est constaté pour un angle de torsion entre 45 et 90° . Pour l'angle de torsion entre 10 et 45° , la moyenne des modalités V et AF est plus faible que celle de la modalité T, excepté la modalité EFV. La modalité T montre une moyenne plus élevée que celle des modalités V, AF et EFV pour un angle de torsion entre 0 et 10° (Figure 20).

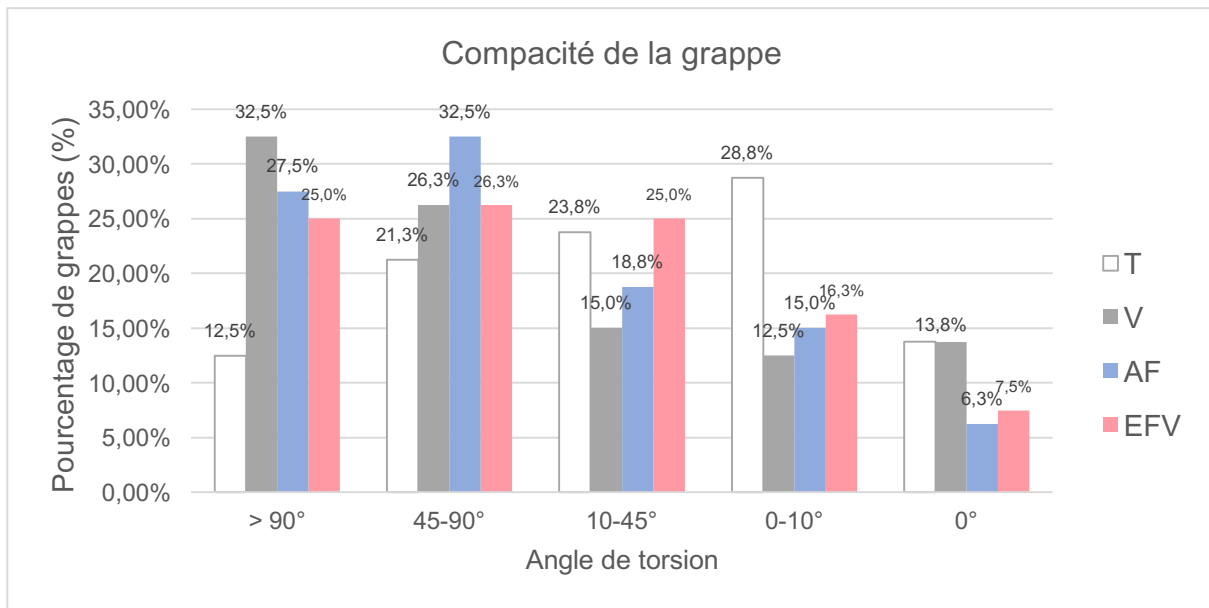


Figure 20 : Moyenne et pourcentage de la compacité de la grappe (%) avec 5 classes pour les modalités T, V, AF et EFV

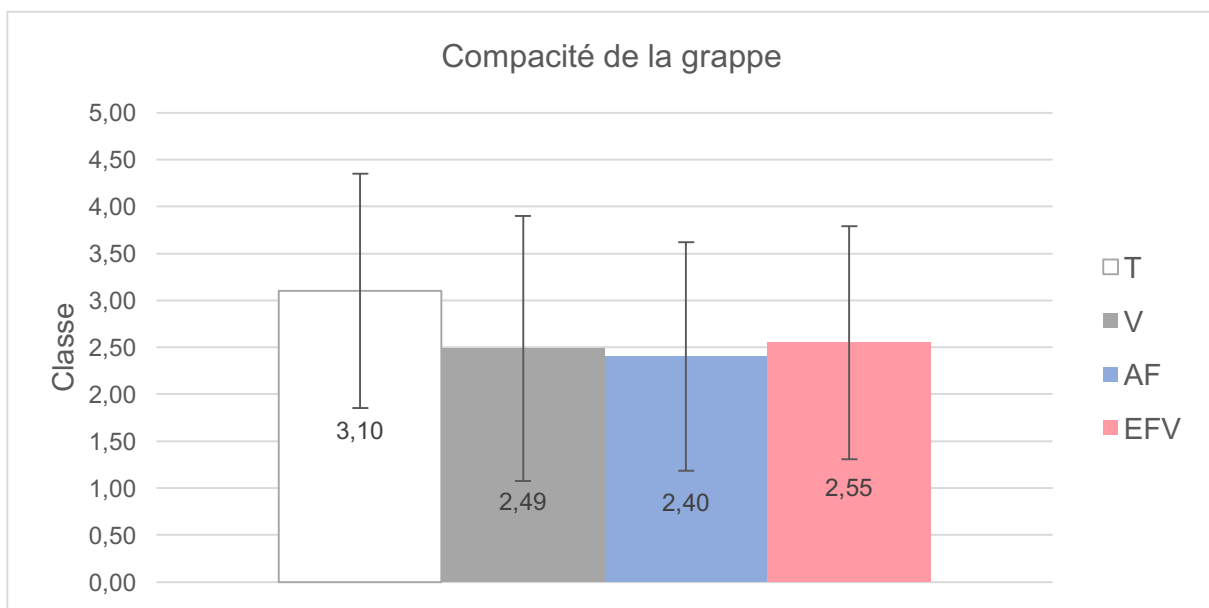


Figure 21 : Moyenne et pourcentage moyen de la compacité de la grappe (%) pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.2.9 Taux de sucre dans la baie

L'analyse globale des résultats ne montre pas de différences significatives entre les modalités T, V, AF et EFV (p -value > 0,05). Les moyennes sont relativement similaires entre les modalités. Les modalités V et AF sont légèrement supérieures à la modalité T, excepté la modalité EFV avec la moyenne la plus faible (Figure 22). Les écart-types des modalités V, AF et EFV sont plus faibles que la modalité T : T (0,92) > V (0,90) > EFV (0,82) > AF (0,77).

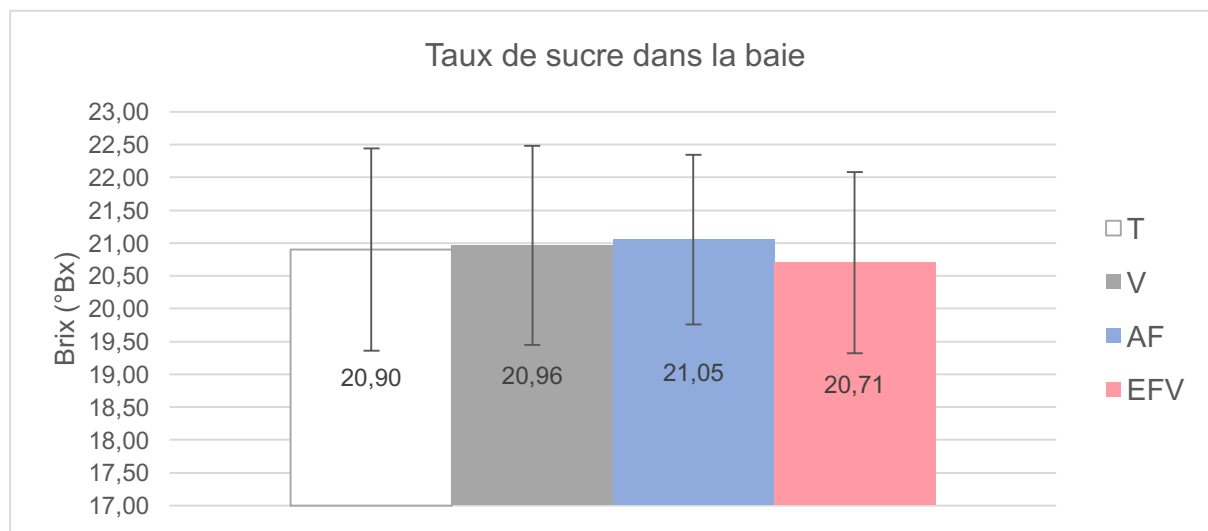


Figure 22 : Moyenne du taux de sucre dans la baie (°Bx) pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.3 État sanitaire de la vigne

4.1.3.1 Coulure

L'analyse des résultats montre des différences significatives entre les différentes modalités (p -value < 0,05). Pour la classe P+, la modalité EFV se distingue des autres modalités avec une moyenne plus faible. La modalité EFV montre également une moyenne plus élevée pour la classe P-. Les moyennes sont relativement similaires pour les classes P et A (Figure 23).

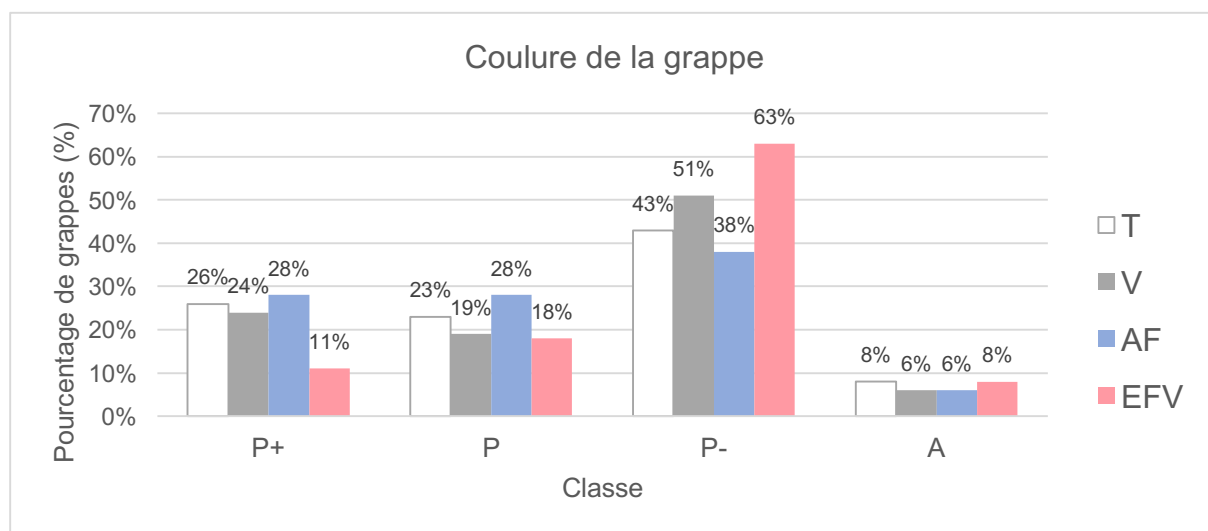


Figure 23 : Moyenne et pourcentage de la coulure (%) avec 5 classes pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.4 Morphochromatographie

La méthode de morphochromatographie, appliquée aux feuilles de vigne et jus de raisins, a été réalisée à l'aveugle avec un système de codage pour chaque modalité et répétition. Dans un premier temps, l'interprétation de la méthode a été réalisée par un travail d'association des images des différentes répétitions entre elles (1-2 et 3-4) à chaque date (J0, J1, etc.). L'objectif étant d'évaluer la capacité de deux observateurs à associer correctement les images de chaque modalité. Ensuite, la résistance à la dégradation des images et des formes dans le temps (J0, J1, etc.), facteur de qualité d'une substance (Fritz, 2017), a été comparée entre les modalités en observant l'évolution des formes et la structure globale des images. Pour les deux types de substances analysés, les concentrations les plus faibles (0,75g et 0,175ml) sont présentées en annexe et les plus élevées (1,25 g et 0,225 ml) dans le corps du rapport.

4.1.4.1 Feuilles de vigne

Suite au travail d'association réalisé par deux observateurs, au total, sur deux quantités (0,75 g et 1,25 g) et à différentes dates (J0 et J0, J1, J3), 5 paires d'images sur 32 ont été correctement associées, soit un taux de réussite d'environ 16%. Parmi celles correctement associées figurent certaines paires des modalités V et EFV (Tableau 3 et Annexe 31).

Tableau 3 : Tableau d'association (deux observateurs) des répétitions de chaque modalité pour les feuilles de vigne (1,25 g - J0, J1, J3) et les modalités T, V, AF et EFV

Feuilles de vigne (1,25g) – J0, J1 et J3								
	1 (T 3-4)	2 (V 1-2)	3 (V 3-4)	4 (AF 1-2)	5 (T 1-2)	6 (EFV 1-2)	7 (AF 3-4)	8 (EFV 3-4)
1 (T 3-4)			J3 J3		T	J0	J0/J1 J1	
2 (V 1-2)			V J0	J0/J1	J3			J3
3 (V 3-4)					J0/J1 J1			
4 (AF 1-2)					J0		AF	
5 (T 1-2)						J3		
6 (EFV 1-2)								EFV J0/J1 J1/J3
7 (AF 3-4)								J3 J0/J3
8 (EFV 3-4)								

Observateur 1 = J0, J1 et J3 Observateur 2 = J0, J1 et J3

Total observateur 1 = 2/16 Total observateur 2 = 3/16

Dans la figure ci-dessous, les images obtenues à partir de 1,25 g de broyat de feuilles de vigne à J0, J1 et J3 de chaque répétition sont regroupées par modalité. Elles sont assemblées par moitié avec à gauche celles correspondant aux répétitions 1-2 et à droite aux répétitions 3-4 (Figure 24). L'image (modalité AF - répétition 3-4 – J0) est probablement le résultat d'une erreur de manipulation ou migration. L'observation de l'évolution et de la dégradation des images obtenues à partir de 1,25 g de broyat de feuilles de vigne à J0, J1 et J3 ne montrent pas de grandes différences entre les modalités. Les modalités T et V présentent tout de même des formes légèrement plus marquées à J1. En revanche, à J3, la dégradation des images est totale et similaire entre les différentes modalités (Figure 24). Les images étant totalement dégradées à J1 (Annexe 31), aucun suivi n'a pu être réalisé pour la quantité la plus faible de substance (0,75 g).

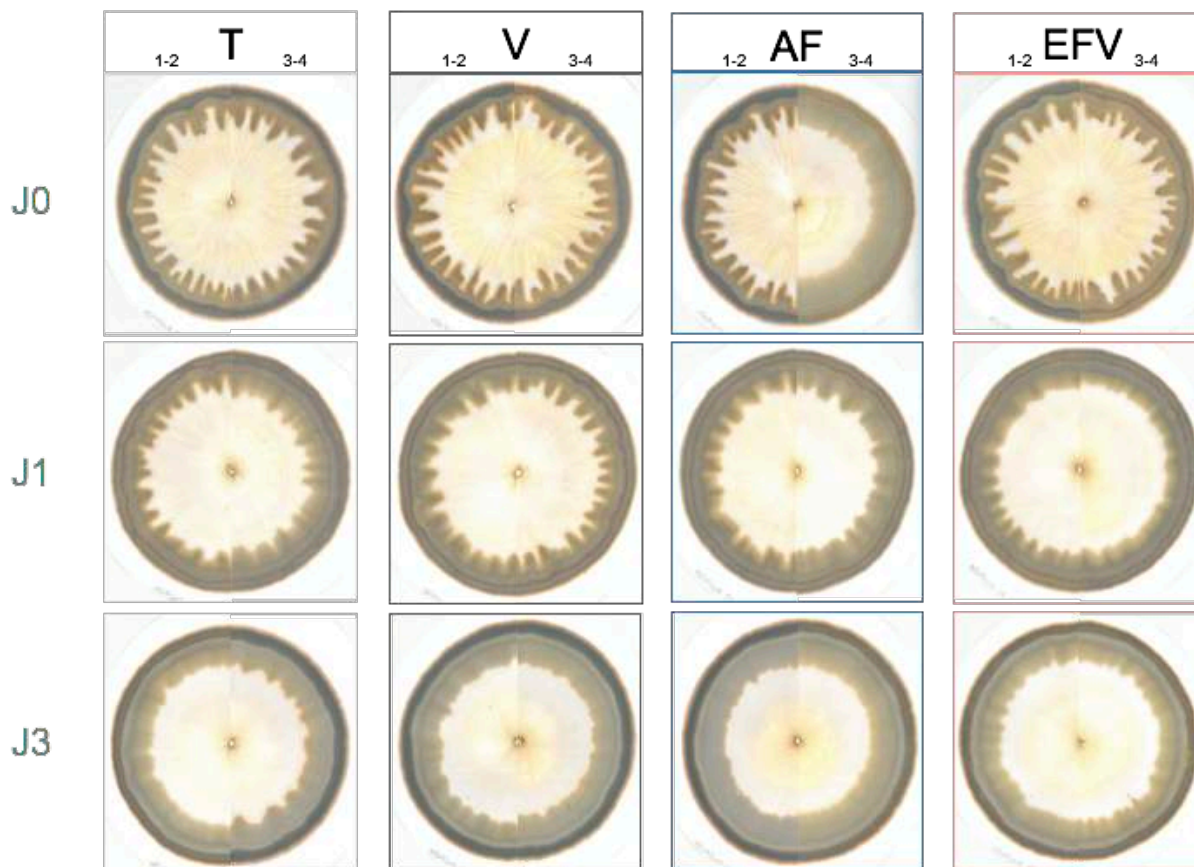


Figure 24 : Morphochromatographies obtenues à partir de 1,25 g de broyat de feuilles de vigne pour les répétitions 1-2 et 3-4 à J0, J1 et J3 pour les modalités T, V, AF et EFV

4.1.4.2 Jus de raisins

Suite au travail d'association réalisé par deux observateurs, au total, sur deux quantités (0,175 ml et 0,225 ml) et à différentes dates (J0, J1, J5 et J7), 4 paires d'images sur 64 ont été correctement associées, soit un taux de réussite d'environ 6%. Parmi celles correctement associées figurent certaines paires des modalités T, V et EFV (Tableau 4 et Annexe 32).

Tableau 4 : Tableau d'association (deux observateurs) des répétitions de chaque modalité pour les jus de raisins (0,225 ml - J0, J1, J5 et J7) et les modalités T, V, AF et EFV

Jus de raisins (0,225 ml) – J0, J1, J5 et J7								
	1 (AF 1-2)	2 (T 3-4)	3 (V 3-4)	4 (V 1-2)	5 (EFV 3-4)	6 (AF 3-4)	7 (T 1-2)	8 (EFV 1-2)
1 (AF 1-2)		J0	J1 J1	J0/J7	J5	AF		J5/J7
2 (T 3-4)			J0		J7 J5/J7	J1/J5	T	J1
3 (V 3-4)				V J0/J7		J7	J7 J5	
4 (V 1-2)					J1	J5		J1/J5
5 (EFV 3-4)						J0	J0/J1	EFV
6 (AF 3-4)							J1/J7	J0
7 (T 1-2)								J7 J0
8 (EFV 1-2)								

Observateur 1 = J0, J1, J5 et J7
Total observateur 1 = 0/16

Observateur 2 = J0, J1, J5 et J7
Total observateur 2 = 2/16

Dans la figure ci-dessous, les images obtenues à partir de 0,225 ml de jus de raisins à J0, J1, J5 et J7 de chaque répétition sont regroupées par modalité. Les images sont associées par moitié avec à gauche celles correspondant aux répétitions 1-2 et à droite aux répétitions 3-4 (Figure 25). L'évolution de la dégradation des images obtenues à partir de 0,225 ml de jus de raisins à J0, J1 et J5 reste relativement similaire entre les modalités. En revanche, à J7, la modalité V montre des formes plus prononcées que les modalités T, AF et EFV. Les formes et la structure globale de l'image de la modalité V à J7 peuvent être comparées à celles des modalités T, AF et EFV à J5 (Figure 25).

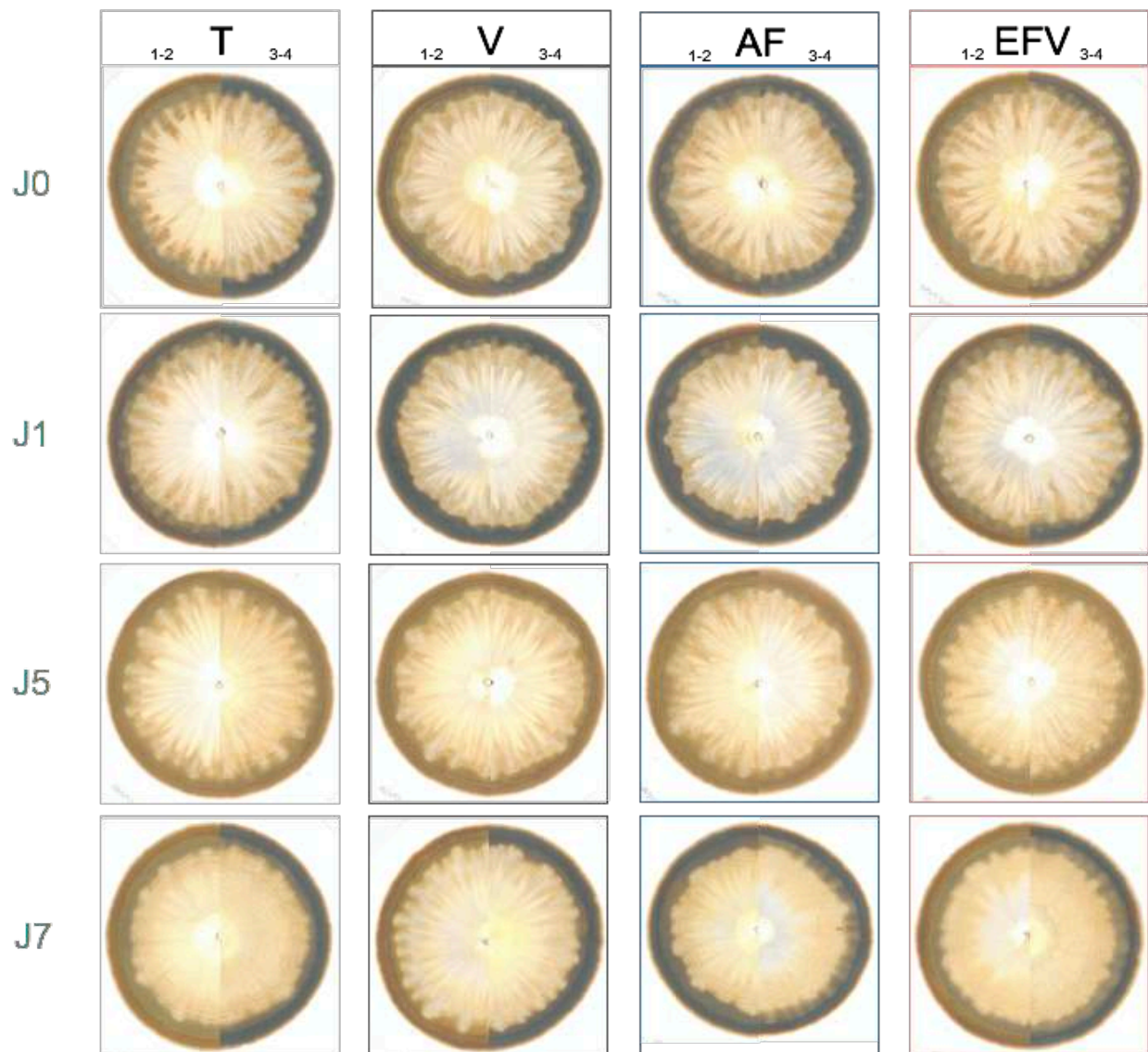


Figure 25 : Morphochromatographies obtenues à partir de 0,225 ml de jus de raisins pour les répétitions 1-2 et 3-4 à J0, J1, J5 et J7 pour les modalités T, V, AF et EFV

V. Discussions et perspectives

5.1 Choix des paramètres étudiés

Tous les paramètres étudiés en 2017 ont été choisis en fonction des propriétés de la silice de corne 501 sur la vigne. Ils concernent le processus végétatif (croissance des rameaux, nombre de mérithalles, etc.), la photosynthèse (indice chlorophyllien) et le développement génératif (compacité des grappes, taux de sucre dans la baie, etc.). Ces paramètres ont été sélectionnés en tenant compte des résultats des essais antérieurs (Meissner, 2010 ; Abarzua, 2015 ; Li, 2016). Les mesures ont été réalisées selon des critères d'observation et d'évaluation similaires aux années précédentes. Une méthodologie précise et rigoureuse a été appliquée, toujours par une même personne, à l'ensemble des mesures pour les différentes modalités.

La méthode des morphochromatographies a été pour la première fois intégrée et appliquée à l'expérimentation sur la silice de corne afin de comparer les modalités entre elles et de discriminer les différents positionnements. En effet, il s'agit d'une analyse complémentaire aux analyses quantitatives (Gelin, 2011), qui permet de juger la qualité globale d'une substance par la formation d'images.

5.2 Résultats significatifs

L'analyse des résultats a montré, pour plusieurs paramètres, des différences significatives entre les différentes modalités. La mesure de l'indice chlorophyllien à différents stades confirme les effets de la préparation sur la lumière, la chaleur et donc sur la photosynthèse (Fourès, 2012 ; Masson, 2015), également observés dans des essais antérieurs (Meunier et al., 2013 ; Lorimer, 2014). Mais les résultats obtenus montrent que l'effet sur la photosynthèse dépend fortement du positionnement et du nombre de passage de la silice de corne. En effet, la modalité V a montré une activité photosynthétique significativement supérieure des jeunes feuilles à la véraison comparée aux modalités T, AF et EFV. À ce stade, la modalité V a reçu un traitement de silice supplémentaire (29 juin) par rapport à la modalité AF et deux traitements en commun avec la modalité EFV (12 et 29 juin) (Annexe 21). Ce n'est donc pas uniquement le traitement du 29 juin qui aurait permis d'augmenter l'activité photosynthétique des jeunes feuilles à la véraison mais sa combinaison avec les trois précédents. Cette combinaison de l'emploi de la préparation silice de corne avant la floraison et entre celle-ci et la véraison (modalité V) semble ainsi montrer une meilleure efficacité sur la production de chlorophylle et donc la photosynthèse à la véraison. Au stade de la vendange, aucune différence significative n'existe entre les modalités et l'activité photosynthétique des jeunes feuilles stagne entre la véraison et la vendange. Pourtant, entre ces deux stades, les modalités EFV et V ont reçu chacune un traitement supplémentaire de silice (le 16 août). Ce traitement supplémentaire n'a donc pas eu d'effet sur l'activité photosynthétique des jeunes feuilles. Une application de silice de corne entre la véraison et la vendange semble avoir donc moins d'impact sur l'activité photosynthétique des jeunes feuilles qu'une application plus précoce avant véraison. En 2017, sur la parcelle expérimentale, c'est donc la combinaison de traitements de silice de corne avant la floraison et entre celle-ci et la vendange qui montre le plus d'effet sur l'activité photosynthétique des jeunes feuilles à l'échelle de toute la saison. Au niveau des feuilles adultes, aucune différence significative entre les modalités n'a été constatée pour aucun des stades. Les feuilles adultes pourraient donc être moins réceptives à l'action de la silice de corne sur la production de chlorophylle et donc la photosynthèse. Cette différence et l'effet

positif observé sur les jeunes feuilles pourraient aussi s'expliquer par le fait que la préparation est pulvérisée sur la partie aérienne de la plante et retombe donc plutôt sur un feuillage jeune.

Des différences significatives ont été observées entre les modalités pour la coulure. En effet, la modalité EFV se distingue des autres modalités avec des problèmes de coulure moins importants. La silice de corne, à ce positionnement, a peut-être pu corriger certains déséquilibres entre photosynthèse-vigueur-réserves et des carences en éléments minéraux (Carbonneau et Ollat, 1993). En revanche, ces résultats seront remis en cause dans la suite du rapport et les critiques du travail.

Concernant la compacité de la grappe, les modalités liées aux différents traitements de silice de corne ont montré des différences significatives. Ces résultats ont également été observés dans des essais antérieurs (Meissner, 2014 ; Abarzúa, 2015). La compacité des grappes dans les modalités concernées par la silice de corne est nettement plus faible que la modalité T. Ainsi, en agissant sur la compacité de la grappe, la silice de corne permettrait de favoriser la bonne maturation des baies et la qualité des raisins (Pacottet, 2012). En revanche, ces résultats, sûrement liés à d'autres facteurs, sont à interpréter avec prudence et seront remis en question dans la suite du rapport et les critiques du travail. Une hypothèse est que la préparation silice de corne influence des hormones comme la gibbérelline, impliquée dans le grandissement cellulaire, qui permettrait d'allonger la rafle pour obtenir des grappes plus lâches et donc moins compactes (Carbonneau et al., 2007).

5.3 Résultats non significatifs

Aucun effet de la préparation n'a été observé sur la floraison de la vigne et le processus végétatif de la plante. En effet, la croissance du rameau primaire, le nombre de mérithalles (entre-nœuds) et la longueur du rameau anticipé ne montrent pas de différences entre les modalités. De plus, une légère différence de croissance est observée entre les modalités V et AF alors qu'au moment des mesures, ces modalités sont similaires en termes de traitements silice de corne. En revanche, l'analyse des écart-types montre une certaine homogénéité et régularité dans la croissance des rameaux primaires des modalités ayant reçu la préparation. Si cette observation se renouvelle dès l'année prochaine, il est probable que la silice de corne permette d'homogénéiser la croissance des rameaux primaires plutôt que de l'augmenter.

Les résultats suite à l'application de la méthode du point quadrat n'ont pas montré de différences significatives entre les modalités. Cependant, les modalités ayant reçu la préparation montrent en moyenne moins de feuilles externes exposées et plus de grappes exposées que le témoin. De telles observations ont déjà été réalisées (Meissner, 2010) et permettent de supposer que la silice de corne permettrait d'obtenir des structures végétales plus aérées. Ces résultats pourraient être justifiés par un port érigé renforcé et un angle pétiole-feuille plus élevé et donc des feuilles plus relevées. Ces modalités présenteraient une meilleure répartition du feuillage et une exposition des grappes favorable à une bonne captation de la lumière. Cette distribution uniforme favorise le rendement et la qualité du raisin (Dokoozlian et Kliwer, 1995). De plus, cette aération végétative plus importante contribue à une application plus efficace des traitements phytosanitaires et donc à une pression maladie amoindrie (Travis, 1987). En revanche, des différences sont observées entre les modalités V et EFV concernant les feuilles externes et les grappes exposées (grappes plus exposées et moins de feuilles externes exposées dans la modalité EFV) alors que la modalité V a reçu les trois mêmes traitements que la modalité EFV. Ainsi, les deux traitements supplémentaires avant la floraison dans la modalité V auraient pu contribuer à limiter l'aération du feuillage. Ce

constadt témoigne du lien entre les influences de la silice de corne et son emploi répété à différents stades ou positionnements. Mais les observations sur la répartition du feuillage n'étant pas significatives, celles-ci demanderont toutefois à être confirmées par des mesures ultérieures. Il n'est donc, à l'heure actuelle, pas possible de privilégier certains positionnements de la silice de corne pour influencer la répartition du feuillage et l'aération de la vigne. De plus, il est délicat de savoir si une structure végétative plus aérée (moins de feuilles externes) vaut mieux qu'un nombre plus élevé de grappes exposées pour l'obtention de raisins de qualité.

Le nombre de grappes par pied lié aux différents traitements ne peut donner de résultats pour cette première année étant donné que l'induction florale est déterminée par les conditions de la saison précédente. Ainsi, ces premiers résultats permettent un état des lieux et seront à suivre au cours des prochaines années.

La mesure du poids des grappes n'a pas montré de différences entre les modalités. Cependant, certaines études préalables ont montré des grappes et des baies plus légères sous l'action de la silice de corne (Li, 2016 ; Chassaing, 2017), optimisant le positionnement, l'exposition des grappes et donc la qualité des raisins et des vins (Galet, 2000).

La silice de corne n'a pas eu d'effet non plus sur le taux de sucre dans la baie contrairement à d'autres résultats antérieurs (Meissner et al., 2012). Suite à ces résultats et à ceux obtenus sur l'indice chlorophyllien (N-Tester) ou encore sur le nombre de grappes exposées (point quadrat), la différence entre ces paramètres intimement liés interroge sur le devenir des sucres. La mise en réserve des sucres (réserves accumulées) au niveau du tronc et la charpente de la vigne a probablement été priorisée plutôt que l'enrichissement direct du fruit. Cet enrichissement des baies provient en majorité de ces réserves (42%), puis du rameau (31%), des feuilles (23%), des pétioles et des rafles (3%) (Galet, 2000). Ce raisonnement montre l'importance du suivi et de l'évolution du taux de sucre dans la baie pour les prochaines années et notamment lors des années difficiles.

5.4 Méthode des morphochromatographies

La méthode des morphochromatographies a été appliquée, dans le cadre de l'expérimentation, à deux substances intimement liées à la préparation silice de corne : la feuille et le raisin. En effet, les feuilles sont essentielles pour la vie de la vigne durant toute la phase végétative (Galet, 2000) et permettent de capter et d'assimiler les propriétés de la préparation. De plus, l'étude du jus de raisins permet d'analyser les effets de la silice de corne sur la fructification, les arômes et la qualité des raisins et donc du vin.

Le premier travail consiste à évaluer la capacité de deux observateurs à associer correctement les images de chaque modalité. Ce travail a donné un taux de réussite très faible pour les deux types de substances (16% et 6%) et montre la difficulté d'identifier et d'associer correctement des images issues de la même modalité. De plus, la modalité T n'a pas pu être distinguée des autres modalités. L'interprétation des images seules de chaque modalité paraît donc peu fiable pour cette première expérimentation.

Ensuite, le deuxième travail se base sur l'observation de la résistance à la dégradation des formes et de la structure globale des images. Ce travail a montré des différences intéressantes, pour les deux types de substances, au profit de la modalité V par rapport aux autres modalités, notamment pour les jus de raisins (0,225 ml) à J7. En effet, la modalité V a montré une meilleure résistance à la dégradation. Les images obtenues à J7 montrent des formes et une structure globale nettement plus marquées et conservées par rapport aux jours

précédents. Cet élément peut donc être vu comme un facteur de qualité de la substance (Fritz, 2017) mais qui demande à être confirmé dès l'année prochaine. La notion de qualité des jus peut probablement être liée à des critères comme l'équilibre sucre/acidité, les arômes, la conservation et la résistance à l'oxydation. Plus que la comparaison d'images à une date donnée, cette méthode pourrait donc s'avérer plus fructueuse dans le suivi de l'évolution de la qualité d'une substance. En revanche, les images obtenues pour les jus de raisins à une quantité plus faible (0,175 ml) ne montrent pas autant de différences.

5.5 Critiques du travail

L'année 2017 a été particulièrement favorable à un bon état sanitaire de la vigne concernant les pathologies viticoles suivantes : mildiou, botrytis, et oïdium. Les mesures et comptages concernant ces maladies n'ont donc pu être réalisés. Or, les effets de la silice de corne semblent plus marqués lorsque les plantes sont exposées à un stress biotique ou abiotique élevé (Fritz and Köpke, 2005).

De plus, les facteurs et conditions météorologiques de l'année peuvent aussi être des éléments très influents sur certains paramètres et résultats d'une expérimentation (Carbonneau et al., 2007). En effet, la coulure, relativement présente sur la parcelle expérimentale, a probablement impacté la compacité des grappes. Et même si la coulure a été mesurée pour les différentes modalités, il s'agit d'une mesure très délicate à évaluer : la seule réalisée à l'œil et sans « sous classes » (Annexe 25).

Il est donc fort possible que les résultats obtenus sur la compacité de la grappe soit intimement liés à la coulure et à l'état sanitaire des pieds mesurés.

Concernant l'observation de la phénologie de la vigne, la mesure de la floraison a été réalisée un peu trop tard pour cette année plutôt précoce. En effet, les résultats montrent un pourcentage moyen de fleurs ouvertes d'environ 50% pour l'ensemble des modalités correspondant au stade I de pleine floraison (Baggiolini, 1952). Ainsi, la mesure de la véraison semble définitivement compliquée du fait qu'il s'agisse d'un cépage blanc (Chardonnay) et non pertinente pour la suite.

L'opération du mouchage⁴ doit également être anticipée, notamment pour la mesure de la croissance du rameau primaire. En effet, cette année, une dernière mesure de la croissance du rameau primaire n'a pu être effectuée à cause de cette opération faite sur la parcelle expérimentale. Pour la réalisation de cette mesure, il sera alors plus pertinent de ne pas choisir le rameau situé à l'extrémité de l'arcure.

Concernant le nombre de grappes mesuré pour le poids de la grappe (5 par répétition soit 20 par modalité), celui-ci est relativement faible et donc peu représentatif. Cependant, il est délicat et difficile d'augmenter le nombre de mesures pour ce genre de paramètre.

Les deux travaux d'interprétation (association des images et résistance à la dégradation des formes) qui ont été réalisés concernant la méthode des morphochromatographies sont relativement accessibles et ne demandent pas de compétences particulières dans ce domaine. En revanche, il est tout de même possible que le manque d'expérience des deux observateurs ait pu impacter les résultats obtenus suite à l'association des images. De plus, la quantité importante d'images à associer à plusieurs dates augmente la marge d'erreur et influence donc le taux de réussite.

Ensuite, d'autres facteurs physiologiques et agronomiques non liés à la préparation influencent certainement les images obtenues. En effet, des observations en début de saison

⁴ Suppression du rameau de l'extrémité de l'arcure

ont permis de constater des différences de vigueur et de puissance végétative entre les parties basses et hautes de la parcelle. Il se peut également que certains prélèvements (feuilles et/ou grappes) aient été effectués sur des pieds en cours de dégénérescence.

Une erreur de manipulation ou un défaut de migration (image AF - répétition 3-4 - J0), difficile à expliquer, a très probablement eu lieu lors de l'application de la méthode au broyat de feuilles de vigne. Ces erreurs ou défauts de migration peuvent arriver et être fréquents lors de la réalisation de morphochromatographies et pourraient être assurés par la répétition en double d'une même image. Même si une certaine assurance est vite acquise lors l'application de la méthode, la réalisation d'un double d'une même image reste utile. Les contours noirs et plus marqués sur certaines images proviennent sûrement de la révélation aux U.V. La révélation des images à la lumière naturelle semble être plus homogène et n'impacte pas le contour des images.

Cette méthode de morphochromatographie permet une analyse qualitative globale d'une substance et de sa « vitalité », mais peut-être que d'autres méthodes comme celle de la cristallisation sensible permettraient des approches plus « subtiles » et complémentaires. Ces méthodes alors employées ensemble, seraient plus adaptées à ce genre d'expérimentation (Taupier-Létage, 2009).

Concernant les méthodes d'analyse globale de la qualité, des travaux de recherche sont encore nécessaires afin de pouvoir justifier et valider leur efficacité. De plus, les moyens d'interprétation sont actuellement limités et rendent difficile la possibilité de juger les images avec la plus grande objectivité possible (Gelin, 2011). Il pourrait s'avérer pertinent de trouver des critères d'analyses permettant de décrire et classer les structures et formes observées ou encore de s'aider de l'outil informatique pour la lecture et l'interprétation des images.

Enfin, cette notion de vitalité devrait être à l'avenir explicitée par des travaux plus fondamentaux pour permettre une meilleure compréhension de ces approches liées au vivant (Taupier-Létage, 2009).

5.6 Réponse à la problématique

Suite aux résultats de cette première année d'expérimentation, il est délicat et trop tôt pour dégager un ou plusieurs stades privilégiés pour l'application de la préparation silice de corne en viticulture. En effet, s'agissant d'un essai sur la durée (3 ans minimum), les résultats doivent être interprétés au fil des années. Même si la modalité V a montré des résultats intéressants sur la photosynthèse et via le travail de morphochromatographie, ces résultats doivent être confirmés dans les années à venir. Cette première année peut être vue et considérée comme une mise en place au sein de la parcelle. En effet, la parcelle expérimentale « Bonnode Nord » est cultivée selon la méthode biodynamique seulement depuis 2016.

5.7 Nouvelles pistes et recommandations pour les années à venir

Pour les années à venir, les pulvérisations devront être réalisées de la même façon et toujours avec ce système de protection des rangs voisins (Annexe 23). En effet, les observations sur le terrain ont permis de constater des dérives plus ou moins importantes ainsi que l'efficacité de cette méthode de protection, réalisée pour la première fois en 2017.

La majorité des mesures réalisées en 2017 devra être poursuivie selon une méthodologie similaire, proche ou améliorée, pour permettre de suivre l'évolution de ces différents paramètres. Certains paramètres comme la croissance du rameau primaire, le nombre de

mérithalles et la longueur des rameaux anticipés (entre-cœurs) seront peut-être influencés par la silice de corne les prochaines années. Il serait donc intéressant de continuer de suivre l'évolution des pieds déjà marqués et étudiés cette saison. Pour cela, les pieds mesurés ont été cartographiés (Annexe 33). En revanche, cette année, un pied sélectionné et mesuré en début de saison a été atteint par l'esca⁵ entraînant sa mort. Les pieds de vigne devront donc être soigneusement sélectionnés, remplacés et marqués si possible en présence du vigneron.

La prochaine année d'expérimentation implique la dernière modalité AV, qui sera à prendre en compte pour la totalité des mesures. Un travail de terrain plus important et non négligeable pourra donc être allégé en réduisant le nombre de mesures réalisées par paramètre. Il est important que les mesures soient réalisées, si possible, par une seule personne pour ne pas influencer les résultats. La présence d'une deuxième personne pour noter et relever les mesures permet un gain de temps considérable.

La recherche de nouveaux paramètres (angle foliaire, nombre de pépins, taux de sucre dans la sève, etc.) à étudier au cours de la saison ne semble pas être une priorité étant donné que ceux réalisés cette première année sont largement liés à la préparation silice de corne et ses influences. De plus, cela représenterait une charge de travail conséquente et supplémentaire. En revanche, le poids des bois de taille pourrait éventuellement être mesuré à partir de cet hiver pour les différentes modalités et permettrait de renseigner sur la vigueur et la puissance végétative de la vigne.

La mesure de la floraison devra être d'avantage anticipée avec une première mesure à partir de 5% de fleurs ouvertes et une seconde voire une troisième jusqu'à atteindre un minimum de 51% de fleurs ouvertes (Destrac, 2014) permettant ainsi de suivre l'évolution et la régularité de la floraison. La méthode du point cadrat, réalisée en fin de saison, pourrait avoir lieu au stade nouaison avant l'écimage (Valdes et al., 2006) afin d'éviter la pousse des rameaux anticipés (entre-cœurs) qui change probablement les résultats obtenus.

Cette étude a également permis, pour la méthode des morphochromatographies, la rédaction de protocoles expérimentaux adaptés à deux types de substances : feuilles de vigne et jus de raisins (Annexe 29 et Annexe 30). Ces protocoles pourront servir de référence et être optimisés ou ajustés en fonction de l'année. La quantité de 0,75 g pour l'étude des feuilles de vigne est à abandonner, même si celle-ci montre des images correctes sur la matrice (Annexe 28), une fois avancée dans la saison, une quantité minimale de 1,25 g semble cohérente. L'étude de ces deux substances a montré des tendances intéressantes qu'il faudrait perpétuer. La recherche sur cette méthode et la manière d'interpréter et lire les images devront être si possible approfondies par des recherches bibliographiques. De plus, le travail conséquent réalisé en 2017 (méthodes, protocoles, etc.) pourrait permettre davantage de flexibilité et donc pourquoi pas porter une attention plus particulière à la méthode de bioélectronique. Cette méthode pourrait simplement être creusée au cours de l'année, notamment sur des tisanes de feuilles de vigne et/ou des jus de raisins, afin de voir si des pistes sont possibles à l'avenir.

⁵ Maladie du bois due à l'action de plusieurs champignons

Conclusion

Cette étude sur les influences de la préparation biodynamique silice de corne 501 sur la vigne en fonction de ses différents positionnements a été mise en place en 2017 sur une parcelle de Chardonnay, en Saône-et-Loire. Celle-ci ayant pour objectif de répondre aux interrogations de nombreux vignerons vis-à-vis des préparations biodynamiques et leur emploi.

A l'issue de cette première année d'essai, les résultats ont permis de confirmer certains effets connus de la silice de corne notamment sur l'activité photosynthétique. Cette année, quatre applications de silice de corne avant véraison, dont trois avant floraison (modalité V), ont permis d'augmenter significativement l'activité photosynthétique des jeunes feuilles au stade de la véraison. En revanche, la photosynthèse étant en lien avec la nutrition du végétal, un taux de sucre supérieur dans les baies était attendu. Mais suite aux résultats obtenus, aucun lien n'a été révélé par la mesure du taux de sucre dans les baies. L'hypothèse retenue, que la mise en réserves ai été priorisée suite à cette activité photosynthétique supérieure, devra être confirmée dans les années à venir.

D'autres résultats significatifs ont été obtenus pour la compacité des grappes et la coulure mais doivent être interprétés avec prudence. En effet, la coulure, dont la mesure est particulièrement délicate à réaliser, a très probablement influencée la compacité des grappes. Ces résultats ne peuvent donc être attribués avec certitude à l'action de la silice de corne.

Suite aux résultats de cette première année, il est difficile de dégager un stade privilégié pour l'application de la préparation silice de corne. De plus, s'agissant d'un essai sur la durée, le suivi et l'évolution des résultats permettront d'apporter des jugements de valeurs et pertinents sur les effets de la silice de corne et surtout sur son emploi et ses différents positionnements en viticulture.

Enfin, la biodynamie peut devenir un chemin prometteur vers une agriculture durable et notamment par le bon emploi des préparations biodynamiques, considérées comme des soins pour le sol et les plantes. Cependant, une compréhension des mécanismes d'action des préparations biodynamiques est aujourd'hui nécessaire et notamment pour rendre la méthode davantage accessible à ceux qui la pratiquent ou non.

Références bibliographiques

Ouvrages – Support papier

BOUCHET F. (2003). L'agriculture Bio-Dynamique – Comment l'appliquer dans la vigne. Deux Versants Éditeur, 192 p.

CARBONNEAU A., DELOIRE A. & JAILLARD B. (2007). La vigne, physiologie, terroir, culture. Paris, Dunod, 441 p.

ENDRES K. & SCHAD W. (1997). Biology of the Moon. Moon periodicities and Life Rhythms. Stuttgart, Floris, 308 p.

FLORIN X. (1992). Jardiner avec la lune et le ciel. Colmar, Éditions S.A.E.P, 70 p.

FLORIN J. (2016). Opuscule sur la biodynamie. Bruxelles, Amyris, 62 p.

FRITZ J. (1994). Untersuchungen zum Einfluß des synodischen Mondrhythmus auf das Pflanzenwachstum von Rettich (*Raphanus sativus*) und Efeuaralie (*Fatshedera lizei*). Kassel, Universität Gesamthochschule.

GALET P. (1999). Précis de pathologie viticole. Saint-Jean de Védas, JF Impression, 264 p.

GALET P. (2000). Précis de viticulture. Saint-Jean de Védas, JF Impression, 602 p.

JOLY N. (2011). Le vin du ciel à la terre, la viticulture en biodynamie. Sang de la Terre, Paris, 302 p.

JOLY N. (2014). Le vin, la vigne et la biodynamie. Sang de la Terre, Paris, 223 p.

KOLISKO E. & KOLISKO L. (2017). L'Agriculture du futur. Les crêts, BioDynamie Services, 388 p.

MASSON P. (2015). Guide pratique pour l'agriculture biodynamique. Les crêts, BioDynamie Services, 224 p.

MASSON P. & MASSON V. (2017). Agenda biodynamique lunaire et planétaire 2017. Les crêts, BioDynamieServices, 35 p.

MASSON P. & MASSON V. (2016). Les cahiers Soins de la Terre Livret n°3 – Viticulture - Arboriculture. Les crêts, BioDynamie Services, 28 p.

PODOLINSKY A. (2015). Conférences d'introduction à l'agriculture biodynamique – Tome 1. Les crêts, BioDynamie Services, 204 p.

PROCTOR P. (2004) Grasp the nettle – making biodynamic farming and gardening work. New Zealand, Random House, 192 p.

SPIESS H. (1994). Chronobiologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung lunarer Rhythmen im biologische-dynamischen Pflanzenbau. Darmstadt, Schriftenreihe des Institutes für Biologisch-Dynamische Forschung, 319 p.

STEINER R. (2013). Le cours aux agriculteurs. Montesson, Éditions Novalis, 296 p.

TAUPIER-LÉTAGE B. (2009). Méthodes Globales d'Analyse de la Qualité – État des connaissances. Paris, ITAB, 40 p.

Ouvrages – Internet

BARTH J. (2015). Silicium : l'élément longtemps oublié des plantes terrestres **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 15 p.

Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Silicium-lélément-longtemps-oublié-des-plantes-terrestres- Jean-Georges-Barth.pdf> > (consulté le 30 mars 2017)

BOUZOUBAË Z., AIT LHAJ A. & MIMOUNI A. (2009). Le silicium ; le levier minéral indispensable pour une agriculture durable au Maroc **[en ligne]**. Maroc, INRA-CRRA-Agadir, 257-265 p.

Disponible sur < http://www.agrimaroc.net/agdumed2009/Bouzoubaa_Silicium_agriculture_durable.pdf > (consulté le 15 mars 2017)

DESTRAÇ A. (2014). La phénologie de la vigne – Quels stades observe-t-on et comment ? **[en ligne]**. Bordeaux, INRA Science & Impact, 1-21 p.

Disponible sur < https://www6.inra.fr/projet-accap-perpheclim/.../1/.../Methode_Obs_Vigne_ADI.pdf > (consulté le 8 mars 2017)

HODSON M., WHITE P., MAED A. & BROADLEY M. (2005). Phylogenetic variation in the Silicon composition of plants **[en ligne]**. Annales of Botany 96, 1027-1046 p.

Disponible sur < http://www.numeratortech.com/tech_info/Crop%20Research%20Report.pdf > (consulté le 26 mars 2017)

LAMINE C. & BELLON S. (2009). Transition vers l'agriculture biologique – Pratiques et accompagnements pour des systèmes innovants **[en ligne]**. Dijon, Educagri, 48-122 p.

Disponible sur < <https://books.google.fr/books?id=-AwehHzApXEC&pg=PA115&dq=rythme+anomalistique+agriculture&hl=fr&sa=X&ved=0ahUK Ewij0un5-oDVAhWKWWhoKHTjqB18Q6AEIJjAA#v=onepage&q&f=false> > (consulté le 2 mai 2017)

MABD. (2015). S'équiper et utiliser les préparations biodynamiques **[en ligne]**. Colmar, MABD, 17 p.

Disponible sur < <http://www.bio-dynamie.org/wp-content/uploads/2015/04/Séquiper-et-utiliser-les-préparations-BD-2015.pdf> > (consulté le 25 mars 2017)

MASSON P. (2013). Essai de comparaison entre 500 et 500P – Parcelles de Syrah en biodynamie depuis 2010 Rasteau **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 29 p.

Disponible sur < http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Comparaison_500_500P_Rasteau_c.pdf > (consulté le 3 juin 2016)

MASSON P. & MASSON V. (2014). Agriculture biodynamique, évolution des sols, bilan humique et changement climatique **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 66 p.
Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/compressed-9c0aa73e96e68fe7c876eb96cc0d6c6b.pdf> >

MASSON P. (2015). Présentation générale de l'agriculture biodynamique **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 12 p.
Disponible sur < http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Présentation_generale_de_la_BD_2015_9_5_c.pdf > (consulté le 5 mars 2017)

MASSON P. (2015). De l'agro-biologie à la viticulture bio-dynamique **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 22 p.
Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/De-lagrobiologie-à-la-biodynamie-en-viticulture.pdf> > (consulté le 3 avril 2017)

MASSON P. (2016). Quelques éléments de réflexion sur la dynamisation **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 4 p.
Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/A-propos-de-la-dynamisation-1ère-partie-Pierre-Masson.c.pdf> > (consulté le 24 avril)

MEISSNER G., SHULTZ H., DÖRING J., STOLL M. & KAUER R. (2014). Inbiodyn **[en ligne]**. Geisenheim, Geisenheim Universität, 90 p.
Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/20.02.2014-Chateauf-neuf-du-Pape-G.-Meissner-PM.compressed.pdf> > (consulté le 18 juillet)

MEUNIER M., SIRET R., BILLÉ A., ROGIERS S., GURR G., PATRON C. & MAURY C. (2013). Comparaison d'un itinéraire viticole biologique et biodynamique : Impact de traitements à base de silice sur la vigne et la qualité du raisin **[en ligne]**. Angers, Groupe ESA, 47 p.
Disponible sur < http://rencontres-du-vegetal.agrocampus-ouest.fr/infoglueDeliverLive/digitalAssets/75917_M_Meunier.pdf > (consulté le 6 avril 2017)

PACOTTET P. (2012). Viticulture **[en ligne]**. Rungis, Maxtor, 39-195 p.
Disponible sur < <https://books.google.fr/books?id=sHULBAAAQBAJ&pg=PA188&lpg=PA188&dq=compacité+de+la+grappe&source=bl&ots=cSnTWszwi4&sig=2XPyFvvj48nb6nd6OWGdNsLakGs&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjDiPzxs5fVAhUF1BoKHd-UBKoQ6AEIODAE#v=onepage&q&f=false> > (consulté le 20 juillet 2017)

REMER N. (1996). La silice : l'élément oublié de l'agriculture **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 14 p.
Disponible sur < http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/La_silice_élément_oublié_de_l_agriculture_Nicolaus_Remer_c.pdf > (consulté le 30 mars 2017)

REYNIER A. (2011). Manuel de viticulture 11^e édition **[en ligne]**. Paris, Lavoisier, 583 p. Disponible sur <https://books.google.fr/books?id=I2l6F6loKu8C&printsec=frontcover&dq=alain+reynier+11e+édition&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjru-rE5djTAhUDSRoKHQJ2CEQQ6AEIjAA#v=onepage&q=alain%20reynier%2011e%20édition&f=false> > (consulté le 4 avril 2017)

REYNIER A. (2016). Manuel de viticulture 12^e édition **[en ligne]**. Paris, Lavoisier, 116-129 p. Disponible sur < <http://fr.calameo.com/read/00128213607631429a87e> > (consulté le 4 avril 2017)

SCHREIER U. (2015). La biodynamie, un chemin prometteur vers l'agriculture durable demain **[en ligne]**. Les crêts, Association Soins de la Terre, 40 p. Disponible sur < <http://www.vernoux.org/AgricultureBiodynamique.pdf> > (consulté le 5 mars 2017)

SCHREIER U. (2014). Le taux de sucre comme critère de qualité **[en ligne]**. Vernoux, Ecodyn, 3 p. Disponible sur < <http://vernoux.org/ecodyn/wp-content/uploads/2014/04/RefractomeÇtre.pdf> > (consulté le 10 avril 2017)

SERRANO E., DIAS F., BIAIS T. & DUFOURCQ T. (2010). Les nouvelles technologies pour renseigner du statut azote des raisins **[en ligne]**. Caussens, Colloque MondiaViti, 11 p. Disponible sur < [http://www.vignevin-sudouest.com/publications/compte-rendus-recherche/pdf/nouvelles technologies pour renseigner du statut azot des raisins.pdf](http://www.vignevin-sudouest.com/publications/compte-rendus-recherche/pdf/nouvelles_technologies_pour_renseigner_du_statut_azot_des_raisins.pdf) > (consulté le 3 juin 2017)

THUN. M. & THUN M. (2014). Calendrier des semis 2015 **[en ligne]**. Colmar, Mouvement de l'Agriculture Bio-Dynamique, 116 p. Disponible sur < <http://www.bio-dynamie.org/wp-content/uploads/2014/10/Calsem2015internet2.pdf> > (consulté le 25 juillet 2017)

Article d'un périodique – Support papier

BACHINGER R. (1998). Maintien durable du taux d'humus sous l'effet des préparations biodynamiques. *Sust. Agric. Food, Energy Industry*, 408-411.

BAGGIOLINI M. (1952). Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Revue romande d'Agriculture et d'Arboriculture*, vol. 8, 4-6.

DREYFUS L. (2008). Brassage à la main, brassage à la machine, le débat. *Biodynamis*, vol. 10, 17-18.

ELSAIDI S. (1982). Amélioration de la qualité alimentaire de l'épinard par les préparations biodynamiques. *Biodynamis*, vol. 10, 20-26.

FOURÈS J. (2012). Hormones végétales et forces cosmiques. *Biodynamis*, vol. 78, 24-30.

FRITZ J. & KÖPKE U. (2005). Effects of light, fertilizer and the Biodynamic spray, horn silica preparation on the germination characteristics of bush beans (*Phaseolus vulgaris* L var nanus) from the next harvest. *Mitt Total Crop Science*, vol. 9, 55-60.

FRITZ J., ATHMANN M., MEISSNER G., KAUER R. & KÖPKE U. (2017). Quality characterisation via image forming methods differentiates grape juice produced from integrated, organic or biodynamic vineyards in the first year after conversion. *Biological Agriculture & Horticulture*, 1-19.

GAUDILLÈRE J., CHANTELOT E., SOYER J., MOLOT C & MILIN S. (2003). L'azote des feuilles et des moûts, deux indicateurs complémentaires pour évaluer le statut azoté de la vigne. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, vol. 37, 91-101.

REGANOLD J., PALMER A., LOCKHART J. & MACGREGOR A. (1993). Soil quality and financial performance on biodynamic and conventional farms in New Zealand. *Science*, vol. 260, 344-349.

SCHNEIDER C. (1985). Influence de la suppression des entre-cœurs de souches de vigne sur le microclimat lumineux et la récolte, *Connaissance Vigne Vin*, vol. 1, 17-30.

SPRING J. L. (1999). Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. *Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture*, vol. 31, 141-145.

TURINECK S., GROBELNIK-MLAKAR M., BAVEC M., & BAVEC F. (2009). Biodynamic Agriculture research progress and priorities. *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 24 146-154.

Article d'un périodique – Internet

ALFÖLDI T., GRANADO J., KIEFFER E, KRETZSCHMAR U., MORGNER M., NIGGLI U., SCHÄDELI A., SPEISER B., WEIBEL F. & WYSS G. (2006). Qualité et sécurité des produits bio : une comparaison avec les produits conventionnels. *Dossier FiBL*, vol. 4, 1-24.
Disponible sur < <http://www.cra.wallonie.be/img/page/brochure/AB/produitsbio.pdf> > (consulté le 18 juillet 2017)

CASEY W., KINRADE S., KNIGHT C., RAINS D. & EPSTEIN E. (2003). Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L, *Plant, Cell and Environment*, vol. 27, 51-54.
Disponible sur : < [http://www.academia.edu/26158475/Aqueous silicate complexes in wheat Triticum aestivum L](http://www.academia.edu/26158475/Aqueous_silicate_complexes_in_wheat_Triticum_aestivum_L) > (consulté le 2 mai 2017)

CHASSAING T. (2017). Impact de l'utilisation de préparats biodynamiques sur le fonctionnement de la vigne et la qualité des raisins - Résultats des millésimes 2012 à 2015. *Biodynamiti*, vol. 141, 1-4.
Disponible sur < [http://www.pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays de la Loire/2017_impact_utilisation_preparats_biodynamiques_fonctionnement_vigne_qualite_raisins.pdf](http://www.pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2017_impact_utilisation_preparats_biodynamiques_fonctionnement_vigne_qualite_raisins.pdf) > (consulté le 3 juin 2017)

DOKOOZLIAN N. & KLIEWER W. (1995). The light environment within grapevines canopy. II. Influence of leaf area density on fruit zone light environment and some canopy assessment parameters. *Amer. J. Enold. Viticult.*, vol. 46, 219-226.

EPSTEIN E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 91, 11-17.

Disponible sur < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC42876/pdf/pnas01532-0027.pdf> > (consulté le 20 mars 2017)

FAUTEUX F., RÉMUS-BOREL W., MENZIES J. & BÉLANGER R. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology*, vol. 249, 1-6.

Disponible sur <https://pdfs.semanticscholar.org/6367/6ecb5d747f5a47e16105e6b334e8184c0b36.pdf> < > (consulté le 2 mai 2017)

FAWE A., ABOU-ZAID M., MENZIES J. & BÉLANGER R. (1998). Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology* vol. 88, 396-401.

Disponible sur < <http://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO.1998.88.5.396> > (consulté le 8 avril 2017)

FLIESSBACH A., MÄDER P., PFIFFNER L., DUBOIS D. & GUNST L. (2001). Résultats de 21 ans d'essai DOC – Le bio améliore la fertilité du sol et la biodiversité. *Dossier IRAB*, vol.1, 1-15.

Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Resultats-de-2-ans-Essai-DOC-FIBL.pdf> > (consulté le 7 juillet 2017)

GOULETTE M. (2014). Biodynamie - Des témoins et des résultats. *Biofil la revue de l'agriculture bio*, vol. 91, 29-38.

Disponible sur < <http://vernoux.org/biodynamie/BIOFIL91-dossier-Biodynamie.pdf> > (consulté le 12 mai 2017).

GUNTZER F., KELLER C. & MEUNIER J. (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA*, vol.32, 201-213.

Disponible sur < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00930510/document> > (consulté le 20 mars 2017)

MABROUK H., CARBONNEAU A. & SINOQUET H. (1997). Canopy structure and radiation regime in grapevine. I. Spatial and angular distribution of leaf area in to canopy systems. *Vitis*, vol. 36, 119-123.

Disponible sur < <http://www.vitis-vea.de/admin/volltext/e038590.pdf> > (consulté le 26 juin 2017)

MÄDER P., FLIESSBACH A., DUBOIS D., GUNST L., FRIED P. & NIGGLI U. (2002). Fertilité du sol et biodiversité en agriculture biologique. *Science*, vol. 296, 1-8.

Disponible sur : < http://www.bio-dynamie.org/wp-content/uploads/2012/08/02_Traduction-article-Science.pdf > (consulté le 31 juillet 2017)

MEUNIER M. (2013). Étude du mode d'action de la silice sur la physiologie de la vigne : impact sur la qualité du raisin et du vin. *Techniloire*, 23-26.

Disponible sur < <http://www.techniloire.com/documents/124963587/Actes-LaRechercheVousParle-2013.pdf> > (consulté le 18 juillet)

MURE J. (2004). La morphochromatographie. *Alter Agri*, vol. 62, 27-28.

Disponible sur < http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/La_morphochromatographie_JP_Mure_alteragri_63_2004_p27-28_c.pdf > (consulté le 5 avril 2017).

NITSCH J. (1956). Auxin-Dependent Growth of Excised Helianthus Tuberosus Tissues. *American Journal of Botany*, vol. 43, 839-851.

PIERI P., FERMAUD M. & MIMIAGUE F. (2001). Analyse du microclimat des grappes. Effets de la compacité et de l'effeuillage. *Act. GESCO*, vol. 12, 71-76.

SMART R., DICK J., GRAVETT I. & FISHER B. (1989). Canopy Management to Improve Grape Yield and Wine Quality Principles and Practices. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, vol. 11, 3-17.

Disponible sur < <http://www.sawislibrary.co.za/dbtextimages/SmartR11.pdf> > (consulté le 26 juin 2017)

THIES H. (1968). Les préparations biodynamiques et leur brassage, *Lebendige Erde*, vol. 1, 1-3.

Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Les-préparations-biodynamiques-et-leur-brassage-H.-Thies-Triades-Tome-XV-N°4-été1968.pdf> > (consulté le 10 juillet)

TRAVIS J. (1987). Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution in apple trees. *Plant Disease*, vol. 71, 613-615.

Disponible sur < https://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1987Articles/PlantDisease71n07_613.pdf > (consulté le 26 juin 2017)

TURINEK M., GROBELNIK-MLAKAR S., BAVEC M. & BAVEC F. (2009). Bilan et perspectives de la Recherche en Agriculture Bio-dynamique. *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 24, 146–154.

Disponible sur < <http://www.bio-dynamie.org/wp-content/uploads/2012/11/Bilan-et-perspectives-de-la-Recherche-en-Agriculture-Biodynamique.pdf> > (consulté le 10 mai 2017)

VALDES H., CELETTE F., FERMAUD M., CARTOLARO P., CLERJEAU M. & GARY C. (2006). Comment évaluer l'influence de la vigueur sur la sensibilité de la vigne aux maladies cryptogamiques. *Progrès agricole et viticole*, vol. 12, 243-247.

Disponible sur < https://www6.bordeaux-aquitaine.inra.fr/sante.../3695/.../2006-B7_Valdez-PAV.pdf > (consulté le 27 juin 2017)

ZÜRCHER E. (2008). Les plantes et la lune : traditions et phénomènes. *Aux Origines des Plantes – Des plantes anciennes à la botanique du XXI^e siècle*, vol. 8, 4, 390-408.

Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Aux-origines-des-plantas-F.-Hallé-Chap.-Les-Plantes-et-la-Lune-E.-Zürcher.pdf> > (consulté le 6 juillet 2017)

ZÜRCHER E. (2008). Plants and the Moon - Traditions and Phenomena. *Aux Origines des Plantes – Des plantes anciennes à la botanique du XXI^e siècle*, vol. 8, 4, 390-408.

Disponible sur < <http://cms.herbalgram.org/heg/volume8/04April/PlantsandtheMoon.html?t=1302037326&ts=1499350553&signature=a4609d776b62a6e63255f84d547596bc> > (consulté le 6 juillet 2017)

ZÜRCHER E. (2014). Lunar Rhythmicities in the Biology of Trees, Especially in the Germination of European Spruce (*Picea abies* Karst.): A New Statistical Analysis of Previously Published Data. *Journal of Plant Studies*, vol. 3, 103-113.

Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Lunar-rhythmicities-in-the-Biology-of-Trees.pdf> > (consulté le 10 juillet 2017)

Thèses et rapports de stage – Support papier

ABARZÙA C. (2015). Comparing qualitative and quantitative impacts of different treatments with Horn Silica in grapevine : European Master of Science of Viticulture and Enology. Geisenheim, Hochschule Geisenheim University, 86 p.

LI T. (2016). Comparing qualitative and quantitative impacts of different treatments with Horn Silica in grapevine : European Master of Science of Viticulture and Enology. Geisenheim, Hochschule Geisenheim University, 67 p.

Thèses et rapports de stage – Internet

FÉRET J. (2009). Apport de la modélisation pour l'estimation de la teneur en pigments foliaires par télédétection : thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie. Paris, Université Pierre et Marie Curie, 185 p.

Disponible sur : < http://www.ipgp.fr/~jacquemoud/publications/these_Feret_2009.pdf > (consulté le 2 août 1992)

LORIMER M. (2014). Effects of biodynamic treatment 500 and 501 in managed vineyards in Switzerland: influences on soil, plants and grape quality : Curriculum agroingegneria. Firenze, Università Degli Studi Firenze, 86 p.

Disponible sur : < http://www.considera.org/downloads/TESI%20UFFICIALE_MATTHIAS_LORIMER.pdf > (consulté le 17 juillet 2017)

Site internet

BIODYNAMIE SERVICES. < <http://www.biodynamie-services.fr> > (consulté le 2 mars 2017)

BIODYBLOG. < <https://biodyblog.wordpress.com> > (consulté le 31 juillet 2017)

BIODYVIN. < <http://www.biodyvin.com> > (consulté le 3 juin 2017)

DEMETER. < <http://www.demeter.fr> > (consulté le 3 juin 2017)

DEMETER. Toujours plus de vigneron certifiés Demeter **[en ligne]**.

Disponible sur : < <http://www.demeter.fr/toujours-plus-vignerons-certifies-demeter/#more-2554> > (consulté le 6 juin 2017)

DOMAINE GUILLEMOT-MICHEL. < <https://sites.google.com/site/domaineguillemotmichel/> > (consulté le 31 juillet 2017)

ECODYN. < <http://www.ecodyn.fr> > (consulté le 4 avril 2017)

MABD. < <http://www.bio-dynamie.org> > (consulté le 29 avril 2017)

METEOCIEL. < <http://www.meteociel.fr> > (consulté le 16 mai 2017)

SOIN DE LA TERRE. < <http://www.soin-de-la-terre.org> > (consulté le 1^{er} mars 2017)

SOIN DE LA TERRE. Byodinamics experiens in north Italy (Verona) : horticulture, fruit-growing and vine. Agricultural and social effects – Adriano Zago **[en ligne]**.

Disponible sur < http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/Experiences_italiennes_en_agriculture_biodynamique_A._Zago_c.pdf > (consulté le 31 juillet 2017)

SOIN DE LA TERRE. Agriculture biodynamique, évolution des sols, bilan humique et changement climatique **[en ligne]**.

Disponible sur < <http://www.soin-de-la-terre.org/wp-content/uploads/compressed-9c0aa73e96e68fe7c876eb96cc0d6c6b.pdf> > (consulté le 16 juin 2017)

UNIVERSITÉ DU VIVANT. Subjectivité – Objectivité par Jean-Paul Gelin **[en ligne]**.

Disponible sur < <http://www.universite-du-vivant.org/Subjectivite-Objectivite.html> > (consulté le 2 septembre 2017)

Autres supports – Supports multimédias

BODIN G. (2011). La Clef des terroirs. **[DVD]**. Paris, Éditions Montparnasse.

MASSON P., MASSON V., GRIENENBERGER L. (2012). Pratiques de l'agriculture biodynamique **[DVD]**. Les crêts, BioDynamie Services.

Autres supports – Supports papiers

DEMETER (2015). Vin Demeter la biodynamie réveille les terroirs !.

DEMETER SUISSE (2015). Toute la pureté du vin.

MASSON V. (2017). Agriculture et Viticulture Biodynamique - Présentation générale.

Liste des annexes

Annexe 1 : Localisation de BioDynamie Services et de l'Association Soins de la Terre en Saône-et-Loire	49
Annexe 2 : Comparaison de profils de sols, plantations et vignes entre agriculture biologique et biodynamique	50
Annexe 3 : Tarifs des préparations biodynamiques chez BioDynamie Services	51
Annexe 4 : Broyage du quartz pour l'élaboration de la préparation silice de corne 501	52
Annexe 5 : Élaboration de la préparation silice de corne 501 à partir du quartz broyé finement	53
Annexe 6 : Emploi de la préparation silice de corne 501	54
Annexe 7 : Pulvérisations manuelles et mécaniques de la préparation silice de corne 501	55
Annexe 8 : Différents types de récipients et dynamiseurs	56
Annexe 9 : Plans et tailles de dynamiseurs mécaniques en cuivre de modèle australien	57
Annexe 10 : Illustrations des différents rythmes lunaires : synodique, tropique, sidéral, anomalistique et draconitique	58
Annexe 11 : Illustrations des différents rythmes et aspects planétaires : trigone, conjonction, opposition et quadrature	60
Annexe 12 : Comparaison des cahiers des charges de l'agriculture biologique (règlement européen A.B) et biodynamique (Demeter-France) pour la viticulture (production de raisins)	61
Annexe 13 : Comparaison des cahiers des charges de l'agriculture biologique (règlement européen A.B) et biodynamique (Demeter France) pour la vinification (élaboration du vin)	62
Annexe 14 : Comparaison des cahiers des charges de l'agriculture biologique (règlement européen A.B) et biodynamique (Demeter-France) pour la teneur en dioxyde de soufre (SO ₂)	64
Annexe 15 : Caractéristiques générales des essais sur la méthode biodynamique, à long terme et basés sur une méthode scientifique rigoureuse	65
Annexe 16 : Influences des préparations biodynamiques sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (humus, activité microbienne, pH, stockage et répartition du carbone et stabilité des agrégats)	66
Annexe 17 : Influences des préparations biodynamiques sur la croissance des racines, la qualité et la conservation des aliments	68
Annexe 18 : Localisation de la parcelle expérimentale à Prissé en Saône-et-Loire	69
Annexe 19 : Aperçu de la parcelle expérimentale à Prissé en Saône-et-Loire	70
Annexe 20 : Différentes interventions sur la parcelle expérimentale	71
Annexe 21 : Dates et conditions d'applications de la préparation silice de corne sur la parcelle expérimentale	72
Annexe 22 : Caractéristiques techniques du dynamiseur 37 l (D37)	73
Annexe 23 : Pulvérisation manuelle de la silice de corne et protection des rangs voisins lors de l'expérimentation	74
Annexe 24 : Stades phénologiques repères de la vigne selon Baggiolini (en lettres) et selon la classification internationale (BBCH)	75
Annexe 25 : Classes utilisées pour les mesures expérimentales sur la phénologie et physiologie de la vigne	76
Annexe 26 : Mesures expérimentales sur la physiologie de la vigne	77
Annexe 27 : Application de la méthode du point quadrat dans la parcelle expérimentale	78

Annexe 28 : Morphochromatographies appliquées aux feuilles de vigne, travail de méthodologie basé sur la quantité de substance (g), la concentration de soude (%) et l'évolution dans le temps (J0, J1 et J3)	79
Annexe 29 : Protocole expérimental de la méthode de morphochromatographie appliquée aux feuilles de vigne	80
Annexe 30 : Protocole expérimental de la méthode de morphochromatographie appliquée aux jus de raisins.....	84
Annexe 31 : Méthode des morphochromatographies appliquée aux feuilles de vigne et images obtenues à partir de 0,75 g à J0 pour les modalités T, V, AF et EFV	88
Annexe 32 : Méthode des morphochromatographies appliquée aux jus de raisins et images obtenues à partir de 0,175 ml à J0, J1, J5 t J7 pour les modalités T, V, AF et EFV	89
Annexe 33 : Cartographie des pieds de vigne marqués et mesurés pour la croissance du rameau primaire, le nombre de mérithalles (entre-nœuds) et la longueur des rameaux anticipés (entre-cœurs) en 2017	91

Annexe 1 : Localisation de BioDynamie Services et de l'Association Soins de la Terre en Saône-et-Loire



Titre : Localisation de l'entreprise BioDynamie Services et de l'Association Soins de la Terre (Google Maps, 2017)

Annexe 2 : Comparaison de profils de sols, plantations et vignes entre agriculture biologique et biodynamique



Titre : Témoin biologique à gauche et biodynamique à droite (1 an avec emploi de 500P) (Soin de la Terre, 2015)



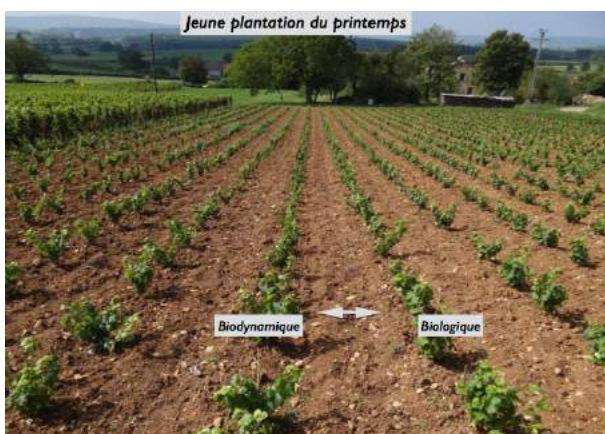
Titre : Témoin biologique à gauche et biodynamique à droite (3 ans avec emploi de 500P) à Châteauneuf du pape (Soin de la Terre, 2014)



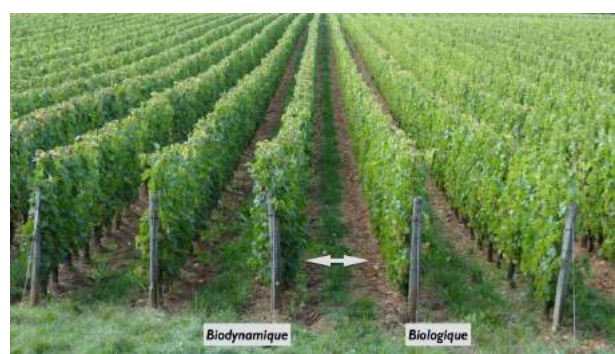
Titre : Témoin biologique à gauche et biodynamique à droite (1 an avec emploi de 500P) à Saint-Estèphe (Soin de la Terre, 2011)



Titre : Témoin biologique à gauche et biodynamique à droite (5 ans avec emploi de 500P) en Bourgogne (Soin de la Terre, 2009)



Titre : Jeune plantation de vigne (chardonnay) avec témoin biologique à droite et biodynamique à gauche (Soin de la Terre, 2014)



Titre : Parcelle de vigne (chardonnay) avec témoin biologique à droite et biodynamique à gauche (Soin de la Terre, 2014)

Annexe 3 : Tarifs des préparations biodynamiques chez BioDynamie Services

Nature	Quantité nécessaire par passage ** pour un hectare	Prix unitaire TTC par portion	Prix TTC par portion à partir de 10 portions	Quantité souhaitée	Prix
Préparations biodynamiques *					
500 P - Bouse de corne préparée	une portion : \approx 100 gr/ha	9,60 €	8,00€		
500 - Bouse de corne	une portion : \approx 100 gr/ha	9,20€	7,60 €		
501 - Silice de corne	une portion : \approx 4 gr/ha	5,20 €	4,20 €		
502 à 507 - pour le compost	1 portion (\approx 2gr) de chaque préparation solide et \approx 5gr de valériane pour un tas de 5 à 10 m ³ (inclus)	10,50 €	10,50 €		
507 - Valériane	portion \approx 5 gr	2,60€	2,10 €		
CBMT (compost de bouse M.Thun)	portion \approx 240 gr	7,30 €	6,30€		

Titre : Tarifs des préparations biodynamiques chez BioDynamie Services (BioDynamie Services, 2017)

Annexe 4 : Broyage du quartz pour l'élaboration de la préparation silice de corne 501



Titre : Étapes du broyage du quartz pour l'élaboration de la préparation silice de corne 501

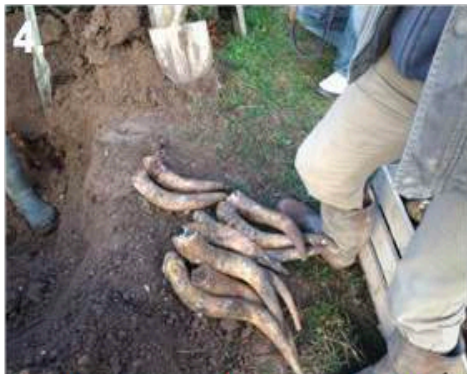
Annexe 5 : *Élaboration de la préparation silice de corne 501 à partir du quartz broyé finement*



1.
Humidification et mise en corne de la silice finement broyé



2.
Cornes remplies et prêtes pour la mise en terre



4.
Sortie de terre de la préparation silice de corne 501



3.
Mise en terre des cornes pendant la période estivale

Titre : *Étapes de l'élaboration préparation silice de corne 501*

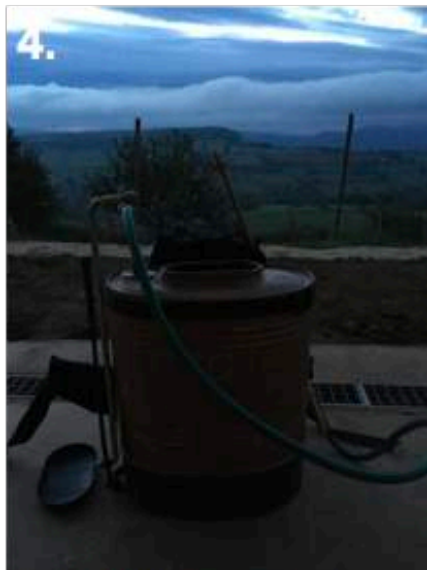
Annexe 6 : Emploi de la préparation silice de corne 501



1.
Ajout de la silice de corne
(4g) dans le dynamiseur
mécanique



2.
Dynamisation de la silice de
corne dans 35 l d'eau à 37°C
(1h)



4.
Remplissage des
pulvérisateurs à dos



3.
Légère filtration de la silice
de corne après dynamisation

Titre : Étapes pour l'emploi de la préparation silice de corne 501

Annexe 7 : Pulvérisations manuelles et mécaniques de la préparation silice de corne 501

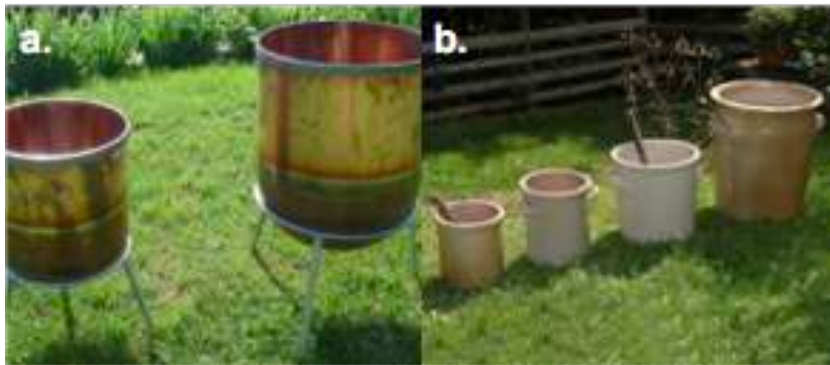


Titre : Pulvérisations manuelles avec un pulvérisateur à dos (a.) (Bodin, 2012), lances (b.) (Guillemot-Michel, 2011) et rampe (c.) (Biodyblog, 2012)



Titre : Pulvérisations mécaniques avec des rampes (a.), sur un enjambeur (b.), sur un quad (c.) et à l'aide d'une turbine (d.) (Eco-Dyn, 2014)

Annexe 8 : Différents types de récipients et dynamiseurs



Titre : Récipients en cuivre (a.) et en grès (b.) (Masson, 2016)



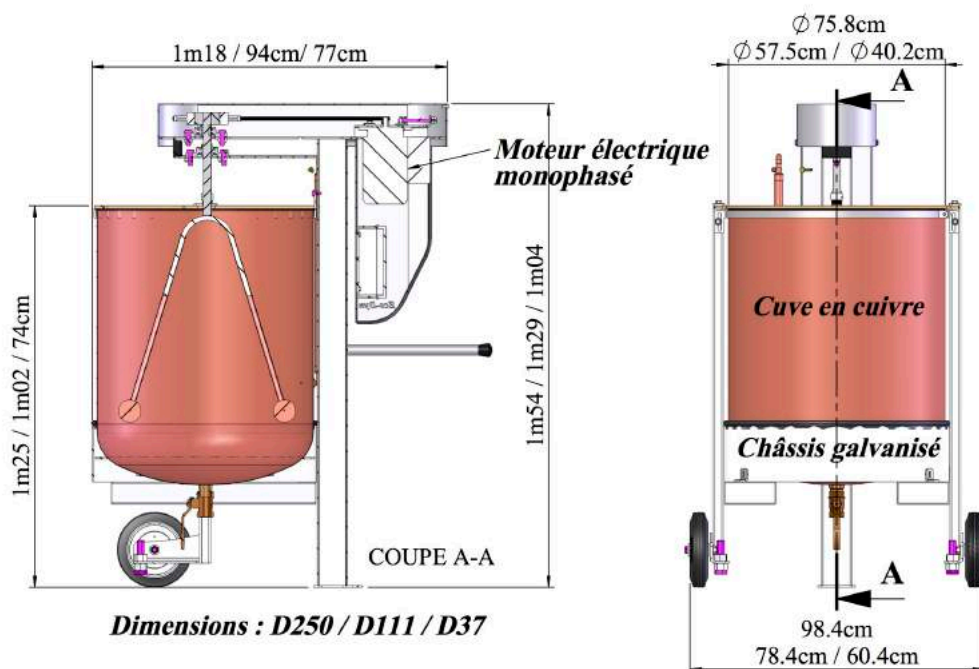
Titre : Dynamisations manuelles dans des récipients en cuivre (a.) et grès (b.) (Masson, 2016)



Titre : Dynamiseurs mécaniques en cuivre (a.), en bois (b.) et en béton (c.) (Masson, 2016)

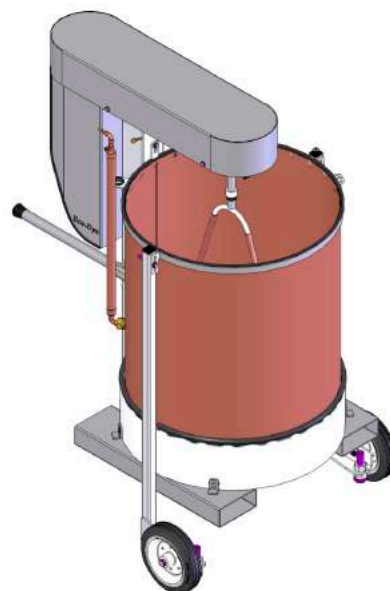
Eco-Dyn

Dynamiseurs 30 à 250 Litres



Trois tailles de dynamiseurs

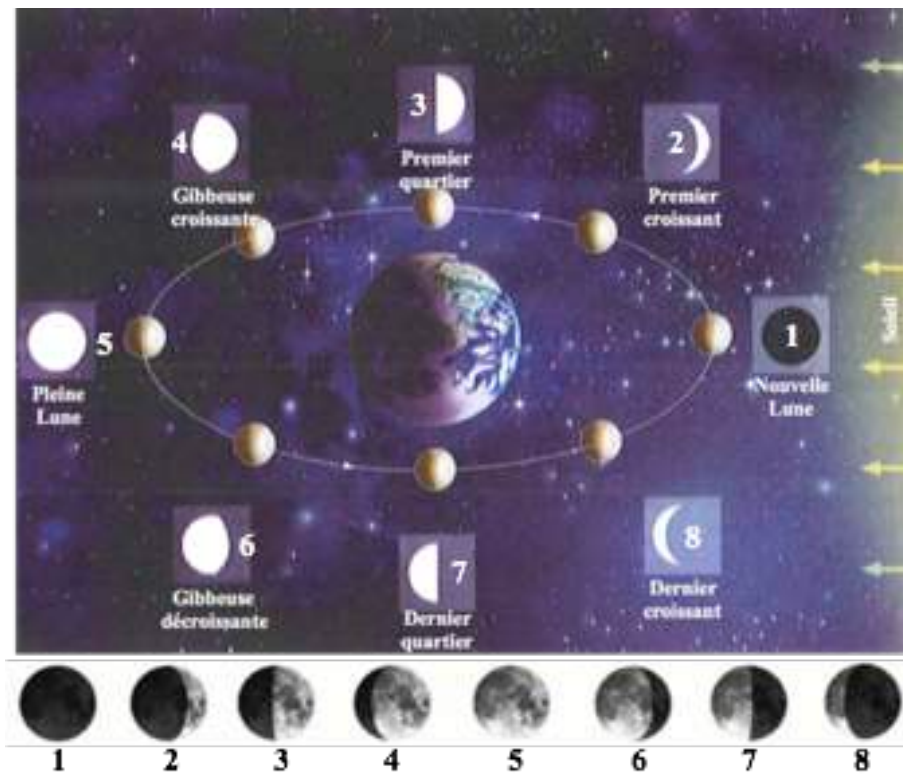
- D37 : volume utile 28 à 40 Lt. - poids : 80 Kgs.
- D111 : volume utile 90 à 120 Lt. - poids : 115 Kgs.
- D250 : volume utile 190 à 250 Lt. - poids : 155 Kgs.



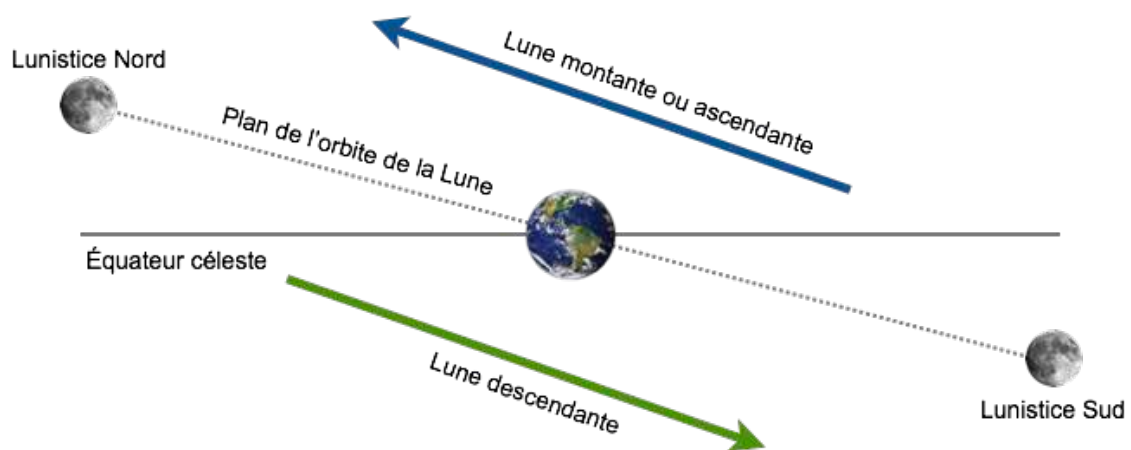
Ecodyn - Vernoux - F- 49370 - Bécon les Granits

Tél: 02 40 83 39 75 contact@ecodyn.fr www.ecodyn.fr

Annexe 10 : Illustrations des différents rythmes lunaires : synodique, tropique, sidéral, anomalistique et draconitique



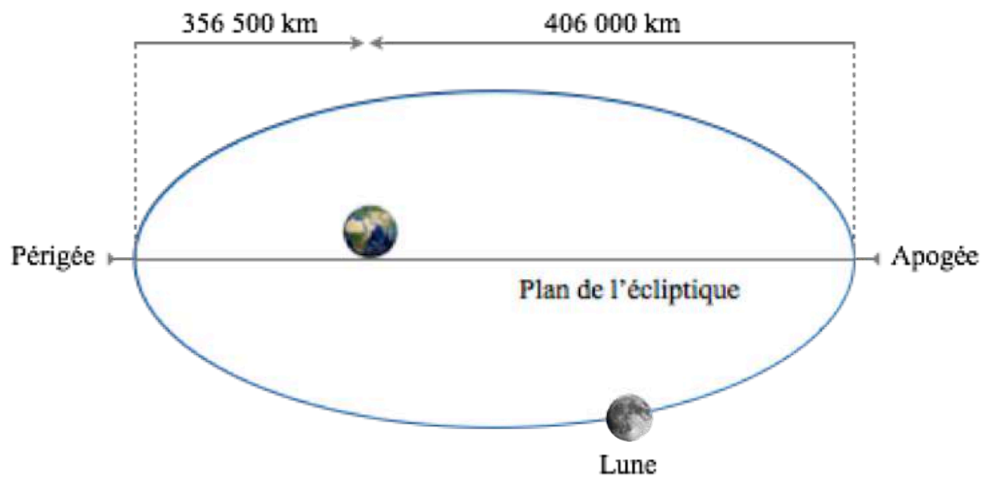
Titre : Rythme synodique et les différentes phases de la lune pour un observateur situé au-dessus du pôle Nord terrestre (Zürcher, 2014)



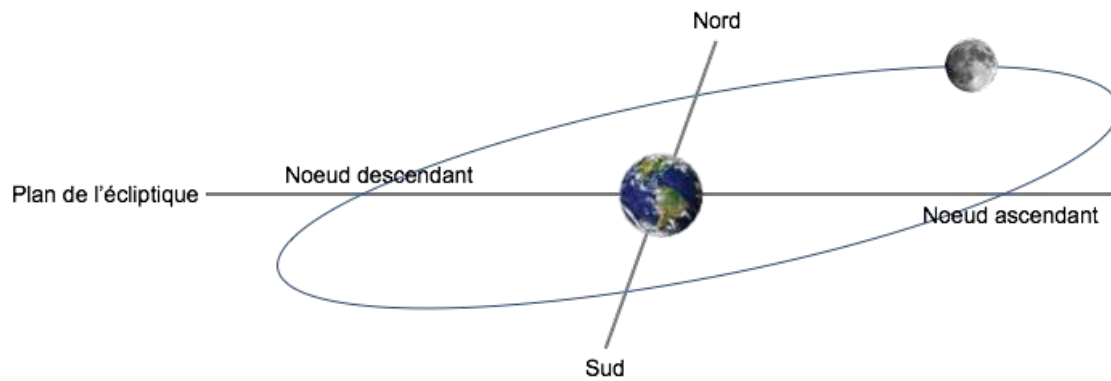
Titre : Rythme tropique et les différentes phases de la lune (montante et descendante)



Titre : Rythme sidéral et position de la lune devant les constellations zodiacales (Thun, 2015)

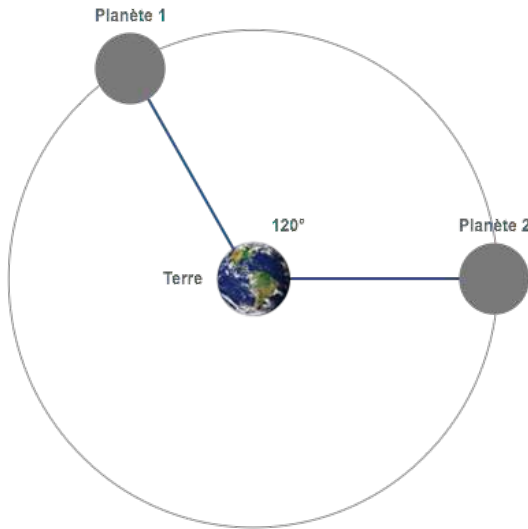


Titre : Rythme anomalistique et les différentes positions de la lune (périgée et apogée)

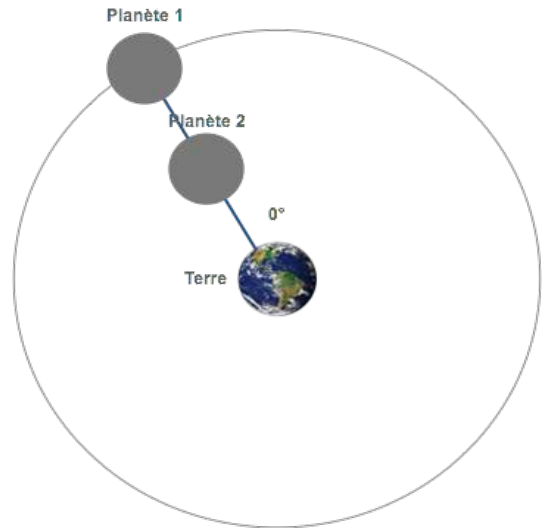


Titre : Rythme draconitique et nœuds lunaires descendant et ascendant

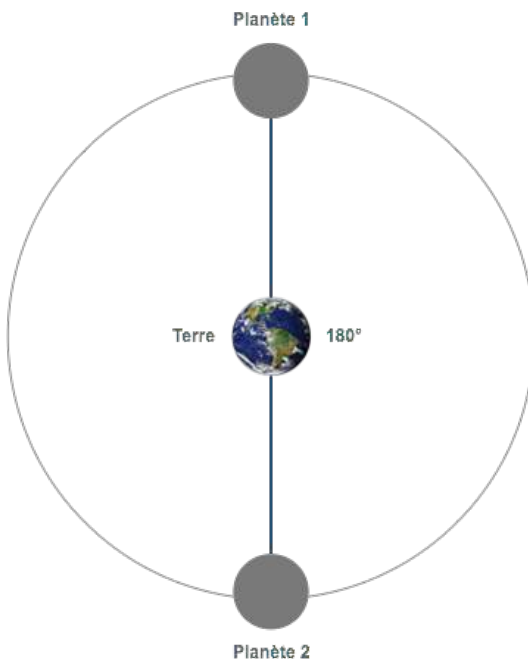
Annexe 11 : Illustrations des différents rythmes et aspects planétaires : trigone, conjonction, opposition et quadrature



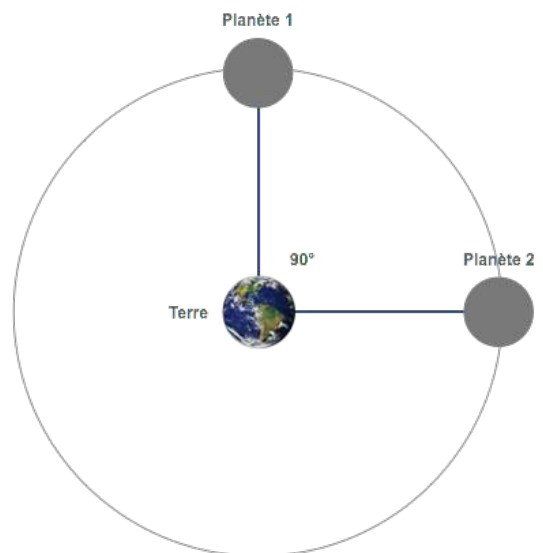
Titre : Trigone de planètes formant un angle de 120° entre elles par rapport à la Terre



Titre : Conjonction de planètes formant un angle de 0° entre elles par rapport à la Terre



Titre : Opposition de planètes formant un angle de 180° entre elles par rapport à la Terre



Titre : Quadrature de planètes formant un angle de 90° entre elles par rapport à la Terre

Annexe 12 : Comparaison des cahiers des charges de l'agriculture biologique (règlement européen A.B) et biodynamique (Demeter-France) pour la viticulture (production de raisins)

Produits	Agriculture Biologique (règlement européen A.B)	Agriculture Biodynamique (règlement Demeter-France)
Anti-Mildiou	Cuivre limité à : 6 kg / ha et an Huile essentielle d'orange douce	Cuivre limité à : 3 Kg / ha et an Huile essentielle d'orange douce
Anti-Oïdium	Soufre, Huile essentielle d'orange douce, Bicarbonate de potassium	Soufre, Huile essentielle d'orange douce, Bicarbonate de potassium
Anti-Pourriture grise	Bicarbonate de potassium	Bicarbonate de potassium
	Lutte biologique : Aureobasidium pullulans, Bacillus subtilis	Lutte biologique : Aureobasidium pullulans, Bacillus subtilis
Herbicides	NON AUTORISÉS	NON AUTORISÉS
Insecticides	Spinosad et Pyrethrines d'origine naturelle Lutte biologique : Bacillus thuringiensis.	Spinosad et Pyrethrines d'origine naturelle Lutte biologique : Bacillus thuringiensis.
Conversion du domaine	La surface totale d'une même culture (dans le cas présent, la vigne) doit être convertie au bio. Pas d'obligation de conversion à l'agriculture biologique pour les autres types de cultures du même domaine agricole.	La totalité du domaine agricole, donc vignes et tout autre type de culture appartenant au même domaine (céréales, élevage etc), doit être converti à la biodynamie.
Préparations biodynamiques	Non concerné.	Utilisation obligatoire des deux préparations biodynamiques à pulvériser sur le sol et la vigne, et des six préparations biodynamiques pour le compost.

Titre : Comparaison des cahiers des charges biologique (A.B) et biodynamique (Demeter France) pour la viticulture (production de raisins) (Demeter-France, 2015)

Annexe 13 : Comparaison des cahiers des charges de l'agriculture biologique (règlement européen A.B) et biodynamique (Demeter France) pour la vinification (élaboration du vin)

Usage	Intrant	Règlement européen A.B	Règlement Demeter-France
Aération / Oxygénation	Air	OUI	OUI (micro-oxygénation interdite)
	Oxygène gazeux	OUI	OUI (micro-oxygénation interdite)
Centrifugation et filtration	Centrifugation	OUI	NON
	Filtration	OUI	OUI
Inertage	Azote	OUI	OUI
	CO ₂	OUI	OUI
	Argon	OUI	NON
Sulfitage	SO ₂	OUI*	OUI*
Fermentation Alcoolique	Levures	OUI (bio si disponible, non OGM)	SUR DÉROGATION UNIQUEMENT (Demeter si disponible, sinon bio)
Fermentation Malo-Lactique	Bactéries lactiques	OUI (non OGM)	SUR DÉROGATION UNIQUEMENT
Pasteurisation	X	SI TEMPÉRATURE < 70 °C	NON
Nutrition de levures	Phosphate diammonique	OUI	NON
	Dichlorhydrate de thiamine	OUI	NON
	Bisulfite d'ammonium	NON	NON
Clarification	Gélatine alimentaire	OUI (bio si disponible)	NON
	Protéines de blé ou pois	OUI (bio si disponible)	OUI (Demeter si disponible sinon bio)
	Colle de poisson	OUI (bio si disponible)	NON
	Ovalbumine	OUI (bio si disponible)	OUI (Demeter si disponible sinon bio)
	Tanins	OUI (bio si disponible)	NON
	Caséines	OUI	OUI
	Caséinates de potassium	OUI	NON
	Dioxyde de silicium	OUI	NON
	Bentonite	OUI	OUI
	Enzymes pectolytiques	OUI	NON
	Préparation enzymatique de bêtaglucanase	NON	NON
	Kaolin	NON	NON
	Lisozyme	NON	NON
	Polyvinylpyrrolidone	NON	NON
	Enzymes pectolitiques	OUI	NON
Acidification	Acide lactique	OUI	NON
	Acide (L+) tartrique	OUI	SUR DÉROGATION UNIQUEMENT
	Acide D,L-malique	NON	NON
	Acide L-malique	NON	NON
Désacidification	Carbonate de calcium	OUI	NON
	Tartrate neutre de potassium	OUI	NON
	Tartrate de calcium	NON	NON
	Bicarbonate de potassium	OUI	OUI

Usage	Intrant	Règlement européen A.B	Règlement Demeter-France
Addition	Acide L-ascorbique	OUI	NON
	Tanins	OUI (bio si disponible)	NON
	Acide Métatartrique	OUI	NON
	Anhydride carbonique	OUI	NON
Stabilisation	Carboxyméthylcellulose	NON	NON
	Electrodialyse	NON	NON
	Bitartrate de potassium	OUI	OUI
	Acide citrique	OUI	NON
	Résine échangeuse de cations	NON	NON
Chaptalisation	Sucre	OUI	OUI
	Moût concentré	OUI	OUI
	Moût concentré rectifié	OUI	OUI
	Auto-enrichissement par évaporation	OUI (maximum 70°C)	NON
	Auto-enrichissement par osmose inverse	OUI	NON
	Possibilité d'augmentation du degré alcoolique (hors réglementations AOC)	OUI	Possible jusqu'à 0,9 °C (sur dérogation jusqu'à 1,5 °C), le vin devra
Divers	Azote (barbotage)	OUI	NON
	Argon (barbotage)	NON	NON
	Charbons à usage œnologique	OUI	UNIQUEMENT POUR LA DÉCOLORATION SUR MOÛTS POUR LES VINS EFFERVESCENTS
	Gomme arabique / d'acacia	OUI (bio si disponible)	NON
	Citrate de cuivre	OUI	NON
	Sulfate de cuivre	NON	NON
	Morceaux de bois de chêne	OUI	NON
	Phytate de calcium	NON	NON
	Ferrocyanure de potassium	NON	NON
	Acid D,L-Tartrique (acide racémique)	NON	NON
	Caramel (pour renfort de couleur)	NON	NON
	Uréase	NON	NON
	PVI / PVP	NON	NON
	Alginate de calcium	NON	NON
	Alginate de potassium	OUI	NON
	Bitartrate de potassium	OUI	OUI
	Phosphate diammonique	OUI	NON
	Chlorydrique de thiamine	OUI	NON
	Bisulfite de potassium ou métabisulfite de potassium	OUI	OUI (pastilles effervescentes interdites)
Écorces de levures	OUI	OUI	

Titre : Comparaison des cahiers des charges biologique (A.B) et biodynamique (Demeter France) pour la vinification (élaboration du vin) (production de raisins (Demeter-France, 2015)

Annexe 14 : Comparaison des cahiers des charges de l'agriculture biologique (règlement européen A.B) et biodynamique (Demeter-France) pour la teneur en dioxyde de soufre (SO₂)

Type de vin	Dose de soufre (mg/l) Règlement européen A.B	Dose de soufre (mg/l) Règlement Demeter France
Rouge < 2g/l S.R (sucres résiduels)	100	70
Rouge < 2g/l et < 5 g/l S.R	120	70
Rouge > 5 g/l S.R	170	70
Blanc et rosé < 2 g/l S.R	150	90
Blanc et rosé > 2 g/l S.R et < 5 g/l S.R	170	90
Blanc et rosé > 5g/l S.R	220	130
Vin liquoreux > 35 g/l S.R	370	200
Vin liquoreux > 50 g/l S.R	370	200
Mousseux < 15 g/l S.R	155	60
Mousseux > 15 g/l S.R	155	60

Titre : Comparaison des cahiers des charges biologique (A.B) et biodynamique (Demeter-France) pour la teneur en dioxyde de soufre (SO₂) (Demeter-France, 2015)

Annexe 15 : Caractéristiques générales des essais sur la méthode biodynamique, à long terme et basés sur une méthode scientifique rigoureuse

Pays de l'essai	Description de l'essai	Durée de l'essai	Taille des parcelles expérimentales	Rotaion des cultures et fertilisation	Références
Therwil, Suisse	Dans l'essai DOC, trois systèmes sont comparés avec le contrôle : biodynamique, biologique, conventionnel avec fertilisation organique et conventionnel-minéral.	1978 - aujourd'hui	10 m x 10 m	Rotation identique dans tous les systèmes. 2 niveaux de fertilisation (0,7 et 1,4 équivalent UGB). FYM ¹ , FYM ¹ composté avec les préparations BD ³ et MIN ² sont utilisés, selon le mode de culture.	Pfiffner and Mäder ¹⁹ ; Mäder et al. ¹³ ; Fließbach et al. ¹⁴
Darmstadt, Allemagne	L'essai MIN-BIO effectué à l'Institut pour la Recherche Biodynamique, la question de la fertilisation minérale vs. organique est étudiée.	1980 – aujourd'hui	5 m x 5 m	Rotation des cultures et travail du sol identiques dans toutes les modalités. Les apports d'azote (N) sont identiques, que ce soit par fertilisation MIN ² , FYM ¹ ou FYM ¹ composté avec l'ajout des préparations BD ³ .	Raup ²²
Bonn, Allemagne	Effet du compost traditionnel de FYM ¹ vs. deux types de composts de FYM ¹ avec préparations BD ³ + témoin	1993 – 2001	6 m x 10 m	Rotation de cultures et travail du sol identiques. FYM ¹ et FYM ¹ avec préparats BD ³ ont été utilisés à raison de 30 t.ha ⁻¹ .	Zaller et Köpke ¹⁶
Therwil, Suisse	Trois expérimentation avec des modalités sur les préparations BD ³ , le travail du sol et la fertilisation sont étudiées	2002 – aujourd'hui	12 m x 12 m	Rotation de culture identique dans toutes les modalités. Fertilisation avec FYM ¹ ou lisier à raison de 1,4 équivalent UGB	Berner et al. ⁵⁰

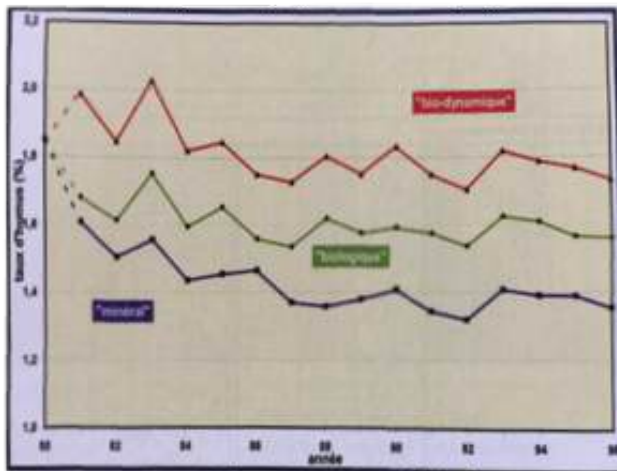
¹ FYM – Farm Yard Manure = fumier d'étable

² MIN – fertilisation minérale

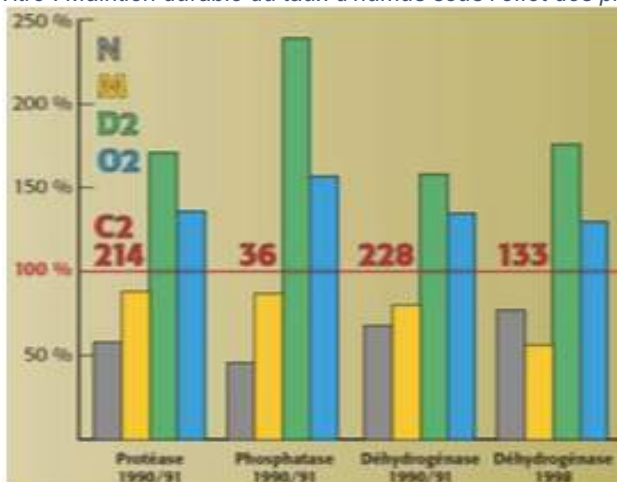
³ BD – biodynamique

Titre : Synthèse et caractéristiques des différents essais sur la méthode biodynamique (Turinek et al., 2009)

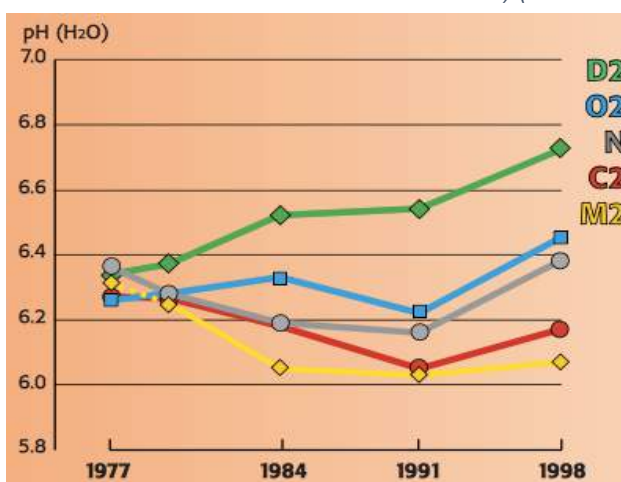
Annexe 16 : Influences des préparations biodynamiques sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (humus, activité microbienne, pH, stockage et répartition du carbone et stabilité des agrégats)



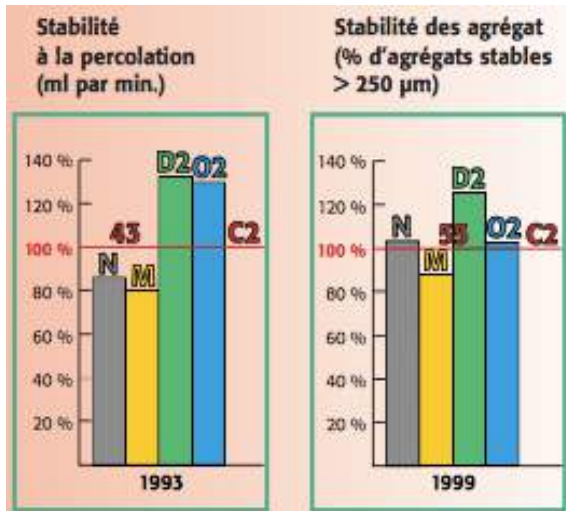
Titre : Maintien durable du taux d'humus sous l'effet des préparations biodynamiques (Bachinger, 1998)



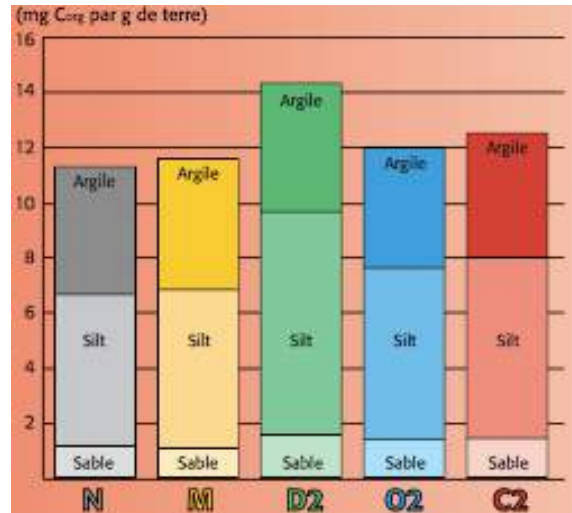
Titre : Activité des micro-organismes du sol (O = conduite biologique, D = conduite biodynamique, C et M = conduites conventionnelles et N = non fertilisée) (Fliessbach et al., 2001)



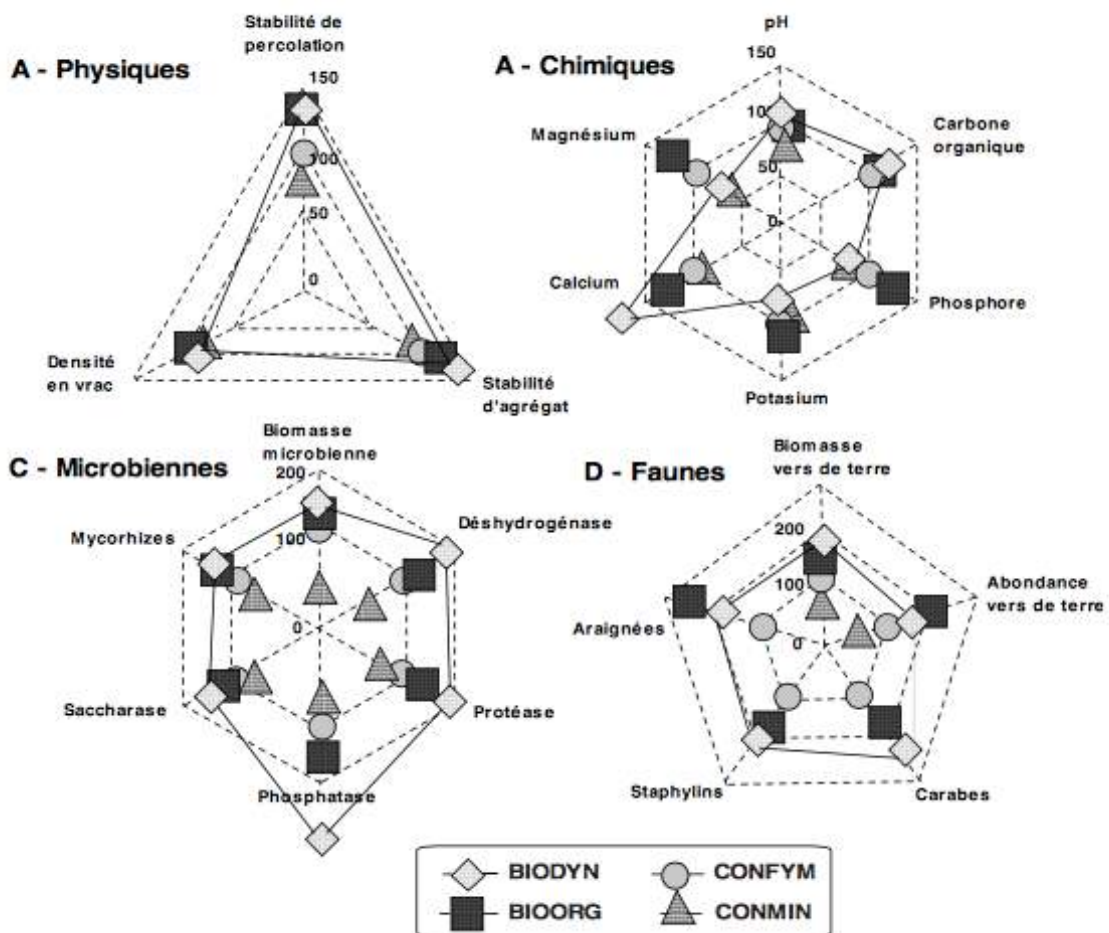
Titre : Acidité du sol (O = conduite biologique, D = conduite biodynamique, C et M = conduites conventionnelles et N = non fertilisée) (Fliessbach et al., 2001)



Titre : Stabilité à la percolation et des agrégats (O = conduite biologique, D = conduite biodynamique, C et M = conduites conventionnelles et N = non fertilisée) (Fließbach et al., 2001)

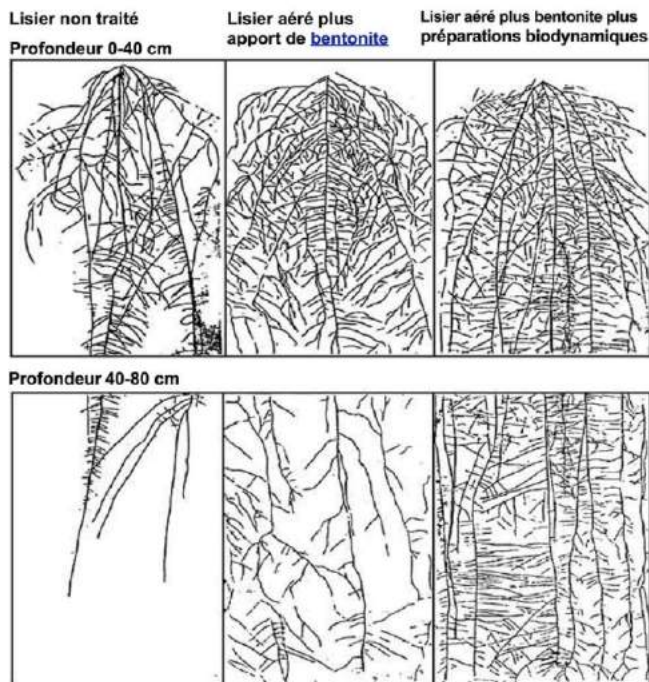


Titre : Répartition du carbone dans les fractions minérales du sol (O = conduite biologique, D = conduite biodynamique, C et M = conduites conventionnelles et N = non fertilisée) (Fließbach et al., 2001)



Titre : Propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (BIODYN = conduite biodynamique, BIOORG = conduite organique, CONFYM = conduite conventionnelle avec engrais minéraux et fumier, CONMIN = conduite conventionnelle avec engrais minéraux) (Mäder et al., 2002)

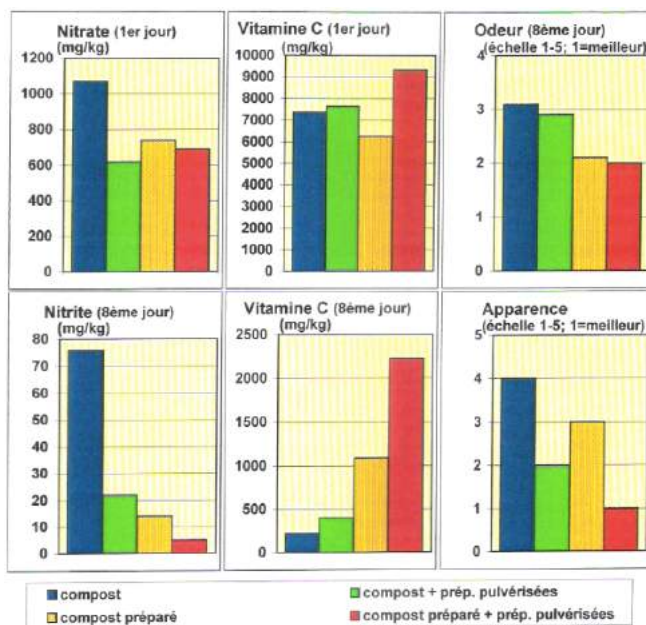
Annexe 17 : Influences des préparations biodynamiques sur la croissance des racines, la qualité et la conservation des aliments



Titre : Influence du lisier traité par les préparations biodynamiques sur la croissance des racines du haricot nain (Abele, 1978)



Titre : Témoin biologique à gauche et biodynamique à droite (2x500P et 1x501) (Zago, 2014)



Titre : Amélioration de la qualité alimentaire (nutritionnelle, conservation, etc.) de l'épinard sous l'effet des préparations biodynamiques (Elsaidi, 1982)

Annexe 18 : Localisation de la parcelle expérimentale à Prissé en Saône-et-Loire



Titre : Localisation de la parcelle expérimentale « Bonnode Nord » à Prissé en Saône-et-Loire

Annexe 19 : Aperçu de la parcelle expérimentale à Prissé en Saône-et-Loire



Titre : Parcelle expérimentale « Bonnode Nord » à Prissé en Saône-et-Loire

Annexe 20 : Différentes interventions sur la parcelle expérimentale

Date	Opération	Définition
8-12 mai	1 ^{er} ébourgeonnage	Suppression d'une partie des bourgeons ou rameaux indésirables
3-7 juillet	2 ^{ème} ébourgeonnage	
29 mai-2 juin	Mouchage	Suppression du rameau de l'extrémité de l'arcure
19 juin	Écimage	Suppression des extrémités des rameaux poussant vers le haut
3-7 juillet	1 ^{er} rognage	Suppression des extrémités des rameaux poussant vers les côtés
17-21 juillet	2 ^{ème} rognage	

Titre : Dates et opérations réalisées sur la parcelle expérimentale

Date	Produit	Quantité
10 mai	Bouillie bordelaise	1 kg/ha (200g Cu)
	Hélioterpen	5 l/ha
17 mai	Bouillie bordelaise	1 kg/ha (200g Cu)
	Héliosoufre	5 l/ha
24 mai	Bouillie bordelaise	1 kg (200g Cu)
	Héliosoufre	5 l/ha
2 juin	Bouillie bordelaise	1 kg/ha (200g Cu)
	Héliosoufre	6 l/ha
10 juin	Bouillie bordelaise	1 kg/ha (200g Cu)
	Microthiol	9 kg/ha
23 juin	Bouillie bordelaise	1 kg/ha (200g Cu)
	Microthiol	7 kg/ha
4 juillet	Bouillie bordelaise	0,5 kg/ha (100g Cu)
	Microthiol	10 kg/ha
Total	Bouillie bordelaise	6,5 kg/ha (200g Cu) ou 1,3 cuivre métal/ha
	Hélioterpen	5 l/ha
	Héliosoufre	16 l/ha
	Microthiol	26 kg/ha

Titre : Dates et traitements phytosanitaires réalisés sur la parcelle expérimentale

Annexe 21 : Dates et conditions d'applications de la préparation silice de corne sur la parcelle expérimentale

Modalité	Nombre de traitement	Date	Stade Baggiolini (BBCH)	Situation cosmique	Conditions météorologiques		
					Température (°C)	Vent (km/h)	Humidité (%)
Témoïn (T)	3	26 mai 2017	Stade G (BBCH 55)	Lune croissante et ascendante/ Périégée/ Jour racine	14	0	90
		29 juin 2017	Stade L (BBCH 77)	Lune croissante et descendante/ Jour fruit	13	20	92
		29 septembre 2017	Stade O (BBCH 89)	Lune croissante et descendante/ Jour fruit	14	5	73
Vigneronne (V)	5	16 mai 2017	Stade G (BBCH 55)	Lune croissante et ascendante/ Jour fruit	13	10	89
		26 mai 2017	Stade G (BBCH 55)	Lune croissante et ascendante/ Périégée/ Jour racine	14	0	90
		12 juin 2017	Stade J (BBCH 71)	Lune décroissante et ascendante/ Jour fruit	18	5	94
		29 juin 2017	Stade L (BBCH 77)	Lune croissante et descendante/ Jour fruit	13	20	92
		16 août 2017	Stade M (BBCH 83-85)	Lune décroissante et ascendante/ Opposition Lune-Saturne/ Jour racine	16	5	97
Avant Fleur (AF)	3	16 mai 2017	Stade G (BBCH 55)	Lune croissante et ascendante/ Jour fruit	13	10	89
		26 mai 2017	Stade G (BBCH 55)	Lune croissante et ascendante/ Périégée/ Jour racine	14	0	90
		1 ^{er} Juin 2017	Stade H (BBCH 57)	Lune croissante et descendante/ Jour fruit	18	5	85
Entre Fleur et Vendange (EFV)	3	12 juin 2017	Stade J (BBCH 71)	Lune décroissante et ascendante/ Jour fruit	18	5	94
		29 juin 2017	Stade L (BBCH 77)	Lune croissante et descendante/ Jour fruit	13	20	92
		16 août 2017	Stade M (BBCH 83-85)	Lune décroissante et ascendante/ Opposition Lune-Saturne/ Jour racine	16	5	97
Après Vendange (AV)	3	19 septembre 2017	Stade O (BBCH 89)	Lune décroissante et descendante/ Jour fruit	6	5	96
		29 septembre 2017	Stade O (BBCH 89)	Lune croissante et descendante/ Jour fruit	14	5	73
		26 octobre 2017	Stade O (BBCH 89)	Lune décroissante et descendante/ Jour fruit	14	5	97

Titre : Dates et traitements biodynamiques réalisés sur la parcelle expérimentale (Meteociel, 2017)

Eco-Dyn

D37 - Dynamiseur 37 litres



Construction

Châssis en acier galvanisé avec une cuve en cuivre d'un contenu d'environ 60 litres (capacité utile 30 à 40 litres). Les pales du dynamiseur sont en cuivre et le fond de la cuve est bombé pour garantir un vortex optimal. Le fait que le moteur se trouve sur le côté, et non pas sous la cuve, laisse le fond de cette dernière parfaitement accessible pour l'installation d'un chauffage éventuel.

Pour faciliter son déplacement le dynamiseur est monté avec deux roues de diamètre 200 mm.

Fonctionnement

Les pales en cuivre tournent à une vitesse d'environ 150 tours minute. Un temps de rotation de 10 à 12 secondes est suivi d'un arrêt de 1 à 2 secondes. Le démarrage dans le sens opposé est assez brusque pour obtenir un bon chaos (passage du Cours aux agriculteurs sur la dynamisation : *"on inverse rapidement le sens de rotation, pour que le tout bouillonne vers le côté opposé"*). L'inversion du vortex ainsi que le réglage des temps de rotation et d'arrêt se font à partir d'une sonde à niveau [Dynamisation](#) (hauteur du vortex) permettant à la machine de trouver son propre rythme qui, au cours du brassage, évolue avec le changement de la qualité de l'eau.



Vidange Par une vanne 26/34 permettant une vidange en 2 à 3 minutes.

Transmission Par poulies Poly-V.

Moteur 230V /50 Hz monophasé (220V/60Hz en option).

Dimensions 0,80x0,55 x 1,10 m (lpxh) ; poids : 50 kg
volume de la cuve : 60 litres - volume dynamisé : 30 à 40 litres.

Ecodyn - Vernoux - F-49370 - Bécon les Granits

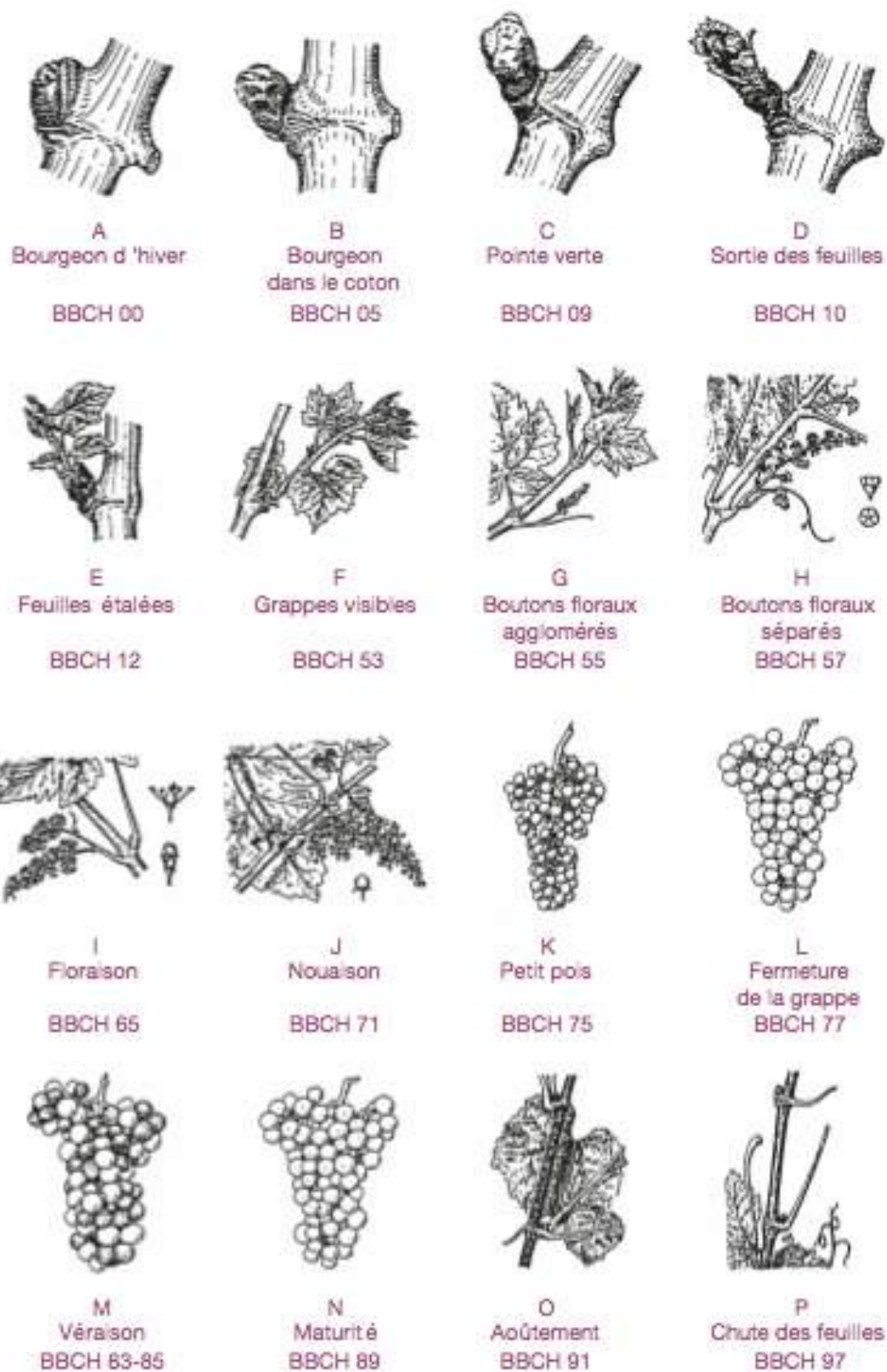
Tél 02 40 83 39 75 Fax 001 815-642-8257 contact@ecodyn.fr www.ecodyn.fr

Annexe 23 : Pulvérisation manuelle de la silice de corne et protection des rangs voisins lors de l'expérimentation



Titre : Protection des rangs voisin avec une bâche et pulvérisation manuelle de la silice de corne

Annexe 24 : Stades phénologiques repères de la vigne selon Baggiolini (en lettres) et selon la classification internationale (BBCH)



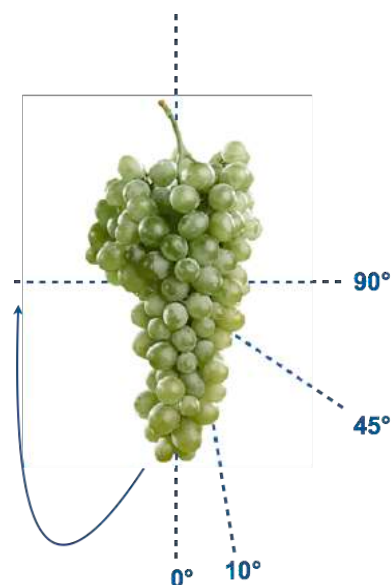
Titre : Les stades phénologiques repères de la vigne selon Baggiolini (en lettres) et selon la classification internationale (BBCH) (Reynier, 2016)

Annexe 25 : Classes utilisées pour les mesures expérimentales sur la phénologie et physiologie de la vigne

Classe	Pourcentage de fleurs ouvertes (%) par inflorescence
1	0 – 10 %
2	11 – 30 %
3	31 – 50 %
4	51 – 80 %
5	> 80 %

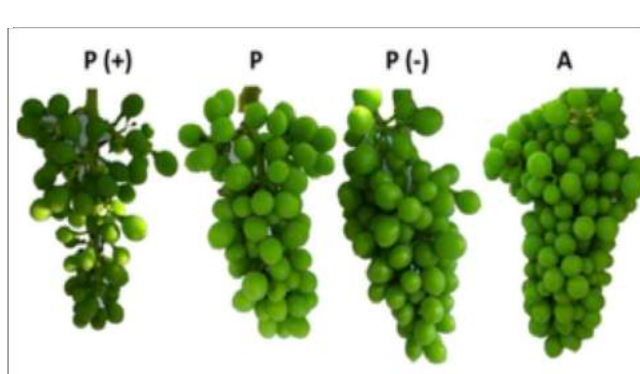
Titre : Classes pour la mesure de la floraison (Destrac, 2014)

Classe	Description
1	Grappe très lâche et très peu serrée, les baies ne se touchent pas ; L'angle de courbure est supérieur à 90°
2	Grappe lâche et peu serrée, les baies se touchent ; L'angle de courbure est entre 45 et 90°
3	Grappe avec une forte structure (ou souple), les baies peuvent être encore mobiles ; L'angle de courbure est entre 10 et 45°
4	Grappe compacte, les baies ne sont ni mobiles ni déformées ; L'angle de courbure entre 0 et 10°
5	Grappe très compacte, les baies ne sont pas mobiles mais déformées par les baies voisines ; La courbure est impossible



Titre : Classes pour la mesure de la compacité de la grappe et ses différentes torsions

Classe	Description
A	Absence
P (-)	Présence visible mais pas d'impact sur la structure de la grappe
P	Présence associée à une structure de la grappe plus lâche
P (+)	Présence très associée à une structure de la grappe beaucoup plus lâche



Titre : Classes pour la mesure de la coulure (Abarzúa, 2015)

Annexe 26 : Mesures expérimentales sur la physiologie de la vigne



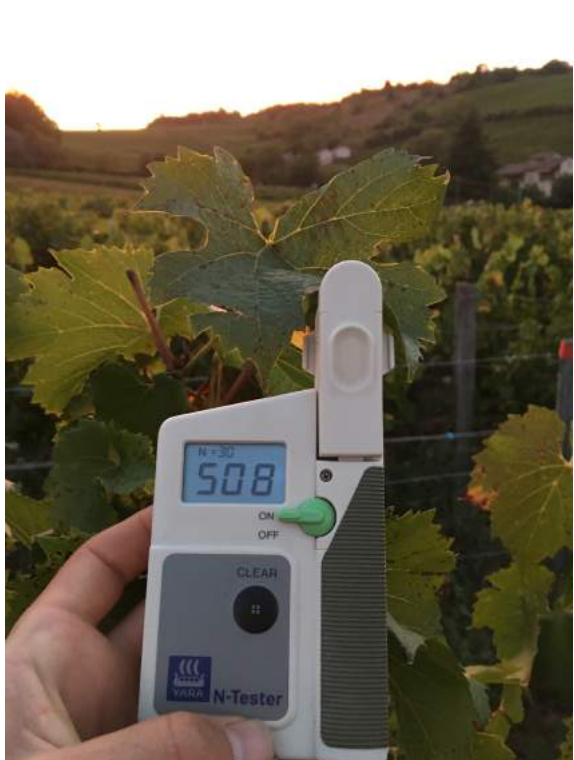
Titre : Marquages et mesure de la croissance du rameau primaire



Titre : Mesure de la longueur du rameau anticipé ou entre-cœur



Titre : Mesure du nombre de mérithalles ou entre-nœuds



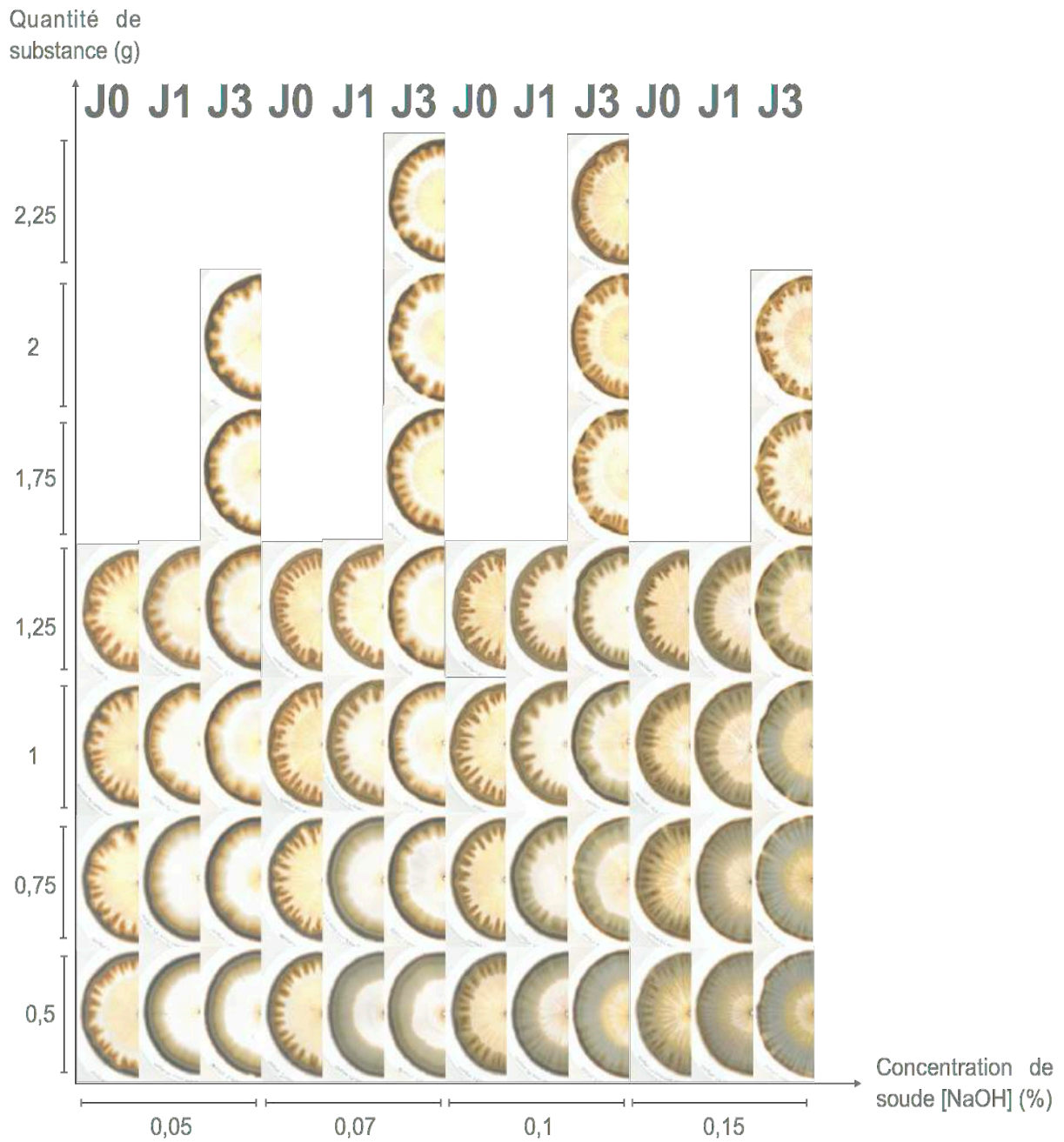
Titre : Mesure de l'indice chlorophyllien (N-Tester) sur feuilles jeunes

Annexe 27 : Application de la méthode du point quadrat dans la parcelle expérimentale



Titre : Méthode du point cadrat : positionnement et insertion

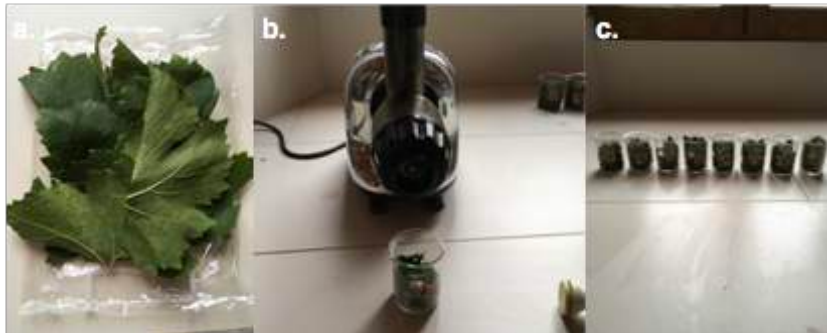
Annexe 28 : Morphochromatographies appliquées aux feuilles de vigne, travail de méthodologie basé sur la quantité de substance (g), la concentration de soude (%) et l'évolution dans le temps (J0, J1 et J3)



Titre : Matrice de morphochromatographies appliquée aux feuilles de vigne

Étape 1 : Préparation et conservation des échantillons

- ⇒ Prélever les feuilles de vigne puis les transporter rapidement jusqu'au laboratoire
- ⇒ Enlever la nervure centrale de la feuille à l'aide d'un ciseau propre
- ⇒ Découper finement les feuilles puis les passer dans un extracteur à jus
- ⇒ Placer les broyats obtenus dans des béchers (80 ml) numérotés
- ⇒ Recouvrir les béchers de Parafilm®
- ⇒ Conserver les échantillons (broyats) au réfrigérateur



Titre : Feuilles sans la nervure centrale (a.), broyage dans l'extracteur (b.) et « broyats » à analyser

Étape 2 : Préparation des solutions de soude (NaOH) et de nitrate d'argent (AgNO₃)

- ⇒ Préparer la solution de soude (NaOH) à 0,1% en mélangeant 1 g de cristaux dans 1000 ml d'eau distillée
- ⇒ Préparer la solution de nitrate d'argent (AgNO₃) à 0,5% en mélangeant 1 g de cristaux dans 200 ml et dans l'obscurité afin d'éviter l'exposition à la lumière directe



Titre : Cristaux (a.) et solution de NaOH (b.), cristaux d'AgNO₃ (c.) et solution de AgNO₃ (d.)

Étape 3 : Préparation des solutions à analyser

- ⇒ Peser 0,75 g et 1,5 g de chaque broyat obtenu à l'aide d'une balance
- ⇒ Introduire les quantités de broyat pesées dans des béchers (80 ml) numérotés
- ⇒ Ajouter et mélanger respectivement 49,25 ml et 48,5 ml de la solution de soude à 0,1% pour atteindre le volume total de 50 ml



Titre : Les solutions à analyser composées de pestos de feuilles et de soude

Étape 4 : Agitation des solutions à analyser

- ⇒ Agiter mécaniquement les solutions à analyser (vitesse 240) pendant 10 minutes pour une bonne extraction de la substance
- ⇒ Laisser décanter pendant 3h pour laisser reposer les solutions



Titre : Agitation mécanique des solutions à analyser

Étape 5 : Préparation des disques/mèches

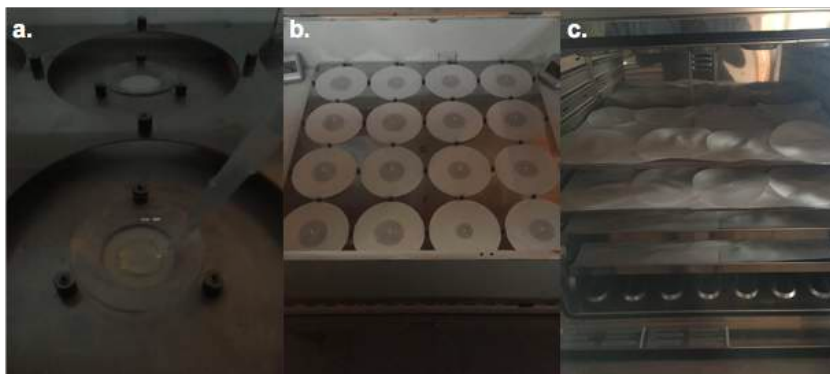
- ⇒ Perforer des disques de papier W1 (Wattman 1) à 5 endroits en les manipulant soigneusement par les bords :
 - 1 trou au centre
 - 2 trous à 4 cm du centre
 - 2 trous à 6 cm du centre
- ⇒ Réaliser des mèches à partir du papier W1 pour permettre la migration du nitrate d'argent et de la solution à analyser :
 - Découper le papier W1 sous forme d'un rectangle 2 cm x 3 cm
 - Rouler les rectangles à l'aide d'une aiguille



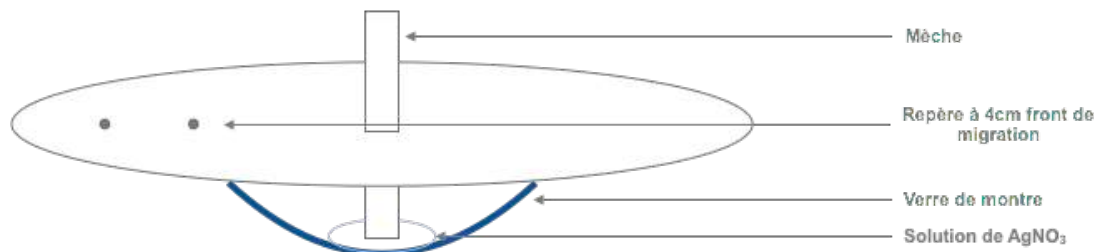
Titre : Préparation et perforation des disques de W1 (a.), découpage sous forme de rectangle (b.), « roulage » (c.) et disposition des mèches (d.)

Étape 6 : Migration du nitrate d'argent (AgNO_3)

- ⇒ Prélever un volume de 0,6 ml de la solution de nitrate d'argent à 0,5% à l'aide d'une propipette
- ⇒ Déposer ce volume dans chaque verre de montre
- ⇒ Insérer les mèches dans le trou au centre du disque en pratiquant un mouvement de rotation par le dessus : les mèches doivent dépasser d'environ 1/3 au-dessus et 2/3 au-dessous
- ⇒ Déposer les disques dans l'enceinte et mettre les mèches en contact avec le nitrate d'argent présent dans chaque verre de montre
- ⇒ Retirer les disques et les mèches à l'aide d'une pince lorsque la migration est à environ 1mm avant le premier trou (qui se trouve à 4 cm du centre)
- ⇒ Sécher les disques à plat dans une étuve pendant 20 à 30 minutes



Titre : Dépôt du nitrate d'argent dans les verres de montre (a.), migration du nitrate d'argent sur les disques (b.) et séchage dans l'étuve (c.)



Titre : Disposition et caractéristiques du disque sur le verre de montre lors de la migration du nitrate d'argent (AgNO_3)

Étape 7 : Préparation de l'enceinte

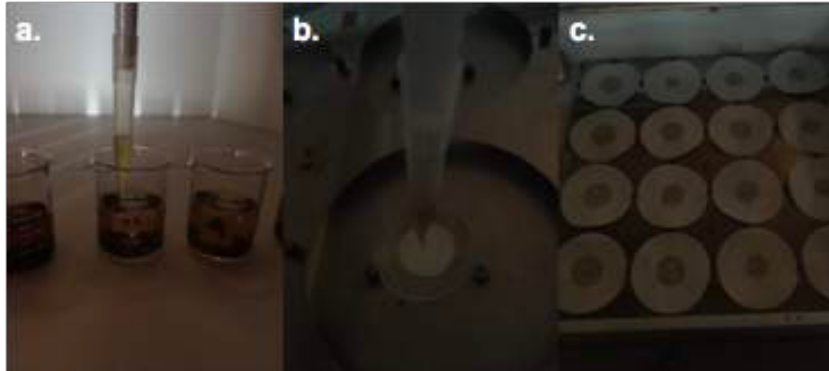
- ⇒ Placer 3 bacs d'eau chaude, environ avant 1h avant la migration des solutions à analyser dans l'enceinte afin d'assurer une température (21°C) et une humidité (90%) constantes



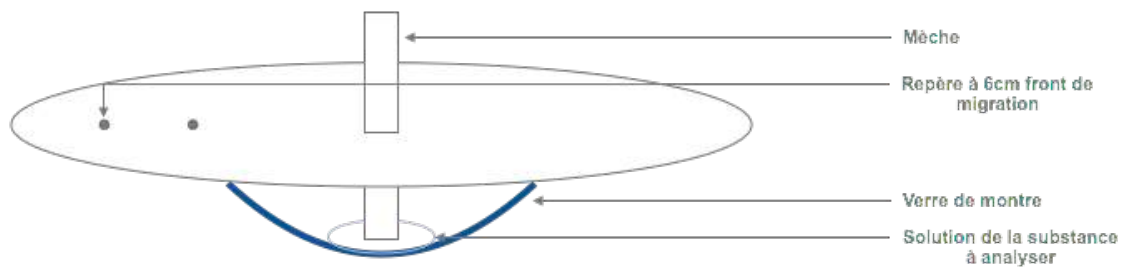
Titre : Préparation de l'enceinte avec l'introduction de trois bacs d'eau chaude

Étape 8 : Migration des solutions à analyser sur les disques imprégnés de nitrate d'argent

- ⇒ Prélever un volume de 2 ml des solutions à analyser à l'aide d'une propipette
- ⇒ Déposer ces volumes dans chaque verre de montre
- ⇒ Déposer les disques imprégnés de nitrate d'argent et séchés dans l'enceinte et mettre les mèches en contact avec les solutions à analyser dans les verres de montre
- ⇒ Retirer les disques à l'aide d'une pince lorsque la migration est à environ 1 mm avant le deuxième trou (6 cm du centre)



Titre : Prélèvement du surnageant de la solution à analyser (a.), dépôt dans le verre de montre (b.) et migrations sur les disques (c.)



Titre : Disposition et caractéristiques du disque sur le verre de montre lors de la migration de la solution à analyser

Étape 9 : Révélation du disque

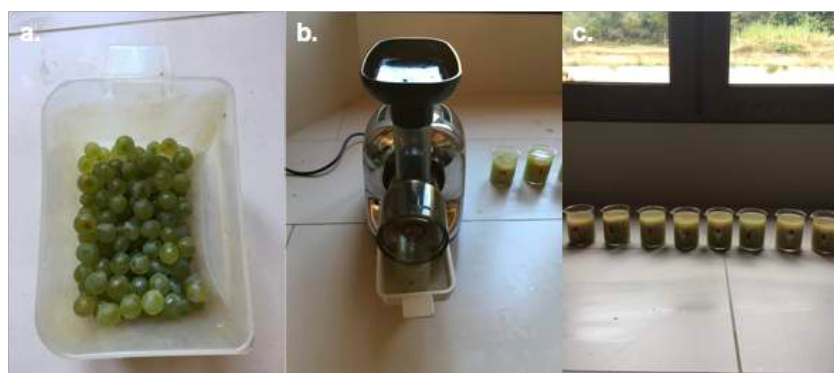
- ⇒ Révéler les disques dans un révélateur U.V (Ultra-Violet) : 5 minutes de chaque côté
- ⇒ Laisser les disques reposer pendant 2 jours
- ⇒ Scanner les morphochromatographies



Titre : Révélation des disques dans le révélateur U.V

Étape 1 : Préparation et conservation des échantillons

- ⇒ Prélever les grappes et les transporter rapidement jusqu'au laboratoire
- ⇒ Séparer les baies de la rafle puis passer les baies dans un extracteur à jus
- ⇒ Placer les jus de raisins obtenus dans des béchers (80ml) numérotés
- ⇒ Recouvrir les béchers de Parafilm®
- ⇒ Conserver les échantillons (jus de raisins) au réfrigérateur



Titre : Baies de raisins (a.), extracteur à jus (b.) et jus à analyser (c.)

Étape 2 : Préparation des solutions de soude (NaOH) et de nitrate d'argent (AgNO₃)

- ⇒ Préparer de la solution de soude (NaOH) à 0,4% en mélangeant 4 g de cristaux dans 1000 ml d'eau distillée
- ⇒ Préparer la solution de nitrate d'argent (AgNO₃) à 0,5% en mélangeant 1 g de cristaux dans 200 ml et dans l'obscurité afin d'éviter l'exposition à la lumière directe



Titre : Cristaux (a.) et solution de NaOH (b.), cristaux d'AgNO₃ (c.) et solution de AgNO₃ (d.)

Étape 3 : Préparation des solutions à analyser

- ⇒ Prélever des volumes de 0,175 ml et 0,225 ml de chaque jus de raisins obtenu à l'aide d'une propipette
- ⇒ Introduire les volumes dans des béchers (25 ml) numérotés
- ⇒ Ajouter et mélanger respectivement 0,675 ml et 0,625 ml d'eau distillée
- ⇒ Ajouter un volume de 0,400 ml de la solution de soude à 0,4% pour atteindre un volume total de 1,25 ml



Titre : Les solutions à analyser composées de jus de raisins, d'eau distillé et de soude

Étape 4 : Agitation des solutions à analyser

- ⇒ Remuer manuellement les solutions à analyser pour une bonne homogénéisation
- ⇒ Laisser décanter pendant 1h pour laisser reposer les solutions

Étape 5 : Préparation des disques/mèches

⇒ Perforer des disques de papier W1 (Wattman 1) à 5 endroits en les manipulant soigneusement par les bords :

- 1 trou au centre
- 2 trous à 4 cm du centre
- 2 trous à 6 cm du centre

⇒ Réaliser des mèches à partir du papier W1 pour permettre la migration du nitrate d'argent et de la solution à analyser :

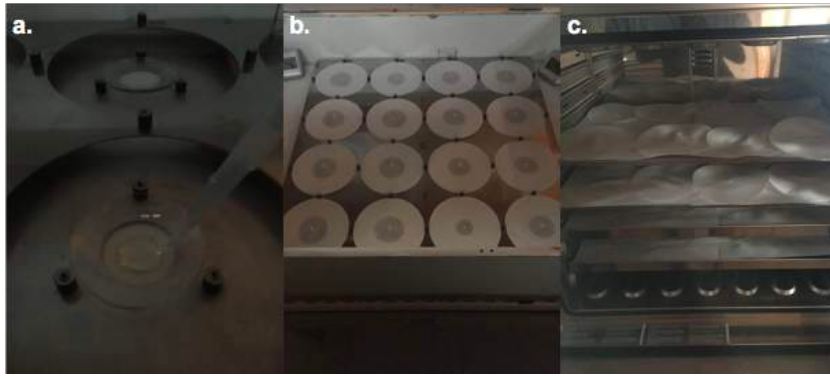
- Découper le papier W1 sous forme d'un rectangle 2 cm x 3 cm
- Rouler les rectangles à l'aide d'une aiguille



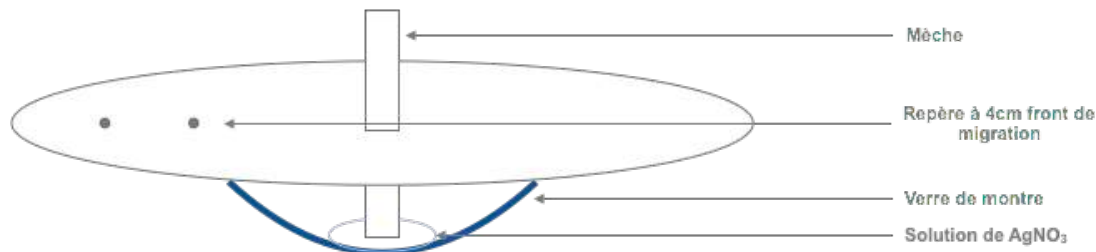
Titre : Préparation et perforation des disques de W1 (a.), découpage sous forme de rectangle (b.), « roulage » (c.) et disposition des mèches (d.)

Étape 6 : Migration du nitrate d'argent (AgNO_3)

- ⇒ Prélever un volume de 0,6 ml de la solution de nitrate d'argent à 0,5% à l'aide d'une propipette
- ⇒ Déposer ce volume dans chaque verre de montre
- ⇒ Insérer les mèches dans le trou au centre du disque en pratiquant un mouvement de rotation par le dessus : les mèches doivent dépasser d'environ 1/3 au-dessus et 2/3 au-dessous
- ⇒ Déposer les disques dans l'enceinte et mettre les mèches en contact avec le nitrate d'argent présent dans chaque verre de montre
- ⇒ Retirer les disques et les mèches à l'aide d'une pince lorsque la migration est à environ 1mm avant le premier trou (qui se trouve à 4 cm du centre)
- ⇒ Sécher les disques à plat dans une étuve pendant 20 à 30 minutes



Titre : Dépôt du nitrate d'argent dans les verres de montre (a.), migration du nitrate d'argent sur les disques (b.) et séchage dans l'étuve (c.)



Titre : Disposition et caractéristiques du disque sur le verre de montre lors de la migration du nitrate d'argent (AgNO_3)

Étape 7 : Préparation de l'enceinte

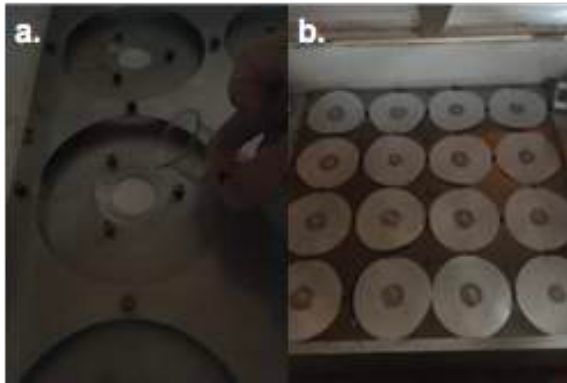
⇒ Placer 3 bacs d'eau chaude, environ avant 1h avant la migration des solutions à analyser dans l'enceinte afin d'assurer une température (21°C) et une humidité (90%) constantes



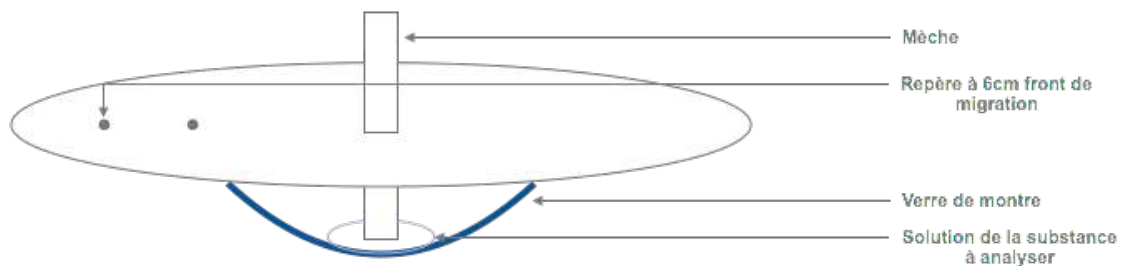
Titre : Préparation de l'enceinte avec l'introduction de trois bacs d'eau chaude

Étape 8 : Migration des solutions à analyser sur les disques imprégnés de nitrate d'argent

- ⇒ Déposer la totalité des volumes des solutions à analyser (1,25 ml) dans chaque verre de montre
- ⇒ Déposer les disques imprégnés de nitrate d'argent et séchés dans l'enceinte et mettre les mèches en contact avec les solutions à analyser dans les verres de montre
- ⇒ Retirer les disques à l'aide d'une pince lorsque la migration est à environ 1 mm avant le deuxième trou (6 cm du centre)



Titre : Dépôt de la solution à analyser dans le verre de montre (b.) et migrations sur les disques (b.)



Titre : Disposition et caractéristiques du disque sur le verre de montre lors de la migration de la solution à analyser

Étape 9 : Révélation des disques

- ⇒ Révéler et stabiliser les images dans un révélateur U.V (Ultra-Violet) : 5 minutes de chaque côté
- ⇒ Laisser les disques reposer pendant 2 jours
- ⇒ Scanner les morphochromatographies



Titre : Révélation des disques dans le révélateur U.V

Annexe 31 : Méthode des morphochromatographies appliquée aux feuilles de vigne et images obtenues à partir de 0,75 g à J0 pour les modalités T, V, AF et EFV

Feuilles de vigne (0,75 g) – J0								
	1 (T 3-4)	2 (V 1-2)	3 (V 3-4)	4 (AF 1-2)	5 (T 1-2)	6 (EFV 1-2)	7 (AF 3-4)	8 (EFV 3-4)
1 (T 3-4)					T		JO	JO
2 (V 1-2)			V		JO	JO		
3 (V 3-4)								JO JO
4 (AF 1-2)					JO	JO	AF	
5 (T 1-2)								
6 (EFV 1-2)								EFV
7 (AF 3-4)								
8 (EFV 3-4)								

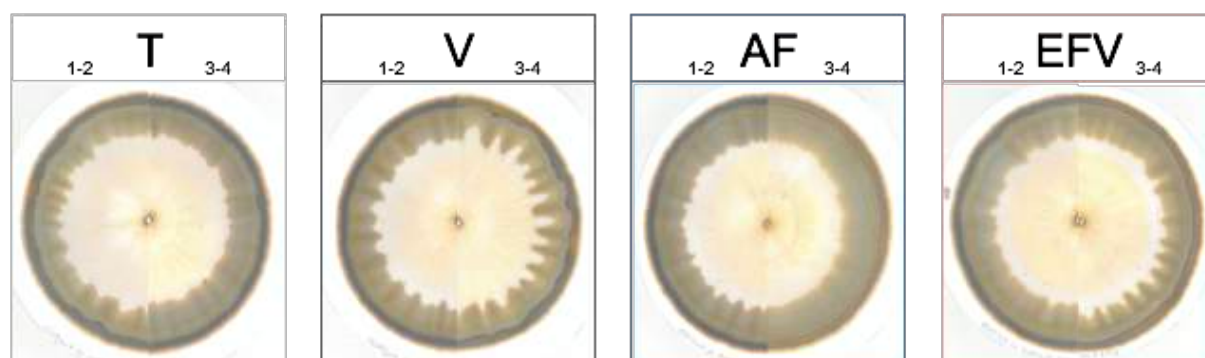
Observateur 1 = JO

Observateur 2 = JO

Total observateur 1 = 0/4

Total observateur 2 = 0/4

Titre : Tableau d'association (deux observateurs) des répétitions de chaque modalité pour les feuilles de vigne (0,75 g - J0) et les modalités T, V, AF et EFV



Titre : Morphochromatographies obtenues à partir de 0,75 g de broyat de feuilles de vigne pour les répétitions 1-2 et 3-4 des modalités T, V, AF et EFV

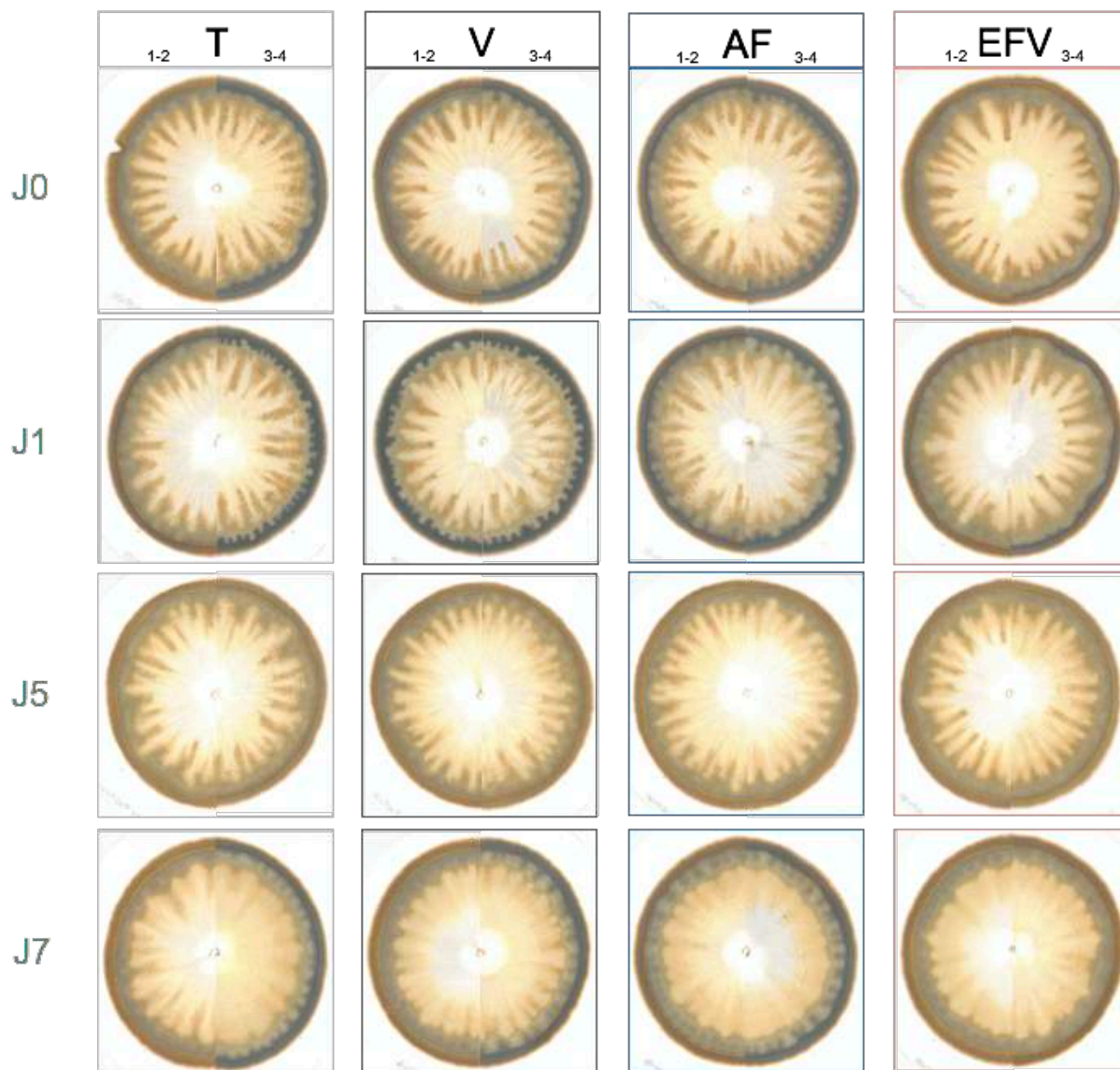
Annexe 32 : Méthode des morphochromatographies appliquée aux jus de raisins et images obtenues à partir de 0,175 ml à J0, J1, J5 et J7 pour les modalités T, V, AF et EFV

Jus de raisins (0,175 ml) – J0, J1, J5 et J7								
	1 (AF 1-2)	2 (T 3-4)	3 (V 3-4)	4 (V 1-2)	5 (EFV 3-4)	6 (AF 3-4)	7 (T 1-2)	8 (EFV 1-2)
1 (AF 1-2)	J7		J0/J1 J1 J5	J0	J5	AF		J7
2 (T 3-4)				J1	J7	J0 J0/J1	T J5	J5
3 (V 3-4)				V J0/J7	J0	J5 J7	J7	
4 (V 1-2)							J7 J1 J5 J7	J0/J5
5 (EFV 3-4)						J1/J7 J5	J0	EFV J1
6 (AF 3-4)								
7 (T 1-2)								J1 J0
8 (EFV 1-2)								

Observateur 1 = J0, J1, J5 et J7
Total observateur 1 = 1/16

Observateur 2 = J0, J1, J5 et J7
Total observateur 2 = 1/16

Titre : Tableau de réassociation des répétitions de chaque modalité à partir des jus de raisins (0,175 ml - J0, J1, J5 et J7) pour les modalités T, V, AF et EFV



Titre : Morphochromatographies obtenues à partir de 0,175 ml de jus de raisins pour les répétitions 1-2 et 3-4 à J0, J1, J5 et J7 pour les modalités T, V, AF et EFV

Annexe 33 : Cartographie des pieds de vigne marqués et mesurés pour la croissance du rameau primaire, le nombre de mérithalles (entre-nœuds) et la longueur des rameaux anticipés (entre-cœurs) en 2017

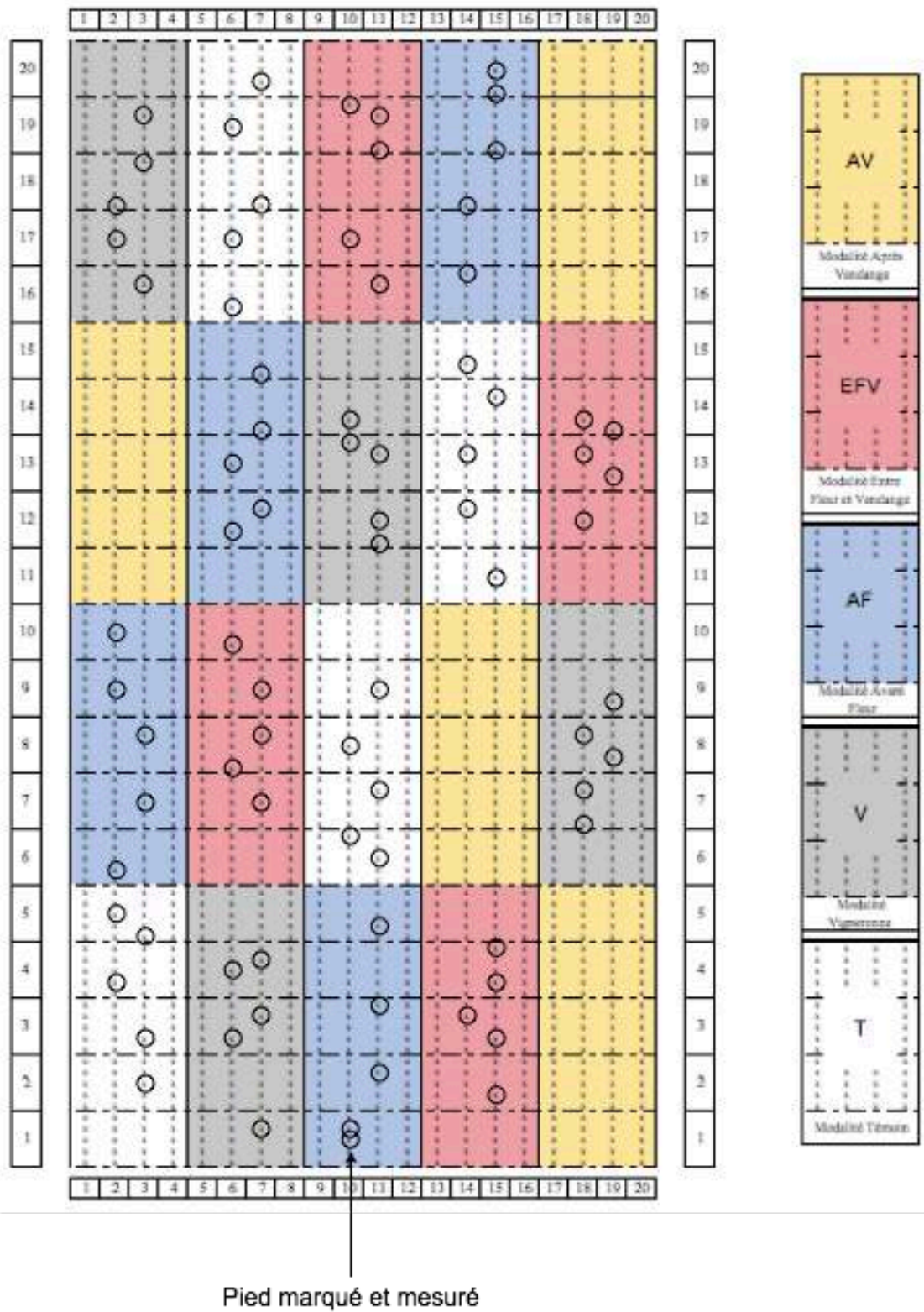


Table des figures

Figure 1 : La préparation biodynamique bouse de corne 500 après sa maturation dans le sol d'hiver (a.) et le stockage des préparations 500 ou 500P dans des caisses de conservation (b.) (Masson, 2015).....	4
Figure 2 : La préparation biodynamique silice de corne 501 avant sa maturation dans le sol d'été (a.) et son stockage dans un bocal en verre (b.) (M.A.B.D, 2014 ; Masson, 2017).....	5
Figure 3 : Formation du vortex (a.) et du chaos (b.) dans un dynamiseur mécanique en cuivre (Eco-Dyn, 2014)	7
Figure 4 : Logos de la marque internationale Demeter-France (Demeter-France, 2017)	10
Figure 5 : Logo de la marque Biodyvin (Biodyvin, 2017).....	10
Figure 6 : Amélioration de la nutrition minérale (riz) et accumulation silicatée dans les parois de l'endoderme (blé) dans des milieux de culture enrichis (acide ortho-silicique) (1.b et 2.b) par rapport à des milieux non enrichies (1.a et 2.a) (Bouzoubaâ, 1991)	12
Figure 7 : Influences de la silice de corne sur la longueur des rameaux et l'indice chlorophyllien (Meunier et al., 2013)	13
Figure 8 : Dispositif expérimental : modalités et répétitions au sein de la parcelle	15
Figure 9 : Préparation silice de corne (a.), dynamiseur mécanique (b.), pulvérisateur à dos (c.) et buse réglable (d.).....	16
Figure 10 : Floraison et pourcentage moyen de fleurs ouvertes (%) pour les modalités T, V et AF	20
Figure 11 : Floraison et pourcentage moyen de fleurs ouvertes par inflorescence (%) avec 5 classes pour les modalités T, V et AF	20
Figure 12 : Moyenne hebdomadaire de la croissance du rameau primaire (cm) du 26/04 au 31/05 pour les modalités T, V et AF	21
Figure 13 : Moyenne du nombre de mérithalles pour les modalités T, V et AF	22
Figure 14 : Moyenne de la longueur du rameau anticipé (entre-cœur) pour les modalités T, V, AF et EFV	22
Figure 15 : Moyenne de l'indice chlorophyllien (N-tester) sur feuilles jeunes à trois stades (nouaison, véraison et vendange) pour les modalités T, V, AF et EFV.....	23
Figure 16 : Moyenne de l'indice chlorophyllien (N-tester) sur feuilles adultes à trois stades (nouaison, véraison et vendange) pour les modalités T, V, AF et EFV.....	24
Figure 17 : Moyenne, pourcentage (%) et nature du point d'intersection pour les modalités T, V, AF et EFV.....	24
Figure 18 : Moyenne du nombre de grappes par pied pour les modalités T, V, AF et EFV.....	25
Figure 19 : Moyenne du poids de la grappe (g) pour les modalités T, V, AF et EFV	25
Figure 20 : Moyenne et pourcentage de la compacité de la grappe (%) avec 5 classes pour les modalités T, V, AF et EFV	26
Figure 21 : Moyenne et pourcentage moyen de la compacité de la grappe (%) pour les modalités T, V, AF et EFV	26
Figure 22 : Moyenne du taux de sucre dans la baie (°Bx) pour les modalités T, V, AF et EFV	27
Figure 23 : Moyenne et pourcentage de la coulure (%) avec 5 classes pour les modalités T, V, AF et EFV	27
Figure 24 : Morphochromatographies obtenues à partir de 1,25 g de broyat de feuilles de vigne pour les répétitions 1-2 et 3-4 à J0, J1 et J3 pour les modalités T, V, AF et EFV	29
Figure 25 : Morphochromatographies obtenues à partir de 0,225 ml de jus de raisins pour les répétitions 1-2 et 3-4 à J0, J1, J5 et J7 pour les modalités T, V, AF et EFV	30

Table des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques techniques de la parcelle expérimentale	14
Tableau 2 : Description des modalités de l'expérimentation	15
Tableau 3 : Tableau d'association (deux observateurs) des répétitions de chaque modalité pour les feuilles de vigne (1,25 g - J0, J1, J3) et les modalités T, V, AF et EFV.....	28
Tableau 4 : Tableau d'association (deux observateurs) des répétitions de chaque modalité pour les jus de raisins (0,225 ml - J0, J1, J5 et J7) et les modalités T, V, AF et EFV	29

Liste des sigles et abréviations

A.B	Agriculture biologique
AF	Avant Fleur
A.O.C	Appellation d'origine contrôlée
A.R.P-B.D	Association pour la Recherche sur les Préparations BioDynamiques
AV	Après Vendange
BBCH	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt et Chemische Industrie
B.D.S	BioDynamie Services
D.M.S	Degrés Minutes et Secondes
D.O.C	BioDynamique/Organo-biologique/ Conventionnel
Dr.	Docteur
D 37	Dynamiseur 37 litres
EFV	Entre Fleur et Vendange
etc.	Et cætera
FE	Feuille externe
FI	Feuille interne
G	Grappe
g	Gramme
ha	Hectare
hl	Hectolitre
km/h	Kilomètre heure
l	Litre
m	Mètre
m ²	Mètre carré
m ³	Mètre cube
M.A.B.D	Mouvement de l'agriculture biodynamique
mg	Milligramme
O.G.M	Organisme Génétiquement Modifié
pH	Potentiel hydrogène
S	Soufre
S.A.R.L	Société À Responsabilité Limitée
SCIC	Société Coopérative d'Intérêt Collectif
SO ₂	Dioxyde de soufre
T	Trou
T	Témoin
U.V	Ultra-Violet
V	Vigneronne
W1	Wattman 1
W4	Wattman 4
°C	Degré Celsius
°Bx	Degré Brix
%	Pour cent
500	Bourse de corne
500P	Bourse de corne préparée

501	Silice de corne
502	Achillée millefeuille
503	Camomille
504	Ortie
505	Écorce de chêne
506	Pissenlit
507	Valériane