



HAL
open science

Impact de l'environnement et des pratiques agronomiques sur la biomasse de la vigne et conséquences sur la production

Léa Manceau

► **To cite this version:**

Léa Manceau. Impact de l'environnement et des pratiques agronomiques sur la biomasse de la vigne et conséquences sur la production. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01872765

HAL Id: dumas-01872765

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01872765>

Submitted on 12 Sep 2018

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

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

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

option : Viticulture Œnologie

parcours : Vigne et Vin

Impact de l'environnement et des pratiques agronomiques sur la biomasse de la vigne et conséquences sur la production.

par

Léa MANCEAU

Année de soutenance : 2017

Organisme d'accueil : Maison Veuve Clicquot Ponsardin



LEA MANCEAU – DIPLOME D'INGENIEUR AGRONOME – 2017

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

option : Viticulture Œnologie

parcours : Vigne et Vin

Impact de l'environnement et des pratiques agronomiques sur la biomasse de la vigne et conséquences sur la production.

par

Léa MANCEAU

Mémoire préparé sous la direction de :

Monsieur Jean-Michel BOURSIQUOT

Madame Elisa MARGUERIT

Organisme d'accueil :

Veuve Clicquot Ponsardin

Maître de stage :

Margot MONCOMBLE

Présenté le : 09/11/2017



LEA MANCEAU – DIPLOME D'INGENIEUR AGRONOME – 2017

Remerciements

Mes remerciements vont avant tout à Margot Moncomble, mon maître de stage durant ces six mois sur le vignoble Clicquot, pour sa disponibilité, sa réactivité et ses précieux conseils ; pour avoir réussi l'exploit de me faire aimer les statistiques et m'avoir donnée l'opportunité de travailler sur différents projets, tous passionnants. Je la remercie en fait simplement pour son rôle de maître de stage qu'elle a rempli à la perfection.

Je remercie également très sincèrement Romain Le Guillou, Directeur du Vignoble Veuve Clicquot, pour m'avoir accueillie au sein de l'équipe du vignoble et m'avoir permis de travailler dans d'aussi bonnes conditions. Je le remercie également pour ses conseils toujours bien avisés et ses remarques pertinentes qui m'ont toujours faite avancer dans mes recherches.

Un très grand merci à Jean-Michel Loiseau aussi avec qui j'ai eu la chance de travailler les premiers mois, pour ses connaissances implacables sur le terrain et pour sa réactivité par la suite dès que j'avais besoin d'informations ou de conseils.

Merci aux chefs de secteurs, Marcelin Massy, François Guidotty, Vianney Deschamps et à l'ensemble des contre-mâîtres, pour le temps qu'ils m'ont accordée pour mes interminables questions et pour leurs avis et connaissances pointues sur la gestion du vignoble.

Un grand merci également aux assistants techniques de vendanges : Nelly, Sabrina, Catherine, Sophie et Vincent pour leur précieuse aide pendant la période de récolte des essais, leur bonne humeur et leur très bonne organisation qui ont rendu cette intense période de travail des plus agréables.

Merci à Patrice Colteau qui n'a jamais hésité à prendre du temps pour m'expliquer sur le terrain le fonctionnement des machines agricoles utilisées sur le vignoble ainsi que la programmation des GPS sur les tracteurs.

Merci à Elodie Thierart pour tous ses conseils d'utilisation de Qgis et ses compétences informatiques qui m'ont aidées plus d'une fois au cours de mon stage.

Merci à Mélina Vallet, Sonia Lévêque et Nathalie Giacomini pour leur présence et leur bonne humeur au quotidien.

Merci à tous les vigneron et tractoristes, pour leur accueil et leur coopération dans le déroulement des essais au vignoble.

Merci à Olivier Brack pour les séances statistiques de 8h et sa bonne humeur.

Pour finir, je tenais à remercier sincèrement Mr Boursiquot et Mme Elisa Marguerit, mes deux tuteurs de stage qui m'ont accompagnée tout au long de ces six mois, pour leur réactivité, leurs réponses à mes questions, ainsi que leurs références et conseils tout au long de ce stage.

Table des matières

Remerciements	5
Sigles et abréviations.....	8
Table des illustrations.....	9
Introduction	1
Partie 1 : Contexte de l'étude et état de l'Art.....	3
I. Contexte de l'étude, problématiques et objectifs	3
1. La Champagne viticole	3
2. Des pratiques vertes en évolution en Champagne : le vignoble Clicquot précurseur 5	
3. Les enjeux actuels, les problématiques et les hypothèses de la maison Clicquot....	7
II. Etat de l'Art : le développement végétatif de la vigne	9
1. Définitions et concepts de base du fonctionnement physiologique de la vigne.....	9
2. Les interactions en lien avec le développement végétatif de la vigne	11
III. Influence de la vigueur et de l'expression végétative sur la production	19
1. Influence du développement végétatif sur la sensibilité aux maladies cryptogamiques	19
2. Interactions entre l'état de développement végétatif et la quantité et qualité de la récolte	21
IV. Historique des essais depuis la mise en place du Physiocap®	23
Partie 2 : Matériels et méthodes	25
I. Matériels et méthodes mobilisés pour l'étude de l'établissement de la biomasse	25
1. La démarche de l'étude	25
2. Présentation des secteurs de l'étude et des cépages.....	25
3. Obtention, construction et articulation des données	27
4. Exploitation des données	31
II. Matériels et méthodes mobilisés pour l'expérimentation à la parcelle.	33
1. La démarche de l'étude	33
2. Description de la parcelle d'essai et du matériel végétal	33
3. Description des paramètres suivis.....	35
Partie 3 : Résultats et discussions.....	39
I. Evolution de la vigueur et de l'expression végétative sur les quatre dernières années. 39	
1. Comparaison des évolutions de vigueur et de biomasse.....	39
2. Premières analyses et interprétations	39



II. Etude statistique multivariée des paramètres influençant l'établissement et l'évolution de la biomasse	41
1. Influence du milieu environnant sur la biomasse	41
.....	42
2. Influence des pratiques agronomiques sur l'évolution de la biomasse	47
3. Analyse de la « mise en réserve » de la biomasse d'une année sur l'autre.....	51
4. Conclusion et interprétation générale : choix d'un itinéraire technique adapté aux conditions du millésime et à l'état de biomasse de la vigne.	51
III. Influence du niveau de biomasse sur le nombre de traitements anti-botrytis nécessaire et sur la récolte.	53
1. Influence de la biomasse sur l'efficacité des traitements anti-botrytis	53
2. Influence de la biomasse sur la vigne, la quantité et la qualité de la production...	55
Conclusion générale	59
Bibliographie	61
Table des annexes.....	65

Sigles et abréviations

AAW : Apparent Available Water
ACP : Analyse en Composantes Principales
ANOVA : Analysis Of Variance
AOC : Appellation d'Origine Contrôlée
ATP : Adénosine TriPhosphate
C/N : Carbone / Azote
CAMA : Chaîne d'Analyses Marnes Ardennes
CIVC : Comité Interprofessionnel des Vins De Champagne
EHB : Enherbement
FTSW : Fraction of Transpirable Soil Water
GPS : Global Positioning System
IFV : Institut Français de la Vigne et du Vin
INRA : Institut National De Recherche Agronomique
ISF : Indice de Surface Foliaire
ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique
ITV : Institut Technique de la Vigne et du Vin
LAI : Leaf Area Index
MS : Matière Sèche
NCF : Nombre de Couches de Feuilles
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index
PLS : Partial Least Square : Régression par les moindres carrés partiels
RFU : Réserve Facilement Utilisable
RS : Réserve de Survie
RU : Réserve Utile
SIG : Système d'Information Géographique
TAB : Traitement Anti-Botrytis
TTSW : Total Transpirable Soil Water
VCP : Veuve Clicquot Ponsardin



Table des illustrations

Figure 1 - Localisation géographique des quatre grandes régions champenoises (CIVC, 2016)	2
Figure 2 - Part des négoce dans les surfaces et les ventes de champagnes (AM Clicquot, 2014).....	4
Figure 3 – Evolution des pratiques du vignoble Clicquot dans la gestion des adventices de l’inter-rang (AM Clicquot, 2014).....	4
Figure 4 - Evolution des pratiques chez Clicquot dans la gestion des adventices sous le rang (AM Clicquot , 2014).....	4
Figure 5 – Evolution des pratiques de fertilisation azotée chez Clicquot (AM Clicquot 2014)	6
Figure 6 - Graphique de l’évolution des biomasses selon le CIVC et le vignoble Clicquot depuis l’acquisition du physiocap (CIVC, JMP, 2016).....	6
Figure 7 - Liaison entre quelques paramètres de la croissance et du développement (Champagnol, 1984).....	8
Figure 8 – Schéma représentatif de la nuance entre vigueur et expression végétative de la vigne (Champagnol, 1984).....	8
Figure 9 - Cycle biologique de la vigne : évènements au niveau de la végétation et des réserves, à noter les rôles de la T°C, de l’éclairement et de l’eau (Bouard, 1996 ; Carbonneau et al., 1992, Rives et Lafon, 1972)	10
Figure 10 - Bilan hydrique potentiel de Charles Riou (Riou, Carbonneau et al., 1994).....	10
Figure 11 - Compartiments hydriques et texture du sol (Brochet et Gerbier, 1974).....	12
Figure 12 - Réduction de la vitesse de croissance végétative en fonction du degré de contrainte hydrique (Carbonneau, synthèse de résultat personnel).....	12
Figure 13 - Tendances générales de l’évolution de la puissance individuelle en fonction de la densité de plantation (Carbonneau, synthèse de résultats) et exemple de limite optimale de densité en fonction de la puissance à l’hectare (Carbonneau).....	14
Figure 14 - Variation du poids des sarments par souche en fonction de la densité de plantation pour quatre expérimentations (1. Champagnol, 2. Bioletti et 3. Winkler, 4. Hidalgo et Candela, Branas).	14
Figure 15 - Réponse à la charge en bourgeons de la production de raisins avec des tailles à longs bois (Pb) ou à bois courts (Pc), de l’expression végétative (EV), de la vigueur (V) et de l’exposition moyenne de la végétation (E).....	14
Figure 16 - Adaptation des deux approches successives de la taille : choix de la charge et répartition de la charge assurent l’EV et la récolte de l’année tandis que la richesse en amidon des bois conditionne la capacité de croissance du cycle suivant. (Champagnol, 1984).....	16
Figure 17 - Essai ITV-INRA Montpellier : Beaucaire (30). Domaine de Tavernel d’après AMPHOUX et al. (1970). Récolte 1969, Aramon franc de pied 4000 souches/ha. Alluvions récentes du Rhône.	16
Figure 18 - Comparaison de l’effet d’un enherbement (fétuque élevée) sur la vigne en Languedoc Roussillon Essai TIV France CA 30	16
Figure 19 - Intensité d’attaque de botrytis en fonction de l’entretien du sol (Essai ITV France, Val de Loire)	16
Figure 20 - Impact de l’oïdium sur feuilles près du stade de fermeture de la grappe selon la vitesse d’apparition des feuilles par rameau (VAT). Les symboles remplis correspondent aux ceps contaminés (hors rameau contaminé) et les symboles vides aux ceps latéraux	18

Figure 21 - Significant correlation between grey mould incident (%) and key variables of vine growth, cluster architecture, yield components and fruit composition. Linear regressions include data with grey mould incidence different from 0% only. *Significant at P-value < 0.05	18
Figure 22 - Dégâts de pourriture selon le stade d'application du fongicide anti-botrytis ; moyenne de 9 essais Comité Champagne, 2016	18
Figure 23 - Données moyennes de poids de baies, rendement, sucre, acidité totale, pH et anthocyanes pour des zones de vigueur faible, moyenne et forte pour les sites A et B en 2003 et 2004 (Cortell et al, 2007).	20
Figure 24 - Observations au vignoble des poids moyens des grappes (PMG), et de la fréquence (F) et intensité (I) de botrytis pour des biomasses fortes, moyennes et faibles.	22
Figure 25 - Organigramme des variables impliquées dans le développement de la vigne et leurs bases de données initiales associées (schéma personnel).	24
Figure 26 - Situation géographique des secteurs 12, 23 et 40, des différents vignobles de l'étude et des stations météo du CIVC (schéma personnel, données VCP)	26
Figure 27 - Processus de synthèse des cartes de vigueur sur le logiciel Qgis (schéma personnel)	26
Figure 28 - Graphique de la FTSW au cours d'une saison pour la station de Nogent l'Abesse (Comité Champagne, 2017)	28
Figure 29 - Extrait de la base de données météo avec deb = débourrement, flo = floraison, miVer = mi-véraison, Ver = véraison, vdg = vendange (BDD_meteo, données personnelles).	28
Figure 30 - Test d'ajustement à la loi normal des données biomasse de la base de données globale (JMP, 2017)	30
Figure 31 - Schéma explicatif de la construction d'une régression par les moindres carrés partiels (PLS)	30
Figure 32 - Parcelle d'essai VD06 avec son gradient de biomasse croisé à trois modalités de traitements anti-botrytis (TAB) (logiciel Qgis)	32
Figure 33 - Présentation du fonctionnement de l'application Viticanopy (photo personnelle)	34
Figure 34 - Régression Linéaire comparant les mesures de LAI à la floraison ou à la véraison 2017 avec les valeurs de biomasses 2016 (JMP, 2017)	34
Figure 35 - Evolution des biomasses et moyennes depuis 2013 (JMP, 2017)	38
Figure 36 - Evolution des diamètres selon les secteurs depuis 2013 (JMP, 2017)	38
Figure 37 - Evolution des biomasses et diamètres depuis 2013 selon le cépage (JMP, 2017)	38
Figure 38 - Résultats de l'analyse de variance (test ANOVA) et des comparaisons deux à deux (Test de Tukey) pour les valeurs de biomasse selon le cépage (JMP, 2017)	40
Figure 39 - Extrait de la matrice des corrélations entre variables issue de l'ACP (JMP, 2017)	40
Figure 40 - Représentation graphique des variables et des individus, issus de l'ACP (JMP, 2017)	40
Figure 41 - Extrait de la matrice des loadings et présentation de l'éboullis des valeurs propres (JMP, 2017)	42
Figure 42 - Représentation graphique des individus selon les axes 1 et 2, puis les axes 2 et 3 (JMP, 2017)	42
Figure 43 - Etude de la distribution de la biomasse de 45 individus ayant des C/N > 14 (JMP, 2017)	42
Figure 44 - Premiers résultats de la PLS (JMP, 2017)	44



Figure 45 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 en fonction du mode de taille et gain de diamètre selon le type de cépage (JMP, 2017)	46
Figure 46 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 selon le type d'enherbement (JMP, 2017...)	46
Figure 47 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 selon l'itinéraire technique en place (JMP, 2017).....	46
Figure 48 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 selon le type de stratégie enherbement-fertilisation (JMP, 2017)	48
Figure 49 - Régressions linéaires comparant la biomasse d'une année avec celle de l'année d'avant pour trois millésimes (JMP, 2017).....	48
Figure 50 - Présentation de la construction d'un tableau croisé dynamique selon des critères choisis et filtrés (JMP, 2017).....	50
Figure 51 - Graphique de la fréquence d'attaque par botrytis (bot_vdge_F) selon le nombre de traitements réalisé et résultats des tests Tukey (JMP, 2017).....	52
Figure 52 - Graphique de la fréquence d'attaque de botrytis (bot_vdge_F) selon le nombre de traitement et selon le type de biomasses (JMP, 2017) (Une série de données de même lettre A, B ou C appartiennent au même groupe de valeurs selon les tests de Tukey).....	52
Figure 53 - Résultats des valeurs N tester et des analyses foliaires en fonction de la biomasse des placettes (JMP, 2017).....	54
Figure 54 - Comparaison des rendements des parcelles étudiées en fonction de la catégorie de biomasse (JMP, 2017)	54
Figure 55 - Comparaison des rendements des parcelles étudiées selon la catégorie de biomasse et le cépage (JMP; 2017)	57
Figure 56 - Comparaison de l'avancement de la maturité technologique et de l'azote assimilable selon le type de biomasse (JMP, 2017)	57
Tableau 1 - Principales spécificités de l'AOC Champagne (CIVC, 2017).....	2
Tableau 2 - Apports de fertilisation recommandés en fonction de la vigueur de la vigne (Champagnol, 1984).....	16
Tableau 3 - Effet de l'alimentation en azote, mesurée par le dosage de l'azote assimilable du moût, sur la vigueur, le rendement, la constitution du raisin et la qualité du vin (Saint-Julien, 1997).....	20
Tableau 4 - Résumé des résultats des différents essais par niveau de biomasse (Antoine Dauphin, 2014).....	22
Tableau 5 - Présentation des parcelles choisies pour l'étude (PN Pinot Noir, CH Chardonnay, MN Pinot Meunier)	24
Tableau 6 - Pertinence de l'analyse selon l'élément minéral concerné (Kleiber A., 2016).....	36
Tableau 7 - Valeurs de références pour des analyses foliaires (INRA de Bordeaux, 2016)....	36
Tableau 8 - Extrait de la table des coefficients de la régression PLS et des contributions associées en % (JMP, 2017).....	44
Tableau 9 - Comparaison économique des deux itinéraires techniques (A) et (B) (personnel)	48
Tableau 10 - Outil d'aide à la décision dans les stratégies enherbement-fertilisation, prenant en compte toutes les variables intervenant sur la biomasse (personnel).....	50



LEA MANCEAU – DIPLOME D'INGENIEUR AGRONOME – 2017

Introduction

Depuis le début des années 2000, avec la prise de conscience du réchauffement climatique et la nécessité de préserver l'environnement, les nouvelles attentes sociétales se tournent vers le développement durable. Il en va de même pour la viticulture qui évolue petit à petit de pratiques conventionnelles vers des pratiques durables. La région Champagne, qui depuis toujours vise l'excellence dans le milieu des vins effervescents, cherche désormais à s'orienter vers ces nouvelles pratiques. La maison Veuve Clicquot Ponsardin, avec 325 hectares dont 46% de grands crus, a été l'une des premières maisons à s'engager dans la mise en place de ces pratiques (AM Clicquot, 2016). La maison est certifiée Viticulture Durable iso 14001 depuis 2004 et iso 22000 depuis 2008. Les changements dans les itinéraires techniques ont été reconnus notamment concernant la lutte contre les ravageurs (phéromones), mais aussi dans les stratégies d'entretien des sols (enherbement et travail du sol) et de fertilisation. La qualité de la pulvérisation a également été améliorée. Les objectifs pour la maison sont de réduire les quantités d'herbicides utilisées, de structurer les sols et de limiter leur érosion. Le zéro herbicide atteint en 2016 montre la volonté de la maison Veuve Clicquot de continuer dans cette voie. En parallèle, la maison s'investit dans les recherches sur l'utilisation de nouvelles technologies au vignoble, notamment dans le cadre du développement durable. Le Physiocap®, utilisé depuis quatre ans, est un capteur qui permet de suivre l'état végétatif du vignoble.

La mise en place des nouvelles pratiques évoquées précédemment telles que l'enherbement n'est pas sans conséquence pour la production de la maison Clicquot. La maison s'inscrit depuis toujours dans une démarche d'amélioration continue de sa production et ces nouvelles pratiques, par le biais de la concurrence avec les vignes, ont engendré une diminution de leur expression végétative et de leur vigueur. Très visible sur le vignoble et mesurable via le Physiocap®, cette diminution de la biomasse a des conséquences sur la quantité et la qualité de la production et sur les caractéristiques œnologiques des moûts qui en sont issus.

Il est essentiel pour Veuve Clicquot de comprendre plus précisément l'origine des faibles biomasses et de déterminer les leviers d'action les plus efficaces pour tenter de les redresser. L'objectif est de pouvoir intervenir en amont du problème ou grâce à des actions dites « correctrices » lorsque les faibles biomasses sont constatées.

Les problématiques de l'étude sont les suivantes : quels sont les principaux facteurs environnants qui influencent l'établissement de la biomasse ? Quels impacts les pratiques agronomiques peuvent-elles avoir sur l'évolution de la biomasse, qu'il s'agisse de la taille, de l'enherbement ou de la fertilisation ? Et également quelle catégorie de biomasse permet de répondre aux critères de quantité et de la qualité de la maison Veuve Clicquot dans un contexte de développement durable ?

La première partie expose le contexte, les problématiques et les objectifs de l'étude ainsi que l'état de l'art sur le développement végétatif de la vigne et ses conséquences sur la production. Une deuxième partie présente le matériel et les méthodes mobilisés pour l'étude des données Physiocap®, ainsi qu'une expérience menée à la parcelle en 2017 pour comprendre l'importance des biomasses équilibrées. La troisième partie proposera une analyse et une hiérarchisation de toutes les interactions en lien avec la biomasse : celles qui l'influencent et celles sur lesquelles elle a un impact. Les résultats obtenus seront discutés et comparés avec la bibliographie. L'objectif étant de mettre en évidence, selon le millésime de l'année, les meilleurs itinéraires techniques permettant d'obtenir la catégorie de biomasse la plus équilibrée.



LA CHAMPAGNE VITICOLE

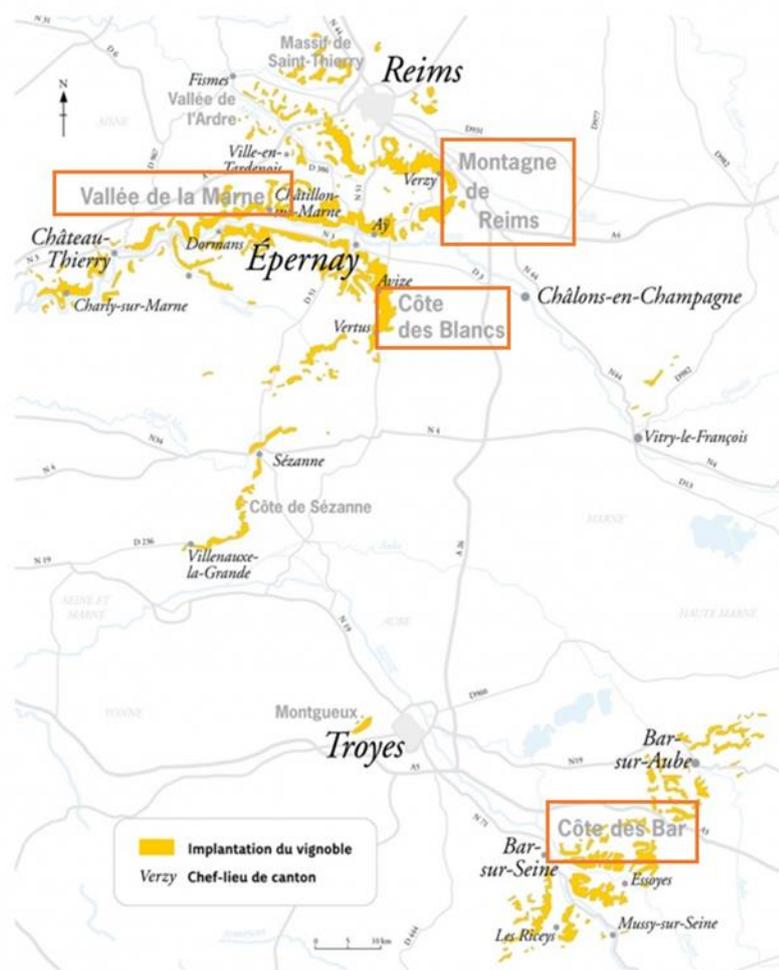


Figure 1 - Localisation géographique des quatre grandes régions champenoises (CIVC, 2016)

Tableau 1 - Principales spécificités de l'AOC Champagne (CIVC, 2017)

Règles de viticulture	Zone strictement délimitée	AOC champagne = 34 600 ha dont 33600 productives.
	Cépages autorisés	chardonnay, pinot noir, meunier, pinot blanc, pinot gris, arbane, petit meslier
	Porte-Greffe adapté	41B (sols calcaires), Fercal
	Taille	Royat, Chablis, Guyot, Vallée de la Marne
	Plantation	8000 à 9000 plants/ha Ecartement entre les rangs <1.50m 0.9m < écartement entre le cep < 1.50m
Règles de vendange	Chantier de cueillette	Vendanges manuelles, date de début fixé par l'article D. 645-6 du code rural et de la pêche maritime.
	Rendement	Fixé annuellement par le CIVC, en 2017 : 10 300 kg/ha + 500 kg/ha de réserve.
	Degré	TAV naturel minimum de 9° vol.
Règles de pressurage	Pour un marc (=4000 kg) de raisin : cuvée = 2050 hL et taille = 500L pour un total de 2550 L. Le reste est livré en distillerie ?	
Règles à chaque étape du processus d'élaboration	Deuxième fermentation en bouteilles et maturation sur lies pendant 15 mois minimum pour les non millésimés, 3 ans pour les millésimés	

Partie 1 : Contexte de l'étude et état de l'Art

I. Contexte de l'étude, problématiques et objectifs

1. La Champagne viticole

a. Le terroir Champenois

Le vignoble champenois représente 34 000 hectares. Il est extrêmement morcelé puisqu'il compte près de 278 000 parcelles de 18 ares en moyenne et comprend plus de 320 crus (communes). Il se répartit sur quatre grandes régions : la Montagne de Reims, la Vallée de la Marne, la Côte des Blancs et la Côte des Bar (*figure 1*) (CIVC, 2016).

Le vignoble champenois est un vignoble septentrional situé vers 49°5 de latitude nord, donc avec un climat froid et sévère ce qui le place à la limite de la culture de la vigne. C'est un vignoble principalement en coteaux (pente de 12% en moyenne jusqu'à 59%) permettant une bonne insolation des vignes. Il subit par ailleurs une double influence climatique : océanique dans un premier temps, permettant des apports réguliers d'eau avec des contrastes thermiques peu marqués d'une saison à une autre et continentale permettant un ensoleillement favorable l'été. Cependant le vignoble est parfois soumis aux gelées d'hiver et de printemps comme la gelée du 20 avril 2017 et cette tendance risque de s'accroître avec le réchauffement climatique. L'insolation reste assez faible et représente 1600 heures par an contre 2069 heures dans le Bordelais et 1910 heures en Bourgogne. La pluviométrie en revanche est de 650 mm en moyenne par an ce qui permet à la vigne de bénéficier d'une alimentation hydrique continue et modérée, favorable à son développement. La température moyenne annuelle est de 11,8°C contre 10,6° entre 2000 et 2009 ce qui traduit bien le réchauffement climatique (CIVC, 2016).

Le sous-sol champenois est un sous-sol calcaire, tout comme 75% des sédiments affleurants. La porosité de cette roche est en fait un véritable réservoir d'eau qui assure une alimentation hydrique suffisante aux vignes en cas de sécheresse estivale. Cependant ce sous-sol varie d'une région à une autre : la Côte des Blancs repose sur de la craie affleurante, la Montagne de Reims sur de la craie recouverte en profondeur, alors que la Vallée de la Marne est plus à tendance marneuse, argileuse ou sableuse, tout comme la Côte des Bar constituée principalement de marnes (CIVC, 2016).

b. L'AOC Champagne

L'AOC champagne a été mise en place le 29 Juin 1936. Comme toutes les AOC, des règles précises résumées dans le *tableau 1* ont été établies et sont optimisées en permanence. Il est important de préciser que sur les sept cépages autorisés, trois sont principalement cultivés, le Pinot Noir (38%), le Pinot Meunier (32%) et le Chardonnay (30%). Concernant les portes-greffes, le 41B représente plus de 81% des surfaces (CIVC, 2016).

c. Les acteurs de la filière champenoise

Le CIVC est un acteur incontournable de la filière. Il rassemble les vigneronnes et les maisons et assure un rôle de protection de l'appellation ainsi que de contrôle et de conseils auprès des viticulteurs et des vigneronnes. En parallèle, il participe au développement de la filière et aux suivis des avancées technologiques au sein des vignobles. A titre d'exemple, il a été précurseur et grand acteur du développement du Physiocap®. Le CIVC participe activement au maintien de l'équilibre entre les vigneronnes et les négociants. Cet équilibre implique un minimum de discipline commune et est permis par la contribution active des syndicats professionnels. En effet, le vignoble comprend 15 000 vigneronnes exploitants qu'il s'agisse de



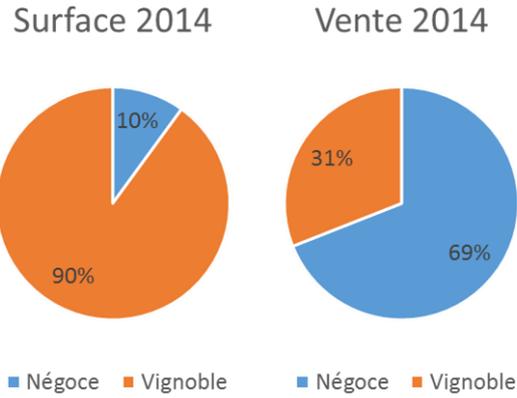


Figure 2 - Part des négoce dans les surfaces et les ventes de champagnes (AM Clicquot, 2014)

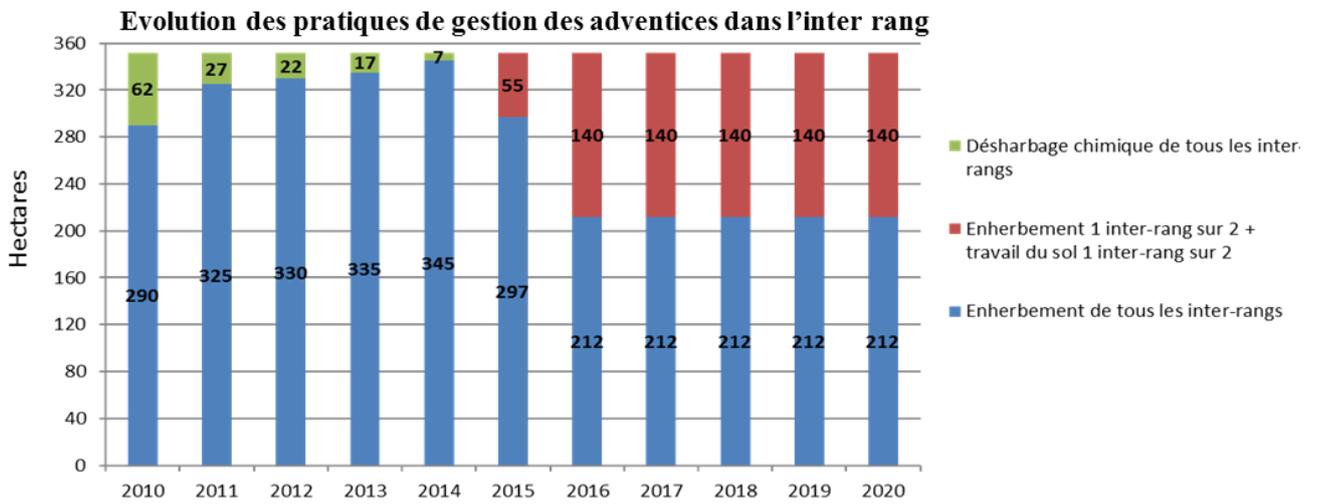


Figure 3 - Evolution des pratiques du vignoble Clicquot dans la gestion des adventices de l'inter-rang (AM Clicquot, 2014)

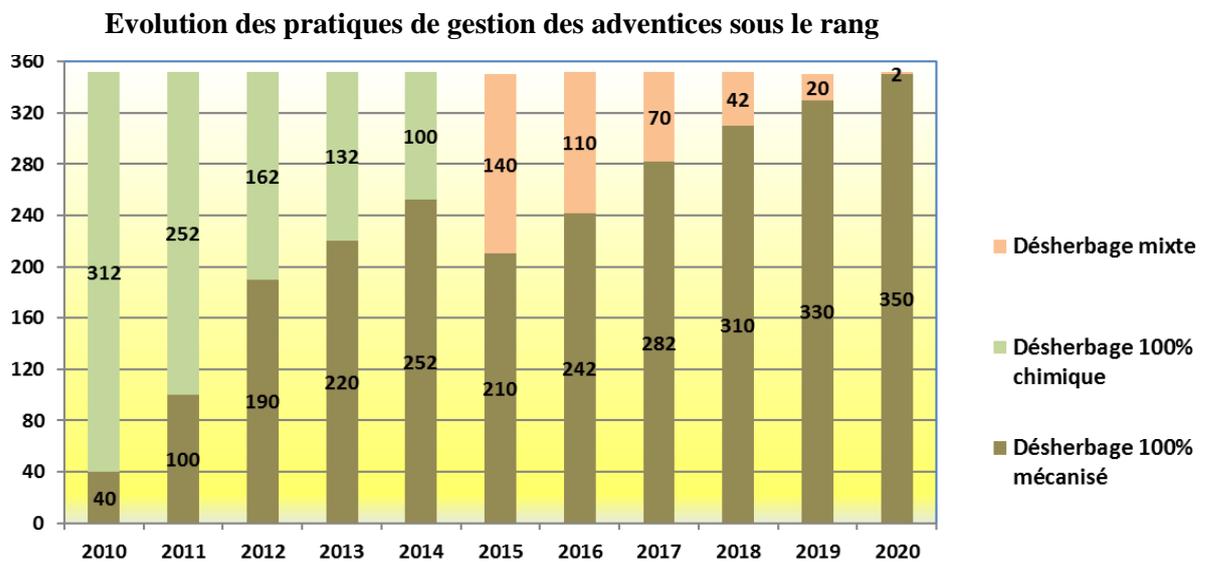


Figure 4 - Evolution des pratiques chez Clicquot dans la gestion des adventices sous le rang (AM Clicquot, 2014)

récoltants-manipulants, de vendeurs au kilo ou de coopérateurs. On compte en tout 140 coopératives et plus de 320 maisons de champagnes. La renommée du champagne dans le monde est principalement due à ces négociants qui possèdent seulement 10% des surfaces mais réalisent presque 70% des ventes (*figure 2*) (AM Clicquot, 2014).

2. Des pratiques vertes en évolution en Champagne : le vignoble Clicquot précurseur

a. L'entretien du sol

Les pratiques d'entretien des sols ont évolué sur les dernières décennies puisqu'en 1980, 95% des parcelles étaient en désherbage chimique exclusif et seulement 3% en désherbage mécanique exclusif (Comité Champagne, 2013). Petit à petit, le désherbage chimique exclusif recule et laisse place à d'autres stratégies d'entretien des sols pendant les années 2000 telles que l'enherbement partiel ou encore l'utilisation des écorces. Depuis l'arrêté préfectoral du 21 avril 2005 qui impose le non désherbage en plein d'une partie de l'exploitation, ces changements se sont affirmés. L'utilisation des herbicides a diminué de 40% entre 1990 et 2005 au profit des autres stratégies et aujourd'hui le vignoble champenois compte 49% de ses parcelles enherbées. Il s'agit principalement d'enherbement spontané, permanent et sur tous les inter rangs. Cependant, la Champagne possède encore 51% de ses parcelles en désherbage chimique en plein contre 14% en moyenne en France (Agreste, 2012).

Concernant la maison VCP, la mise en place de l'enherbement a été progressive depuis 2005 et elle concerne aujourd'hui 100% des parcelles (*figure 3*). C'est un enherbement majoritairement spontané. L'objectif « zéro herbicide » a été atteint en 2016 mais devant les difficultés rencontrées (fortes précipitations, enherbement surdéveloppé et sols gorgés d'eau), un herbicide a été utilisé en 2017 pour 20% de la surface, sous le rang seulement. La gestion des adventices a aussi fortement évolué : 87% de désherbage chimique strict sous le rang en 2010 qui a évolué vers un taux de près de 70% de désherbage mécanique en 2016 (*figure 4*). Cet entretien se fait avec des outils inter ceps (lames ou disques). Enfin le travail du sol, mis en place en 2014 sur l'inter-rang a pour objectif principal de réduire la concurrence avec l'herbe et de favoriser la vie microbienne afin de relancer les processus naturels de minéralisation.

b. La fertilisation

Dans le vignoble champenois, la quantité d'azote contenue dans les produits épandus a chuté de 30% en 20 ans (Comité Champagne, 2013) et les viticulteurs champenois se tournent désormais vers une fertilisation organique (Agreste, 2012).

Les stratégies de fertilisation étant étroitement liées aux stratégies d'entretien des sols, la mise en place de l'enherbement et du travail mécanique des sols a mené à la restructuration des programmes de fertilisation. L'objectif du 100% organique a été atteint 2014 (*figure 5*) (AM Clicquot, 2016). Les apports sont donc soit des amendements organiques (produits MV100 ou OVI 100), soit des engrais organiques solides (produit Skor) et/ou liquide (produit Orstim).

c. La protection du vignoble

Le vignoble champenois, du fait de son climat, est confronté aux maladies fongiques telles que mildiou, oïdium et botrytis. L'année dernière en 2016, avec les précipitations importantes de la fin du mois de mai, la pression mildiou a été très forte et a décimé près de 25% de la récolte. Ceci explique donc la part importante que représentent les traitements phytosanitaires dans la gestion du vignoble champenois.



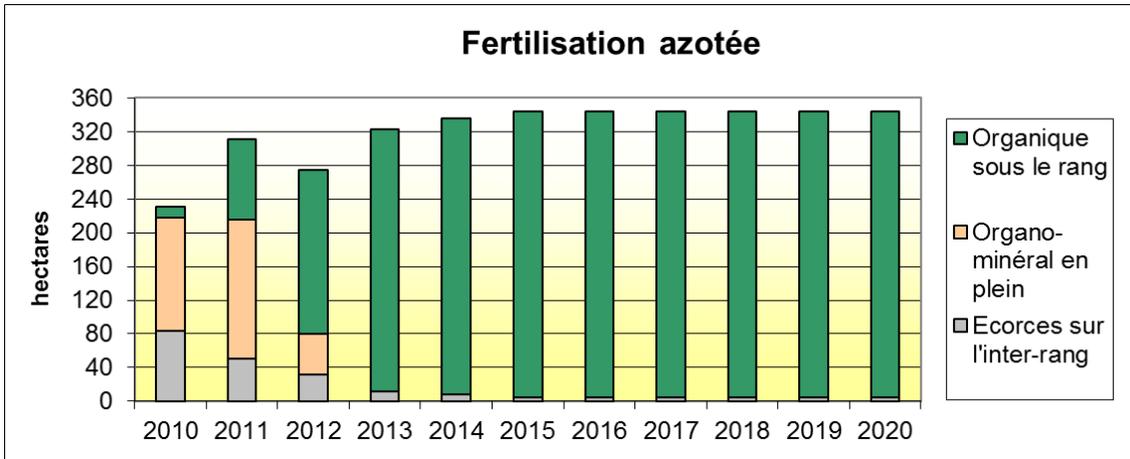


Figure 5 - Evolution des pratiques de fertilisation azotée chez Clicquot (AM Clicquot, 2014)

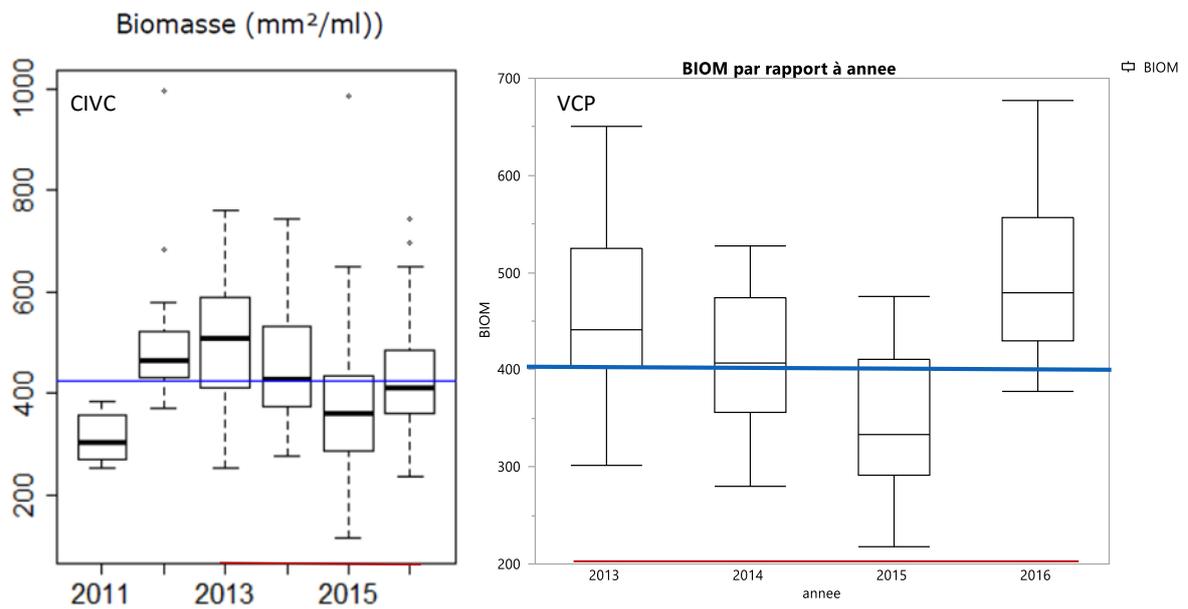


Figure 6 - Graphique de l'évolution des biomasses selon le CIVC et le vignoble Clicquot depuis l'acquisition du Physiocap® (CIVC, JMP, 2016)

La maison VCP a pour objectif de réduire ces quantités de produits phytosanitaires utilisées. Concernant les insecticides contre Eudémis et Cochylys : le vignoble Clicquot est en confusion sexuelle à 100% et le vignoble champenois à 40%. La Champagne est d'ailleurs considérée comme pionnière de ces pratiques (Rochar J., 2012). Sur un plan plus global de la gestion des traitements phytosanitaires, VCP a mis au points trois stratégies : une dite « d'exploitation » (252 ha) qui correspond à un itinéraire technique raisonné utilisant des produits de synthèse avec une optimisation des doses selon les pressions observées, une dite « biologique » (8 ha) qui n'utilise que des produits de l'agriculture biologique et une dernière dite « 3ème voie » (près de 130 ha) qui est en fait un mixte entre les deux premières dans le sens où le cuivre et le soufre sont principalement utilisés mais des produits de synthèse peuvent également être employés lors des périodes plus critiques du cycle végétatif (en encadrement de la floraison). Ces stratégies sont détaillées en annexe I.

3. Les enjeux actuels, les problématiques et les hypothèses de la maison Clicquot

Depuis la diminution du désherbage chimique, la maison Clicquot a tout mis en œuvre pour rendre ses pratiques plus durables tout en respectant la sécurité des travailleurs. Cependant, les changements de pratiques qui ont accompagné la disparition du désherbage chimique tels que l'enherbement ou le travail du sol ont eu pour conséquence une baisse continue et progressive de la biomasse du vignoble jusqu'en 2015. Le graphique présenté en *figure 6* compare la maison Clicquot au reste de la Champagne sur les quatre derniers millésimes. Ces données, obtenues via le Physiocap®, illustrent bien une des problématiques auxquelles la maison Clicquot doit faire face : maintenir la remontée actuelle de ses valeurs de biomasse.

Le travail mené aujourd'hui consiste à exploiter les données de biomasse, accumulées depuis quatre ans, en lien avec tous les facteurs susceptibles de l'influencer, rappelés en *figure 7*. Il s'agit donc d'analyser les variables de l'environnement c'est-à-dire, entre autres, le climat du millésime et les sols du vignoble. Analyser également l'impact des pratiques chez Veuve Clicquot telles que la taille, l'enherbement ou la fertilisation et cibler celles qui sont déterminantes dans l'évolution de la biomasse. L'objectif est de pouvoir comprendre et évaluer les interactions et améliorer par la suite la gestion des biomasses du vignoble. De plus, si l'on peut montrer le rôle de la biomasse d'une année (n) dans la mise en réserve pour la biomasse de l'année (n+1), alors l'objectif final de ce travail sera d'analyser les meilleurs itinéraires techniques à mettre en place pour l'année suivante, pour retrouver des valeurs de biomasses correspondant aux critères de la maison.

Une expérience à la parcelle croisant gradient de biomasse et stratégies anti botrytis a également été mise en place afin d'évaluer dans un premier temps le nombre de traitements anti-botrytis nécessaire selon la catégorie de biomasse pour obtenir une récolte avec un bon état sanitaire. Et ensuite comprendre l'importance d'obtenir des biomasses équilibrées au vignoble afin de répondre aux critères de quantité et qualité de récolte de la maison.

Les hypothèses à tester et à valider au cours de ce projet sont :

- Il existe un effet prédominant du climat sur l'établissement de la biomasse.
- Il existe un lien de mise en réserve d'une année sur l'autre concernant la biomasse.
- La fertilisation, étroitement liée à la disponibilité de l'eau au printemps et à équilibrer avec l'enherbement, est un levier d'action capital dans la gestion des biomasses.
- Le nombre de traitements botrytis peut être diminué sur des Meuniers pour des biomasses < 300 mm²/m² de sol.



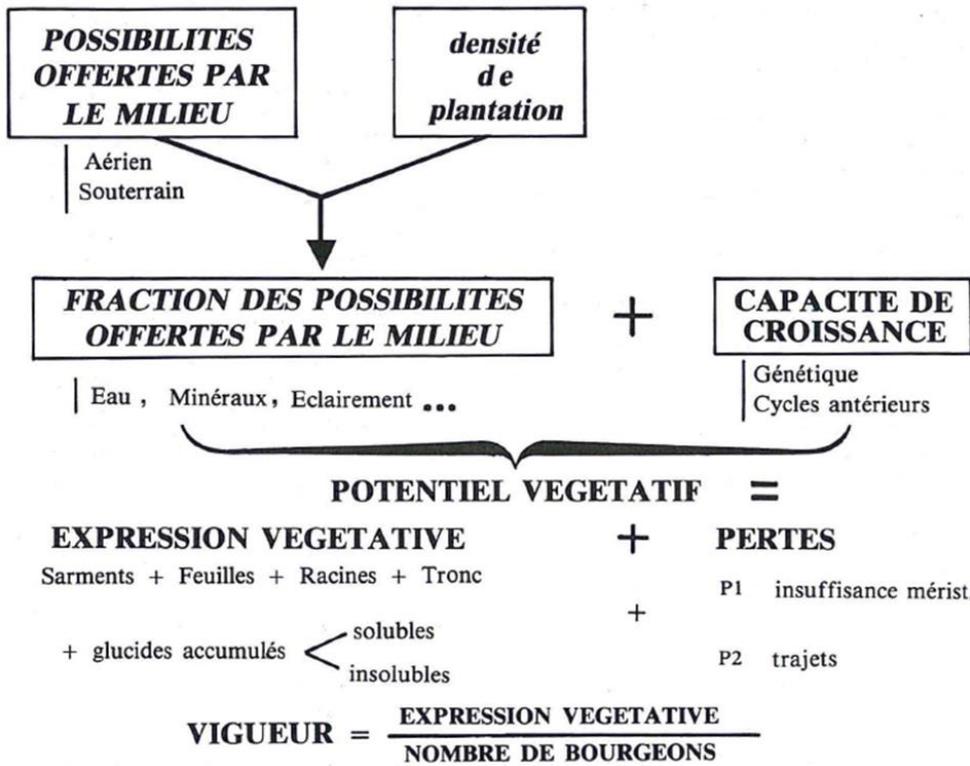


Figure 7 - Liaison entre quelques paramètres de la croissance et du développement (Champagnol, 1984)

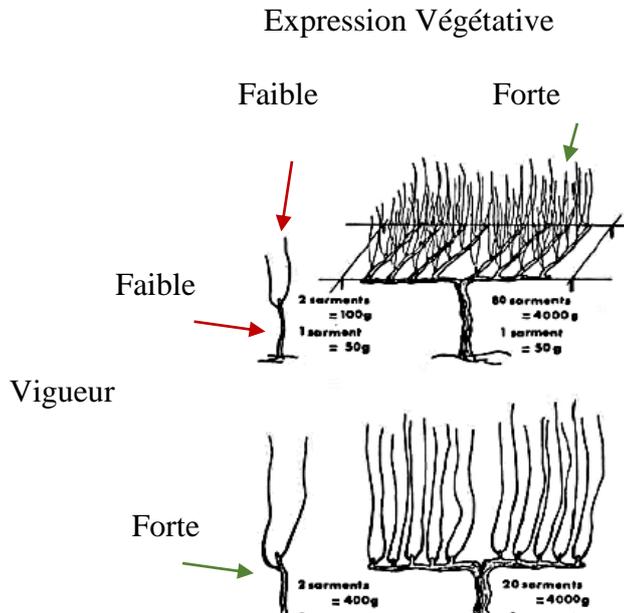


Figure 8 – Schéma représentatif de la nuance entre vigueur et expression végétative (Champagnol, 1984)

II. Etat de l'Art : le développement végétatif de la vigne

1. Définitions et concepts de base du fonctionnement physiologique de la vigne

a. Puissance, expression végétative et vigueur, définitions (Carbonneau et al., 2015)

La puissance est la matière sèche totale produite. En pratique, on l'estime pour la population par la somme : 50% du poids des bois de taille (t/ha ou kg/cep) + 20% du poids de récolte (t/ha ou kg/ha).

L'expression végétative est la fraction de la puissance due aux organes végétatifs. C'est une donnée quantifiable qui s'exprime à travers l'édifice du végétal et l'accumulation de glucides. Cependant pour refléter les potentialités de la plante, il convient d'ajouter les contraintes éventuelles (Branas et al, 1946) : pertes p1 dues à l'insuffisance de méristèmes et pertes p2 dues à l'état des trajets conducteurs (*figure 7*). En pratique, on l'estime pour la population ou pour l'individu par le poids des bois de taille (t/ha) ou (kg/cep).

La vigueur est le rythme et l'intensité de la croissance du rameau. En pratique on l'estime par le poids moyen du sarment après la taille. Les souches vigoureuses se rencontrent lorsque les conditions de milieu (température, eau etc) et les conditions internes (qualité des trajets conducteurs, abondance des réserves etc) sont optimales et que le potentiel de croissance de la souche s'exprime par un nombre d'apex relativement limité (Branas et al., 1946) (*figure 7*).

Champagnol insiste sur le fait de ne pas confondre ces termes en démontrant qu'une souche de faible vigueur pouvait avoir une forte expression végétative et inversement (*figure 8*) (Champagnol, 1984).

Au vignoble, les indicateurs les plus utilisés, après la pesée des bois de taille, pour évaluer le développement végétatif sont le nombre de couches de feuilles (NCF), la porosité du feuillage et l'indice de surface foliaire (ISF) (Valdés-Gómez, 2007). Des nouvelles technologies sont également de plus en plus utilisées pour suivre et mesurer le développement végétatif comme par exemple, les drones (technique du NDVI) ou les capteurs embarqués type Physiocap® qui permettent d'obtenir des données sur les diamètres moyens et le nombre de sarments moyen permettant ainsi de caractériser la biomasse (Bourgeon, 2016).

b. Concepts et rappels fondamentaux du développement de la vigne

i. Le concept d'interaction « génotype x Environnement »

Le plant de vigne est le résultat général d'une interaction « génotype x environnement ». Le matériel végétal intervient de manière conséquente dans la vigueur : certains porte-greffes sont plus vigoureux que d'autres (R110 contre 3309C, ou Riparia Gloire de Montpellier). Il en est de même pour les greffons, des variétés faibles comme l'Aramon ou le Cinsault s'opposent aux variétés plus vigoureuses comme le Grenache, la Syrah etc. (Champagnol, 1984).

Cependant, même si le matériel végétal est d'une importance capitale pour la vigueur de la vigne, il faut savoir que l'expression (ou non) des gènes fonctionnels du plant ne se fait que sous les effets de l'environnement interne ou externe à la plante (Carbonneau et al., 2015). A titre d'exemple, le R99 est plus vigoureux que le R110 en situation fertile mais en situation sèche, le R110 a une aptitude à prélever l'eau dans le sol supérieure au R99. Les études des variétés et celles de l'environnement ne trouvent donc leur pleine réalisation de l'explication de la réalité que lorsqu'on les relie dans une étude de l'interaction « génotype x environnement ».



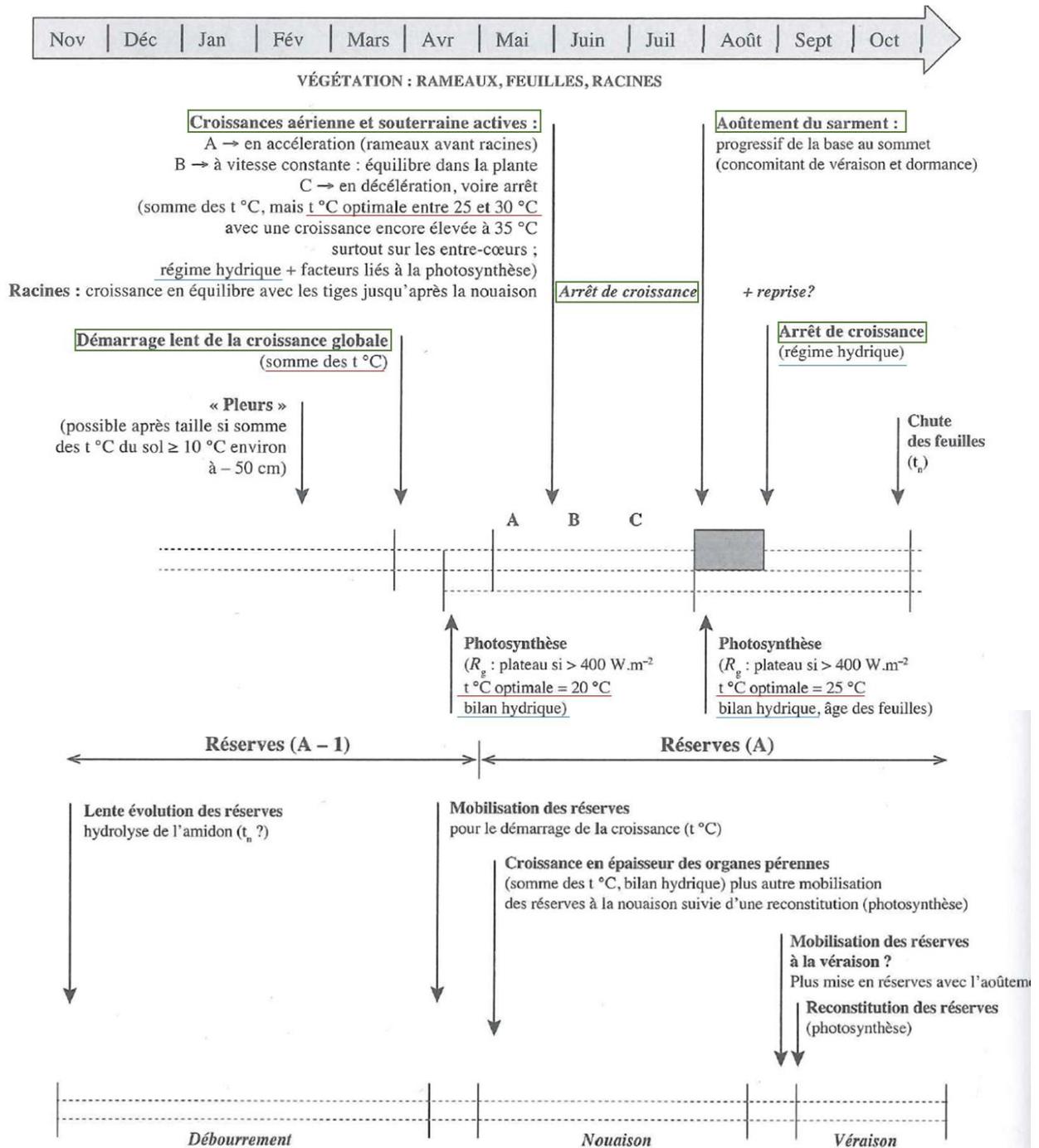


Figure 9 - Cycle biologique de la vigne : événements au niveau de la végétation et des réserves, à noter les rôles de la T°C, de l'éclairement et de l'eau (Bouard, 1996 ; Carbonneau et al., 1992, Rives et Lafon, 1972)

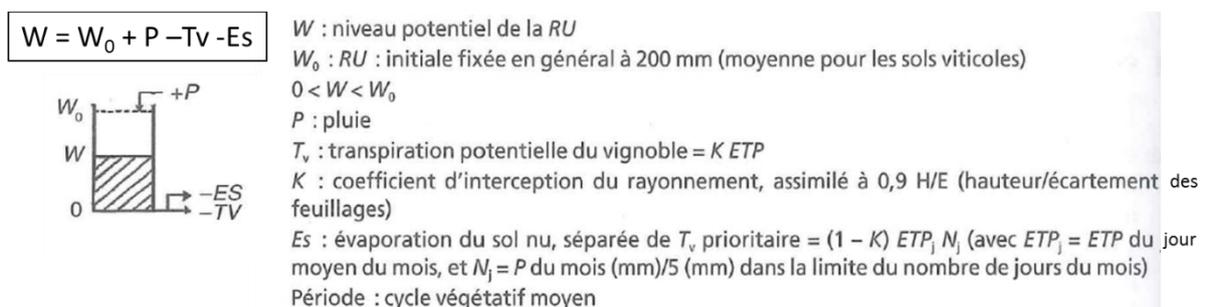


Figure 10 - Bilan hydrique potentiel de Charles Riou (Riou, Carbonneau et al., 1994)

ii. Rappel du cycle végétatif de la vigne et notion de « temps biologique »

La croissance végétative est en étroite interaction avec les facteurs climatiques (températures optimales et régime hydrique) comme le montre la *figure 9*. L'enchaînement des phases de développement est suivi par l'observation des stades phénologiques majeurs soit débourrement, floraison, nouaison, véraison et vendanges. La date d'apparition de ces stades est elle-même fonction des variables du milieu, le climat majoritairement, mais aussi éventuellement d'un rythme biologique annuel (Leopold et Kriedemann, 1975). Il est donc important lorsque l'on étudie les interactions entre développement végétatif et milieu environnant de découper la séquence climatique en fonction des stades phénologiques qui mesurent en fait le « temps biologique » (Carbonneau et al., 2015).

En résumé : Etudier les facteurs qui influencent vigueur et expression végétative de la vigne c'est étudier une interaction globale entre la vigne et son environnement. Cette étude doit se faire selon une échelle de temps biologique annuel caractérisé par les changements de stades phénologiques.

2. Les interactions en lien avec le développement végétatif de la vigne

a. Les interactions entre environnement et développement végétatif

i. Caractérisation de l'environnement par rapport au système vigne

- L'environnement se caractérise par un bilan énergétique et hydrique

En écophysiologie, le concept de base utilisé est le bilan énergétique de la culture qui est connecté à son bilan hydrique. Le bilan énergétique présenté ci-dessous régit l'ensemble des réponses de la population de plantes à l'environnement, et la plupart des phénomènes en dépendent. Le tout forme un ensemble indissociable.

Le bilan énergétique s'écrit : $R_n = \lambda E + H + G + P$ avec R_n le bilan radiatif ou le rayonnement net, λE le flux de chaleur latente, H le flux de chaleur sensible, G la variation d'énergie dans le système par conduction et P l'échange d'énergie chimique.

Le bilan hydrique estime le niveau de réservoir d'eau dans le sol à un moment donné et s'appuie sur le bilan énergétique. Ses principaux éléments sont : la réserve initiale du sol (RU ou W_0), les apports par la pluie (P), les pertes par transpiration de la culture (T_v) et par l'évaporation du sol (E_s). Le bilan hydrique s'écrit donc $W = W_0 + P - T_v - E_s$ et est détaillé figure 10 (Riou et al., 1994).

- Les ressources en eau : variation du bilan hydrique et compartimentation du sol

Eau et sol sont directement reliés et assurent la disponibilité de l'eau. La ressource en eau est la réserve utile disponible dans le sol et conditionne largement le développement végétatif de la plante. L'étude de l'utilisation de la source eau s'effectue en interaction avec les horizons du sol, l'enracinement associé et l'activité biologique du sol. La structure du sol détermine divers compartiments hydriques tels que l'eau gravitique, la Réserve Utile (RU) répartie en Réserve Facilement Utilisable (RFU) et Réserve de Survie (RS) et l'eau liée non extractible (*figure 11*). On note avec AAW la réserve en eau disponible apparente (ou RU), $TTSW$ la réserve en eau totale transpirable du sol et $FTSW$ ($= W/W_0$ selon Riou) la fraction de l'eau du sol transpirable (Brochet et Gerbier, 1974). La RFU correspond approximativement au volume défini entre 0.2 et 1 de $FTSW$.

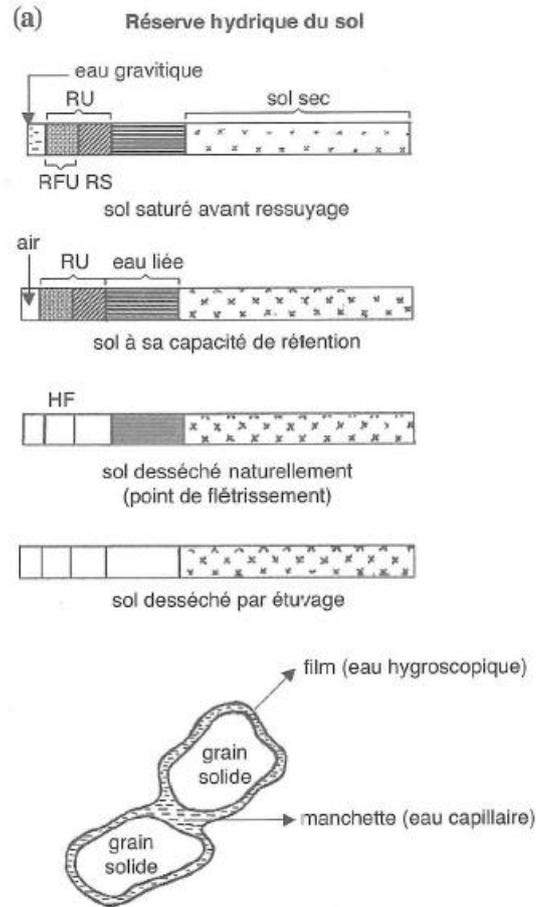


Figure 11 - Compartiments hydriques et texture du sol (Brochet et Gerbier, 1974)

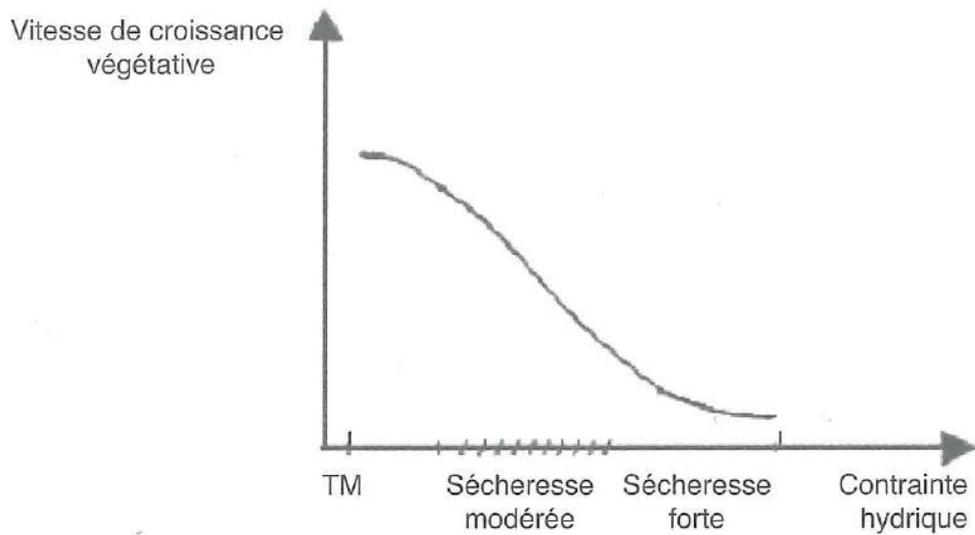


Figure 12 - Réduction de la vitesse de croissance végétative en fonction du degré de contrainte hydrique (Carbonneau, synthèse de résultat personnel).

ii. Influence de l'environnement sur le système vigne

- Disponibilité en eau, topographie et type de sol

Les besoins en eau de la vigne dépendent de son stade de développement : l'alimentation hydrique doit être suffisante et régulière au printemps, modérément contrainte en été et cette contrainte peut s'accroître jusqu'à la vendange. La production de biomasse est à peu de chose près proportionnelle au flux d'eau transpiré par la plante, donc dépendant de l'architecture de la plante, des conditions climatiques et de la disponibilité en eau dans le sol. La croissance végétative de la vigne, tant des parties aériennes que du système racinaire est liée à la quantité d'eau disponible dans le sol et est donc directement impactée en cas de stress hydrique (*figure 12*). La disponibilité des éléments minéraux est également primordiale, l'azote principalement mais aussi le potassium et le phosphore. Ce dernier joue un rôle fondamental au niveau du développement végétatif de la vigne. Son rôle concerne le métabolisme énergétique puisque les phosphates reçoivent et transportent l'énergie lumineuse captée par les feuilles (ICV).

La position topographique des parcelles est très importante puisqu'elle détermine le contexte d'évolution et de fonctionnement des sols. De plus, ces données ne sont pas aisément modifiables par l'homme. La principale fonction du sol est d'assurer la disponibilité de l'eau, la nutrition minérale du végétal et d'éviter les perturbations physico-chimiques du milieu qui altéreraient les capacités de croissance de la vigne. Ces fonctions sont définies en grande partie par la texture et la pierrosité des sols. Il existe une grande diversité de type de sol et donc diverses réponses de la vigne aux types de sol, notamment concernant la vigueur et l'expression végétative. Cette diversité de réponses est liée à la gestion de l'eau et la qualité de drainage du sol. Les sols sableux présentent une faible à très faible capacité de rétention en eau. Cette faiblesse doit impérativement être compensée, souvent par une très grande profondeur de sol ou sinon par la présence d'une nappe phréatique. Les sols limoneux (limono-sableux ou limono-argileux) présentent les propriétés les plus propices aux cultures. Cette texture permet le développement d'une structure stable et d'une porosité bien distribuée. Ce sont des sols fertiles, souvent destinés à d'autres cultures que la vigne. Les sols argileux présentent une forte capacité de rétention en eau mais possèdent des risques de mauvaises aérations et de drainage limité. Les propriétés physicochimiques des sols sont souvent mises en avant pour expliquer la fertilité d'un sol et sa capacité à produire de la biomasse mais les propriétés physiques sont tout aussi importantes puisqu'elles favorisent l'enracinement et l'alimentation hydrique.

Enfin, le rôle de la matière organique dans un sol est primordial pour l'amélioration de la structure des sols, l'augmentation de la capacité d'échange cationique et la libération d'azote et de phosphore lors de sa minéralisation.

- Le système racinaire

Le système racinaire conditionne également la structure d'un sol : les racelles (diamètre de l'ordre du mm) assurent l'absorption hydrique et minérale. Sièges de nombreux métabolismes, elles requièrent de bonnes capacités d'aération du sol. Les racines (plus gros diamètres) assurent une partie de l'absorption hydrique, les transports dans les vaisseaux, la gestion des diverses réserves et l'ancrage du cep dans le sol. La distribution du système racinaire est principalement dictée par les caractéristiques des horizons du sol, du sous-sol et par le régime hydrique. Le maximum de vitesse de croissance des racines est à la floraison. Elles se développent d'autant mieux que le sol est humide, faiblement résistant et l'eau disponible. La distribution dépend également de la densité de plantation et des stratégies d'entretien du sol. Les racines sont plus plongeantes pour des densités élevées ou des sols enherbés.



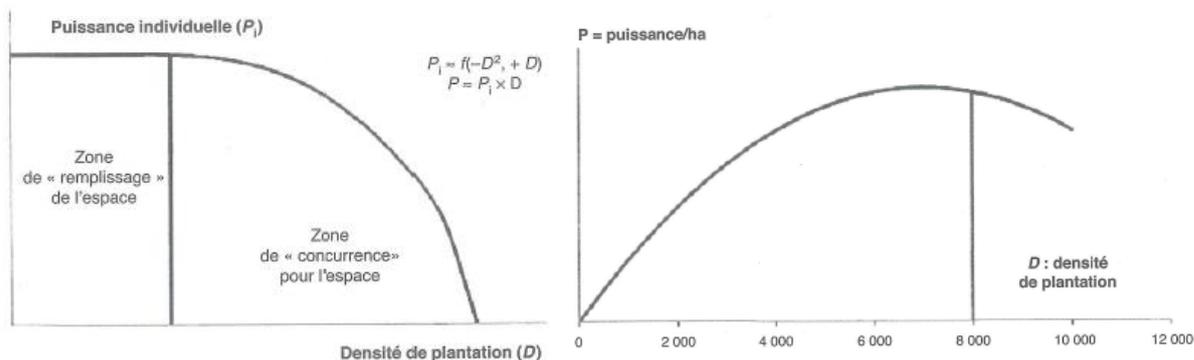


Figure 13 - Tendence générale de l'évolution de la puissance individuelle en fonction de la densité de plantation (Carbonneau, synthèse de résultats) et exemple de limite optimale de densité en fonction de la puissance à l'hectare (Carbonneau)

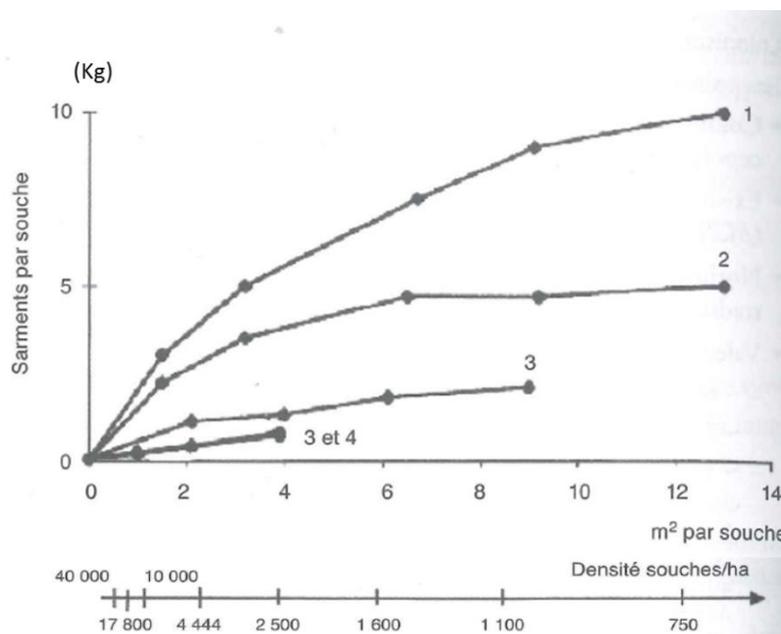


Figure 14 - Variation du poids des sarments par souche en fonction de la densité de plantation pour quatre expérimentations (1. Champagnol, 2. Bioletti et 3. Winkler, 4. Hidalgo et Candela, Branas).

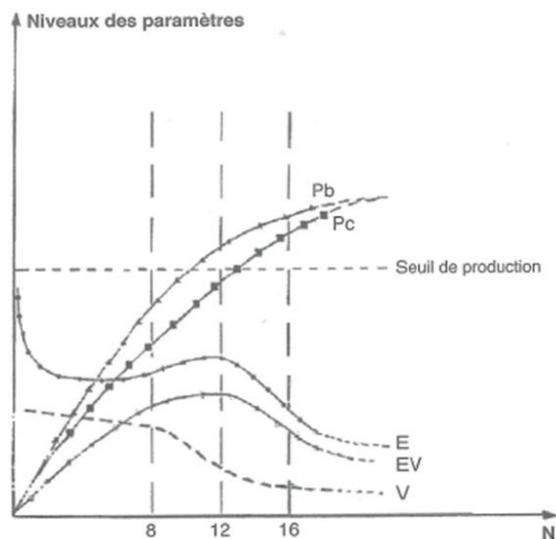


Figure 15 - Réponse à la charge en bourgeons de la production de raisins avec des tailles à longs bois (Pb) ou à bois courts (Pc), de l'expression végétative (EV), de la vigueur (V) et de l'exposition moyenne de la végétation (E)

En résumé : Le bilan énergétique de la vigne est lié à son bilan hydrique et conditionne les réponses de la plante. Topographie, texture et caractéristiques physicochimiques des sols définissent le fonctionnement des sols et leurs capacités à rendre l'eau disponible pour la plante. Vigueur et expression végétative sont en partie les résultantes de ces interactions.

b. Les interactions entre système de conduite et développement végétatif

Le système de conduite de la vigne reprend les éléments associés à la géométrie de plantation (densité de plantation), la taille (détermination de la charge en bourgeons), l'architecture de la végétation (palissage) et les opérations en vert. Nous étudions ici les deux premiers éléments plus en détails.

i. La densité de plantation

Un des mécanismes lié à la densité de plantation concerne la colonisation de l'espace c'est-à-dire le garnissage de l'espace aérien et souterrain sans concurrence entre ceps. La densité minimale, directement reliée à la vigueur, est la densité pour laquelle la limite de concurrence est atteinte, traduisant l'absence de déficit d'occupation du terrain : 800 ceps/ha pour un vignoble très vigoureux et 3000 pour un vignoble peu vigoureux (Carbonneau, 2015).

Un autre mécanisme important est la concurrence générale entre ceps pour les réserves hydriques et minérales du volume de sol et la lumière entre rangs et sur le rang. Plusieurs conséquences dues à cette concurrence : la puissance individuelle (MS/cep) diminue avec l'augmentation de la densité et la puissance à l'hectare passe par un optimum (*figure 13*). Le poids de sarments par souche donc l'expression végétative augmente lorsque la densité diminue (*figure 14*).

La concurrence des pieds en vis à vis entre rangs est négligeable, même pour des densités élevées. Alors que sur un même rang, la concurrence est importante notamment pour l'expression végétative (Carbonneau et Casteran, 1987).

Les effets de la densité de plantation se retrouvent sur la charge en bourgeons, l'environnement radiatif et hydrique et l'architecture de la plante. Concernant la charge en bourgeons, elle doit être raisonnée à l'hectare en fonction des potentialités et des objectifs de production. Elle est traduite en charge par cep selon la densité de peuplement. La densité influence également la vigueur selon la décision de taille : si une même méthode de taille équilibrée est appliquée à des densités différentes, on a généralement des vigueurs comparables et une production à l'hectare similaire car la vigne compense par le poids de grappes. Si au contraire, on fait des tailles différentes équilibrées sur des densités différentes, il y a augmentation de la charge et de la production à l'hectare mais diminution de la vigueur du sarment lorsque la densité augmente.

ii. La taille

Pour rappel, la taille d'hiver également appelée taille de renouvellement doit assurer pour tous les ceps une fonction de production, par le choix des types et du nombre de bois de taille ainsi que leur longueur, l'ensemble déterminant le niveau de charge en bourgeons. Ensuite la taille assure une fonction de répartition, par le choix de la disposition des bois de taille en fonction de la forme de la végétation et des structures pérennes, ainsi qu'une fonction de renouvellement. Selon les particularités du cep, la taille doit assurer une adaptation de la charge en bourgeons à la puissance du cep (ou à son estimation par l'expression végétative) (Carbonneau et al., 2015).



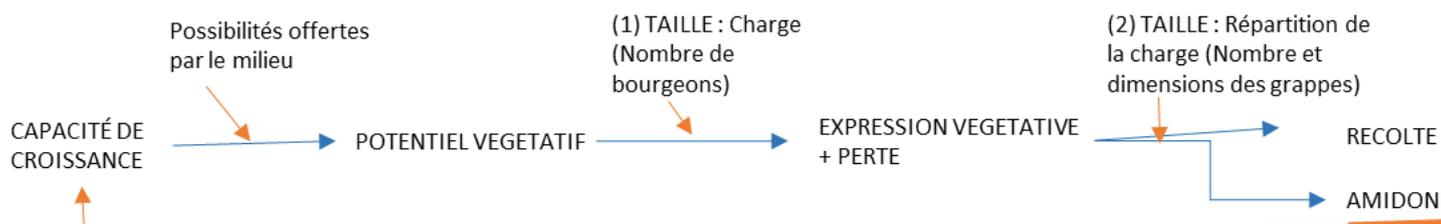


Figure 16 - Adaptation des deux approches successives de la taille : choix de la charge et répartition de la charge assurent l'EV et la récolte de l'année tandis que la richesse en amidon des bois conditionne la capacité de croissance du cycle suivant. (Champagnol, 1984)

Traitement	Récolte kg/souche	Sucres g/l	Sarments kg/souche
T	4,84	165	0,640
N	5,79	160	0,770
K	5,11	165	0,600
NK	7,04	158	0,830

Figure 17 - Essai ITV-INRA Montpellier : Beaucaire (30). Domaine de Tavernel d'après AMPHOUX et al. (1970). Récolte 1969, Aramon franc de pied 4000 souches/ha. Alluvions récentes du Rhône.

Tableau 2 - Apports de fertilisation recommandés en fonction de la vigueur de la vigne (Champagnol, 1984)

Vigueur	Apports recommandés
Très faible	80 à 120 kgN/ha
Légèrement insuffisante	40 à 60 kgN/ha
Convenable	Pas d'apports

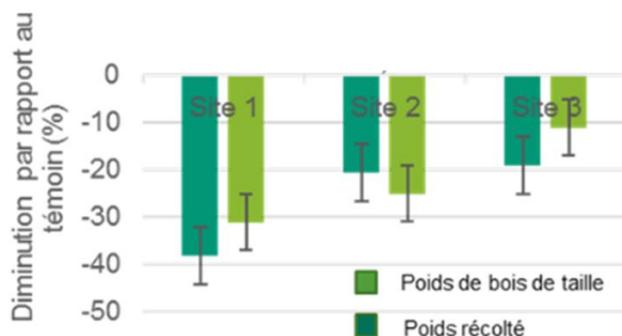


Figure 18 - Comparaison de l'effet d'un enherbement (fétuque élevée) sur la vigne en Languedoc Roussillon Essai TIV France CA 30

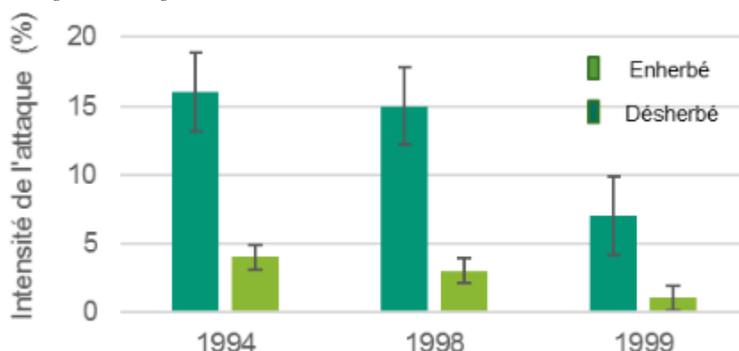


Figure 19 - Intensité d'attaque de botrytis en fonction de l'entretien du sol (Essai ITV France, Val de Loire)

Concernant les réponses physiologiques liées à la taille de renouvellement, la figure 15 présente la réponse de l'expression végétative, de la vigueur et de l'exposition des feuilles par rapport à la charge en bourgeons (N). La taille a plus d'impact sur la vigueur que sur l'expression végétative à partir d'une charge de 8. L'expression végétative passe en fait par un optimum large entre 8 et 12 alors que la vigueur diminue rapidement à partir d'une charge de 8. Si la souche est très vigoureuse alors l'exploitation du potentiel végétatif reste partielle. Il est possible de réguler/diminuer vigueur et expression végétative avec des charges élevées mais pour des niveaux de production (raisins et entassement de feuillage) qui peuvent dépasser les seuils recherchés (*figure 15*). La charge optimale doit conduire à l'exploitation maximale du potentiel végétatif de la souche sans menacer sa pérennité par une récolte excessive et de trop faibles vigueurs (Bioletti et Winkler, 1934). Une charge en bourgeons équilibrée est donc calculée en fonction des capacités d'alimentation de ces bourgeons par le cep, sur la base d'une vision optimale de l'architecture, de la vigueur du rameau, de la production. La répartition de la charge conditionne le volume de récolte et la recharge des bois de taille en amidon, soit les réserves accumulées pour le cycle végétatif suivant (*figure 16*).

En résumé : Le système de conduite de la vigne influence vigueur et expression végétative. Cette dernière augmente lorsque la densité diminue et la taille exercée impacte plutôt la vigueur. Cependant il s'agit encore une fois d'équilibre entre vigueur, expression végétative, récolte et mise en réserve.

c. Les interactions entre aménagement, entretien du sol, fertilisation et développement végétatif

i. La fertilisation :

D'une manière générale, l'apport de matière organique améliore la fertilité des sols. Cependant, pour la vigne, l'apport doit être modéré et raisonné pour ne pas fertiliser le sol de manière excessive. Une matière organique pauvre en azote ($C/N > 20$) se minéralisera lentement avec une libération d'azote également lente. Un tel apport améliore la structure du sol mais sans apporter d'azote. En revanche, l'apport de matière organique riche en azote (C/N autour de 10) comme du fumier doit être considéré comme une fertilisation azotée.

Concernant l'azote, d'après Pouget et en accord avec d'autres études, un apport d'azote conduit quasi systématiquement à une augmentation de l'expression végétative des plantes et corrélativement à leur production (*figure 17*). Cependant, ceci a également pour conséquence une augmentation des risques d'accidents de végétation et de parasites ; la qualité de la production et les pratiques de fertilisation doivent alors être raisonnées. (Pouget R. et Delas J., 1984).

Dans le cadre de la gestion de la fertilisation, la vigueur est considérée comme un bon indicateur de la nutrition azotée. En effet d'après Champagnol, on peut mesurer des teneurs en azote foliaire ou azote pétiolaire (diagnostic foliaire de la nutrition azotée) mais le plus fiable reste encore le poids moyen d'un sarment. La quantité de fumure apportée peut être directement raisonnée en fonction de la vigueur de la vigne (*tableau 2*) (Champagnol, 1984). L'apport doit se faire en hiver en climat méditerranéen et entre hiver et printemps pour les climats plus humides comme la Champagne.

ii. L'enherbement :

L'enherbement d'une vigne a pour principal inconvénient le partage de l'alimentation hydrique et minérale entre le couvert et la vigne ce qui se traduit notamment par une diminution de

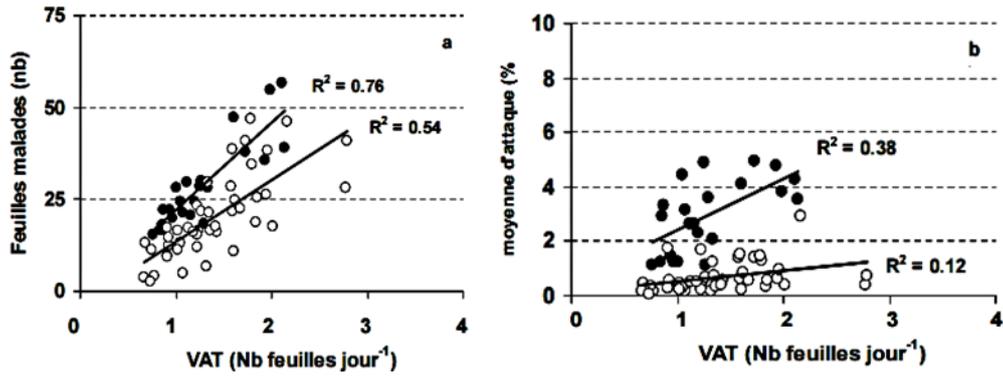


Figure 20 - Impact de l'oïdium sur feuilles près du stade de fermeture de la grappe selon la vitesse d'apparition des feuilles par rameau (VAT). Les symboles remplis correspondent aux ceps contaminés (hors rameau contaminé) et les symboles vides aux ceps latéraux

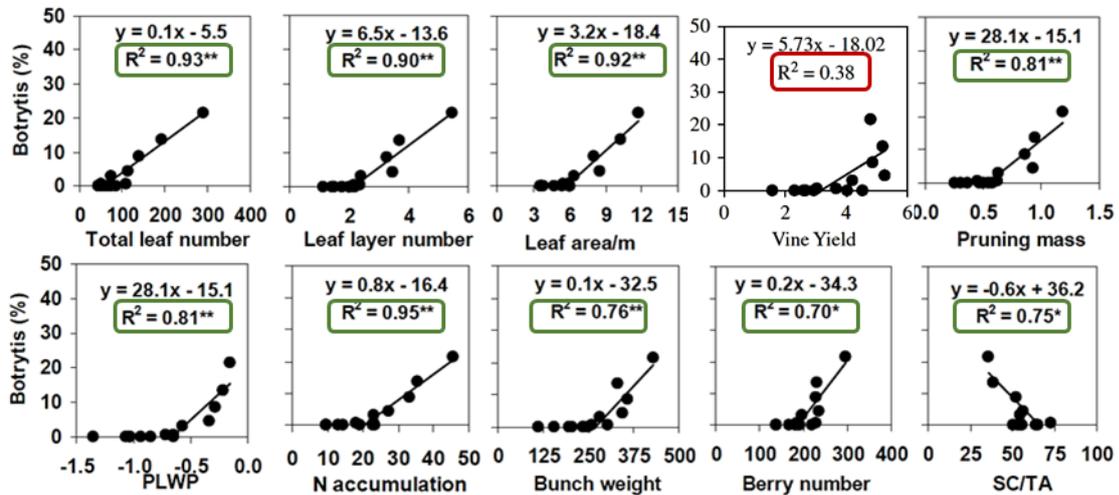


Figure 21 - Significant correlation between grey mould incident (%) and key variables of vine growth, cluster architecture, yield components and fruit composition. Linear regressions include data with grey mould incidence different from 0% only. *Significant at P-value < 0.05

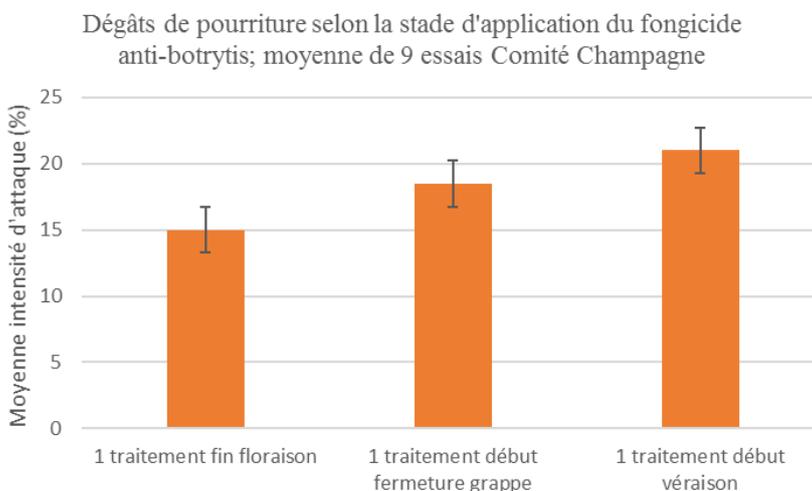


Figure 22 - Dégâts de pourriture selon le stade d'application du fongicide anti-botrytis ; moyenne de 9 essais Comité Champagne, 2016

l'expression végétative (*figure 18*) (Chantelot, ITAB 2003). On constate également en général un avancement de la phénologie, une redistribution du système racinaire avec un meilleur développement en profondeur (Morlat et Venin, 1981), une diminution de la croissance végétative (Chantelot et al., 2002) et une diminution de la surface foliaire et de la vigueur de la vigne (Chantelot, ITAB 2003). Cependant, l'enherbement n'est pas la seule raison ; encore une fois il est question d'interactions avec l'environnement comme le démontrent des travaux de l'ITV de Colmar où l'impact de l'enherbement sur l'expression végétative est nettement moindre en sol profond et fertile (ITV Colmar, 2004). Malgré cette concurrence parfois importante, l'enherbement procure de grands avantages aux propriétés du sol tels qu'une amélioration de la structure, de la portance et de la vie des sols (Van Helden et al, 2003), une réduction d'un facteur sept du ruissellement, une réduction de l'érosion (Le Bissonnais & Andrieux, 2007), des attaques de botrytis (*figure 19*), du lessivage des nitrates (Grégoire, C., & Tournebize, J., 2004) et une limitation des transferts de pesticides (Madrigal, I. et al, 2002).

En résumé : La fertilisation conduit souvent à une augmentation de l'expression végétative et l'enherbement à une diminution de celle-ci via des mécanismes de concurrence. L'entretien du sol est un levier d'action dans la gestion de la vigueur et de l'expression végétative. Ces actions doivent donc être raisonnées à l'échelle du vignoble ou de la parcelle.

III. Influence de la vigueur et de l'expression végétative sur la production

1. Influence du développement végétatif sur la sensibilité aux maladies cryptogamiques

Milidou et oïdium sont deux maladies cryptogamiques auxquelles le vignoble de Champagne est confronté presque tous les ans du fait de son climat septentrional. Pour ces deux maladies, les contaminations primaires se font au printemps. Par la suite, l'humidité relative et la température dans la canopée sont deux facteurs participant activement au développement de ces maladies (40 à 100% d'humidité et entre 25 et 30°C) (IFV, 2013). Comme la structure du couvert végétal et l'état de développement de la vigne conditionnent le microclimat de la canopée, ces indicateurs seraient logiquement liés au développement de ces maladies. Différentes études l'ont montré : le risque de développement de mildiou et d'oïdium augmente avec le LAI, la densité du couvert ainsi que le taux d'apparition de nouvelles feuilles (*figure 20*) (Valdés-Gómez, 2007).

Concernant l'oïdium plus spécifiquement, il existe un lien significatif entre la vigueur de la vigne et le développement de celui-ci (Gadoury et al., 2001 ; Calon nec et al., 2009). Il s'agit de l'effet de l'architecture du couvert et de l'état de croissance de la vigne selon trois mécanismes liés au développement de l'oïdium (Tivoli et al, 2013) : tout d'abord la quantité de tissus sensibles, directement liée à la vitesse de croissance de la vigne puisque les jeunes feuilles sont plus sensibles que les baies au stade « grappe fermée ». Le second mécanisme en jeu concerne le microclimat et l'augmentation de l'humidité dans le couvert : une canopée dense et à faible porosité crée des conditions favorables au développement de l'oïdium et limite l'efficacité des produits phytosanitaires (Carroll and Wilcox, 2003). Enfin le troisième mécanisme est celui de la diffusion de la maladie qui est lié à l'organisation spatiale des feuilles et des grappes dans la canopée. Les feuilles infectées sont considérées comme des foyers de transmission (Savary et al., 2009). Ces trois mécanismes sont étroitement liés puisqu'une vitesse de croissance rapide entraîne un couvert dense, humide, à faible porosité et favorise la diffusion de la maladie (Van Leeuwen, 2014). La vigueur et l'expression végétative des vignes interviennent donc de façon déterminante sur le taux d'accroissement des épidémies d'oïdium.

site	year	vigor zone	berry wt (g)	yield (kg/vine)	soluble solids (°Brix)	TA (g/L)	pH	total ACY (mg/berry)
A	2003	high	0.99a	1.07 ± 0.10	23.5b	5.7a	3.50a	0.20b
		medium	0.91b	1.22 ± 0.03	24.3a	4.7b	3.50a	0.31b
		low	0.87b	1.36 ± 0.07	24.1a	4.6b	3.47a	0.48a
		SEM	0.02	0.0770	0.05	0.1	0.02	0.04
B	2003	high	0.82a	1.08 ± 0.07	23.7c	5.7a	3.20b	0.29a
		medium	0.87a	1.27 ± 0.05	24.0b	4.9b	3.30a	0.34a
		low	0.78a	0.80 ± 0.05	24.4a	4.7c	3.30a	0.38a
		SEM	0.03	<0.0001	0.05	0.05	0.02	0.03
p value ^a			0.2856		0.0010	0.0002	<0.0001	0.2027

^a ANOVA (*p* indicated), *n* = 3: values sharing same letter within each site not significantly different at *p* ≥ 0.05.

Figure 23 - Données moyennes de poids de baies, rendement, sucre, acidité totale, pH et anthocyanes pour des zones de vigueur faible, moyenne et forte pour les sites A et B en 2003 et 2004 (Cortell et al, 2007).

Tableau 3 - Effet de l'alimentation en azote, mesurée par le dosage de l'azote assimilable du moût, sur la vigueur, le rendement, la constitution du raisin et la qualité du vin (Saint-Julien, 1997)

	4H	3A	5P
Azote total (mg/l)	161	229	380
Azote assimilable (mg/l)	95	154	218
Potentiel foliaire de base minimum de la saison (Mpa)	-0,23	-0,20	-0,16
différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	ab	b
Surface foliaire (m ² /cep)	0,80	0,96	1,46
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	a	b
Poids des bois de taille (kg par cep)	0,19	0,31	0,43
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	b	c
Rendement (kg par cep)	0,77	1,09	1,10
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	b	b
Poids d'une baie (g)	1,10	1,34	1,46
Teneur en sucres réducteurs (g/l)	214	198	185
Acidité totale (meq/l)	72	84	85
Vitesse de maturation (de la pulpe) : k	0,80	0,66	0,56
Teneur en acide malique (meq/l)	25	27	31
Teneur en anthocyanes des baies (mg/l)	1231	823	748
Dégustation (classement)	1	2	3
Différence significative à 5% (test Newman Keuls)	a	a	b

Le poids des baies et la constitution du raisin sont mesurés le jour de la vendange: 27/09/97

Concernant botrytis, une interaction positive entre le développement végétatif de la vigne et celui de la maladie a été démontrée : botrytis se développe majoritairement dans les vignes de vigueur et d'expression végétative importantes (par exemple vignes boostées avec irrigation et fertilisation) (Valdés-Gomez B. et al., 2008). De plus, cette étude met en évidence des variables clés, significativement corrélées au développement de botrytis (*figure 21*) qui sont : nombre de feuilles total par tige, nombre de couches de feuilles, surface foliaire par mètre linéaire, poids des bois de taille, azote accumulé. De même, le développement de botrytis est fortement corrélé aux composantes du rendement telles que le poids des grappes, le nombre de baies ou encore le rapport sucre/acidité. Cependant, il n'y aurait pas de corrélation avec le rendement. A noter qu'il existe un effet cépage concernant la sensibilité au botrytis, notamment avec les cépages champenois où le Chardonnay est le moins sensible alors que le Pinot Meunier est le plus sensible (Marchal et al., 2001).

Pour ces trois maladies, des mesures prophylactiques sont fortement conseillées (IFV, 2013) et passent par la limitation de la vigueur et de l'expression végétative avec tous les leviers d'action présentés précédemment (choix d'un matériel végétal adapté et gestion des pratiques agronomiques). Il est conseillé de faire des rognages raisonnés pour éliminer la jeune végétation et améliorer la qualité des traitements, ainsi que d'aérer les grappes et limiter les blessures de baies pour botrytis. Concernant les traitements, trois applications sont possibles, le premier à 80% de la chute des capuchons floraux, le second à la fermeture de la grappe et le dernier début véraison. D'après le comité champagne, le plus efficace reste le premier traitement, fin floraison (*figure 22*) (Comité champagne, 2013).

2. Interactions entre l'état de développement végétatif et la quantité et qualité de la récolte

Concernant le rendement, les liens ne sont pas clairs. Champagnol démontre une réduction de l'initiation florale pour des vigueurs faibles (Champagnol, 1984), Torregrosa démontre qu'en vigueur trop forte, la fertilité des bourgeons diminue. Ces deux notions participeraient à la baisse des rendements. Mais d'autres études (Cortell et al. 2007) s'accordent sur le fait qu'il n'existerait pas de corrélation entre le rendement (**yield**) et la vigueur : le rendement peut être maximal dans des zones de vigueur faible, moyenne ou forte (*figure 23*). De même, ces études mettent en évidence des contradictions entre la vigueur et le poids des baies (**berry wt**). Cependant, la vigueur influence d'autres paramètres de la qualité des raisins : la vigueur est positivement corrélée à l'acidité totale (**TA**) dans les baies, à la quantité de sucres dans les baies (**soluble solids**) ainsi qu'à la concentration en anthocyanes (**Total ACY**). Elle est négativement corrélée au **pH**. Concernant les principaux flavanols dans les pépins (catéchine, épi catéchine) : leurs concentrations seraient plus importantes pour des faibles vigueurs mais rien n'a significativement été démontré (Peña-Neira et al., 2004).

Une étude menée par Van Leeuwen sur l'intérêt du dosage de l'azote assimilable dans les moûts montre que cette valeur est un indicateur à la fois pour évaluer si les moûts sont fermentescibles mais également pour diagnostiquer l'alimentation en azote de la vigne, elle-même reliée à l'état végétatif de la parcelle. Ces liens sont mis en évidence dans le *tableau 3* : pour un niveau d'alimentation en azote faible (cf $N_{tot}=161$ mg/l), la quantité d'azote assimilable est faible et la surface foliaire et le poids des bois de taille de la vigne sont faibles également. En revanche les baies sont petites, sucrées et riches en anthocyanes. Pour la parcelle où l'azote est naturellement très disponible (cf $N_{tot}=380$ mg/l), la vigne présente une quantité d'azote assimilable importante de 218 mg/l avec un poids de bois de taille et une surface foliaire plus importante. Les baies sont plus grosses mais moins concentrées en sucres et en composés phénoliques. On retrouve les observations faites précédemment par Cortell et al, en 2007.



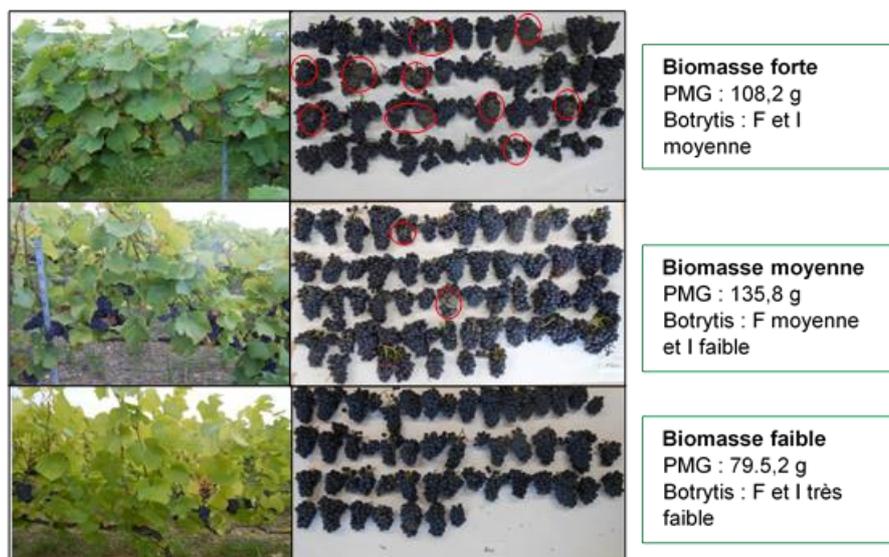


Figure 24 - Observations au vignoble des poids moyens des grappes (PMG), et de la fréquence (F) et intensité (I) de botrytis pour des biomasses fortes, moyennes et faibles.

Tableau 4 - Résumé des résultats des différents essais par niveau de biomasse (Antoine Dauphin, 2014)

Biomasse	faible	moyenne	forte
Analyses pétiolaires	N : croissance linéaire avec la biomasse K/Mg faible : déséquilibre et carence en K P, Ca : Rien à signaler	N : croissance linéaire avec la biomasse K/Mg correct : bon équilibre P, Ca : Rien à signaler	N : croissance linéaire avec la biomasse K/Mg correct : bon équilibre P, Ca : Rien à signaler
N-Tester	Croissance linéaire avec la biomasse	Croissance linéaire avec la biomasse	Croissance linéaire avec la biomasse
Maladies cryptogamiques (Botrytis)	Botrytis croissant avec la biomasse ; Pertes nulles	Botrytis croissant avec la biomasse ; Pertes acceptables	Botrytis croissant avec la biomasse ; Fréquence élevée présentant un potentiel de risque important
Rendement	Rendements très faibles → Mauvais équilibre	Rendements moyens, perte moyenne avec le botrytis → Bon équilibre	Rendements élevés mais égaux ou inférieurs à la vigueur moyenne après tri des grappes touchées au Botrytis → Mauvais équilibre
Maturité technologique	CH, PN, M : TAP correct, Acidité faible	CH : TAP < réglementation, Acidité faible PN, M : TAP correct, Acidité faible	CH : TAP < réglementation, Acidité faible PN, M : TAP correct, Acidité faible
Maturité aromatique	CH : Fruité PN : Fruité ++	CH : Citronné, Fruité PN : Fruité +++	CH : Citronné PN : Fruité +
N dans les moûts	Croissance linéaire avec la biomasse ; Carence azotée des moûts	Croissance linéaire avec la biomasse ; N suffisant pour bonne fermentescibilité des moûts	Croissance linéaire avec la biomasse ; N suffisant pour bonne fermentescibilité des moûts

Leeuwen met ainsi en évidence une corrélation entre la quantité d'azote assimilable dans les moûts et l'expression végétative des vignes, approximée par le poids des bois de taille.

En résumé : Vigueur et expression végétative ont des conséquences certaines sur la quantité et la qualité de la récolte qui se voient principalement via la sensibilité de la vigne aux maladies et sur les différents paramètres de qualité de maturation des raisins. Cependant il s'agit une nouvelle fois d'équilibre entre les différents facteurs et il n'est pas toujours évident de bien cerner ces liens (exemple vigueur/rendement).

IV. Historique des essais depuis la mise en place du Physiocap®

En 2014, première année de passage du Physiocap®, 47 parcelles ont été étudiées. En 2015, l'échantillon a plus que triplé et 165 parcelles ont été passées au capteur. Etant donné le changement d'échantillon, une comparaison globale des niveaux de biomasse n'était pas représentative de la réalité mais des résultats ont tout de même été mis en évidence :

- Il existe un effet cépage montrant que les Chardonnays présentent un plus gros potentiel végétatif par rapport aux Pinot Noir et aux Meuniers (Dauphin A., 2014 ; Couderc A., 2015 ; Lagadeuc M., 2016).
- La biomasse est négativement corrélée au TAP et positivement corrélée à l'acidité.
- Il existe une corrélation entre les valeurs du N tester, celles des analyses pétiolaires et celles de l'azote assimilable des moûts ainsi qu'une corrélation entre les valeurs du N-tester et les niveaux de biomasse observés (Dauphin A., 2014).
- Il existe une classe de biomasse dite « moyenne » pour laquelle l'équilibre entre biomasse et qualité/quantité de récolte est le meilleur. Ceci étant issu d'observations au vignoble (*figure 24*) et d'une étude réalisée par Antoine Dauphin dont les résultats sont rappelés *tableau 4*. (Dauphin A., 2014).

Comme vu précédemment, l'enherbement fait partie des stratégies d'entretien du sol qui influencent la biomasse de la vigne. Les essais enherbement sur des parcelles de biomasses hétérogènes réalisés en 2015 et 2016 étaient organisés selon trois modalités : enherbé en plein ou travail du sol jusqu'à mars/avril puis enherbement un rang sur deux, ou travail du sol jusqu'à véraison et enherbement un rang sur deux. Dans tous les cas, il y a un désherbage mécanique sous le rang. Ces essais ont permis de mettre en évidence les tendances suivantes :

- Les placettes « enherbement en plein » présentent des biomasses plus faibles, un meilleur état sanitaire, des plus faibles teneurs en azote et un poids de grappe moins important.
- Il n'y a pas de différence observée sur la qualité de la production que l'on arrête le travail du sol en avril/mai ou à la véraison.
- Les niveaux de biomasses fortes auraient tendance à « gommer » les écarts entre modalités alors que les niveaux de biomasses faibles auraient tendance à les accentuer.
- Les résultats sont des tendances : il n'y a pas de différences significatives entre les modalités. Les essais sont trop récents et/ou l'effet millésime est prédominant ce qui empêcherait d'analyser indépendamment l'effet « enherbement » et « travail du sol ».

En résumé : effet cépage et millésime sont évoqués et seraient à confirmer. L'influence de l'arrêt précoce du travail du sol n'est pas significativement démontrée à cause de la récence de ces pratiques. La classe de biomasse « moyenne » semble maintenir l'équilibre entre qualité et quantité, mais cette classe moyenne n'est pas chiffrée et dépend certainement du cépage et du millésime.



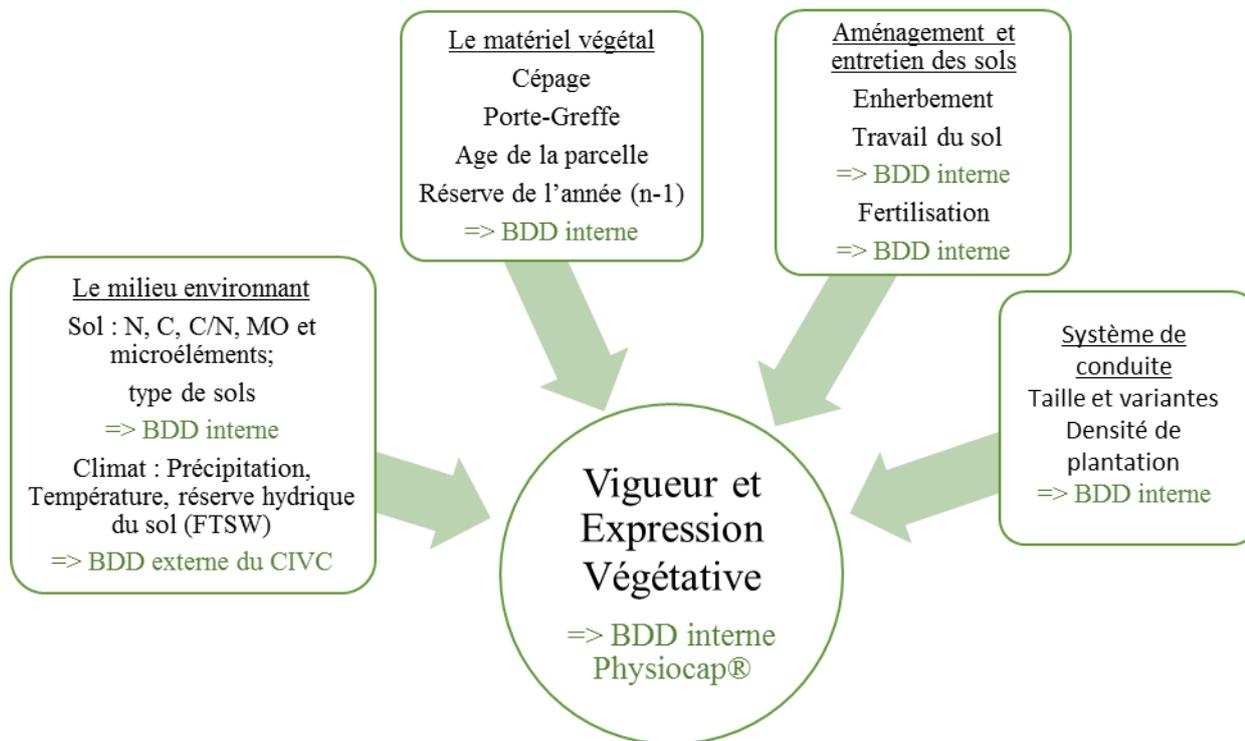


Figure 25 - Organigramme des variables impliquées dans le développement de la vigne et leurs bases de données initiales associées (schéma personnel).

Tableau 5 - Présentation des parcelles choisies pour l'étude (PN Pinot Noir, CH Chardonnay, MN Pinot Meunier)

Secteur	Superficie VCP	Code des parcelles analysées	Cépage
12	40% du vignoble	AV02, AY09A, AY303, ML15, OG22A, OG310, VT308C, VT309B	2 PN 6 CH = 8 parcelles
23	40% du vignoble	BZ 02, BZ 07, BZ 15, VM 15, VZ 14, VZ 32, VZ 34B, W 39	6 PN 2 CH = 8 parcelles
40	20% du vignoble	ST12, ST13, VD06, VD14	4 MN = 4 parcelles

Partie 2 : Matériels et méthodes

I. Matériels et méthodes mobilisés pour l'étude de l'établissement de la biomasse

1. La démarche de l'étude

Cette étude a pour objectif principal d'exploiter, en lien avec les itinéraires techniques du vignoble, les sols, les caractéristiques climatiques des millésimes passés et les données du Physiocap®, principalement la biomasse. Ces données sont accumulées depuis quatre années consécutives chez Veuve Clicquot. Le but est de mettre en évidence des tendances d'augmentation ou de diminution de la biomasse en fonction de certains itinéraires techniques et des conditions de l'année pour aboutir à des préconisations dans la gestion des pratiques agronomiques. L'enjeu étant d'optimiser les biomasses du vignoble.

Cette étude statistique a commencé par un travail de réflexions sur papier avant de débiter la minutieuse construction de la base de données principale. La *figure 25* représente l'ensemble des facteurs explicatifs de la vigueur et de l'expression végétative de la vigne et leur base de données associée (« sous-base ») dans lesquelles j'ai pu récupérer les mesures et informations à analyser. Chaque « sous-base » est un ensemble de fichiers type Excel, nécessitant d'être remaniés pour répondre aux requêtes de l'étude. Un travail de fond et de forme a été réalisé afin de rendre ces fichiers exploitables : homogénéisation des noms, des codes, réarrangement des fichiers selon les campagnes et mise en place d'une colonne dite d'appariement pour concaténer « ces sous-bases » par la suite.

Puis dans un second temps, les données annuelles météorologiques (météo classique et météo des sols) ont été récupérées auprès du CIVC sur les quatre dernières campagnes pour être ensuite transformées en variables exploitables (voir p 29).

Ces données rassemblées en un seul et unique tableur, constituent une matrice complète dont l'analyse doit permettre de comprendre les tendances entre variables climatiques, variables environnantes (météo et sol), facteurs agronomiques et variables du développement végétatif.

L'évaluation des effets millésime, secteur ou cépage sur la biomasse à partir des données climatiques, du modèle du bilan hydrique, de l'analyse de sols et des pratiques agronomiques aura pour but ultime d'élaborer une régression mathématique permettant d'expliquer la biomasse d'une année. L'objectif étant d'ajuster au mieux en aval les actions permettant de redresser les biomasses trop faibles.

2. Présentation des secteurs de l'étude et des cépages

a. Les parcelles étudiées

L'analyse de la base de données a été menée sur les trois secteurs du vignoble VCP avec une répartition homogène des individus en fonction de la superficie de chaque secteur. Il existe trois secteurs : les secteurs « 12 » et « 23 » à tendance argilo-limoneuse et le secteur « 40 » à tendance plus sableuse. En tout, 20 parcelles sont concernées, sur quatre années, permettant la création d'une base de données de 80 individus. Les parcelles ont toutes été passées au Physiocap® sur les quatre dernières années, il n'y a pas de données manquantes pour l'ensemble des variables. De plus, ces parcelles représentent bien l'ensemble du vignoble VCP en termes de superficie et de cépages (*Tableau 5*).



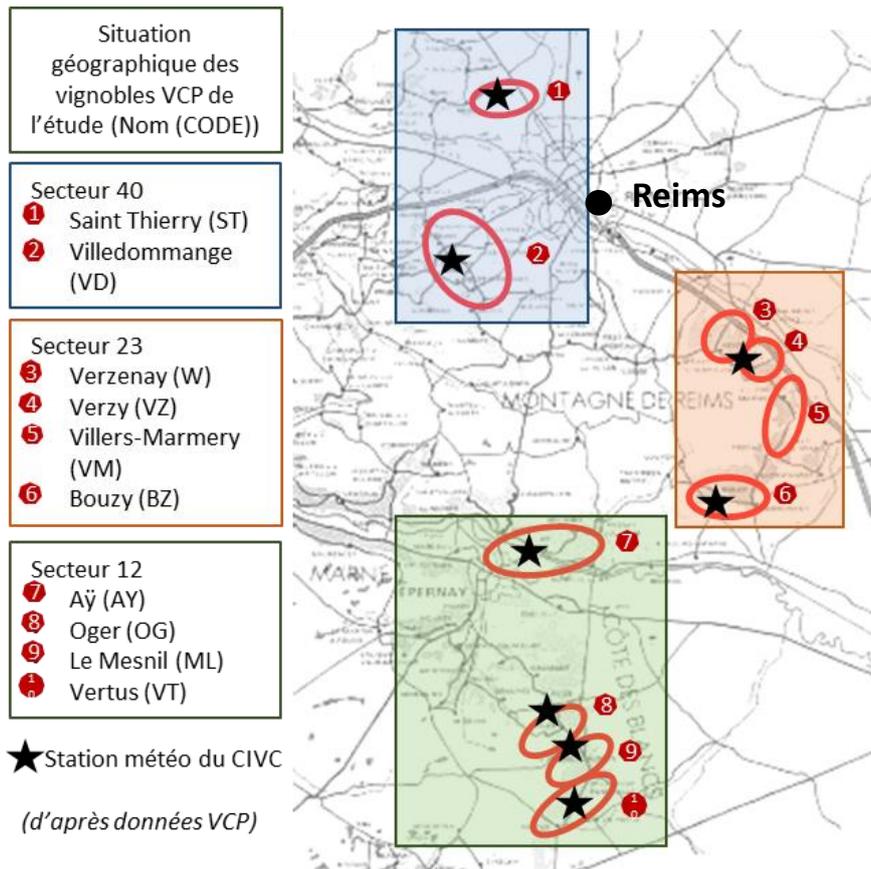
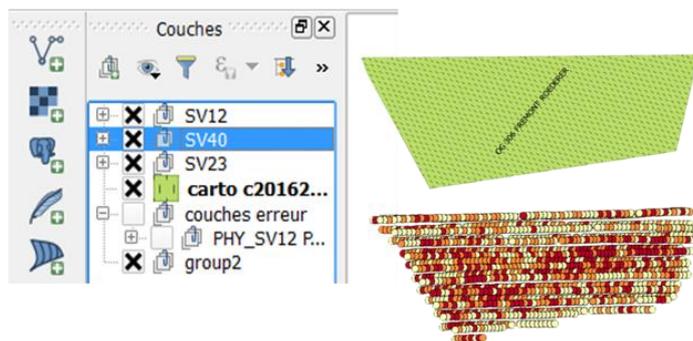


Figure 26- Situation géographique des secteurs 12, 23 et 40, des différents vignobles de l'étude et des stations météo du CIVC (schéma personnel, données VCP)

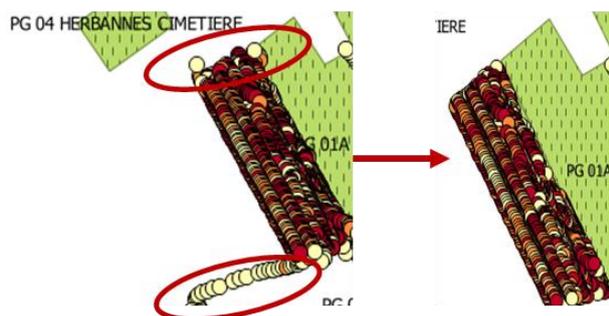
1. Récupération données brutes et fond parcellaire



2. Assemblage des couches



3. Nettoyage des données



4. Création des cartes

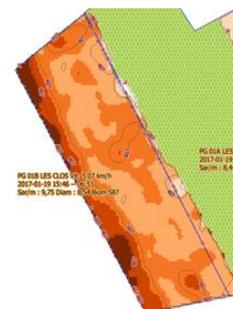


Figure 27 - Processus de synthèse des cartes de vigueur sur le logiciel Qgis (schéma personnel)

b. Les cépages :

L'étude porte sur les trois cépages majoritairement présents sur le vignoble VCP. Le Chardonnay tout d'abord, avec une taille dite « chablis » et un débourrement des plus avancés, est adapté aux terroirs calcaires de la côte des blancs donc majoritairement présent sur le secteur 12 (*figure 26*). Le Pinot Noir, plus présent sur la montagne de Reims (secteur 23), est adapté aux sols calcaires et au climat septentrional. Enfin le Pinot Meunier, plus présent sur le nord du vignoble (secteur 40) possède un débourrement plus tardif. Il est aussi très sensible à la pourriture grise du fait de la compacité des grappes et sa conduite est plus délicate dû à son port retombant.

3. Obtention, construction et articulation des données

a. Acquisition des données de biomasse sur les quatre dernières années

i. Le cas d'une année n : le capteur Physiocap®

Le Physiocap® est un capteur embarqué sur pré-tailleuse qui mesure le nombre de sarments par mètre carré et leur diamètre en effectuant une mesure tous les 30 cm. Il se passe lorsque les feuilles sont tombées. Il est composé d'un micromètre laser avec un émetteur et un récepteur de chaque côté du palissage, ainsi que d'un GPS et d'un boîtier permettant d'enregistrer les informations. Le laser balaie la zone entre émetteur et récepteur et mesure tous les objets de la zone. Il enregistre ainsi le nombre de sarments et leurs diamètres. La valeur de biomasse peut alors être calculée selon la formule :

$$\text{Biomasse} \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{m}^2} \right) = \pi * \text{nombre de sarments} \left(\frac{1}{\text{m}^2} \right) * \left(\frac{\text{diamètre des sarments (mm)}}{2} \right)^2$$

L'exploitation des données obtenues se fait grâce au logiciel informatique Qgis. C'est un système d'information géographique (SIG) libre de droit permettant un travail de cartographie minutieux et en étroite collaboration avec les nouvelles technologies du vignoble telles que le Physiocap®. La méthode consiste à :

1. Récupérer les données envoyées par les tractoristes tous les jours de la campagne de prétaille. Ce sont des fichiers textes (.txt), traités et corrigés par le logiciel Python puis renvoyés sous forme de fichiers shapefile (.shp) exploitables par Qgis.
2. Analyser et nettoyer les données dans Qgis c'est-à-dire filtrer les données afin de ne pas prendre en compte tous les autres éléments que le capteur pourrait considérer comme étant des sarments (piquet, fil, corps étrangers etc). Le filtre choisi par la maison Clicquot se situe entre 3 et 18 mm.
3. Puis, on travaille avec deux types de fichiers dits « couches de vecteurs » dans Qgis: une couche de données brutes filtrées et nettoyées (chaque mesure du Physiocap® représente un point sur la carte) (*figure 27*) et une couche du fond parcellaire du vignoble. On s'assure alors que la couche « données » correspond parfaitement aux limites parcellaires et qu'il n'y ait pas de trajectoire aberrante. Sinon, les points aberrants doivent être rectifiés. Quand les données sont nettoyées, les deux couches sont fusionnées et la base de données Physiocap® se construit automatiquement avec une donnée moyenne par parcelle du nombre de sarment au mètre linéaire, du diamètre en mm ainsi que de la biomasse en mm²/m² de sol.

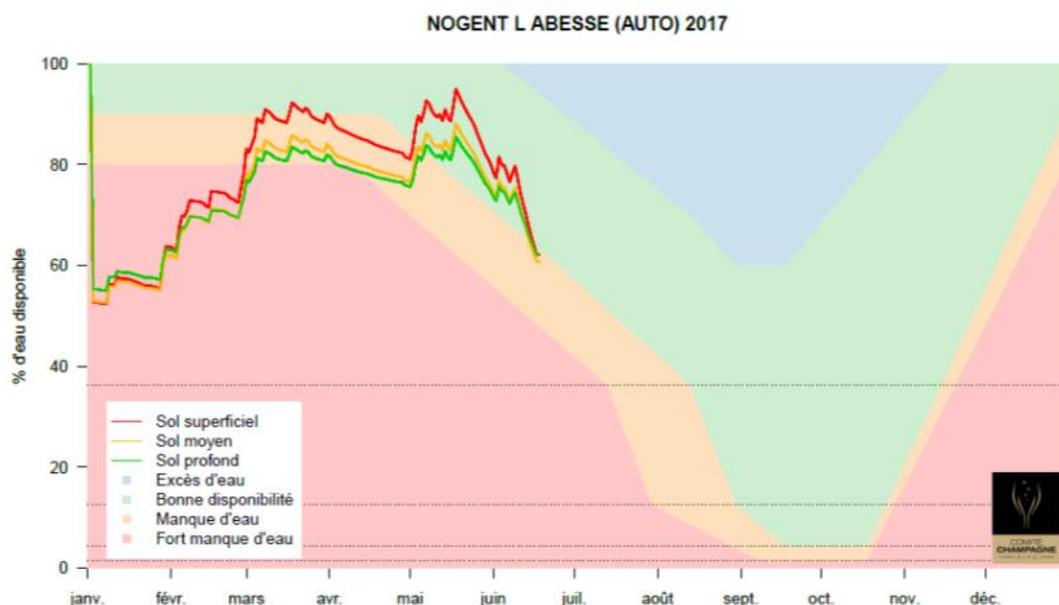


Figure 28 - Graphique de la FTSW au cours d'une saison pour la station de Nogent l'Abesse (Comité Champagne, 2017)

Colonnes (23/0)						
code_parcelle	nom_parcelle	cepage				
1 AV 02	LES BARMONTS	CH				
2 AY 09A	VARMERY HAUT	PN				
3 AY 303	SORANGES COTE MUTIGNY	PN				
4 ML 15	GRANDE COULLEMET ROUTE	CH				
5 OG 22A	LES GLORIETTES	CH				

FTSWdeb	FTSWflo	FTSWmiVer	FTSWVer	FTSWvdg	FTSWdeb-floM	FTSWdeb-floS
0,950002181	0,891273686	0,225272892	0,154177189	0,225856216	0,972620284	67,11079961
0,968011225	0,896971503	0,345299497	0,27813892	0,29298622	0,966292504	64,74159777
0,954972687	0,875528773	0,215596386	0,147693019	0,192357185	0,968401107	66,8196764
0,956783521	0,862114322	0,203396454	0,142967879	0,228644129	0,963685922	66,49432861

FTSW à chaque stade

Moyenne et Somme de FTSW entre des stades choisis

FTSWmiVer-vdgM	FTWSmiVer-vdgS	Pldeb-floS	Tdeb-floM	PlmiVer-vdgS	TmiVer-vdgM
0,220305652	9,252837376	205	13,9	80	16,6
0,321417323	13,82094487	176	14,21	64	16,44
0,20120301	8,450526433	193	14	74	16,2
0,215645185	9,057097775	180	13,71	85	16,51

Moyenne de température / Somme de pluie

Figure 29 - Extrait de la base de données météo avec deb = débourrement, flo = floraison, miVer = mi-véraison, Ver = véraison, vdg = vendange (BDD_meteo, JMP 2017).

4. L'interpolation des données permet ensuite de construire des zones de biomasse selon les dix points avoisinant la mesure et donc de créer des cartes de biomasse (*figure 27*).

On retrouve ici les indicateurs explicités par Champagnol avec le diamètre des bois comme indicateur de la vigueur et la biomasse comme indicateur de l'expression végétative. Nous emploierons donc ces termes pour la suite de l'analyse.

ii. Obtention des données biomasse depuis 2013 [BDD-physiocap]

Les bases de données du Physiocap® sont disponibles sur une base de données interne et sont complétées depuis 2013. Les données sont des moyennes par parcelle, qu'il s'agisse du diamètre, du nombre de sarments ou de la biomasse

Cependant, les parcelles pouvant parfois être très hétérogènes dans leur biomasse, la représentativité des moyennes peut être remise en question. La base de données physiocap a donc été complétée, grâce à un travail sur les données brutes, avec les données des médianes par parcelle. Les différences entre moyenne et médiane ne sont pas significatives (*annexe II*) et c'est la raison pour laquelle nous travaillerons avec les moyennes pour la suite de notre étude.

b. Acquisition des données fertilisation et enherbement [BDD itkN et BDD EHB]

Les données des différentes actions de fertilisation sur les parcelles ont été récupérées sur un logiciel interne. Différents types d'actions sont possibles : apport d'amendements organiques solides à base de fumier de mouton composté et de pulpes d'olives et de raisins (produit : MV100 ou OVI100 ; 2 tonnes/ha) ou apport d'engrais organiques solides (produit : Skor, 800kg/ha) et/ou liquide (produit : Orstim, 12 à 18U) ou engrais minéral (N30, 30 à 40U) (OvinAlp, 2017).

Pour l'enherbement, la base de données a été construite grâce au logiciel interne et aux propos recueillis des chefs des secteurs. Les deux modalités possibles sont « enherbement en plein » ou « enherbement un rang/deux à partir du printemps » avec un travail du sol sous le rang dans tous les cas.

c. Acquisition des données du milieu environnant

i. Données du sol [BDD analyses sol]

Les analyses de sols sont des analyses de la qualité physicochimique des sols, réalisées sur les parcelles au minimum tous les sept ans (système de rotation) par le laboratoire de la CAMA (Chaîne d'Analyses Marne Ardenne).

ii. Données météorologiques et calcul des FTSW [BDD_meteo]

Les données météo sont enregistrées quotidiennement dans les différentes stations du Comité Champagne. Un algorithme de « distance minimale » a été utilisé sur Qgis pour associer à chacune des parcelles la station météo la plus proche. J'ai donc travaillé avec huit stations différentes visibles *figure 26*.

Les données utilisées pour l'étude sont les suivantes : les précipitations journalières en mm, les températures moyennes journalières en degrés et la disponibilité en eau. Comme présenté dans la bibliographie, j'ai choisi d'étudier la FTSW basée sur le modèle de Charles Riou, avec $FTSW = W/W_0$. Le CIVC ayant adapté ce modèle à la Champagne, j'ai pu accéder aux valeurs quotidiennes de FTSW sur les quatre dernières années. Les calculs sont basés sur une réserve utile moyenne pour la Champagne de 220 mm. Le CIVC communique régulièrement ces valeurs de FTSW aux viticulteurs sous forme de graphique (*figure 28*).



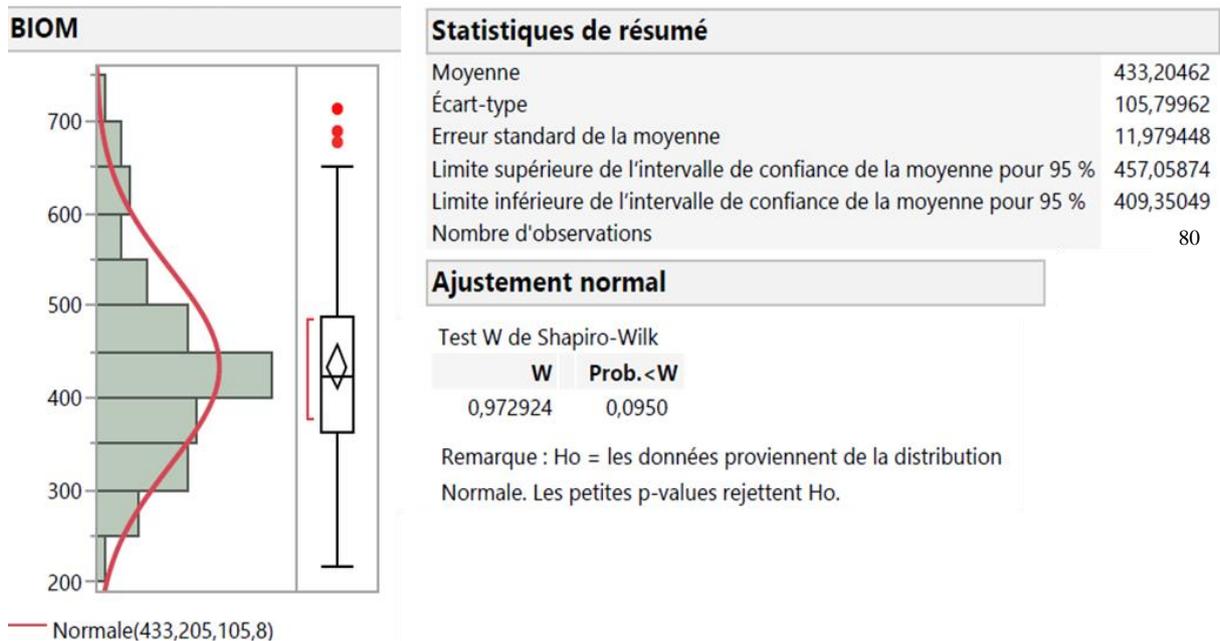
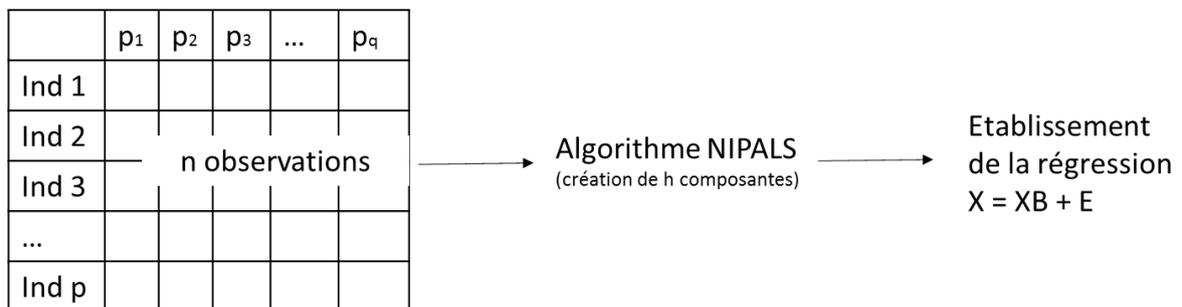


Figure 30 - Test d'ajustement à la loi normal des données biomasse de la base de données globale (JMP, 2017)



$$Y = XB + E$$

Y : matrice de la variable réponse

X : matrice des variables explicatives

B : matrice des coefficients de la régression de Y sur X en utilisant h composantes (générées par NIPALS)

E : matrice des résidus

Figure 31 - Schéma explicatif de la construction d'une régression par les moindres carrés partiels (PLS) (JMP, 2017)

Puis, toujours en accord avec la bibliographie, j'ai découpé cette séquence climatique en fonction des stades phénologiques de la vigne. De plus, étant donné que les trois cépages n'atteignent pas leurs stades phénologiques aux mêmes dates, la disponibilité en eau à un changement de stade est donc dépendante du cépage. J'ai donc récupéré les dates des différents changements de stades phénologiques des trois cépages champenois sur les quatre dernières années et j'ai ainsi pu extraire et calculer les FTSW pour chaque stade phénologique, pour une station météo donnée, pour une année donnée et pour un cépage donné. Et pour une meilleure précision, j'ai également calculé les FTSW moyennes (FTSW_m) et cumulées (FTSW_s) entre différents stades (*figure 29*).

En résumé : Cinq bases de données ont été construites et compilées pour construire une base de données globale composée de 80 individus (parcelle_campagne) pour lesquelles les variables météo, sol, matériel végétal et pratiques agronomiques ont été répertoriées afin d'être analysées et mise en parallèle avec le développement végétatif de la vigne. La matrice complète est en annexe III.

4. Exploitation des données

a. JMP : le logiciel statistique utilisé

JMP est un logiciel statistique qui a permis de concaténer les différentes bases de données pour construire la base globale, support de l'analyse. Dans un second temps, JMP a permis d'analyser cette base avec tous les tests statistiques classiques et plus complexes, le tout dans une approche interactive et visuelle. La version 13 a été utilisée dans cette étude.

b. Rappel sur les tests statistiques et les analyses statistiques multivariées

Concernant la comparaison des moyennes : comme le prouve le test de Shapiro (*figure 30*), les données de biomasse avec lesquelles nous travaillons sont normales (p -value > 0.05). Pour la comparaison des moyennes selon différentes modalités, le test ANOVA pourra être utilisé si les conditions du test sont remplies, à savoir si les données sont normales (Shapiro test) et de même variance (Levene ou Bartlett test). Si l'ANOVA conduit à l'existence d'une différence significative, l'objectif est alors de savoir, en comparant les moyennes deux à deux, lesquelles diffèrent significativement. Un test de Tukey est alors utilisé. Le détail de ces tests est disponible en annexe IV (Grenzbittel, 2011).

Cependant les interactions avec les autres variables ne sont pas prises en compte dans ces tests que l'on prendra donc à titre indicatif et c'est la raison pour laquelle la suite de l'analyse sera multivariée avec des ACP et des PLS, présentées ci-dessous.

- Rappel sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP) :

C'est une méthode d'analyse de tableaux numériques comportant en ligne des individus et en colonne des mesures quantitatives relatives à ces individus. Dans notre étude, elle sera donc limitée aux variables quantitatives qui sont celles du sol et de la météorologie. L'ACP a pour but de résumer l'information contenue dans le tableau, en permettant l'analyse des corrélations linéaires entre les variables (colonnes) et une visualisation des distances entre les individus (lignes). On utilisera une ACP normée afin de s'affranchir des problèmes d'unités entre les différentes variables. Comme nous le verrons, la force des méthodes multivariées telles que l'ACP repose souvent sur des graphiques tels que la carte factorielle des individus et le cercle de corrélations des variables.

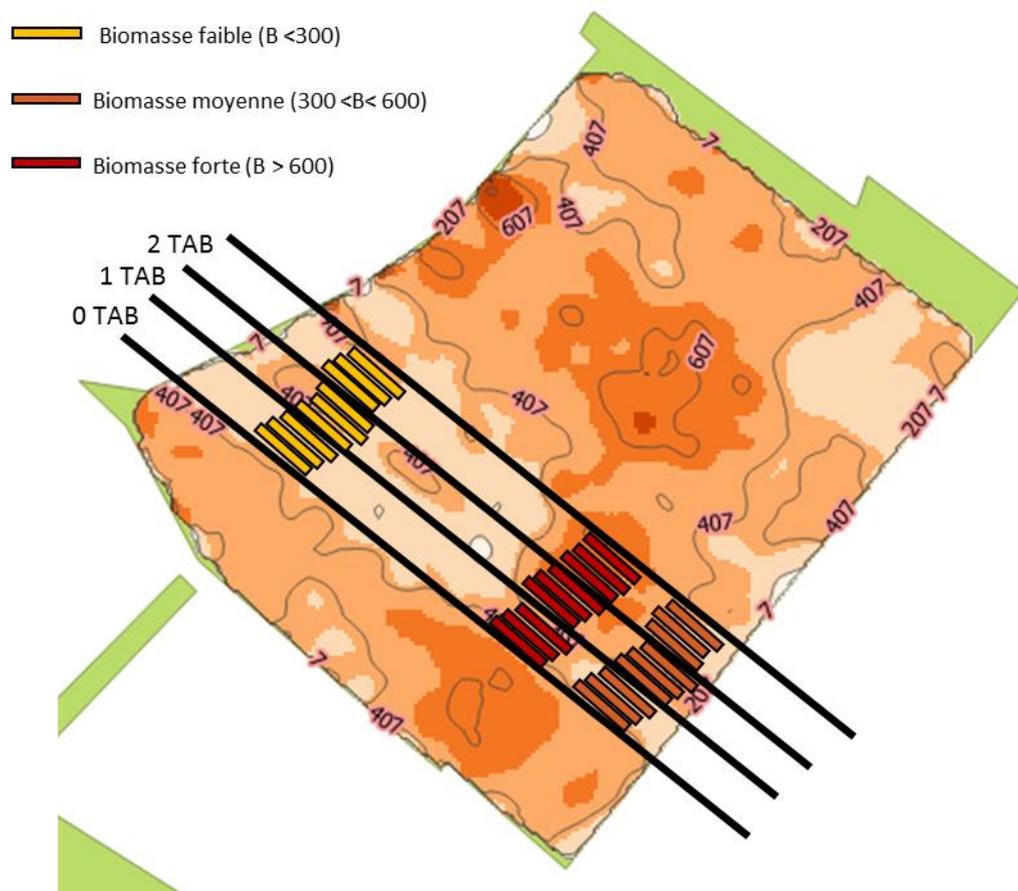


Figure 32 - Parcelle d'essai VD06 avec trois catégories de biomasse en mm^2/m^2 de sol croisées à trois modalités de traitements anti-botrytis (Carte Qgis, 2017)

Les individus se répartissent selon des axes. Ces axes sont corrélés à certaines variables. On parle alors de contributions des variables aux axes et ces données sont visibles dans une matrice de contributions ou encore appelée « loading matrice ».

- Rappel sur la régression par les moindres carrés partiels (PLS Partial Least Square) :

C'est une méthode rapide et efficace utilisée lorsque l'on a un grand nombre de variables explicatives à étudier ou lorsqu'il y a de fortes colinéarités entre les variables (le cas de notre étude). L'idée de la PLS est de créer à partir d'un tableau de n observations décrites par p variables, un ensemble de h composantes ($h < p$), résumant l'information du tableau initial. La PLS présente l'avantage par rapport à l'ACP de travailler avec des données qualitatives et quantitatives ce qui permet d'évaluer les autres variables de la matrice (mode de taille, type d'engrais etc). La PLS est menée par un algorithme NIPALS (Rännar, S., et al, 1994) qui permet l'extraction des composantes h . Dans notre cas, NIPALS travaille avec des données centrées réduites. L'équation simplifiée du modèle de la régression PLS est donnée et expliquée *figure 31*. Dans notre cas, Y est la matrice de la biomasse, X , celle des variables explicatives (sols, météo, pratiques agronomiques etc), B celle des coefficients associés à chaque variable explicative et E la matrice des résidus.

La PLS présente l'avantage d'évaluer la contribution de chaque variable à l'élaboration de la variable réponse (la biomasse). La PLS peut également être aussi utilisée à des fins prédictives. Dans notre cas, la régression peut servir à prédire la biomasse avec une erreur estimée.

II. Matériels et méthodes mobilisés pour l'expérimentation à la parcelle.

1. La démarche de l'étude

L'essai à la parcelle a été mis en place avec deux objectifs précis :

Le premier concerne le nombre de passage de traitements anti botrytis (TAB) nécessaire selon les différentes catégories de biomasse pour obtenir un état sanitaire acceptable sur une parcelle de Meunier. Cet essai a été réalisé à la suite d'une réflexion combinant les observations au vignoble réalisées par Antoine Dauphin en 2014, où vigueur et biomasse sont corrélées au botrytis (cf partie I-c) et la volonté de la maison VCP de s'inscrire dans le développement durable en diminuant l'utilisation des produits phytosanitaires. On rappelle que les pratiques TAB usuelles chez Clicquot dépendent du cépage : 1 TAB pour les Chardonnays, 1 à 2 TAB pour les Pinots Noir et 2 pour les Pinots Meunier.

Dans un second temps, cet essai cherche à démontrer la nécessité d'obtenir des biomasses équilibrées. On analysera pour cela, selon la catégorie de biomasse, les conséquences sur la quantité et la qualité de la récolte.

2. Description de la parcelle d'essai et du matériel végétal

La parcelle d'expérimentation a été choisie pour son fort gradient de biomasse (*figure 32*). Il s'agit de la parcelle VD06, plantée en 2005 et située à Villedommange dans le secteur 40. Cette parcelle très hétérogène dans sa biomasse représente les trois catégories de biomasse dans le vignoble Clicquot comme indiqué sur la figure 32. Le cépage cultivé est le Pinot Meunier car comme vu dans la bibliographie, il semble être le plus sensible au botrytis en Champagne.

Pour mener à bien l'étude, trois modalités sont mises en place :

- 0 TAB : la modalité témoin dans laquelle il n'y aura aucun passage de traitement.



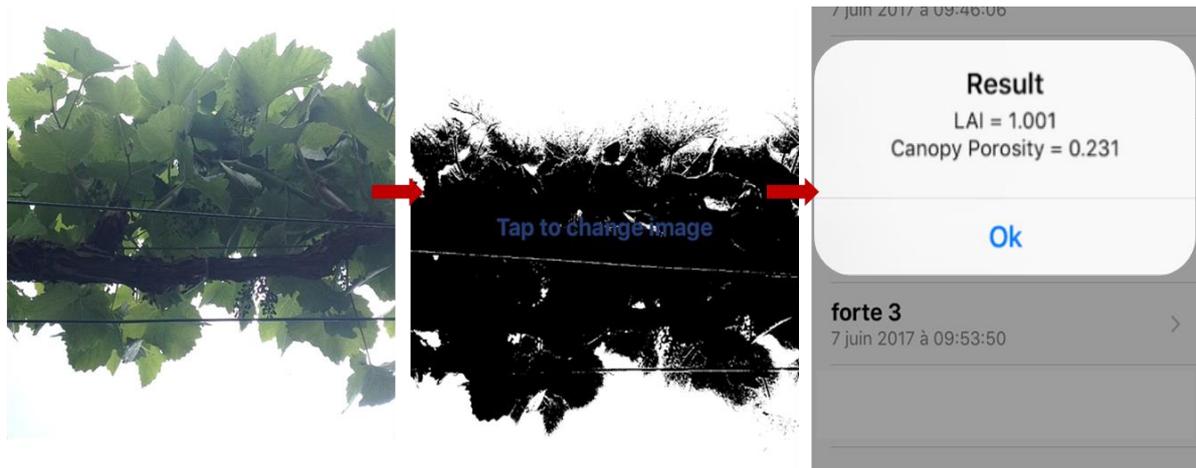


Figure 33 - Présentation du fonctionnement de l'application Viticanopy (photos personnelles)

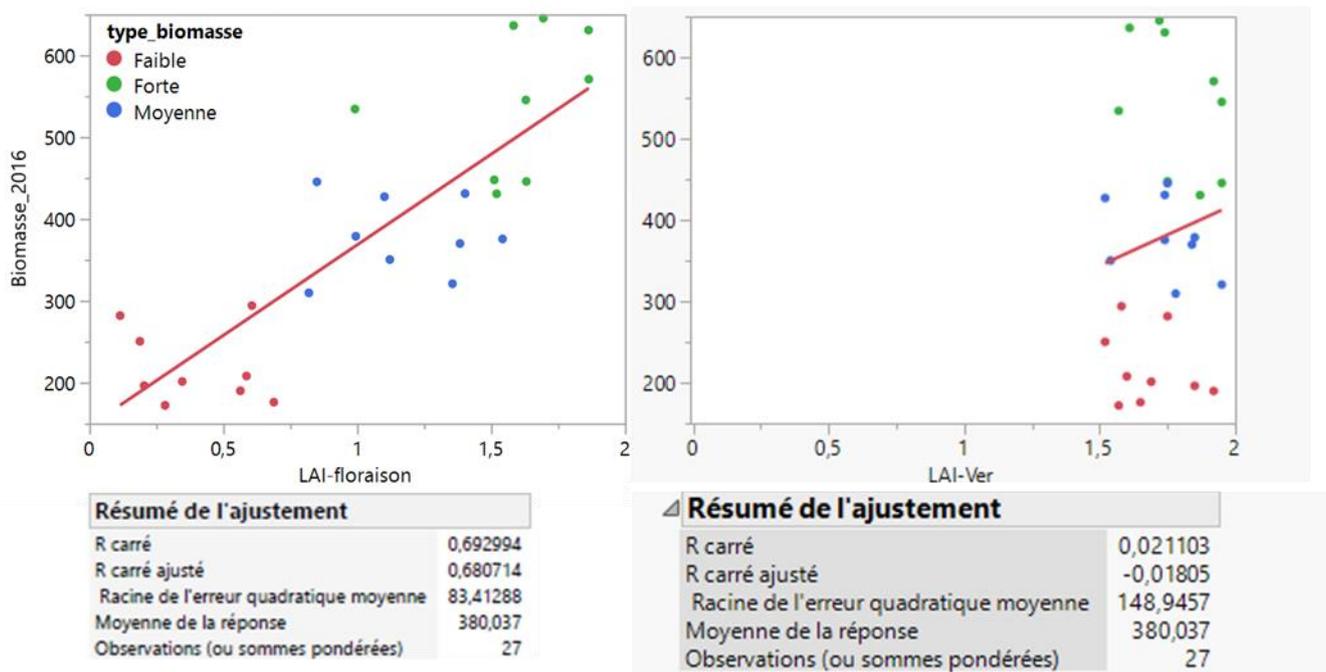


Figure 34 - Régression Linéaire comparant les mesures de LAI à la floraison ou à la véraison 2017 avec les valeurs de biomasses 2016 (JMP, 2017)

- 1 TAB : la modalité dans laquelle un passage est effectué
- 2 TAB : la modalité dans laquelle deux passages sont effectués

De plus chaque modalité traitement (0TAB, 1TAB ou 2TAB) « croise » le gradient de biomasse (faible, moyen ou fort). On a donc 9 combinaisons « type de biomasse/type de traitement ». Chaque combinaison est répétée 3 fois dans un souci de validation d'un plan d'expérience, ce qui fait 27 placettes (*figure 32*). Chaque placette comprend 6 pieds de vignes.

3. Description des paramètres suivis

Pour chaque placette, différents paramètres sont suivis. Ils ont été choisis d'après la bibliographie présentée en partie 1.

Type de variable	Méthode (<i>instrument</i>)	Fréquence de la mesure	Echantillonnage par placette	Valeur étudiée
Botrytis	Comptage : fréquence et intensité	Deux mesures : véraison et vendange	20 grappes par placette ⇒ 27 valeurs	Fréquence moyenne/placette Intensité moyenne/placette
LAI (surface foliaire)	Photo (<i>viticanopy</i>)	Deux mesures : Floraison, véraison	3 photos par placette : on travaille avec la valeur moyenne/placette ⇒ 27 valeurs	LAI moyen/placette
Azote Foliaire	Mesure (<i>N-tester</i>)	Deux mesures : floraison, véraison	1 mesure par placette (30 pincements) ⇒ 27 valeurs	Azote moyen/placette
Analyse macro et microélément	Analyse Foliaire	Une mesure : mi-véraison	Une mesure par modalité ⇒ 9 valeurs	Valeur moyenne pour 3 placettes
Poids grappe	Prélèvement	Une mesure : à la vendange	Prélèvement de 20 grappes par placettes ⇒ 27 valeurs	Poids moyen d'une grappe/placette
Sucre, acidité, azote assimilable.	Analyses Laboratoire (Reims)	Une fois : à la vendange	Une analyse par modalité ⇒ 9 valeurs	Valeur moyenne pour 3 placettes

a. Les mesures de développement végétatif et de nutrition de la vigne

i. Mesure de la couverture foliaire via l'application Viticanopy

N'ayant pas de disponibilités sur les données de Physiocap® 2017, d'autres indicateurs du développement de la vigne ont été choisis pour suivre le développement des vignes des 27 placettes en 2017. L'indice de surface des feuilles (LAI), en accord avec la bibliographie (voir p 9) est un paramètre biophysique commun utilisé pour estimer des variables agronomiques telles que la croissance de la canopée et le développement de la vigne. Viticanopy est une application de smartphone et de tablette, développée par un groupe de chercheurs de l'Université d'Adélaïde et de l'Université de Melbourne, scientifiquement validée et qui permet par le biais de photos d'estimer le LAI de la canopée (*figure 33*) (détails disponibles en annexe V).

La figure 34 valide l'utilisation de Viticanopy comme indicateur du développement végétatif de la vigne mais à la floraison seulement. En effet, le LAI-floraison 2017 est corrélé à la biomasse_2016 avec $r^2=0.69$. En revanche ce n'est pas le cas du LAI à véraison ($r^2=0.31$). En effet, à ce stade plus avancé du développement végétatif, les conditions d'utilisation de l'application ne sont plus remplies car, comme les vignes sont basses en champagne, on a une saturation de la prise de vue et les valeurs de LAI sont alors toutes comprises entre 1.5 et 2 quel que soit l'état végétatif réel.

Tableau 6 - Pertinence de l'analyse selon l'élément minéral concerné (Kleiber A., 2016)

	Pétioles	Limbes
Azote	XX	XXX
Phosphore	X	XXX
Potassium	XXX	XX
Calcium	XX	XX
Magnésium	XXX	XX
Fer	X	XX
Manganèse	X	XXX
Zinc	X	XXX
Bore	X	XXX
Glucides		X

Tableau 7 - Valeurs de références pour des analyses foliaires (INRA de Bordeaux, 2016)

Elément analysé	Quantité en g/100 g MS
N	1,9 à 2,3
P	0,14 à 0,18
K	0,8 à 1,0

De plus ces graphes montrent que les zones de biomasses faibles, moyennes ou fortes sont globalement restées les mêmes entre 2016 et 2017. Les données LAI-floraison et Biomasse_2016 suivent une loi normale (tests de Shapiro). Les tests ANOVA montrent que quelques soient les valeurs analysées (LAI-floraison ou biomasse_2016), les différences entre les modalités biomasse faible, moyenne ou forte sont significatives. On peut donc travailler avec ces données au choix et considérer nos modalités « biomasses » comme significativement différentes en 2017 (résultats des test annexe VI à VIII).

En résumé : biomasse_2016 et LAI-floraison_2017 sont corrélées et indiquent leurs plus faibles valeurs sur les modalités biomasses faibles, leurs valeurs moyennes sur les modalités de biomasses moyennes et de même pour les fortes biomasses. Nos modalités choisies sont donc significativement différentes et l'étude de ces modalités peut débuter.

ii. Nutrition azotée de la vigne en période de croissance végétative, mesure au N-testeur

C'est un appareil optique qui mesure l'intensité de la coloration verte du limbe qui dépend de la teneur en chlorophylle de la plante et de la nutrition azotée. La mesure réalisée permet donc de connaître l'état de nutrition azotée de la plante. L'avantage est qu'il s'agit d'une méthode non-destructive avec un résultat immédiat. Le protocole est détaillé en annexe IX. Les valeurs observées à véraison seront comparées à celle de Van Leeuwen et Friant : si la valeur est inférieure à 400, cela indique une très faible alimentation en azote de la vigne ; au contraire si la valeur est supérieure à 550, l'alimentation en azote est très forte. (Van Leeuwen. K, Friant. P, 2011)

iii. Suivi du statut azoté, analyses de limbes foliaires

Pour les analyse d'azote foliaire et de microéléments, j'ai décidé de faire des mesures sur limbes foliaires et non sur pétioles. En effet, la mesure de l'azote est plus précise avec une analyse de limbes (tableau 6) et les teneurs en potassium et magnésium, bien que moins précises, sont tout de même présentes et indicatrices (Kleiber A., 2016). Le protocole est détaillé en annexe X. Les valeurs seront comparées aux valeurs références de l'INRA de Bordeaux (tableau 7).

iv. Suivi de l'état sanitaire

Etant donnée l'absence de pression phytosanitaire (d'après les avertissements viticoles 2017 du CIVC) et nos observations terrain, seul botrytis est suivi cette année. Le suivi s'est fait à la véraison et à la vendange mais seul le comptage de la vendange sera pris en compte car le développement de botrytis n'avait pas encore commencé à la véraison. Le protocole est exposé en annexe XI.

v. Mesure de la qualité des raisins : contrôle maturité à la vendange

Le protocole contrôle maturité de la parcelle essai est simple : sur chaque placette, 20 grappes ont été cueillies et observées soit 540 observations pour botrytis. Ensuite, le poids moyen des grappes a été mesuré. Enfin, chaque triplet de placette a été pressé dans son ensemble et emmené au laboratoire d'analyse Clicquot de Reims. Comme il y a 9 triplets de placettes, on retrouve 9 valeurs pour chaque paramètre suivis à la maturité soit trois répétitions par modalité de « biomasse ».

La base de données complète de l'expérience sur VD06 est disponible en annexe XII.



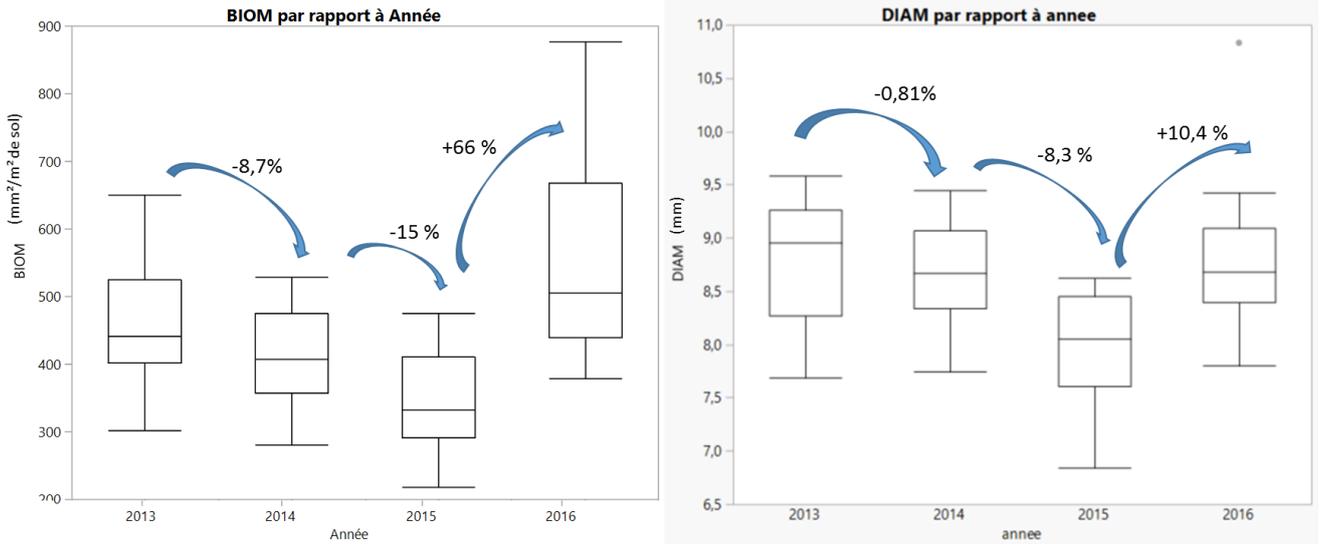


Figure 35 - Evolution des biomasses et moyennes depuis 2013 (JMP, 2017)

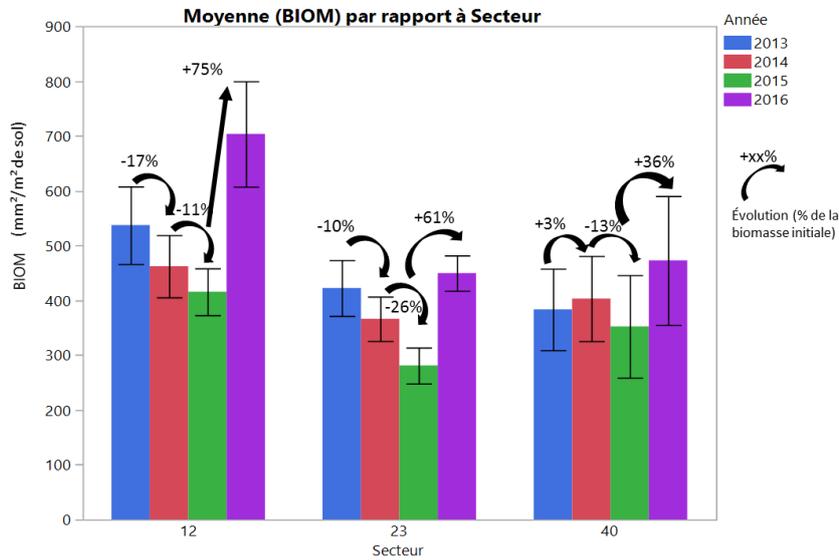


Figure 36 - Evolution des diamètres selon les secteurs depuis 2013 (JMP, 2017)

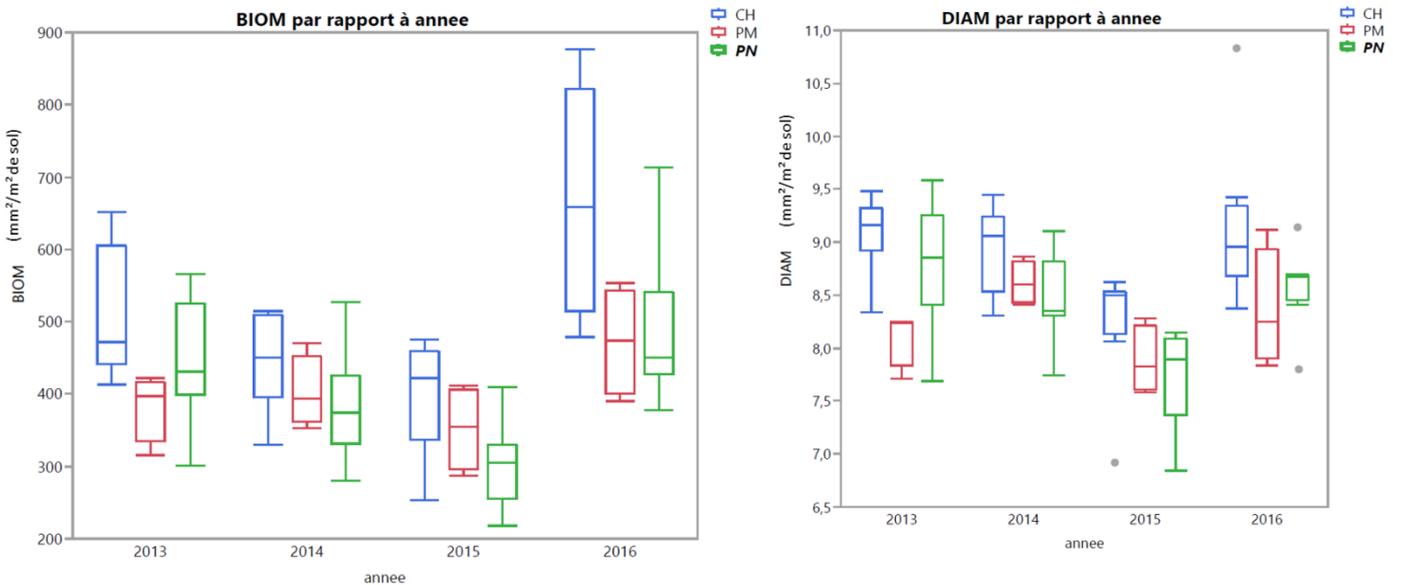


Figure 37 - Evolution des biomasses et diamètres depuis 2013 selon le cépage (JMP, 2017)

Partie 3 : Résultats et discussions

I. Evolution de la vigueur et de l'expression végétative sur les quatre dernières années

1. Comparaison des évolutions de vigueur et de biomasse

Les graphiques présentés ci-contre sont issus de la base de données globale et représentent 20 parcelles sur 4 années différentes avec une moyenne par parcelle. Les écarts sont plus marqués sur la biomasse, du fait de l'échelle de valeurs mais globalement les diamètres et les biomasses évoluent conjointement. Ceci semble logique puisque le calcul de la biomasse prend en compte la mesure du diamètre (voir p27). Entre 2013 et 2015, biomasse et diamètre ont diminué de manière continue et progressive ce qui peut être traduit par une diminution de l'expression végétative et de la vigueur pour atteindre des valeurs très faibles voire critiques parfois (biomasse de 200 mm²/m² de sol). Cependant les valeurs de 2016 montrent une remontée de ces paramètres (+66% pour la biomasse et + 10,4% pour le diamètre). Le vignoble Veuve Clicquot retrouve ainsi un développement végétatif acceptable (*figure 35*).

L'évolution de la biomasse de 2013 à 2016 est la même pour chacun des secteurs (sauf le secteur 40 en 2014) notamment concernant la remontée de 2016. Le secteur 12 est d'ailleurs celui qui présente la plus grosse progression (+75%) ce qui équivaut à un gain de 290 mm²/m² de sol entre 2015 et 2016 (*figure 36*). C'est également celui qui semble posséder les plus fortes biomasses dans l'ensemble.

Concernant les cépages (*figure 37*), on retrouve la tendance déjà évoquée dans les études précédentes : le Chardonnay présente les plus gros diamètres et les biomasses les plus importantes, quel que soit le millésime.

Ces histogrammes nous laissent donc supposer un effet cépage, puis un effet millésime et enfin un effet secteur. Les tests permettant de visualiser ces effets sont des tests type ANOVA et Tukey. Le test pour l'effet cépage est présenté *figure 38*. Les autres tests sont disponibles en annexe (XIII) et les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

	Test ANOVA	Test de Tukey	Interprétation
Effet millésime	Il existe une différence significative entre les millésimes (<i>p-value <0.05</i>)	2013 ≠ 2015 ; 2016 ≠ 2015 ; 2016 ≠ 2014 2016 ≈ 2013 2014 ≈ 2015	Groupe biomasse forte : 2013 et 2016 Groupe biomasse plus faible : 2014 et 2015
Effet secteur	Il existe une différence significative entre les secteurs (<i>p-value <0.05</i>)	S12 ≠ S 23 S12 ≠ S40 S23 ≈ S40	Groupe biomasse forte : S12 Groupe biomasse plus faible : S23 et S40
Effet cépage	Il existe une différence significative entre les cépages (<i>p-value <0.05</i>)	CH ≠ PM CH ≠ PN PM ≈ PN	Groupe biomasse forte : CH Groupe biomasse plus faible : PM et PN

2. Premières analyses et interprétations

Le Chardonnay semble être un cépage plus vigoureux. Cependant il ne faut pas conclure trop hâtivement car comme vu dans la bibliographie, la taille influence la vigueur et comme tous les Chardonnays sont taillés en chablis, les Pinots Noir et Pinots Meunier en cordon, il est possible que la différence ne vienne pas du cépage mais de la taille exercée. De même, l'effet du secteur semble significatif, mais le secteur 40 est planté en Meunier, le secteur 12 plutôt en Chardonnay et le secteur 23 plutôt en Pinot Noir, l'effet secteur est peut-être en fait un effet cépage.



Anova à un facteur

Analyse de la variance

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport F	Prob. > F
cepage	2	105657,64	52828,8	5,2392	0,0074*
Résidus	75	756246,50	10083,3		
Total corrigé	77	861904,14			

Comparaisons pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

Niveau	- Niveau	Différence	Erreur standard de la différence	Limite de contrôle inférieure	Limite de contrôle supérieure	P-value
CH	PM	77.00621	31.08561	2.6766	151.3358	0.0406*

Figure 38 - Résultats de l'analyse de variance (test ANOVA) et des comparaisons deux à deux (Test de Tukey) pour les valeurs de biomasse selon le cépage (JMP, 2017)

Corrélations

	BIOM	DIAM	NBSARM
BIOM	1,0000	0,7409	0,8909
DIAM	0,7409	1,0000	0,3699
NBSARM	0,8909	0,3699	1,0000
age_parcelle	0,3405	0,1812	0,3333
FTSWdeb	0,2355	0,1033	0,2253
FTSWflo	0,5657	0,4305	0,5092
FTSWmiVer	0,4084	0,2880	0,3941
FTSWVer	0,2152	0,3503	0,0812
FTSWvdg	0,1653	0,1699	0,1446
FTSWdeb-floM	0,4808	0,2666	0,4917
FTSWdeb-floS	0,6079	0,5425	0,4931
Pldeb-floS	0,5017	0,3233	0,4969
Tdeb-floM	-0,0701	-0,0986	-0,0426
FTSWmiVer-vdgM	0,2725	0,2845	0,2106
FTWSmiVer-vdgS	0,2728	0,3271	0,1822
PlmiVer-vdgS	-0,3284	-0,1532	-0,3553
TmiVer-vdgM	0,1045	-0,3193	0,3542

Corrélations

	BIOM	DIAM	NBSARM
argile	0,1334	0,0561	0,1097
limons_fins	0,4292	0,3865	0,3169
limons_grossiers	0,4325	0,3131	0,3685
sables_fins	-0,4631	-0,4383	-0,3275
sables_grossiers	-0,1458	0,0650	-0,2520
N	0,1494	0,2844	0,0002
C	0,0935	0,2163	-0,0353
C/N	-0,1089	-0,1160	-0,0879
calcaire_actif_%	0,3486	0,3273	0,2503
calcaire_total_0/00	0,3690	0,3078	0,2904
MO	0,0936	0,2159	-0,0350
BIOM(n-1)	-0,0464	0,2078	-0,1618
DIAM(n-1)	-0,2188	0,1455	-0,3677
NBSARM(n-1)	0,1019	0,1855	0,0552

Figure 39 - Extrait de la matrice des corrélations entre variables issue de l'ACP (JMP, 2017)

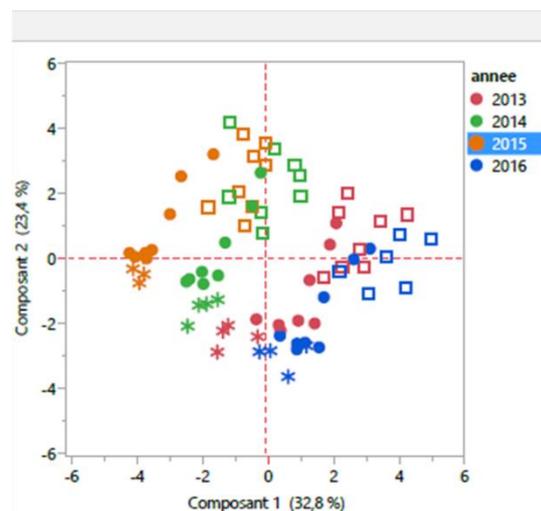
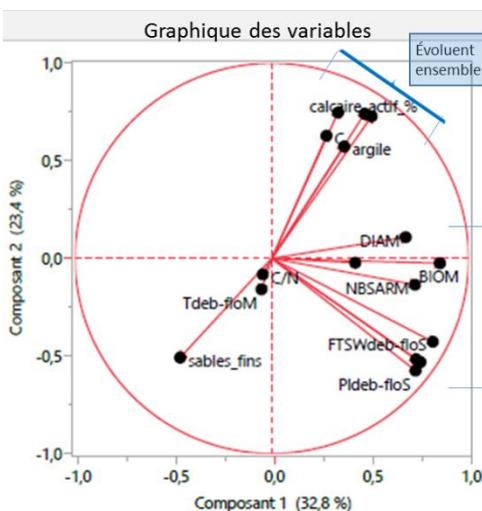


Figure 40 - Représentation graphique des variables et des individus, issus de l'ACP (JMP, 2017)

De même, faire un lien direct entre ces évolutions et un effet « cépage » (par exemple) serait trop radical car d'abord, comme l'a stipulé la bibliographie, étudier l'effet d'une variété, c'est étudier cette variété en interaction avec son environnement. Et de plus, d'autres facteurs rentrent en ligne de compte comme les pratiques agronomiques. Par exemple, si on cherche à expliquer l'augmentation de la biomasse entre 2015 et 2016, on sait que : la taille a été raccourcie en 2016 et pourrait expliquer les gains de diamètres. Mais également, l'enherbement a été détruit un rang sur deux dans certaines parcelles. De plus, le printemps 2015 ayant été très sec, les engrais solides n'ont pas fonctionné. Alors qu'en 2016, non seulement le printemps était pluvieux mais les stratégies de fertilisation ont aussi évolué avec l'arrivée d'un engrais liquide (Orstim) dans certaines parcelles. Or dans ces graphiques, toutes les stratégies de fertilisation sont comprises. Et leur efficacité dépend des types apports, des conditions du millésime, également du type de sol etc., on ne peut donc pas faire de lien direct sans prendre en compte ces interactions. C'est pourquoi, notre analyse statistique doit s'orienter vers une analyse plutôt multiple, prenant en compte tous ces facteurs (sol, climat, pratiques agronomiques) et permettant de les hiérarchiser.

II. Etude statistique multivariée des paramètres influençant l'établissement et l'évolution de la biomasse

1. Influence du milieu environnant sur la biomasse

a. Mise en évidence des principaux facteurs : sols et conditions météorologiques

- Observations et descriptions des résultats

On réalise une ACP sur la matrice globale, ce qui permet de voir l'agencement des différentes variables intervenant dans l'établissement de la biomasse. Le détail des résultats est disponible en annexe XIV. La matrice des corrélations montre les liens entre les différentes variables (*figure 39*). Ainsi biomasse, diamètre et nombre de sarments sont des variables très corrélées entre elles ($r^2=0.7$ et 0.9) ; ceci étant en accord avec la formule de la biomasse (p27). En revanche on peut noter la plus faible corrélation entre le diamètre et le nombre de sarments ($r^2=0,37$) ce qui confirme qu'une vigne avec un grand nombre de sarments peut avoir des diamètres forts ou faibles comme l'écrit Champagnol.

On peut ensuite remarquer qu'il n'y a pas de corrélation forte avec l'âge de la parcelle ($r^2=0.3$) ce qui n'est pas surprenant puisqu'une vigne bien menée doit permettre d'avoir des biomasses acceptables tous les ans, quel que soit l'âge de la parcelle. En revanche, la biomasse est positivement corrélée à la disponibilité de l'eau dans le sol à la floraison (0.56), entre le débourrement et la floraison (0.60) et à la somme des pluies entre le débourrement et la floraison (0.50), mais pas aux autres variables météo du cycle végétatif. La disponibilité de l'eau au printemps apparaît donc comme étant déterminante dans l'établissement de la biomasse. Les corrélations avec la composition du sol sont moins prononcées mais non négligeables ($r^2 \pm 0,4$).

Pour aller plus loin dans l'analyse et affiner ces tendances, une ACP simplifiée a été réalisée où seules les variables les mieux représentées dans le cercle des corrélations ont été conservées. Les graphiques sont présentés *figure 40* et le détail est disponible en annexe XV. On retrouve les variables diamètre, biomasse, nombre de sarments et variables de disponibilité en eau au printemps qui évoluent ensemble (les vecteurs vont dans le même sens). De même, calcaire actif et argile évoluent ensemble et de manière opposée à sables fins (vecteurs opposés).

Matrice des loadings					
	Principal 1	Principal 2	Principal 3	Principal 4	Principal 5
NBSARM	0,72780	-0,13495	-0,29149	-0,00250	-0,21513
DIAM	0,68064	0,10840	-0,21120	0,45200	-0,14154
BIOM	0,85492	-0,02513	-0,29704	0,19213	-0,22860
FTSWdeb	0,42428	-0,02227	0,28670	-0,63056	-0,12220
FTSWflo	0,75590	-0,53136	0,07333	0,08240	0,08880
FTSWdeb-floM	0,73342	-0,51694	0,18496	-0,24460	0,18110
FTSWdeb-floS	0,81821	-0,42700	0,10671	0,11324	0,07419
Pldeb-floS	0,73075	-0,57523	0,22196	-0,02185	0,18757
Tdeb-floM	-0,05228	-0,15848	0,40721	0,07620	0,38640
argile	0,36801	0,57358	0,07405	-0,51170	0,03323
limons_fins	0,50790	0,72821	0,01767	-0,05755	-0,09220
sables_fins	-0,46556	-0,50825	0,28138	0,15588	0,26581
C/N	-0,04582	-0,08260	0,74163	0,05655	-0,60621
calcaire_actif_%	0,47176	0,74156	-0,18928	-0,07858	0,35722
C	0,27818	0,62876	0,63341	0,28763	-0,03775
N	0,33659	0,74718	0,32905	0,27220	0,28294

Valeurs propres		
Numéro	Valeur propre	Pourcentage cumulé
1	5,2448	32,780
2	3,7469	56,198
3	1,7464	67,113
4	1,1802	74,489
5	1,0210	80,871

Figure 41 - Extrait de la matrice des loadings et présentation de l'éboulis des valeurs propres (JMP, 2017)

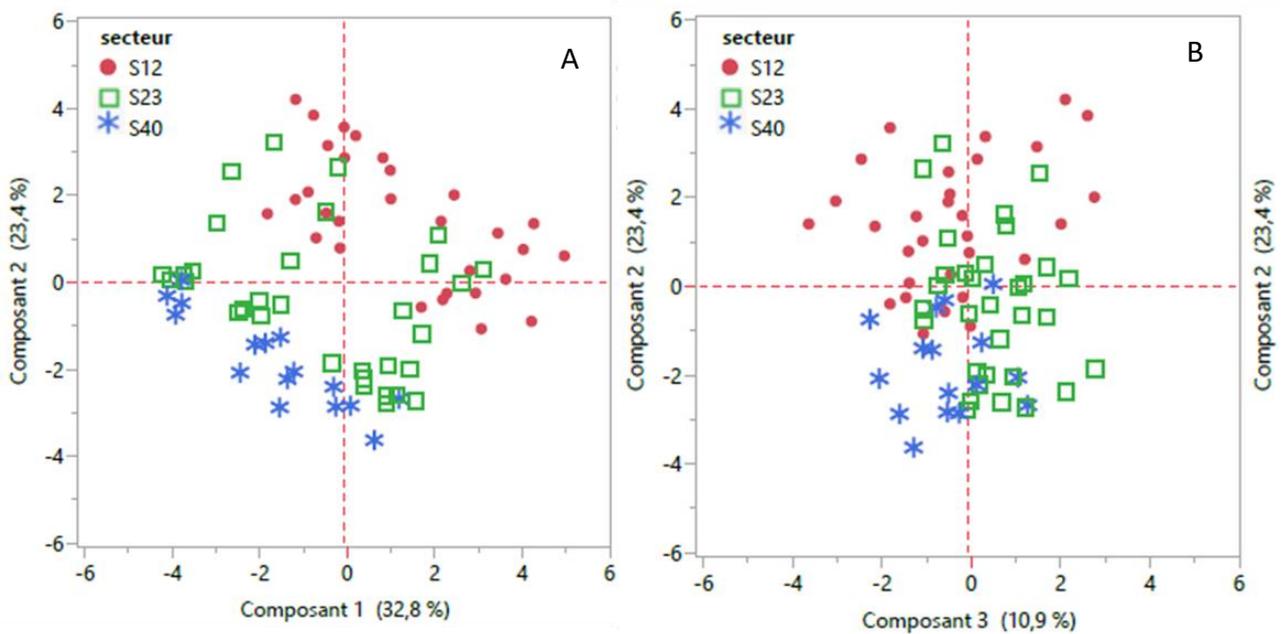


Figure 42 - Représentation graphique des individus selon les axes 1 et 2, puis les axes 2 et 3 (JMP, 2017)

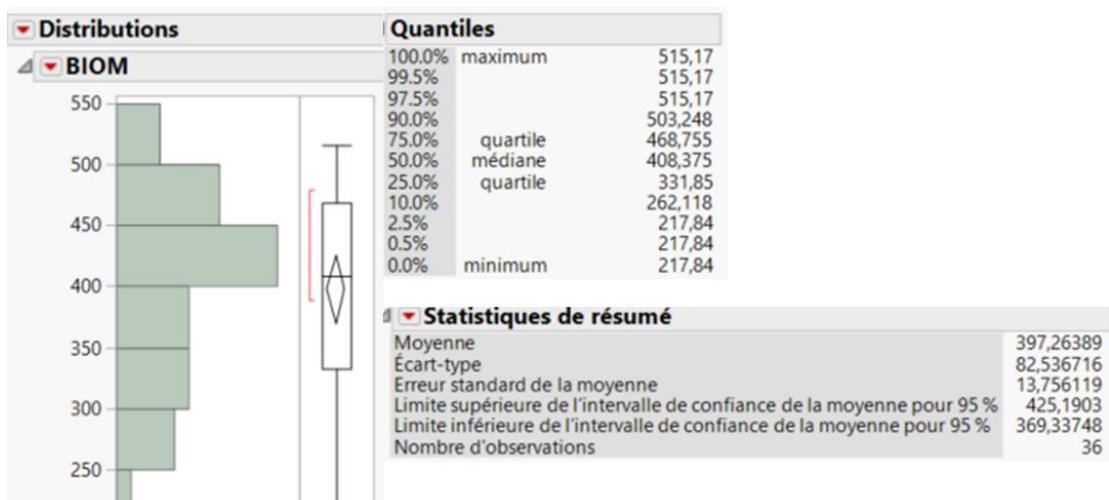


Figure 43 - Etude de la distribution de la biomasse de 45 individus ayant des C/N > 14 (JMP, 2017)

Comme on peut le voir sur la représentation des individus *figure 40*, les groupes millésimes sont bien séparés. La séparation entre les millésimes 2013, 2016 (groupe biomasse forte) et 2014, 2015 (groupe biomasse plus faible) se fait selon l'axe 1 (Composant 1). D'après la loading matrice, qui donne les corrélations variables-axes (*figure 41*), les variables les plus corrélées à l'axe 1 sont la biomasse, le diamètre, le nombre de sarments et FTSWflo, deb-floM, deb-floS et Pldeb-floS qui correspondent à l'état hydrique du sol au début du cycle. Les FTSW de début de cycle sont donc bien des variables discriminantes pour différencier les millésimes selon des biomasses fortes ou faibles.

La différenciation entre les secteurs se fait selon l'axe 2 (*figure 42 (A)*) et toujours d'après la matrice des loadings, les variables les plus corrélées positivement à l'axe 2 sont les limons fins, le calcaire, l'argile, le C et le N alors que les sables fins sont négativement corrélés à l'axe 2. On retrouve ici les compositions des sols constatées sur le terrain : des sols limono-argileux pour le secteur 12, argilo-limoneux pour le secteur 23 et sablo-limoneux pour le secteur 40.

Les axes 1 et 2 expliquent 56% de l'information de notre base de données d'après l'ébouilisé des valeurs propres. Seulement si on passe à trois axes, on peut expliquer jusqu'à 67% de l'information (*figure 41*). En effet, les variables les plus corrélées à cet axe sont le C et le C/N et il n'y a pas d'effet secteur visible. Les parcelles présentant des C/N élevés (>14) sont issues des trois secteurs et représentent 45% des parcelles étudiées (*figure 42(B)*).

- Interprétations de ces résultats

Trois axes expliquent la répartition des individus. Le premier montrant l'effet millésime explique l'importance de la disponibilité de l'eau en début de cycle dans l'établissement de la biomasse. Ceci est à interpréter avec la littérature et les savoirs techniques qui expliquent que les pluies printanières permettent de déliter les bouchons d'azote et également de favoriser la minéralisation de la matière organique. L'azote et les éléments minéraux sont ainsi plus disponibles pour les plantes et à l'origine de meilleures biomasses. Ce qui explique qu'à chaque millésime correspond une classe de biomasse, elle-même associée à une certaine disponibilité en eau au printemps.

Le second axe sépare les individus selon la composition des sols et montre l'effet secteur. Les parcelles au nord de Reims, secteur 40, présentent des sols sableux et des biomasses plus faibles. Comme le stipule la bibliographie, les sols sableux ont des capacités moindres de stockage en eau. Donc si eau et biomasse évoluent ensemble, cela peut expliquer que des sols sableux conduisent à des biomasses plus faibles.

Enfin le troisième axe sépare les individus selon leurs C/N et montre que près de la moitié des parcelles Clicquot présente des C/N élevés. La distribution des valeurs de biomasses des parcelles présentant des C/N élevés (>14) a été analysée : les valeurs s'échelonnent de 200 à 550 avec une moyenne de 397 mm²/m² seulement (*figure 43*). Donc 45% des parcelles étudiées présentent des C/N élevés (>14) et des biomasses « faibles à moyennes ». Comme on sait qu'il y a une trentaine d'années, des écorces étaient épandues sur le vignoble Clicquot pour apporter de la matière organique, assurer la portance et éviter l'érosion, et que ces écorces présentent des C/N très élevés, on peut penser que la matière organique, très stable et peu minéralisante bloque la disponibilité de l'azote pour les plantes d'où les faibles biomasses observées aujourd'hui.

En résumé : L'effet millésime existe. L'eau au printemps est capitale pour l'élaboration de la biomasse avec un effet certain sur la fertilisation. La disponibilité de l'eau est liée au type de



Model Comparison Summary

Method	Number of rows	Number of factors	Percent Variation Explained for Cumulative X	Percent Variation Explained for Cumulative Y
NIPALS	74	3	49.007411	81.161808

Figure 44 - Premiers résultats de la PLS (JMP, 2017)

Tableau 8 - Extrait de la table des coefficients de la régression PLS et des contributions associées en % (JMP, 2017)

Coefficient	BIOM	Contributions
Effet disponibilité en eau	0,1769	18%
Effet millésime	0,1236	13%
Effet secteur	0,1136	12%
Effet densité	0,0956	10%
Effet amendement organique	0,0875	9%
Effet taille	0,0493	5%
Effet Orstim	0,0475	5%
Effet cépage	0,0391	4%
Effet limons fins	0,0264	3%
Effet sables fins	0,0242	3%
Effet Skor	0,0251	3%
Effet calcaire total	0,0230	3%
Effet argile	0,0144	2%
Effet C/N	0,0135	2%
Effet enherbement	0,0130	2%

sol, à la minéralisation de la matière organique et à l'efficacité de la fertilisation, rendant azote et éléments minéraux disponibles pour les vignes. Ces interactions issues du milieu environnant du vignoble sont capitales dans l'établissement de la biomasse.

b. Hierarchisation et quantification de l'influence des paramètres en lien avec la biomasse

- Observations et descriptions des résultats

L'outil statistique utilisé ici est la régression des moindres carrés partiels dite régression PLS. Les données biomasse (n-1), nombre de sarments (n-1) et diamètre (n-1) n'ont pas été prises en compte dans un premier temps car elles ne sont disponibles que pour trois campagnes sur quatre et réduisant donc la base de 80 à 60 individus. Nous les analyserons par la suite. Le résultat détaillé de cette PLS est disponible en annexe XVI.

Ce qu'il faut retenir c'est qu'en prenant en compte toutes les variables influentes, la régression PLS explique 81,16% de la biomasse du vignoble Clicquot sur les quatre dernières années, ce qui est très bon (*figure 44*). L'influence des paramètres étudiés (quantitatif ou qualitatif) est visible à travers les coefficients centrés réduits associés à chaque paramètre. Pour une meilleure compréhension de ces coefficients, leur contribution pour l'établissement de la biomasse a été calculé en pourcentage selon la formule ci-dessous et les résultats sont présentés tableau 8.

$$\text{contribution (\%)} = \frac{|\text{coefficient PLS centré réduit}|}{\sum |\text{coefficients PLS centrés réduits}|} \times 100$$

- Interprétations des résultats :

La disponibilité en eau au printemps est le premier facteur et contribue à 18% à l'établissement de la biomasse (*tableau 8*), venant confirmer les observations faites précédemment avec l'ACP. De même, l'effet millésime contribue à 13% et comprend les autres variables propres au millésime mais non étudiées telles que l'ensoleillement, le vent, la température etc. Ceci est en accord avec la bibliographie qui indique que la production de biomasse est proportionnelle au flux d'eau transpiré par la plante donc dépendante de l'architecture de la plante, des conditions climatiques et de la disponibilité de l'eau dans le sol. De même la disponibilité de l'eau permet la minéralisation de la matière organique. Ceci explique donc les biomasses faibles constatées pour les millésimes très secs tels que 2015.

Dans un second temps vient l'effet secteur caractérisé par le type de sol, les expositions des parcelles, le climat, etc. Les différents types de sols influencent la biomasse à hauteur de 3 à 4% (*tableau 8*) : l'argile et les sables fins présentent des biomasses plus faibles alors que les limons influencent positivement la biomasse. Ceci peut s'expliquer par une porosité bien distribuée pour ces sols et une bonne disponibilité de l'eau (Carbonneau, 2015). De même la littérature indique que les sols sableux présentent de très faibles capacités de rétention en eau. Ce phénomène serait à l'origine de biomasses plus faibles. C'est le cas du secteur 40.

L'effet de la densité de plantation contribuerait à 10% à l'établissement de la biomasse et serait meilleure pour les parcelles plantées en 7600 qu'en 8300 pieds/ha. D'après la bibliographie, il s'agirait surtout de concurrence inter-pieds et non en vis-à-vis. Mais chez Clicquot, les écarts sur un même rang sont toujours les mêmes. C'est la distance entre deux rangs qui change. On peut donc penser que pour des densités fortes avec un mètre d'écart seulement entre deux rangs, la concurrence en vis-à-vis s'installe et impacte les biomasses.

Cependant, les limites de cette étude statistique sont rapidement visibles dès qu'il s'agit d'évaluer l'impact des pratiques agronomiques.



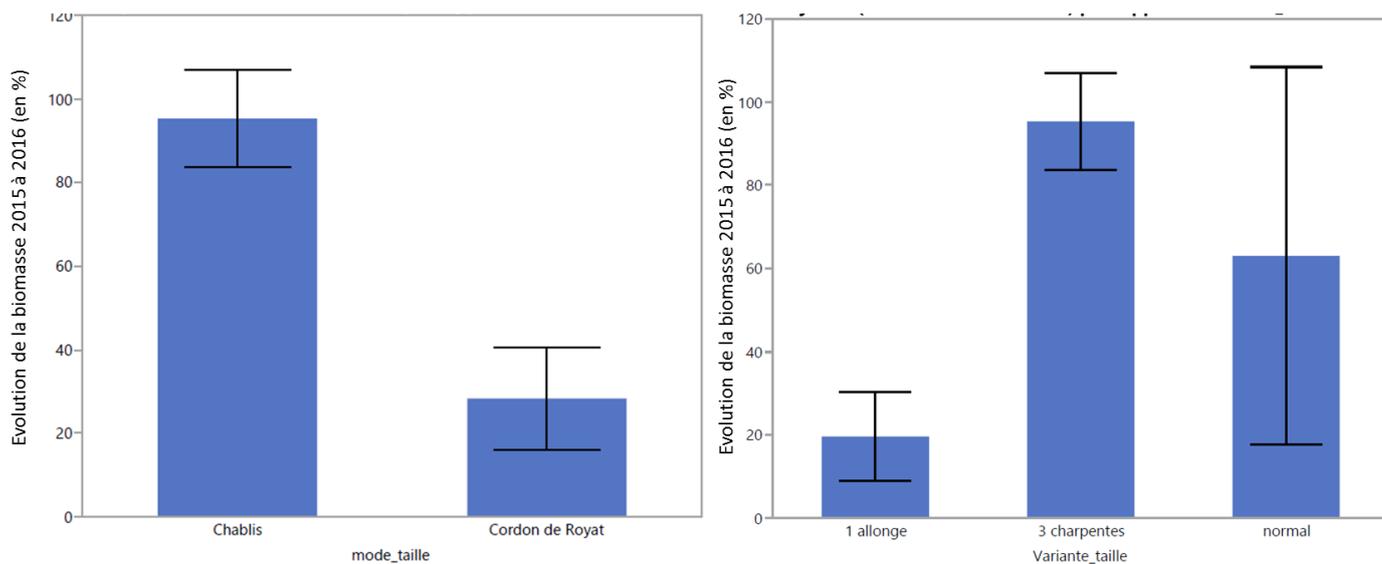


Figure 45 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 en fonction du mode de taille et gain de diamètre selon le type de cépage (JMP, 2017)

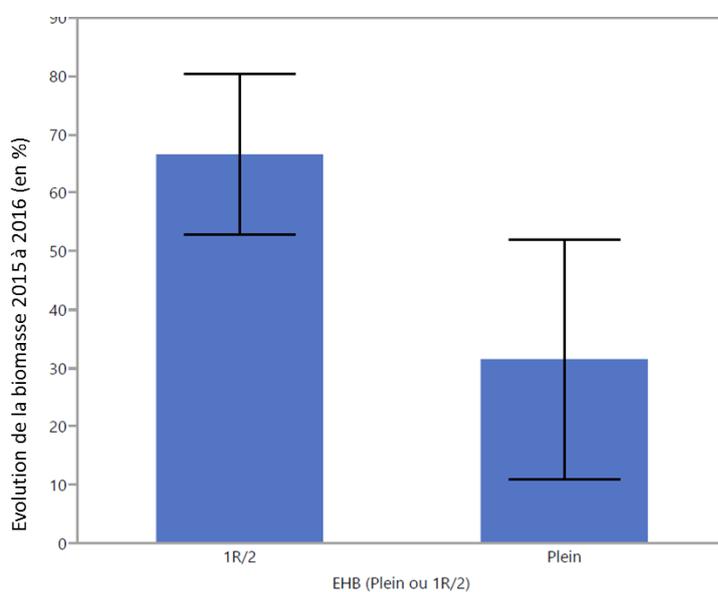


Figure 46 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 selon le type d'enherbement (JMP, 2017)

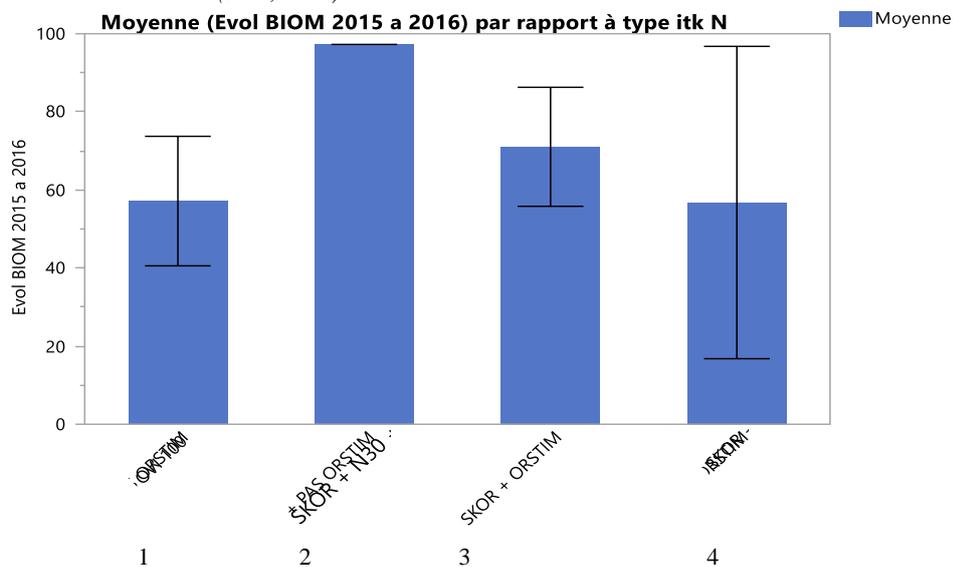


Figure 47 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 selon l'itinéraire technique en place (JMP, 2017)

En effet leurs effets sur la biomasse sont largement sous-estimés qu'il s'agisse de la taille, de l'enherbement ou des différents apports en fertilisation (*tableau 8*). On peut voir deux raisons. Déjà, l'impact de la fertilisation étant lié à la pluviométrie printanière, son influence se mesure sûrement à travers l'effet « disponibilité en eau ». Ensuite, ces pratiques sont encore trop récentes pour avoir réellement du poids dans l'analyse statistique basée sur quatre années.

Bilan : En accord avec la bibliographie, la disponibilité de l'eau, la composition du sol et les densités de plantation conditionnent principalement l'établissement de la biomasse d'une année (n). La limite de l'algorithme de la PLS réside dans la sous-estimation de l'influence des pratiques agronomiques. Les observations terrain confirment que ces effets sont non négligeables. Il convient alors de s'affranchir de l'effet millésime et de focaliser sur le gain de la biomasse 2015-2016 selon le type de stratégie azote, enherbement et taille mis en place chez Clicquot afin d'évaluer l'impact des pratiques agronomiques sur l'évolution de la biomasse.

2. Influence des pratiques agronomiques sur l'évolution de la biomasse

a. Impact de la taille sur la biomasse

Comme montré sur la *figure 45*, les parcelles taillées en chablis présentent une forte évolution de leur biomasse entre 2015 et 2016 en comparaison à celles taillées en cordon. Autrement dit en champagne, entre les Chardonnays et les Pinots Noir et Meuniers. Les différences sont significatives (Tukey) mais on ne peut pas trancher entre un effet taille et un effet cépage. On sait également que devant les faibles biomasses de 2015, la taille avait été diminuée sur l'ensemble du vignoble avant le printemps 2016. L'effet du raccourcissement de la taille est visible sur la *figure 45* et se caractérise par une augmentation du diamètre des bois pour les trois cépages, ce qui confirme bien les propos bibliographiques selon lesquels cette pratique influence la vigueur. On remarque d'ailleurs que le secteur 40 planté en Meunier et présentant les biomasses les plus faibles sur les quatre dernières années, a vu sa taille se raccourcir pour toutes ses parcelles. Ceci peut expliquer l'augmentation du diamètre des bois de plus de 15% sur ce secteur (*figure 45*).

L'influence de la taille sur la biomasse et les diamètres ne pourra cependant pas être poussée plus loin car les décisions de raccourcissement de taille sont difficiles à retracer : la décision se fait au cas par cas ou par zone de parcelle lorsque les pieds de vignes sont jugés « faibles ».

b. Impact de l'enherbement sur la biomasse

Même si le test de Tukey ne valide pas significativement la différence constatée, la tendance qui se dégage de la *figure 46* est claire : les parcelles conduites en enherbement un rang sur deux depuis le printemps 2015 ont vu leur biomasse augmenter de 68% en moyenne en 2016. Ces résultats confirment les propos de la bibliographie : la destruction de l'enherbement au printemps un rang sur deux permet à la vigne d'être moins concurrencée dans ses besoins en azote, en eau et en éléments minéraux (Chantelot, 2003).

c. Impact de la stratégie fertilisation

Le printemps 2016 ayant été très pluvieux, les stratégies de fertilisation peuvent être considérées comme à leur « maximum » d'efficacité et sont donc comparables même si les différences observées ne sont pas significatives (barres d'erreurs). Cependant des tendances se dégagent et risquent de s'accroître dans le futur. Les stratégies comprenant de l'OVI 100 et du Skor (itinéraire 1 et 4 *figure 47*) peuvent être comparées car il s'agit d'apports azotés solides qui se délitent et rendent l'azote disponible pour les plantes grâce aux pluies printanières.



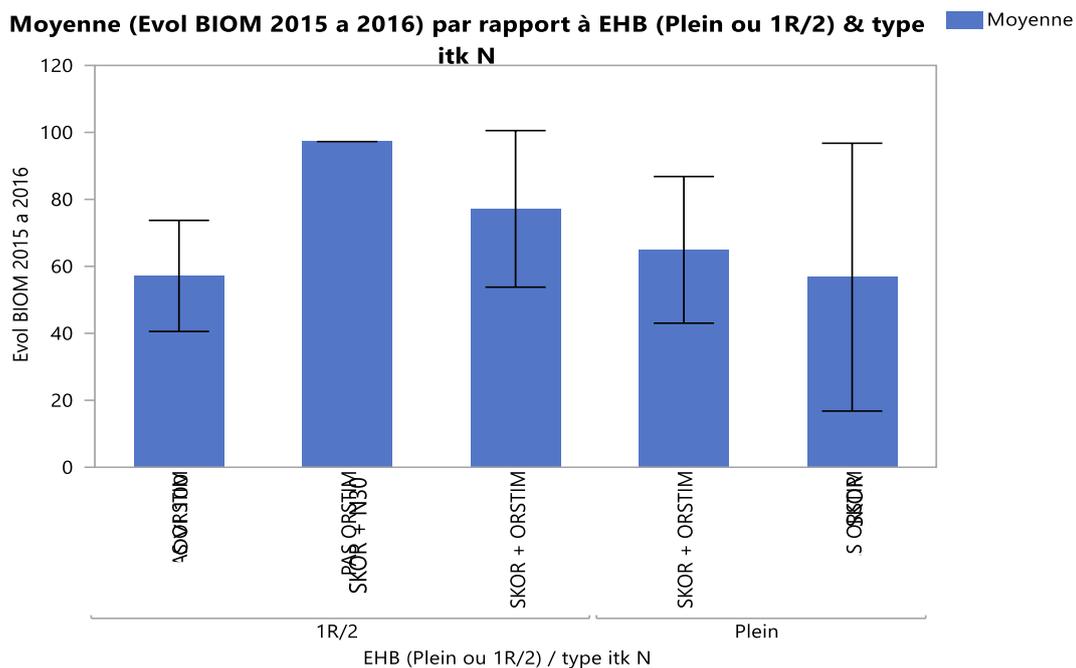


Figure 48 - Gain de biomasse entre 2015 et 2016 selon le type de stratégie enherbement-fertilisation (JMP, 2017)

Tableau 9 - Comparaison économique des deux itinéraires techniques (A) et (B) (personnel)

Critères		(A) Enherbement 1R/2 + amendement organique OVI 100	(B) Enherbement en plein + Engrais organique Skor
Evolution Biomasse entre 2015 et 2016 (moyenne)		+57%	+58%
Coût détaillé	Produit	OVI 100 : 560 €/ha (2000 kg/ha)	Skor : 320 €/ha (800 kg/ha)
	Epancre	2h x 85€ = 170€/ha	2h x 85€ = 170€/ha
	Total produit	740 €/ha	490 €/ha
	Entretien sol classique	Tonte + travail du sol sous le rang 5 passages x 2.75h x 85€ = 1169€	Tonte + travail du sol sous le rang 5 passages x 2,75h x 85 = 1169€
	Destruction de l'enherbement	3 passages x 3.25h x 85€ = 828.75€/ha	Aucune
Total sol	2000€/ha	1170€/ha	
Coût total		2740€/ha	1660€/ha

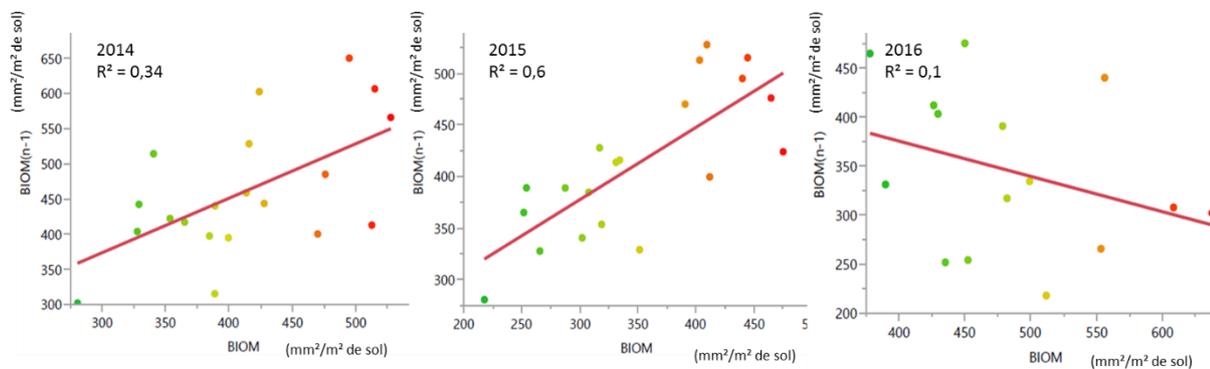


Figure 49 - Régressions linéaires comparant la biomasse d'une année avec celle de l'année d'avant pour trois millésimes (JMP, 2017)

Les deux stratégies présentent des évolutions similaires et positives (>50%). Cependant, l'OVI 100 est un amendement alors que le Skor est un engrais, censé être plus facilement assimilable par les plantes. Cette différence est peut-être compensée par les quantités apportées à l'hectare qui sont deux fois plus importantes pour l'OVI100. Ceci expliquerait les gains en biomasses similaires. Mais les valeurs sont trop étendues (barres d'erreurs) pour être vraiment comparées.

L'Orstim est un engrais organique liquide qui permet donc de s'affranchir de la pluviométrie du printemps pour être efficace. Son utilisation a débuté en 2016 sur certaines parcelles du vignoble pour remonter les valeurs de la biomasse. Il s'accompagne toujours de Skor. Si l'on compare les itinéraires 3 et 4 (*figure 47*), il semble que l'Orstim a permis une meilleure évolution de biomasse entre 2015 et 2016. Cependant son impact n'est pas significatif. On peut supposer que comme le printemps 2016 a été très pluvieux, le Skor a pu parfaitement fonctionner et donc légèrement « gommer » l'effet de l'engrais liquide. Il serait donc intéressant de reconduire cette analyse sur 2017 qui a présenté un printemps sec.

Le N30 est un engrais minéral toujours accompagné de Skor. Son effet est visible sur l'itinéraire 2 (*figure 47*) puisque les parcelles suivant cet itinéraire azoté ont quasiment doublé leur biomasse entre 2015 et 2016. Le N30 étant un engrais minéral, on suppose que l'assimilation a été rapide et efficace et que le Skor a également bien fonctionné du fait des pluies printanières. Cependant, pour répondre à la directive nitrate, le N30 est très peu utilisé et est réservé aux quelques parcelles court nouées présentes sur le vignoble.

d. Analyse de la combinaison de ces pratiques

La *figure 48* présente les meilleurs itinéraires techniques combinant azote et enherbement pour redresser la biomasse. On peut diviser ces itinéraires en trois catégories :

ITK 1 : Enherbement un rang sur deux + engrais organique solide (Skor) + azote minéral (N30). Cet itinéraire serait plutôt réservé aux parcelles présentant des biomasses très faibles (<300 mm²/m² de sol) souvent dues à la présence de court noué.

ITK 2 : Enherbement un rang sur deux + engrais organique solide et liquide (Skor + Orstim). Cet itinéraire serait adapté pour des parcelles avec des biomasses moyennes nécessitant d'être renforcées (comprises entre 300 et 500 mm²/m² de sol).

ITK 3 : Enherbement en plein + engrais organique solide et liquide (Skor + Orstim) ou que solide (Skor uniquement) OU Enherbement un rang sur deux + amendement organique uniquement (OVI 100). Ces itinéraires seraient plutôt pour des parcelles où la biomasse a retrouvé des valeurs convenables et que l'on cherche simplement à maintenir (≈ 600 mm²/m²).

L'objectif à court terme pour le vignoble Clicquot est de redresser ses valeurs de biomasse (ITK 1 ou 2). A moyen terme, l'objectif sera de les maintenir (ITK 3) tout en prenant en compte des facteurs économiques et sociaux (les conditions de travail sont meilleures sur un enherbement en plein). On cherche ici à comparer économiquement deux stratégies (A) et (B) permettant de maintenir des biomasses convenables et faisant intervenir deux types d'enherbement différents, compensés par deux types de fertilisation différents. L'évaluation des coûts est présentée *tableau 9*. L'itinéraire (B) est moins onéreux et plus satisfaisant pour les ouvriers mais il présente l'inconvénient d'être exposé à des risques de concurrence trop forte en cas d'année humide et donc de rechute de la valeur de la biomasse. Donc le passage à un enherbement en plein avec apport d'engrais semble intéressant sur les plans économiques et sociaux mais devra être mis en place sur des parcelles plutôt stables dans leur biomasse.



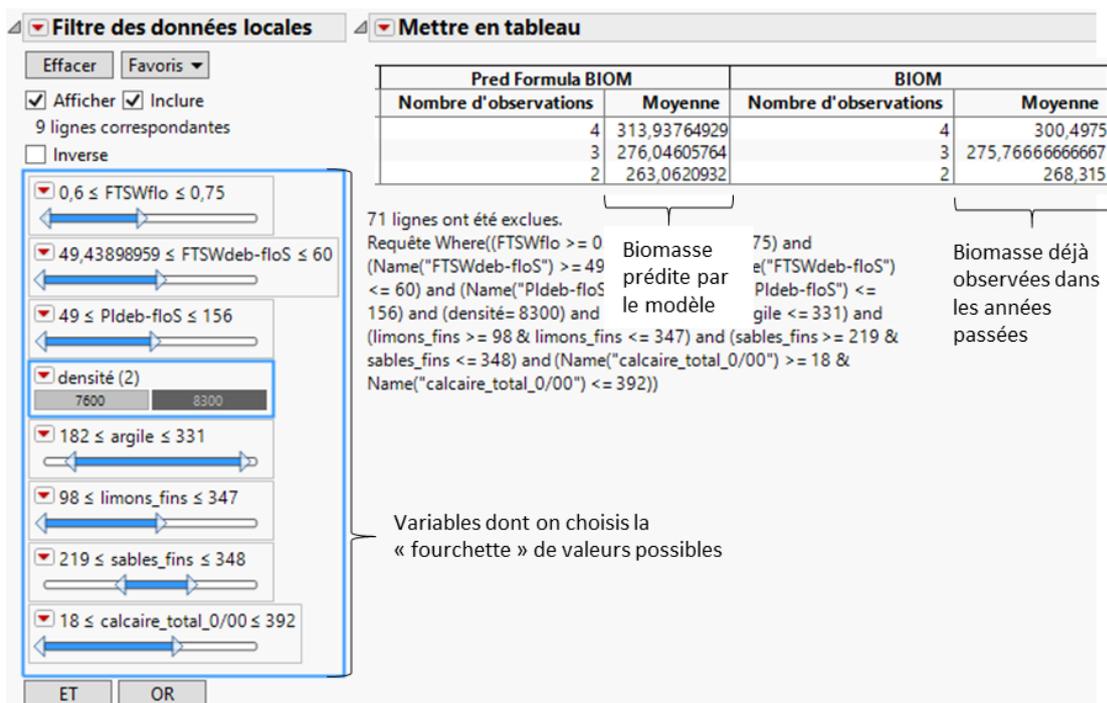


Figure 50 - Présentation de la construction d'un tableau croisé dynamique selon des critères choisis et filtrés (JMP, 2017)

Tableau 10 - Outil d'aide à la décision dans les stratégies enherbement-fertilisation, prenant en compte toutes les variables intervenant sur la biomasse (personnel)

Type de sol	Densité	FTSWflo	FTSWdeb-floS	PlDeb-Flo	Efficacité Fertilisation	Concurrence de l'enherbement	Biomasses prédites	Biomasses historiques	Mise en réserve supposée	ITK adapté
SV12 254 < argile < 346	7600	0,6 à 0,75	50 à 60	54 à 130	Faible	Faible	444 < B < 464	423 < B < 469	moyenne	Ok ITK2
277 < Limons fins < 573		0,75 à 0,9	60 à 70	130 à 205	Forte	Forte	563 < B < 644	554 < B < 689	bonne	Ok + ITK 3
52 < Sables fins < 281	8300	0,6 à 0,75	50 à 60	54 à 130	Faible	Faible	406	413	moyenne	Ok - ITK2
192 < Calcaire total < 640		0,75 à 0,9	60 à 70	130 à 205	Forte	Forte	481	470	moyenne	Ok ITK2
SV23 260 < argile < 365	8300	0,6 à 0,75	49 à 60	49 à 156	Faible	Faible	263 < B < 313	268 < B < 300	faible	Pb ITK1 ou 2
98 < Limons fins < 347		0,75 à 0,95	60 à 70	156 à 263	Forte	Forte	426 < B < 438	389 < B < 422	moyenne	Ok- ITK2
156 < Sables fins < 348	8300	0,6 à 0,75	49 à 57	48 à 139	Faible	Faible	244 < B < 272	287 < B < 318	faible	Pb ITK1 ou 2
18 < Calcaire total < 392		0,75 à 0,94	57 à 65	139 à 230	Forte	Forte	392	383	moyenne	Ok- ITK2
SV40 154 < argile < 260	8300	0,6 à 0,75	49 à 57	48 à 139	Faible	Faible	244 < B < 272	287 < B < 318	faible	Pb ITK1 ou 2
96 < Limons fins < 142		0,75 à 0,94	57 à 65	139 à 230	Forte	Forte	392	383	moyenne	Ok- ITK2
345 < Sables fins < 492	8300	0,6 à 0,75	49 à 57	48 à 139	Faible	Faible	244 < B < 272	287 < B < 318	faible	Pb ITK1 ou 2
46 < Calcaire total < 118		0,75 à 0,94	57 à 65	139 à 230	Forte	Forte	392	383	moyenne	Ok- ITK2

En résumé : La taille impact la vigueur et a participé au redressement des valeurs de biomasse entre 2015 et 2016. Il est difficile de savoir entre enherbement et fertilisation lequel est le plus impactant mais il ressort de cette étude la nécessité d'équilibrer ensemble ces deux leviers d'action. Sachant que la fertilisation solide fonctionnera beaucoup mieux avec un printemps humide et que la fertilisation liquide, certes plus chère, permet de s'affranchir de ces conditions. Enfin, la priorité du vignoble pour l'année prochaine est de continuer de rétablir les valeurs de biomasse sur l'ensemble des parcelles, mais par la suite, l'objectif sera de s'orienter vers des itinéraires d'enherbement en plein qui sont plus intéressants sur les plans économiques et sociaux.

En limite de cette étude, on notera que pour avoir des répétitions dans les tests statistiques, les trois cépages sont confondus dans ces graphiques et peuvent induire un biais. On peut aussi regretter l'absence de certains itinéraires (type enherbement un rang sur deux + Skor) qui auraient pu permettre d'approfondir cette analyse, d'autant plus que ces itinéraires existent mais les valeurs de biomasse associée n'étaient pas disponibles.

3. Analyse de la « mise en réserve » de la biomasse d'une année sur l'autre

La même régression PLS est réalisée sauf qu'elle prend cette fois-ci en compte les données de biomasse, nombre de sarments et diamètre de l'année précédente. Contre nos attentes, les résultats montrent que les paramètres influençant le plus la biomasse restent les mêmes, à proportions similaires. Les résultats sont disponibles en annexe XVII. On peut donc supposer que la biomasse de l'année (n-1) ne joue pas de rôle capital dans l'établissement de la biomasse de l'année (n).

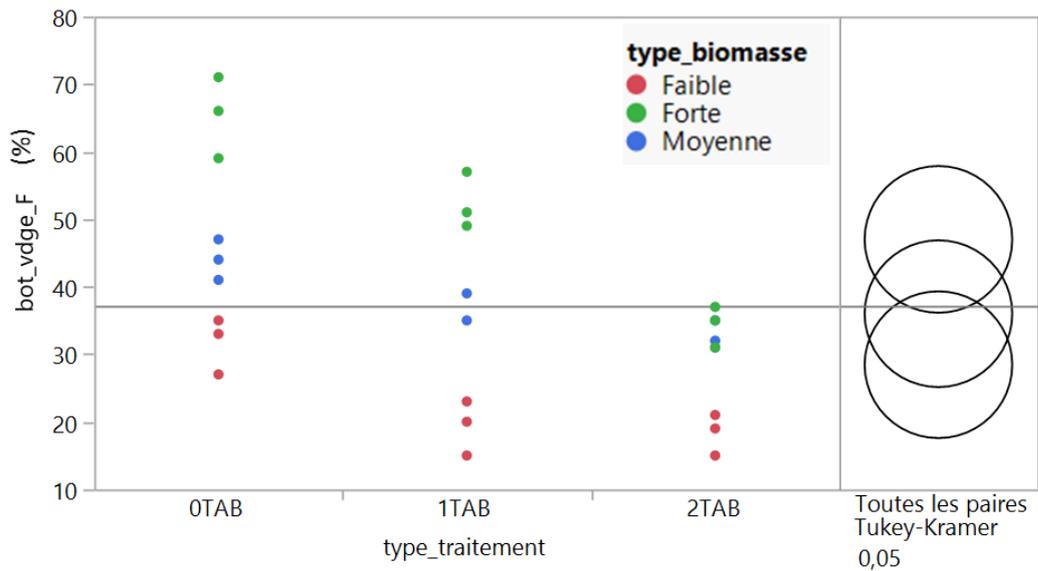
Mais ceci est en contradiction avec la bibliographie qui stipule bien que la taille a un rôle de mise en réserves, que le débourrement est permis par les réserves et que les réserves jouent un rôle dans le cycle suivant. De plus, si on analyse le lien entre biomasse (n-1) et (n) pour chaque millésime disponible (*figure 49*), on observe une tendance linéaire pour 2014 et 2015: les parcelles ayant de fortes biomasses en (n-1) ont également de fortes biomasses en (n). Il s'agit de tendances seulement car les r^2 restent faibles mais on peut envisager que les réserves (n-1) interviennent bien dans l'établissement de la biomasse (n). Et si cet effet n'est pas visible dans notre analyse c'est que l'effet de l'environnement est prédominant. Cela montre aussi que la biomasse de la vigne répond très vite à son environnement. L'effet de mise en réserve serait sûrement plus visible pour des années climatiques moins extrêmes.

Bilan : La base de données correspond à des millésimes avec des conditions climatiques extrêmes et l'analyse PLS ne permet pas de prouver l'effet de la mise en réserve. Cependant, les tendances observées sur les régressions linéaires et la bibliographie nous confirment la nécessité de prendre en compte la biomasse de l'année passée dans la gestion du vignoble.

4. Conclusion et interprétation générale : choix d'un itinéraire technique adapté aux conditions du millésime et à l'état de biomasse de la vigne.

Au vu des conclusions des deux études statistiques précédentes, on peut résumer l'enchaînement des interactions de la façon suivante : les compositions du sol des trois secteurs, la densité de plantation et les conditions météorologiques conditionnent la disponibilité de l'eau au printemps, elle-même influençant fortement l'efficacité de la fertilisation et la concurrence de l'enherbement. Grâce à un tableau croisé dynamique (*figure 50*) et à la régression construite en partie II-1, on peut connaître les biomasses qui ont déjà été observées dans le passé pour des





Niveau	- Niveau	Différence	Erreur standard de la différence	Limite de contrôle inférieure	Limite de contrôle supérieure	P-value
0TAB	2TAB	18,55556	6,152553	3,19086	33,92025	0,0159* Significatif
0TAB	1TAB	11,00000	6,152553	-4,36469	26,36469	0,1950 Non significatif
1TAB	2TAB	7,55556	6,152553	-7,80914	22,92025	0,4487 Non significatif

Figure 51 - Graphique de la fréquence d'attaque par botrytis (bot_vdge_F) selon le nombre de traitements réalisé et résultats des tests Tukey (JMP, 2017)

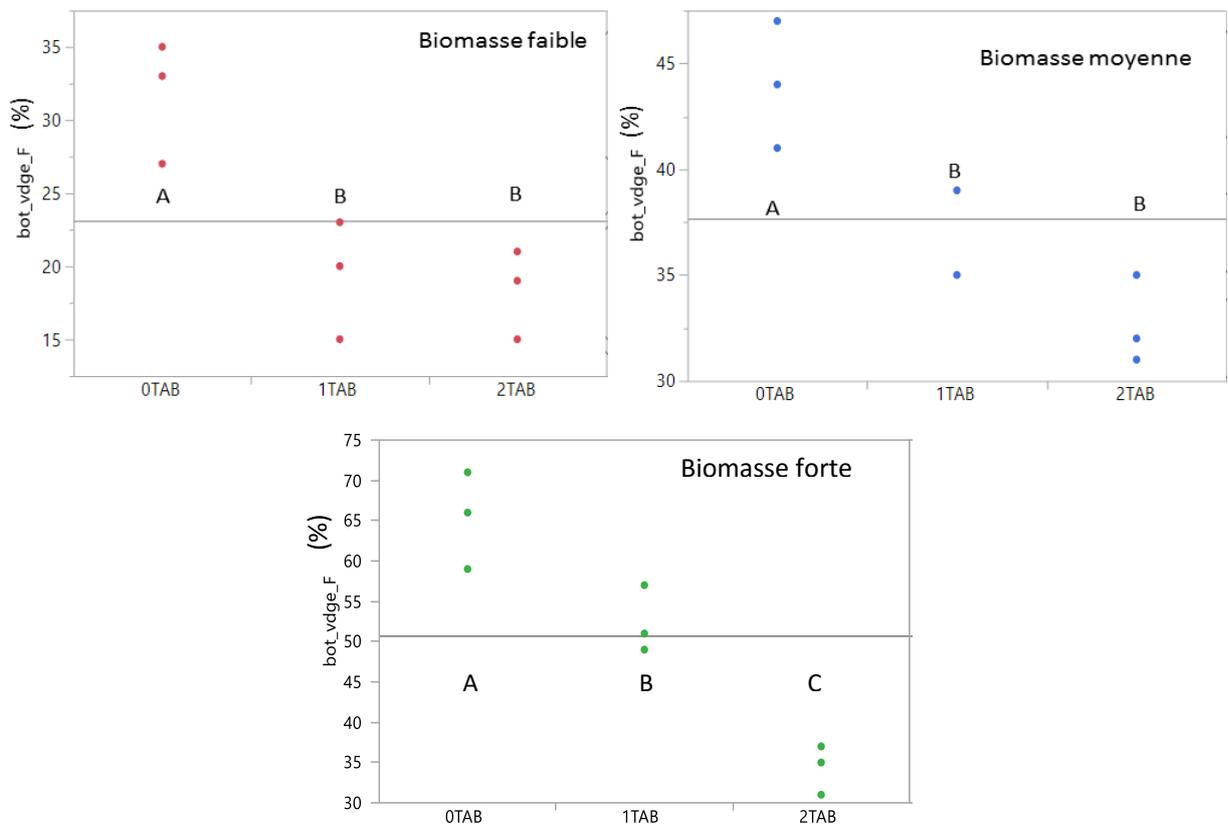


Figure 52 - Graphique de la fréquence d'attaque de botrytis (bot_vdge_F) selon le nombre de traitement et selon le type de biomasses (JMP, 2017) (Une série de données de même lettre A, B ou C appartient au même groupe de valeurs selon les tests de Tukey)

conditions précises de type de sol, densité et météo ainsi que les biomasses que la régression prévoirait sous ces mêmes conditions. On peut alors supposer pour chaque situation la stratégie azote-enherbement la plus judicieuse entre les trois types de stratégie en place chez Clicquot (voir p 49). L'objectif est de maintenir ou redresser les valeurs de biomasse selon la situation observée. Les différents cas possibles sont exposés dans le *tableau 10*.

On pourrait également penser à d'autres leviers d'action parfois déjà utilisés sur le vignoble Clicquot tels que la réduction de la taille pour relancer le potentiel végétatif du cycle suivant, la pulvérisation foliaire à mi-véraison pour limiter les problèmes d'azote assimilables dans les moûts de l'année en cours ou mettre en place un enherbement type engrais vert permettant une bonne structuration du sol et un apport d'azote au printemps (type graminées/légumineuses).

Cette étude a permis d'articuler l'ensemble des facteurs qui impactent la biomasse. De plus, on sait que la biomasse est un élément central et que si des facteurs l'influencent, elle-même influence fortement la quantité et la qualité de la production qu'il s'agisse du développement de botrytis, mais également de la maturité des raisins et de la quantité d'azote dans les moûts. Cette dernière partie présente les résultats de l'essai à la parcelle et tente d'expliquer en quoi il est nécessaire d'avoir des biomasses équilibrées.

III. Influence du niveau de biomasse sur le nombre de traitements anti-botrytis nécessaire et sur la récolte

1. Influence de la biomasse sur l'efficacité des traitements anti-botrytis

Sur les 27 placettes observées, fréquence et intensité de botrytis tendent à être corrélées entre elles (annexe XVIII) : plus une placette présente une fréquence d'attaque importante, plus l'intensité de l'attaque le sera également. Les fréquences varient entre 10 et 80% et les intensités entre 0 et 15%. On travaille sur les fréquences seulement afin de ne pas alourdir l'analyse.

a. Efficacité des traitements sur l'ensemble de la parcelle, toutes biomasses comprises

La *figure 51* montre bien l'efficacité des traitements effectués sur la parcelle. Toutes classes de vigueur confondues, la fréquence d'attaque par botrytis diminue avec le nombre de traitements. Le test de Tukey montre que les différences dans les fréquences d'attaque entre les modalités 0 et 1 TAB et 1 et 2 TAB ne sont pas significatives. En revanche, la différence entre 0 et 2 TAB est significative. Donc sur l'ensemble de la parcelle et dans les conditions du millésime 2017, deux traitements semblent nécessaires pour obtenir une récolte avec un état sanitaire acceptable.

b. Efficacité du traitement selon la catégorie de biomasse

Pour les biomasses faibles et moyennes, la *figure 52* montre des différences (significatives d'après Tukey) entre 0 et 2 TAB ainsi qu'entre 0 et 1 TAB mais pas entre 1 et 2 TAB. Donc si mettre 1 ou 2 traitements permet de réduire l'attaque de botrytis de manière similaire, on peut supposer qu'un seul traitement est suffisant. Attention cependant à bien le mettre au moment de la fleur, comme le stipule le CIVC (p 21). Ceci corrobore également la bibliographie qui indique que les biomasses faibles à moyennes sont généralement moins touchées par botrytis que les zones de biomasses fortes (p 21). Cependant, d'autres essais anti botrytis réalisés pendant la campagne 2017 ont montré que le second traitement était nécessaire pour des parcelles de biomasses moyennes et que cela dépendait du cépage. Donc la question du passage à un seul traitement ne se pose réellement que pour des biomasses faibles.



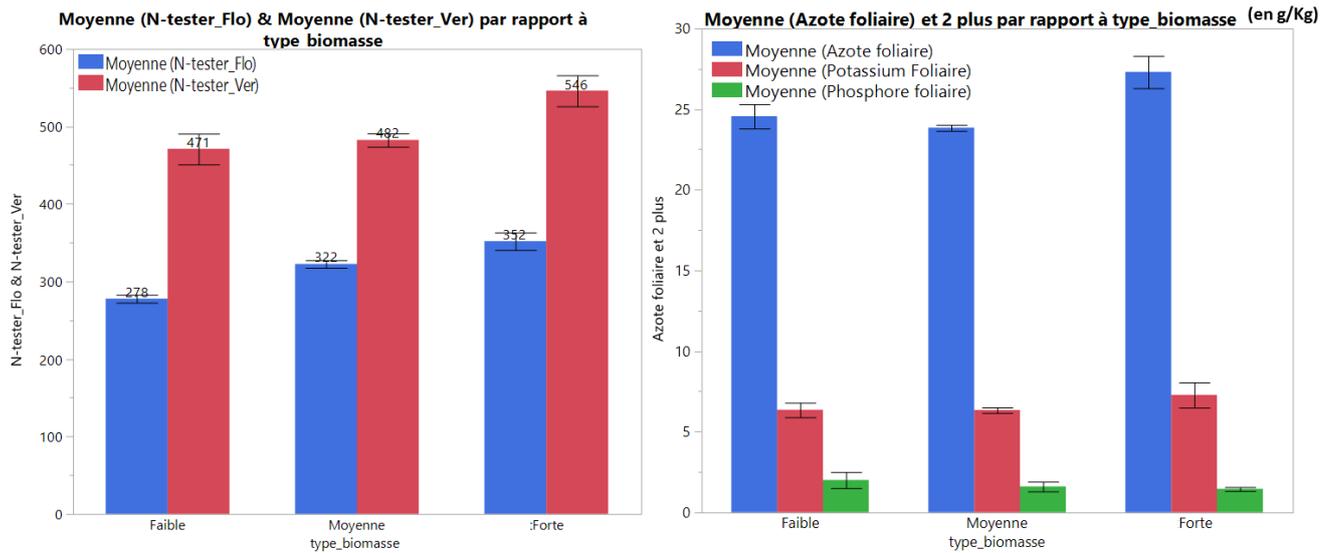


Figure 53 - Résultats des valeurs N tester et des analyses foliaires en fonction de la biomasse des placettes (JMP, 2017)

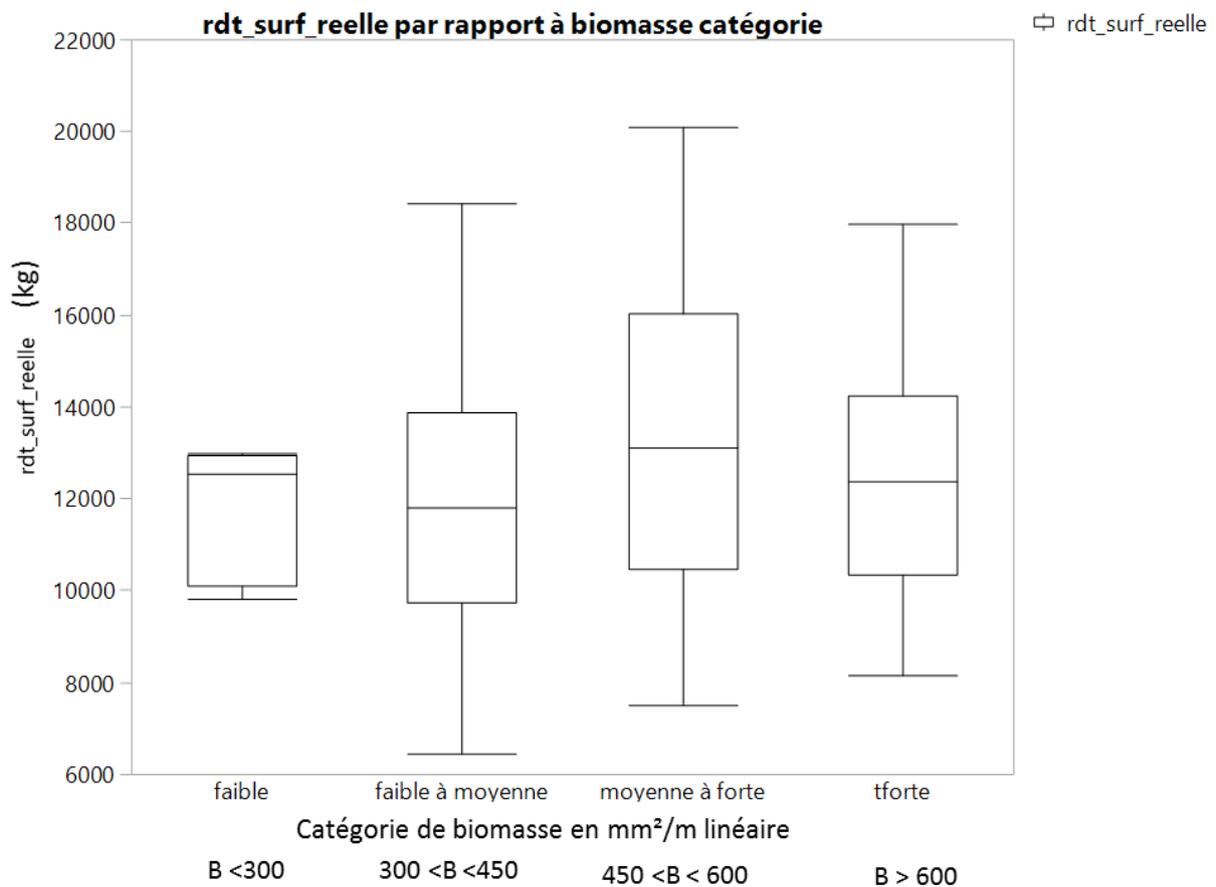


Figure 54 - Comparaison des rendements des parcelles étudiées en fonction de la catégorie de biomasse (JMP, 2017)

Concernant les biomasses fortes, la *figure 52* et le test de Tukey montrent bien l'importance des deux traitements. Un seul traitement montre des fréquences d'attaque encore importantes. La différence dans les fréquences d'attaque entre les modalités 1 et 2 traitements est bien significative. Donc en biomasse forte, deux traitements sont nécessaires.

En résumé : La modalité témoin (0 TAB) est plus touchée que les modalités 1 et 2 traitements ce qui prouve l'efficacité des traitements anti botrytis. Dans un objectif de réduction des pesticides, on peut poser la question du passage à un seul traitement, mais pour des vignes présentant des biomasses faibles uniquement. Le risque étant trop important pour les biomasses moyennes à fortes. De même, ces résultats sont valables pour des millésimes ressemblant à 2017 et pour des Meuniers. Il faudrait réitérer cette expérience afin de valider ces observations.

2. Influence de la biomasse sur la vigne, la quantité et la qualité de la production

Comme vu précédemment, les biomasses faibles présentent généralement un meilleur état sanitaire. Mais la biomasse influence également d'autres paramètres de la production présentés ci-dessous.

a. Nutrition des vignes en éléments minéraux selon le niveau de biomasse

Concernant l'azote, les valeurs de N tester à la floraison montrent d'ores et déjà des différences significatives (*figure 53*) : la teneur en azote augmente avec la biomasse. Les mêmes constatations sont faites à véraison et si l'on compare ces valeurs à celles de Van Leewen et Friant (2011) (p 36), on voit que l'alimentation en azote est convenable (>400) quel que soit la biomasse. On peut également noter la très forte nutrition azotée (≈ 500) pour les biomasses fortes.

Les analyses foliaires réalisées à véraison (*figure 53*) confirment cette tendance. Elles montrent un bon état nutritif de la plante pour l'azote et le potassium en comparaison aux valeurs de N, P, K référencées par l'INRA de Bordeaux (tableau p 36). En revanche pour le phosphore, les valeurs sont très faibles (0,02 contre 0,14 à 0,18mg/100MS). On sait, comme vu dans la bibliographie, que le phosphore joue un rôle fondamental au niveau du développement végétatif de la vigne. Son rôle principal concerne le métabolisme énergétique puisque les phosphates interviennent dans les transports d'énergie issus de la photosynthèse des feuilles. Il est également avec l'azote, un des constituants essentiels des acides nucléiques (ADN). Cependant il est important de souligner que les essais conduits à ce jour avec l'ICV n'ont jamais décelé de carence phosphorique sur le végétal même avec des teneurs en-dessous des normes actuelles comme ici dans cette expérimentation. Ces données ne sont donc pas aberrantes et ne semblent pas remettre en cause le fonctionnement des plants de vigne.

b. Impact de la biomasse sur le poids des grappes et les rendements

Concernant l'expérimentation à la parcelle, les différences entre le poids moyen d'une grappe selon la catégorie de biomasse sont significatives. Le poids des grappes augmente avec la biomasse : 107g en moyenne en biomasse faibles, 131g pour les biomasses moyennes et 146g pour les biomasses fortes ce qui confirme les propos de la bibliographie. Un comptage du nombre d'inflorescences à la floraison aurait été intéressant afin de comparer les rendements.

Pour l'expérimentation, il est donc impossible de comparer les rendements mais si l'on reprend la base de données de la première partie, on peut assez facilement extraire le graphe *figure 54*. Ici 80 valeurs de rendements de parcelles sont répertoriées selon leur catégorie de biomasse. Le rendement est croissant avec la biomasse jusqu'à 600 mm²/m² de sol. Au-delà de cette valeur, les rendements semblent diminuer.

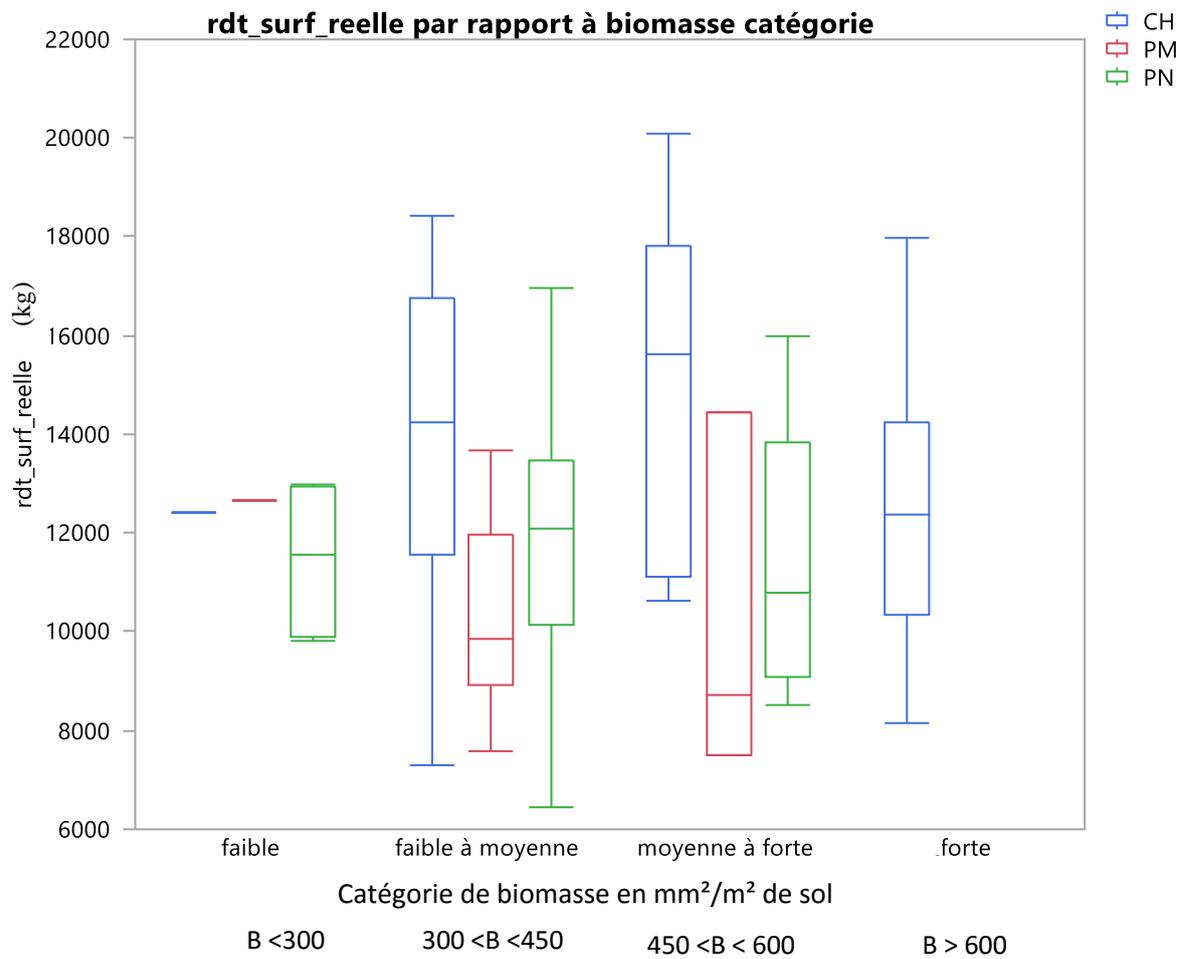


Figure 55 - Comparaison des rendements des parcelles étudiées selon la catégorie de biomasse et le cépage (JMP; 2017)

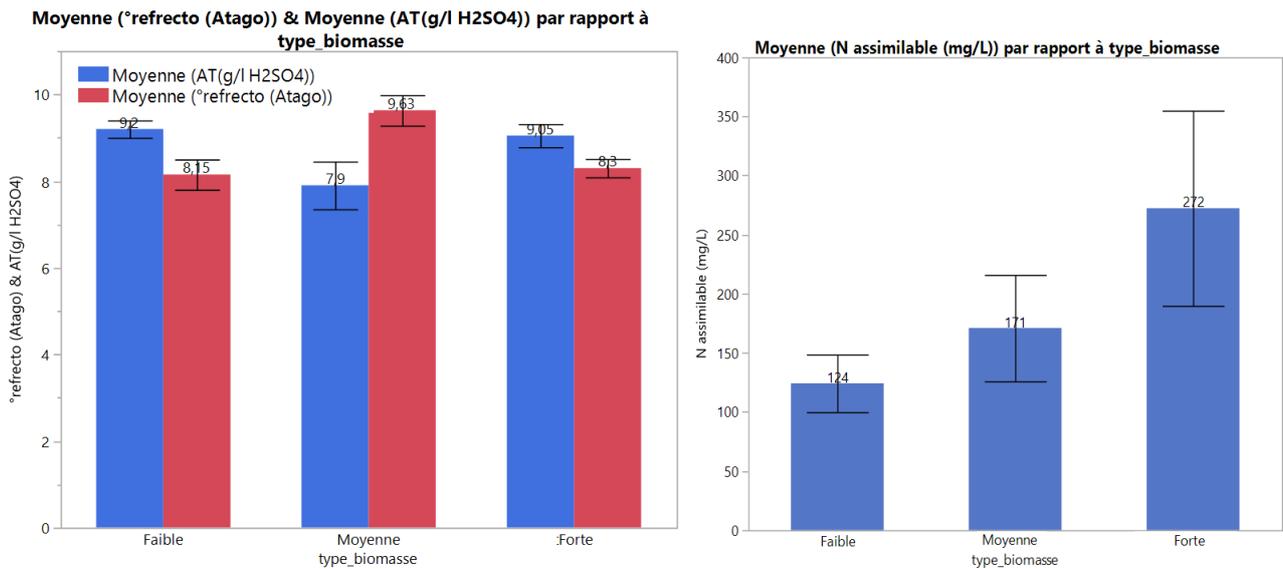


Figure 56 - Comparaison de l'avancement de la maturité technologique et de l'azote assimilable selon le type de biomasse (JMP, 2017)

Cette diminution peut être reliée à plusieurs phénomènes. Tout d'abord, comme vu précédemment, fréquence et intensité de botrytis augmentent avec la biomasse. On peut donc supposer que le tri des raisins réalisé à la parcelle est principalement à l'origine de cette baisse de rendements. Mais on peut également supposer un autre lien grâce à la littérature : en vigueur très forte, la fertilité des bourgeons diminue (Torregrossa), on a moins de grappes formées, ceci pouvant également expliquer la baisse de rendements observée.

De plus, on sait que une fois encore la notion de cépage intervient et c'est la raison pour laquelle, d'après la *figure 55*, on peut supposer que les catégories de biomasse qui répondent à l'objectif rendement visé de 10 500 kg/hectare sont d'au moins 350 mm²/m² de sol pour le Pinot Noir, 450 à 600 mm²/m² de sol pour le Chardonnay mais si l'on va au-delà pour le Chardonnay, on risque d'impacter les rendements. Il est difficile de conclure sur le Meunier dû au manque de données. On peut d'ailleurs ici souligner une des limites de notre étude : la représentativité des parcelles étudiées par rapport au vignoble. En effet le rendement global Clicquot est plutôt autour de 8500-9000 kg/ha, donc nos parcelles sont assez élevées par rapport à ce rendement moyen (*figure 55*).

c. Influence de la biomasse sur la maturation des raisins et la qualité des moûts

En biomasse moyenne, les raisins semblent plus mûrs qu'en biomasse faible et forte. Les différences restent cependant assez faibles. Ceci est en désaccord avec la bibliographie qui stipulait que les biomasses les plus faibles produisaient des raisins plus sucrés et moins acides (p21), or ici la biomasse moyenne présente cet équilibre (*figure 56*). Cependant la biomasse qualifiée de « faible » dans la littérature pourrait correspondre à des biomasses « moyennes » chez Clicquot. De plus, les légers décalages de maturité observés pourraient s'expliquer de la façon suivante : les biomasses « faibles » Clicquot présentent un certain stress dû au manque de capacités photosynthétiques de leur canopée et ce stress induirait des ralentissements dans les phénomènes de maturité. A l'inverse les biomasses fortes pourraient présenter un déséquilibre hormonal du au trop fort développement de la partie végétative. Ce déséquilibre serait favorable à la croissance et retarderait les phénomènes liés à la maturation.

Les différences concernant l'azote assimilable (*figure 56*) ne sont pas significatives mais les tendances sont très claires : la teneur en azote assimilable augmente avec la biomasse. Ceci corrobore les travaux de Van Leewen. D'après la bibliographie, on sait également que le seuil d'azote assimilable pour le bon déroulement des fermentations est de 140 mg/L. Les biomasses faibles semblent limites, les moyennes semblent très bonnes. Et les biomasses fortes, présentant des valeurs très fortes, verront leurs moûts exposés à d'autres problèmes tels que la production d'acétate, problématique si la dose dépasse les 100g/hL (odeur de vernis) (IFV, 2016). La biomasse moyenne apparait alors comme étant un juste équilibre.

En résumé : La biomasse moyenne, comprise entre 300 et 600 mm²/m² de sol semble correspondre au meilleur équilibre en termes de nutrition azotée, de quantité et de maturation des raisins et également de l'état sanitaire de la récolte. Cette catégorie de biomasse reste cependant trop large et pourrait à l'avenir être affinée entre 300 et 450 puis 450 et 600 mm²/m² de sol. Le graphique présentant les rendements selon les cépages laisse supposer qu'une classification des biomasses « moyennes » selon le type de cépage serait intéressante à étudier par la suite.

Conclusion générale

La biomasse est le résultat d'interactions multiples entre les caractéristiques intrinsèques des plants de vignes, les conditions du millésime passé et du millésime en cours, la composition des sols du vignoble de Veuve Clicquot ainsi que les pratiques agronomiques exercées sur le vignoble. Toutes ces interactions sont à l'origine d'un équilibre végétatif : le millésime et les sols permettent une certaine disponibilité en eau au printemps, elle-même régulant l'efficacité de la fertilisation et la minéralisation de la matière organique. Les plants de vignes, de par leur surface foliaire et leur distribution racinaire, permettent l'absorption de l'eau et des éléments minéraux. La concurrence due à l'enherbement est également un équilibre à trouver entre fertilisation, disponibilité en eau, en éléments nutritifs et confort des ouvriers.

Grâce à cette étude, tous ces enchaînements d'interactions participant à l'établissement de la biomasse ont pu être hiérarchisés et répertoriés selon les millésimes. De même, les nouvelles stratégies mises en place par le vignoble Clicquot ont été évaluées et semblent avoir un réel impact dans la remontée de la biomasse. Dans un futur très proche, l'objectif sera de maintenir ces niveaux de biomasse tout en visant dans le cadre du développement durable une diminution des pesticides et une meilleure prise en compte du confort de travail pour les ouvriers.

Afin d'approfondir et ajuster les analyses et interprétations autour de ce travail, il serait intéressant par la suite de compléter tous les ans la base de données globale afin d'avoir des répétitions dans les millésimes et dans les évolutions. De même l'effet des pratiques, désormais bien visible, va continuer de s'accroître dans les années à venir et mérite d'être approfondi.

L'importance de l'équilibre végétatif a également été démontré dans ce mémoire puisque c'est la quantité et la qualité de la production qui sont en jeu si un déséquilibre se crée. Les biomasses moyennes comprises entre 450 et 600 mm²/m² de sol semblent répondre le mieux aux critères de la maison.

Enfin, dans le cadre du développement durable, cette étude a permis de confirmer qu'en biomasse faible, un seul traitement contre botrytis suffirait, même pour un cépage sensible comme le Meunier. Et si actuellement les décisions de passage à un traitement en biomasse faible ne sont pas encore en vigueur au vignoble, un autre projet d'adaptation de la dose de traitement selon la biomasse est en cours de validation. En effet, ce projet d'asservissement des traitements aux cartes du Physiocap® permettrait d'adapter les doses de traitement à la parcelle ou à des zones de la parcelle. Plus récemment encore, un projet tente de valoriser ces cartes dans les estimations de récolte de l'année en cours.

Les cartes et les données du Physiocap® sont donc de réels supports dans la compréhension de l'évolution du vignoble et en termes de leviers d'action qu'il s'agisse des traitements, de la fertilisation ou de la taille.



Bibliographie

- Agreste (2012). Une réduction significative des produits phytosanitaires, Agrest Champagne Ardennes n°5, septembre 2012, 5 pages.
- Bioletti, A. et Winkler, C. (1934). - Density and arrangement of vines. *Hi/gardia*, 8, 179-195.
- Bourgeon M. A. (2016). Consultante en Viticulture de Précision et pulvérisation viticole, Vignes Tech consult.
- Branas J., Bernon G., Levadoux L., (1946). *Eléments de viticulture générale*. Imp. Delmas Bordeaux. Edit. 400 p.
- Brochet, P., & Gerbier, N. (1974). L'écapotranspiration: aspect Agrométéorologique évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle.
- Calonnec, A., Cartolaro, P., & Chadoeuf, J. (2009). Highlighting features of spatiotemporal spread of powdery mildew epidemics in the vineyard using statistical modeling on field experimental data. *Phytopathology*, 99(4), 411-422.
- Carbonneau A., Casteran P., 1987. «Interactions « training system x soil x rootstock » with regard to vine ecophysiology, vigor, yield and red wine quality in the Bordeaux area ». Symp. On grapevine canopy and vigor management, Davis, California, USA, 18 August 1986. *Acta Horticulture*, 206, 119-140.
- Carbonneau, A., Deloire, A., Torregrosa, L., Pellegrino, A., Jaillard, B., Métaf, A., ... & Abbal, P. (2015). *Traité de la vigne - 2e édition : Physiologie, terroir, culture*. Dunod.
- Carroll, J. E., & Wilcox, W. F. (2003). Effects of humidity on the development of grapevine powdery mildew. *Phytopathology*, 93(9), 1137-1144.
- Champagnol, F. (1984). *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Champagnol, Saint-Gély du Fesc 351 p.
- Chantelot, E. L'enherbement de la vigne. ITAB (Institut technique de l'Agriculture Biologique), 2003, n°10, 4p.
- Chantelot, E., Carsouille, J., Legoff, I., & Lempereur, V. (2002). Entretien des sols de vigne par l'enherbement permanent: Maîtriser la teneur en azote des moûts par pulvérisation foliaire d'azote. *Phytoma-La Défense des végétaux*, (545), 32-34.
- Comité Champagne (2013). *Le vigneron Champenois, Viticulture durable en champagne*, Revue Technique, 60 pages.
- Cortell, J. M., Halbleib, M., Gallagher, A. V., Righetti, T. L., & Kennedy, J. A. (2007). Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) anthocyanins. 1. Anthocyanin concentration and composition in fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6575-6584.
- Couderc A., Impact de différentes modalités d'enherbement sur la vigueur et le fonctionnement de la vigne en champagne. *Viticulture Œnologie*. Montpellier SupAgro, 2015, 69 pages.



Dauphin A., L'impact de la vigueur sur le fonctionnement de la vigne. Viticulture Œnologie. Montpellier SupAgro, 2014, 68 pages.

De Bei R, Fuentes S, Gilliam M, et al. VitiCanopy: A Free Computer App to Estimate Canopy Vigor and Porosity for Grapevine. Yang SX, ed. Sensors (Basel, Switzerland). 2016;16(4):585. doi:10.3390/s16040585.

Gadoury, D. M., Seem, R. C., Pearson, R. C., Wilcox, W. F., & Dunst, R. M. (2001). Effects of powdery mildew on vine growth, yield, and quality of concord grapes. *Plant Disease*, 85(2), 137-140.

Grégoire, C., & Tournebize, J. (2004). L'enherbement du vignoble alsacien : un bilan positif vis-à-vis du transfert de nitrates. *Revue Géographique de l'Est*, 44(1-2), 55-65.

Grenzbittel, L. (2011). Unité Fondamentale « Plans d'Expériences ». Département Biosciences Végétales, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse. 98p.

ITV Colmar (2004). Enherbement et impact sur la vigne, ITV Colmar (Institut technique de l'a vigne et du vin), 25p.

Lagadeuc M.. Impact de différentes pratiques d'entretiens du sol sur la vigne et sa production. Viticulture Œnologie. Montpellier SupAgro, 2016, 51 pages.

Le Bissonnais, Y., & Andrieux, P. (2007). Impact des modes d'entretien de la vigne sur le ruissellement, l'érosion et la structure des sols. *Progrès agricole et viticole*, 124(10), 191-196.

Leopold, A. C., & Kriedemann, P. E. (1975). *Plant growth and development*. 2nd edn. 545 pp (pp. 268-72). McGraw-Hill: New York, London, etc. Development.

Madrigal, I., Benoit, P., Barriuso, E., Etiévant, V., Souiller, C., Réal, B., & Dutertre, A. (2002). Capacité de stockage et d'épuration des sols de dispositifs enherbés vis-à-vis des produits phytosanitaires. Deuxième partie: Propriétés de rétention de deux herbicides, l'isoproturon et le diflufenicanil dans différents sols de bandes enherbées. *Etude et Gestion des Sols*, 9, 287-302.

Marchal, R., Tabary, I., Valade, M., Moncomble, D., Viaux, L., Robillard, B., & Jeandet, P. (2001). Effects of *Botrytis cinerea* infection on Champagne wine foaming properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(14), 1371-1378.

Peña-Neira, A., Duenas, M., Duarte, A., Hernandez, T., Estrella, I., & Loyola, E. (2004). Effects of ripening stages and of plant vegetative vigor on the phenolic composition of grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon in the Maipo Valley (Chile). *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 43(2), 51.

Pouget, R., et Delas, J. (1984). Action de la concentration de la solution nutritive sur quelques caractéristiques physiologiques et technologiques chez *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet-Sauvignon. I. Vigueur, rendement, qualité du moût et du vin. *Agronomie*, 4(5), 437-442.

Rännar, S., Lindgren, F., Geladi, P., & Wold, S. (1994). A PLS kernel algorithm for data sets with many variables and fewer objects. Part 1: Theory and algorithm. *Journal of Chemometrics*, 8(2), 111-125.

Riou, C., Pieri, P., & Le Clech, B. (1994). Consommation d'eau de la vigne en conditions hydriques non limitantes. Formulation simplifiée de la transpiration. *Vitis*, 33(3), 109-115.

Rochard J. (2012). L'environnement dans le secteur viti-vinicole : Historique et perspectives. Phytoma-La Défense des végétaux. *Revue ITV FRANCE*. (ISSN 1164-6993)

Savary, S., Delbac, L., Rochas, A., Taisant, G., & Willocquet, L. (2009). Analysis of nonlinear relationships in dual epidemics, and its application to the management of grapevine downy and powdery mildews. *Phytopathology*, 99(8), 930-942.

Tivoli, B., Calonnec, A., Richard, B., Ney, B., & Andrivon, D. (2013). Current knowledge on plant/canopy architectural traits that reduce the expression and development of epidemics. *European Journal of Plant Pathology*, 135(3), 471-478.

Valdés-Gómez, H., (2007). Relations entre états de croissance de la vigne et maladies cryptogamiques sous différentes modalités d'entretien du sol en région méditerranéenne. *Agronomie*. Montpellier SupAgro, 257p.

Valdés-Gómez, H., Fermaud, M., Roudet, J., Calonnec, A., & Gary, C. (2008). Grey mould incidence is reduced on grapevines with lower vegetative and reproductive growth. *Crop Protection*, 27(8), 1174-1186.

Van Helden, M., Decante, D., Papura, D., & Chauvin, B. (2003). L'aménagement des haies et des zones enherbées en viticulture.

Van Leeuwen, C., & Friant, P. (2011). Les méthodes d'estimation de l'alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble: état de l'art. In Colloque «L'azote: un élément clé en viticulture et en œnologie». 2011-12-08/2011-12-08, Toulouse, FRA.

Van Leeuwen, M. C. (2014). Relations entre services écosystémiques dans un agroécosystème à base de plantes pérennes : compromis entre rendement de la vigne et régulation de l'oïdium (Doctoral dissertation, Montpellier SupAgro).

(Données internes)

AM Clicquot, 2014. Le point sur les ventes. Document interne, Vignoble Veuve Clicquot Ponsardin, Reims, 20 pages.

AM Clicquot, 2016. Le point sur les pratiques du vignoble. Document interne, Vignoble Veuve Clicquot Ponsardin, Reims, 20 pages.

(Webographie)

CIVC, 2016. Comité interprofessionnel du vin de champagne [en ligne]. Géré par le comité champagne, août 2017, [15/06/17]. Disponible sur <https://www.champagne.fr>

IFV, 2016. Fiche pratique. L'Azote en œnologie [en ligne]. Géré par l'IFV, avril 2016, [07/09/2017]. Disponible sur <https://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/azote-mouts.php>

IFV, 2013. Fiche pratique. Développement de l'oïdium [en ligne]. Géré par l'IFV, aout 2017, [08/07/2017]. Disponible sur <https://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/oidium.php>



Kleiber A., 2016. Analyse de limbe et de pétiole : un outil de diagnostic en phase végétative. AuréaAgronomique [en ligne], [14/08/2017]. Disponibilité sur https://aurea.eu/analyse_limbe.fr

OvinAlp, 2017, Haute fertilisation, [en ligne]. Géré par Mr Eric Giovale, aout 2017, [15/08/2017]. Disponible sur <http://www.ovinalp.fr/>

Table des annexes

Annexe I - Présentation détaillée des programmes phytosanitaires chez Veuve Clicquot (AM technique, 2016)

Annexe II - Régression Linéaire démontrant que moyenne et médiane sont similaires (JMP, 2017)

Annexe III - Détail de la base de donnée complète de l'étude (80 individus, 4 années) (JMP, construction personnelle)

Annexe IV - Rappels tests statistique de comparaisons de moyennes (Gentzbittel, 2011).

Annexe V - Présentation détaillée de VitiCanopy et protocole des mesures de LAI (Leaf Area Index) (De Bei et al., 2016)

Annexe VI - Analyse de la distribution des données biomasse 2016, LAI-floraison, LAI véraison : loi normale pour toutes les distributions (cadre rouge) (JMP)

Annexe VII - Résultats des tests ANOVA et Tukey pour les données biomasse_2016 et modalité biomasse (JMP).

Annexe VIII - Résultats des tests ANOVA et Tukey pour les données LAI-floraison et modalité biomasses (JMP).

Annexe IX - Protocole d'utilisation du N tester

Annexe X - Analyses de limbes foliaires

Annexe XI - Protocole d'évaluation de botrytis (Document interne Veuve Clicquot, 2017)

Annexe XII - Détail de la base de données de l'expérimentation sur la parcelle VD06 (JMP).

Annexe XIII - Résultats détaillés des tests ANOVA et Tukey pour l'effet secteur, cépage et millésime (JMP).

Annexe XIV - Résultats détaillés de l'ACP (toutes variables comprises) (JMP)

Annexe XV - Résultats détaillés de l'ACP avec les variables les plus représentatives (JMP)

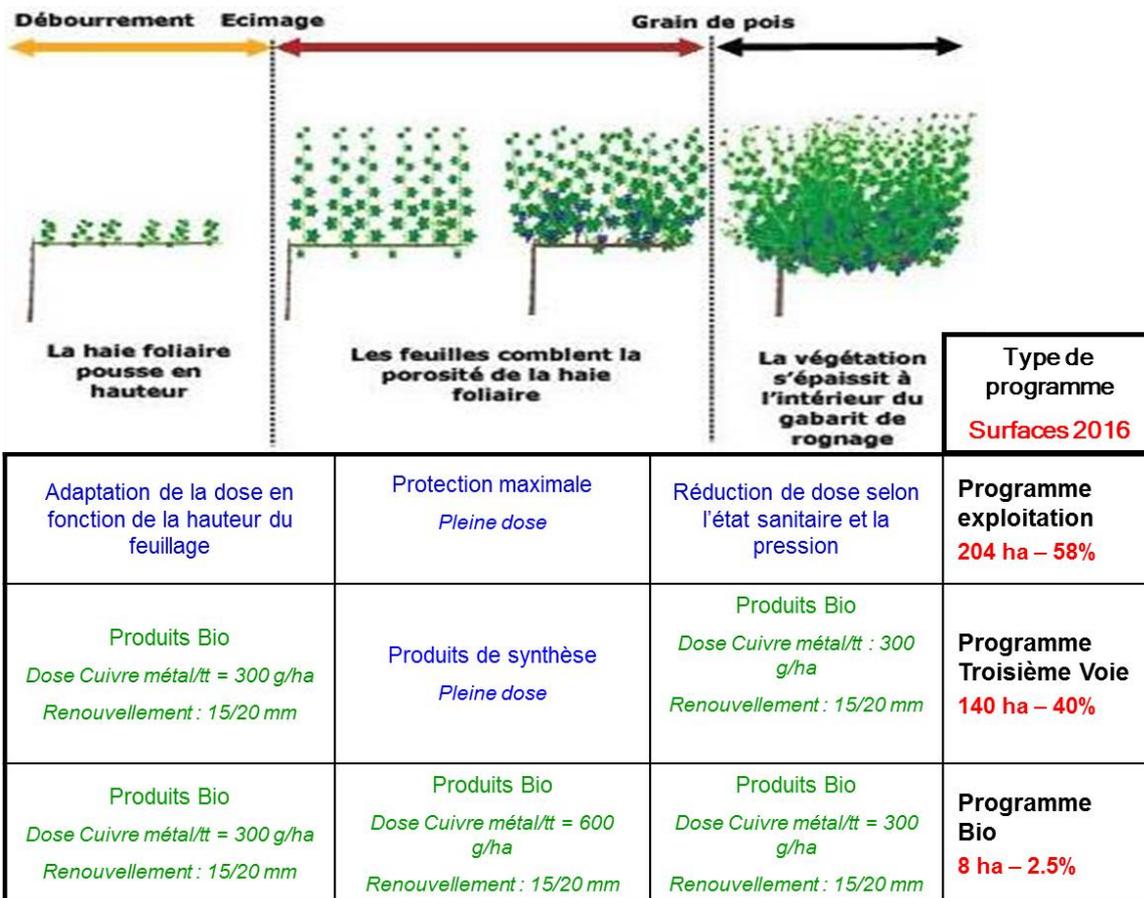
Annexe XVI - Régression PLS (Partial Least Square) avec toutes les variables sans les données année (n-1) (JMP)

Annexe XVII - Régression PLS avec les données année (n-1) (JMP)

Annexe XVIII - Corrélation entre Fréquence et Intensité d'attaque de botrytis (JMP)

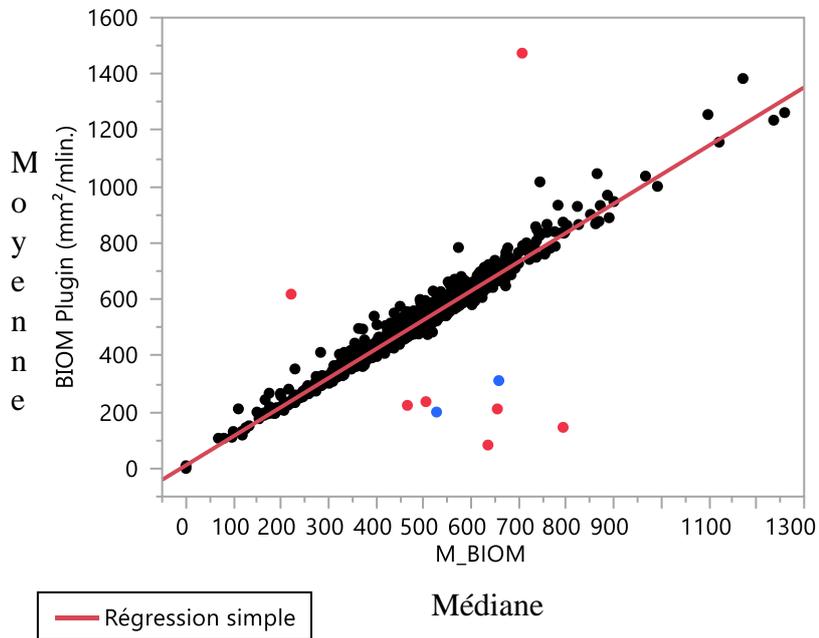


Annexe I - Présentation détaillée des programmes phytosanitaires chez Veuve Clicquot (AM technique, 2016)



Annexe II - Régression Linéaire démontrant que moyenne et médiane sont similaires (JMP, 2017)

Ajustement bivarié de BIOM Plugin (mm²/mlin.) par M_BIOM



Régression simple

$$\text{BIOM Plugin (mm}^2\text{/mlin.)} = 11,120477 + 1,0319457 * \text{M_BIOM}$$

Résumé de l'ajustement

R carré	0,895708
R carré ajusté	0,895608
Racine de l'erreur quadratique moyenne	52,55032
Moyenne de la réponse	487,5671
Observations (ou sommes pondérées)	1048

Annexe III - Détail de la base de donnée complète de l'étude (80 individus, 4 années) (JMP, construction personnelle)

BDD physiocap

		campagne d'aquisition	campagne viticole	annee	code_parcelle	code_parcelle_annee_etudiee	NOM_PHY	DEBUT	NOMBRE	VITESSE	NBSARM	DIAM	BIOM	E_VITESSE	E_NBSARM	E_DIAM	E_BIOM
	1	2013-2014	2012-2013	2013	AY 303	AY 3032013	AY 303 SORANGES COTE MUTIGNY	05/02/2014	2105	5,97	8,5	9,16	566,12	0,67	2,76	1,02	212,21
	2	2013-2014	2012-2013	2013	AV 02	AV 022013	AV 02 LES BARMONTS	18/02/2014	211	4,03	9,69	9,17	650,41	1,01	3,58	1,13	289,82
	3	2013-2014	2012-2013	2013	ML 15	ML 152013	ML 15 GRANDE COULLEMET ROUTE	10/01/2014	3000	4,89	6,69	9,15	442,51	0,8	2,23	1,03	169,09
	4	2013-2014	2012-2013	2013	AY 09A	AY 09A2013	AY 09A VARMERY HAUT	25/02/2014	1493	5,68	8,06	9,05	528,68	0,8	2,75	1,08	228,93
	5	2013-2014	2012-2013	2013	OG 22A	OG 22A2013	OG 22A LES GLORIETTES	13/01/2014	413	5,73	8,55	9,48	602,78	1,9	2,95	0,94	217,52
	6	2013-2014	2012-2013	2013	VT 308C	VT 308C2013	VT 308C LE MONT FERRE 7 et 8	03/02/2014	147	6,39	7,78	8,86	485,22	0,38	1,92	0,92	153,01
	7	2013-2014	2012-2013	2013	VT 309B	VT 309B2013	VT 309B MAZEAX LE PLATEAU	03/02/2014	400	6,48	9,26	9,09	606,81	0,52	2,37	0,97	194,76
*	8	2013-2014	2012-2013	2013	VD 06	VD 062013	VD 06 LES VIGNES DU PRE	03/02/2014	5075	4,85	6,38	7,71	315,35	0,8	2,56	1,36	178,16
*	9	2013-2014	2012-2013	2013	VD 14	VD 142013	VD 14 LES VIGNES RICHER	03/02/2014	2310	5,18	7,82	8,24	422,32	0,73	2,73	1,12	185,39
	10	2013-2014	2012-2013	2013	BZ 07	BZ 072013	BZ 07 LES HAUTS CHAMPS FERRES	27/01/2014	6113	4,87	6,69	8,6	403,83	0,49	2,26	1,41	203,4
	11	2013-2014	2012-2013	2013	BZ 15	BZ 152013	BZ 15 LES CLOS COLIN	28/01/2014	4663	5,07	6,38	7,69	302,03	0,43	1,91	1,06	126,65
	12	2013-2014	2012-2013	2013	BZ 02	BZ 022013	BZ 02 LA GRANDE CHAUDETTE	28/01/2014	3572	4,74	7,54	8,34	417,21	0,57	2,15	1,03	156,01
	13	2013-2014	2012-2013	2013	VM 15	VM 152013	VM 15 LE CLOS (B COULOIRS)	30/01/2014	1294	5,1	6,66	9,31	458,96	0,3	1,94	1,03	164,75
	14	2013-2014	2012-2013	2013	VZ 14	VZ 142013	VZ 14 LE CLOS	13/01/2014	6283	4,9	6,52	9,29	443,74	0,6	2,26	1,18	179,14
	15	2013-2014	2012-2013	2013	VZ 32	VZ 322013	VZ 32 LES VERBUTOIS HERGAUDE	30/01/2014	2189	5,12	6,54	8,66	397,57	0,45	2,26	1,35	180,93
	16	2013-2014	2012-2013	2013	VZ 34B	VZ 34B2013	VZ 34B VERBUTOIS POMMERY	31/01/2014	643	4,78	7,1	9,58	514,45	0,47	2,02	1,05	178,81
	17	2013-2014	2012-2013	2013	W 39	W 392013	W 39 LES VIGNES GOISSES HAUT	13/01/2014	5038	4,77	7,93	8,34	440,36	0,64	2,34	1,04	173,98
	18	2013-2014	2012-2013	2013	OG 310	OG 3102013	OG 310 BELLEVOIES	28/01/2014	561	4,97	6,01	9,33	412,92	0,75	2,26	1,15	168,71
*	19	2013-2014	2012-2013	2013	ST 13	ST 132013	ST 13 LA GLACIERE	04/02/2014	1798	5,28	7,3	8,25	394,95	0,86	2,34	1,03	156,87
*	20	2013-2014	2012-2013	2013	ST 12	ST 122013	ST 12 LA GLACIERE	04/02/2014	6665	5,2	7,33	8,23	400,39	0,61	2,27	1,15	160,44
	21	2014-2015	2013-2014	2014	AY 303	AY 3032014	AY 303 SORANGES COTE MUTIGNY	05/02/2014	6137	5,18	8,55	8,83	527,78	0,76	3,03	1,17	222,81
	22	2014-2015	2013-2014	2014	AV 02	AV 022014	AV 02 LES BARMONTS	11/02/2014	1082	3,98	8,55	8,31	495,02	0,65	3,56	1,64	268,83
	23	2014-2015	2013-2014	2014	ML 15	ML 152014	ML 15 GRANDE COULLEMET ROUTE	11/02/2014	2970	5	5,52	8,64	328,98	1,07	2,02	1,21	147,49
	24	2014-2015	2013-2014	2014	AY 09A	AY 09A2014	AY 09A VARMERY HAUT	19/02/2014	5747	5,68	7,42	8,3	415,88	1,02	2,84	1,33	220,58
	25	2014-2015	2013-2014	2014	OG 22A	OG 22A2014	OG 22A LES GLORIETTES	03/02/2014	4113	4,51	6,42	9,08	423,98	0,5	2,29	1,25	183,01
	26	2014-2015	2013-2014	2014	VT 308C	VT 308C2014	VT 308C LE MONT FERRE 7 et 8	05/02/2014	855	5,62	7,35	9,03	476,1	0,85	2,32	0,94	190,28
	27	2014-2015	2013-2014	2014	VT 309B	VT 309B2014	VT 309B MAZEAX LE PLATEAU	11/02/2014	1161	6,09	7,59	9,29	515,17	0,31	2,71	0,98	200,99
*	28	2014-2015	2013-2014	2014	VD 06	VD 062014	VD 06 LES VIGNES DU PRE	18/02/2014	6858	5,14	6,96	8,41	388,82	0,6	2,49	1,26	168,03
*	29	2014-2015	2013-2014	2014	VD 14	VD 142014	VD 14 LES VIGNES RICHER	18/02/2014	2983	5,56	5,85	8,7	353,49	1	2,13	1,22	165,82
	30	2014-2015	2013-2014	2014	BZ 07	BZ 072014	BZ 07 LES HAUTS CHAMPS FERRES	12/02/2014	5299	5,34	5,85	8,33	327,62	0,95	1,9	1,24	147,46
	31	2014-2015	2013-2014	2014	BZ 15	BZ 152014	BZ 15 LES CLOS COLIN	12/02/2014	3646	6,22	5,86	7,74	280,47	0,86	1,71	0,99	109,39
	32	2014-2015	2013-2014	2014	BZ 02	BZ 022014	BZ 02 LA GRANDE CHAUDETTE	03/02/2014	2810	5,57	6,57	8,36	365,03	0,63	1,71	1,04	129,18
	33	2014-2015	2013-2014	2014	VM 15	VM 152014	VM 15 LE CLOS (B COULOIRS)	03/02/2014	4719	6,11	6,31	9,11	413,73	0,78	2,36	1,23	177,77
	34	2014-2015	2013-2014	2014	VZ 14	VZ 142014	VZ 14 LE CLOS	03/02/2014	7186	6,53	6,53	9,1	427,84	0,54	2,04	0,97	156,08
	35	2014-2015	2013-2014	2014	VZ 32	VZ 322014	VZ 32 LES VERBUTOIS HERGAUDE	03/02/2014	5334	6,42	6,21	8,8	384,62	1,5	1,96	1,13	157,46
	36	2014-2015	2013-2014	2014	VZ 34B	VZ 34B2014	VZ 34B VERBUTOIS POMMERY	03/02/2014	434	6,58	6,08	8,33	340,46	0,55	1,96	1,33	153,54
	37	2014-2015	2013-2014	2014	W 39	W 392014	W 39 LES VIGNES GOISSES HAUT	03/02/2014	3492	6,72	6,79	8,5	388,98	0,51	1,69	0,94	127,69
	38	2014-2015	2013-2014	2014	OG 310	OG 3102014	OG 310 BELLEVOIES	06/02/2014	87	4,9	7,37	9,45	512,81	0,49	2,44	1,02	167,01
*	39	2014-2015	2013-2014	2014	ST 13	ST 132014	ST 13 LA GLACIERE	27/01/2014	6897	5,56	6,94	8,5	399,58	0,88	2,12	1,05	156,8
*	40	2014-2015	2013-2014	2014	ST 12	ST 122014	ST 12 LA GLACIERE	28/01/2014	6719	5,66	7,62	8,86	470,1	0,55	2,82	1,01	196,68
	41	2015-2016	2014-2015	2015	AY 303	AY 3032015	AY 303 SORANGES COTE MUTIGNY		7614	5,3	7,74	8,11	409,47	0,68	2,69	1,22	184,24
	42	2015-2016	2014-2015	2015	AV 02	AV 022015	AV 02 LES BARMONTS	31/01/2014	705	5,5	7,5	8,51	440,07	0,94	2,67	1,23	192,38
	43	2015-2016	2014-2015	2015	ML 15	ML 152015	ML 15 GRANDE COULLEMET ROUTE	13/01/2014	2953	5,02	6,69	8,06	351,52	0,32	2,44	1,17	180,81
	44	2015-2016	2014-2015	2015	AY 09A	AY 09A2015	AY 09A VARMERY HAUT	30/01/2014	6328	5,06	6,65	7,81	334,4	0,88	2,46	1,4	179,57
	45	2015-2016	2014-2015	2015	OG 22A	OG 22A2015	OG 22A LES GLORIETTES	30/01/2014	3731	4,84	7,96	8,62	475,19	0,27	2,94	1,18	213,99
	46	2015-2016	2014-2015	2015	VT 308C	VT 308C2015	VT 308C LE MONT FERRE 7 et 8	12/02/2014	827	5,06	8,25	8,36	464,72	0,29	3,11	1,09	233,87

BDD météo

BDD_parcelle+analyse_s...		NBSARM/2	DIAM/2	BIOM/2	vignoble	secteur	station_meteo_reference	nom_parcelle	cepage	annee_plantation	age_parcelle	FTSWdeb	FTSWflo	FTSWmiVer	FTSWVer	FTSWvdg	FTSWdeb-floM
Source	1	4,25	4,58	283,06	AY	SV12-SECTEUR 12	Ay PN	SORANGES COTE MUTIGNY	PN	1973	40	0,968011225	0,896971503	0,345299497	0,27813892	0,29298622	0,966292504
ACP15	2	4,85	4,585	325,205	AV	SV12-SECTEUR 12	Avize Haut CH	LES BARMONTS	CH	1985	28	0,950002181	0,891273686	0,225272892	0,154177189	0,225856216	0,972620284
PLS_BIOM_7var	3	3,35	4,575	221,255	ML	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	GRANDE COULLEMET ROUTE	CH	2012	1	0,954972687	0,875528773	0,215596386	0,147693019	0,192357185	0,968401107
ACP15variable27juin	4	4,03	4,525	264,34	AY	SV12-SECTEUR 12	Ay PN	VARMERY HAUT	PN	1992	21	0,968011225	0,896971503	0,345299497	0,27813892	0,29298622	0,966292504
ACP15variable27juin2	5	4,28	4,74	301,39	OG	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	LES GLORIETTES	CH	1968	45	0,954972687	0,875528773	0,215596386	0,147693019	0,192357185	0,968401107
	6	3,89	4,43	242,61	VT	SV12-SECTEUR 12	Vertus CH	LE MONT FERRE 7 et 8	CH	1993	20	0,956783521	0,862114322	0,203396454	0,142967879	0,228644129	0,963685922
	7	4,63	4,545	303,405	VT	SV12-SECTEUR 12	Vertus CH	MAZEAUX LE PLATEAU	CH	1977	36	0,956783521	0,862114322	0,203396454	0,142967879	0,228644129	0,963685922
	8	3,19	3,855	157,675	VD	SV40-SECTEUR 40	SacyPM	LES VIGNES DU PRE	PM	2005	8	0,95516631	0,836838598	0,234879898	0,128543946	0,201727549	0,952860971
	9	3,91	4,12	211,16	VD	SV40-SECTEUR 40	SacyPM	LES VIGNES RICHER	PM	1984	29	0,95516631	0,836838598	0,234879898	0,128543946	0,201727549	0,952860971
Drapeau correspondant	10	3,35	4,3	201,915	BZ	SV23-SECTEUR 23	bouzy PN	LES HAUTS CHAMPS FERRES	PN	2002	11	0,990416667	0,899063086	0,280274672	0,198605438	0,229412005	0,96542687
campagne d'acquisition	11	3,19	3,845	151,015	BZ	SV23-SECTEUR 23	bouzy PN	LES CLOS COLIN	PN	1991	22	0,990416667	0,899063086	0,280274672	0,198605438	0,229412005	0,96542687
campagne viticole	12	3,77	4,17	208,605	BZ	SV23-SECTEUR 23	bouzy PN	LA GRANDE CHAUDETTE	PN	1989	24	0,990416667	0,899063086	0,280274672	0,198605438	0,229412005	0,96542687
annee	13	3,33	4,655	229,48	VM	SV23-SECTEUR 23	verzenay CH	LE CLOS (B COULOIRS)	CH	1992	21	0,935754478	0,870362197	0,211244583	0,188319207	0,210619072	0,963828524
code_parcelle	14	3,26	4,645	221,87	VZ	SV23-SECTEUR 23	verzenay PN	LE CLOS	PN	1983	30	0,98875	0,866506857	0,211244583	0,653436544	0,206034859	0,963828524
code_parcelle_annee_etudi	15	3,27	4,33	198,785	VZ	SV23-SECTEUR 23	verzenay PN	LES VERBUTOIS HERGAUDE	PN	1992	21	0,98875	0,866506857	0,211244583	0,653436544	0,206034859	0,963828524
NOM_PHY	16	3,55	4,79	257,225	VZ	SV23-SECTEUR 23	verzenay PN	VERBUTOIS POMMERY	PN	2004	9	0,98875	0,866506857	0,211244583	0,653436544	0,206034859	0,963828524
DEBUT	17	3,97	4,17	220,18	W	SV23-SECTEUR 23	verzenay CH	LES VIGNES GOISSES HAUT	CH	2004	9	0,935754478	0,870362197	0,211244583	0,188319207	0,210619072	0,963828524
NOMBRE	18	3,01	4,665	206,46	OG	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	BELLEVOIES	CH	2010	3	0,954972687	0,875528773	0,215596386	0,147693019	0,192357185	0,968401107
VITESSE	19	3,65	4,125	197,475	ST	SV40-SECTEUR 40	Saint Thierry Thierry PM	LA GLACIERE	PM	2002	11	0,905282876	0,82638615	0,226298861	0,136931179	0,220097911	0,939408593
NBSARM	20	3,67	4,115	200,195	ST	SV40-SECTEUR 40	Saint Thierry Thierry PM	LA GLACIERE	PM	2006	7	0,905282876	0,82638615	0,226298861	0,136931179	0,220097911	0,939408593
DIAM	21	4,28	4,415	263,89	AY	SV12-SECTEUR 12	Ay PN	SORANGES COTE MUTIGNY	PN	1973	41	0,939928988	0,828118528	0,577898431	0,576736766	0,527542403	0,89454149
BIOM	22	4,28	4,155	247,51	AV	SV12-SECTEUR 12	Avize Haut CH	LES BARMONTS	CH	1985	29	0,911806077	0,791987579	0,472605977	0,515897548	0,368176117	0,88627027
E_VITESSE	23	2,76	4,32	164,49	ML	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	GRANDE COULLEMET ROUTE	CH	2012	2	0,929469979	0,728900349	0,41642419	0,451914305	0,3344488	0,825213767
E_NBSARM	24	3,71	4,15	207,94	AY	SV12-SECTEUR 12	Ay PN	VARMERY HAUT	PN	1992	22	0,939928988	0,828118528	0,577898431	0,576736766	0,527542403	0,89454149
E_DIAM	25	3,21	4,54	211,99	OG	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	LES GLORIETTES	CH	1968	46	0,929469979	0,728900349	0,41642419	0,451914305	0,3344488	0,825213767
E_BIOM	26	3,68	4,515	238,05	VT	SV12-SECTEUR 12	Vertus CH	LE MONT FERRE 7 et 8	CH	1993	21	0,933135532	0,787109552	0,474640688	0,454404336	0,329497184	0,886508064
NBSARM/2	27	3,8	4,645	257,585	VT	SV12-SECTEUR 12	Vertus CH	MAZEAUX LE PLATEAU	CH	1977	37	0,933135532	0,787109552	0,474640688	0,454404336	0,329497184	0,886508064
DIAM/2	28	3,48	4,205	194,41	VD	SV40-SECTEUR 40	SacyPM	LES VIGNES DU PRE	PM	2005	9	0,921058573	0,810405273	0,439267388	0,372339843	0,285463119	0,913356458
BIOM/2	29	2,93	4,35	176,745	VD	SV40-SECTEUR 40	SacyPM	LES VIGNES RICHER	PM	1984	30	0,921058573	0,810405273	0,439267388	0,372339843	0,285463119	0,913356458
vignoble	30	2,93	4,165	163,81	BZ	SV23-SECTEUR 23	bouzy PN	LES HAUTS CHAMPS FERRES	PN	2002	12	0,918930666	0,846995194	0,544339727	0,515705971	0,377518392	0,900373173
secteur	31	2,93	3,87	140,235	BZ	SV23-SECTEUR 23	bouzy PN	LES CLOS COLIN	PN	1991	23	0,918930666	0,846995194	0,544339727	0,515705971	0,377518392	0,900373173
station_meteo_reference	32	3,29	4,18	182,515	BZ	SV23-SECTEUR 23	bouzy PN	LA GRANDE CHAUDETTE	PN	1989	25	0,918930666	0,846995194	0,544339727	0,515705971	0,377518392	0,900373173
nom_parcelle	33	3,16	4,555	206,865	VM	SV23-SECTEUR 23	verzenay CH	LE CLOS (B COULOIRS)	CH	1992	22	0,928063053	0,740455159	0,144538536	0,241687843	0,357109736	0,882590756
cepage	34	3,27	4,55	213,92	VZ	SV23-SECTEUR 23	verzenay PN	LE CLOS	PN	1983	31	0,922282384	0,791357438	0,339883778	0,21898247	0,149139173	0,877774882
annee_plantation	35	3,11	4,4	192,31	VZ	SV23-SECTEUR 23	verzenay PN	LES VERBUTOIS HERGAUDE	PN	1992	22	0,922282384	0,791357438	0,339883778	0,21898247	0,149139173	0,877774882
age_parcelle	36	3,04	4,165	170,23	VZ	SV23-SECTEUR 23	verzenay PN	VERBUTOIS POMMERY	PN	2004	10	0,922282384	0,791357438	0,339883778	0,21898247	0,149139173	0,877774882
FTSWdeb	37	3,4	4,25	194,49	W	SV23-SECTEUR 23	verzenay CH	LES VIGNES GOISSES HAUT	CH	2004	10	0,928063053	0,740455159	0,144538536	0,241687843	0,357109736	0,882590756
FTSWflo	38	3,69	4,725	256,405	OG	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	BELLEVOIES	CH	2010	4	0,929469979	0,728900349	0,41642419	0,451914305	0,3344488	0,825213767
FTSWmiVer	39	3,47	4,25	199,79	ST	SV40-SECTEUR 40	Saint Thierry Thierry PM	LA GLACIERE	PM	2002	12	0,904101096	0,85601361	0,42340273	0,34615223	0,256143342	0,875956054
FTSWVer	40	3,81	4,43	235,05	ST	SV40-SECTEUR 40	Saint Thierry Thierry PM	LA GLACIERE	PM	2006	8	0,904101096	0,85601361	0,42340273	0,34615223	0,256143342	0,875956054
FTSWvdg	41	3,87	4,055	204,735	AY	SV12-SECTEUR 12	Ay PN	SORANGES COTE MUTIGNY	PN	1973	42	0,960687227	0,681253787	0,096317766	0,102096801	0,185874376	0,901742622
FTSWdeb-floM	42	3,75	4,255	220,035	AV	SV12-SECTEUR 12	Avize Haut CH	LES BARMONTS	CH	1985	30	0,958736562	0,638253431	0,065200193	0,108121917	0,18410347	0,889950059
FTSWdeb-floS	43	3,35	4,03	175,76	ML	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	GRANDE COULLEMET ROUTE	CH	2012	3	0,962068349	0,667943144	0,07745429	0,117093674	0,177371193	0,893677552
Plddeb-floS	44	3,33	3,905	167,2	AY	SV12-SECTEUR 12	Ay PN	VARMERY HAUT	PN	1992	23	0,960687227	0,681253787	0,096317766	0,102096801	0,185874376	0,901742622
Tdeb-floM	45	3,98	4,31	237,595	OG	SV12-SECTEUR 12	Avize Bas CH	LES GLORIETTES	CH	1968	47	0,962068349	0,667943144	0,07745429	0,117093674	0,177371193	0,893677552
FTSWmiVer-vdgM	46	4,13	4,18	232,36	VT	SV12-SECTEUR 12	Vertus CH	LE MONT FERRE 7 et 8	CH	1993	22	0,958008769	0,70702914	0,097692307	0,107885354	0,184021125	0,904203309

BDD densité

BDD analyse de sols

		Ecartement_pieds	Ecartement_rang	densité	annee_analyse	code_region	argile	limons_fins	limons_grossiers	sables_fins	sables_grossiers	C	N	C/N	calcaire_total_0/0 0	calcaire_actif_%	MO	
		1	1,2	1,1	7600	2009	Grande Vallée de la Marne	285	486	•	229	•	20	1,46	13,69863014	264	12,9	34,4
		2	1,2	1,1	7600	2014	Côte des Blancs	287	327	117	65	204	21,1	1,96	10,8	640	24,9	36,3
		3	1,2	1,1	7600	2003	Côte des Blancs	271	448	•	281	•	37,8	2,66	14,21052632	•	•	65
		4	1,2	1	8300	2013	Grande Vallée de la Marne	346	259	133	169	93	15,5	1,3	11,9	320	12,3	26,7
		5	1,2	1,1	7600	2013	Côte des Blancs	291	277	191	86	155	22,1	1,46	15,1	224	7,4	38
		6	1,2	1,1	7600	2013	Côte des Blancs	254	287	291	52	116	18,4	1,3	14,1	192	7,4	31,6
		7	1,2	1,1	7600	2005	Côte des Blancs	277	573	•	150	•	25	1,73	14,45086705	240	12,3	43
	*	8	1,2	1	8300	2011	Petite Montagne de Reims	260	116	81	450	93	14,6	1,17	12,5	104	3	25,1
	*	9	1,2	1	8300	2014	Petite Montagne de Reims	213	142	100	345	200	13,6	0,98	13,9	118	5	23,4
	□	10	1,2	1	8300	2007	Grande Montagne de Reims	331	321	•	348	•	18,60465116	1,23	15,12573265	224	11,4	32
	□	11	1,2	1	8300	2015	Grande Montagne de Reims	267	98	109	346	180	23,1	1,41	16,4	18	1	39,7
	□	12	1,2	1	8300	2005	Grande Montagne de Reims	319	347	•	334	•	25,6	1,76	14,54545455	288	13,9	44
	□	13	1,2	1	8300	2016	Grande Montagne de Reims	282	299	100	219	100	23,5	2,01	11,7	392	18,7	40,4
	□	14	1,2	1	8300	2015	Grande Montagne de Reims	182	99	109	232	378	19,1	1,44	13,2	54	2,5	32,8
	□	15	1,2	1	8300	2014	Grande Montagne de Reims	227	139	118	276	240	15,3	1,1	13,9	64	4	26,3
	□	16	1,2	1	8300	2012	Grande Montagne de Reims	197	123	96	304	280	19,3	1,32	14,6	88	4	33,2
	□	17	1,2	1	8300	2012	Grande Montagne de Reims	232	119	62	333	254	20,6	1,27	16,3	84	4	35,5
	○	18	1,2	1,1	7600	2008	Côte des Blancs	315	442	•	241	•	29,1	1,82	16	304	15,7	50
	*	19	1,2	1	8300	2015	Massif de Saint Thierry	154	122	94	492	138	12,2	1,05	11,6	96	5	21
	*	20	1,2	1	8300	2011	Massif de Saint Thierry	162	96	117	437	188	22,9	1,46	15,7	46	1,5	39,4
	○	21	1,2	1,1	7600	2009	Grande Vallée de la Marne	285	486	•	229	•	20	1,46	13,69863014	264	12,9	34,4
	○	22	1,2	1,1	7600	2014	Côte des Blancs	287	327	117	65	204	21,1	1,96	10,8	640	24,9	36,3
	○	23	1,2	1,1	7600	2003	Côte des Blancs	271	448	•	281	•	37,8	2,66	14,21052632	•	•	65
	○	24	1,2	1	8300	2013	Grande Vallée de la Marne	346	259	133	169	93	15,5	1,3	11,9	320	12,3	26,7
	○	25	1,2	1,1	7600	2013	Côte des Blancs	291	277	191	86	155	22,1	1,46	15,1	224	7,4	38
	○	26	1,2	1,1	7600	2013	Côte des Blancs	254	287	291	52	116	18,4	1,3	14,1	192	7,4	31,6
	○	27	1,2	1,1	7600	2005	Côte des Blancs	277	573	•	150	•	25	1,73	14,45086705	240	12,3	43
	*	28	1,2	1	8300	2011	Petite Montagne de Reims	260	116	81	450	93	14,6	1,17	12,5	104	3	25,1
	*	29	1,2	1	8300	2014	Petite Montagne de Reims	213	142	100	345	200	13,6	0,98	13,9	118	5	23,4
	□	30	1,2	1	8300	2007	Grande Montagne de Reims	331	321	•	348	•	18,60465116	1,23	15,12573265	224	11,4	32
	□	31	1,2	1	8300	2015	Grande Montagne de Reims	267	98	109	346	180	23,1	1,41	16,4	18	1	39,7
	□	32	1,2	1	8300	2005	Grande Montagne de Reims	319	347	•	334	•	25,6	1,76	14,54545455	288	13,9	44
	□	33	1,2	1	8300	2016	Grande Montagne de Reims	282	299	100	219	100	23,5	2,01	11,7	392	18,7	40,4
	□	34	1,2	1	8300	2015	Grande Montagne de Reims	182	99	109	232	378	19,1	1,44	13,2	54	2,5	32,8
	□	35	1,2	1	8300	2014	Grande Montagne de Reims	227	139	118	276	240	15,3	1,1	13,9	64	4	26,3
	□	36	1,2	1	8300	2012	Grande Montagne de Reims	197	123	96	304	280	19,3	1,32	14,6	88	4	33,2
	□	37	1,2	1	8300	2012	Grande Montagne de Reims	232	119	62	333	254	20,6	1,27	16,3	84	4	35,5
	○	38	1,2	1,1	7600	2008	Côte des Blancs	315	442	•	241	•	29,1	1,82	16	304	15,7	50
	*	39	1,2	1	8300	2015	Massif de Saint Thierry	154	122	94	492	138	12,2	1,05	11,6	96	5	21
	*	40	1,2	1	8300	2011	Massif de Saint Thierry	162	96	117	437	188	22,9	1,46	15,7	46	1,5	39,4
	○	41	1,2	1,1	7600	2009	Grande Vallée de la Marne	285	486	•	229	•	20	1,46	13,69863014	264	12,9	34,4
	○	42	1,2	1,1	7600	2014	Côte des Blancs	287	327	117	65	204	21,1	1,96	10,8	640	24,9	36,3
	○	43	1,2	1,1	7600	2003	Côte des Blancs	271	448	•	281	•	37,8	2,66	14,21052632	•	•	65
	○	44	1,2	1	8300	2013	Grande Vallée de la Marne	346	259	133	169	93	15,5	1,3	11,9	320	12,3	26,7
	○	45	1,2	1,1	7600	2013	Côte des Blancs	291	277	191	86	155	22,1	1,46	15,1	224	7,4	38
	○	46	1,2	1,1	7600	2013	Côte des Blancs	254	287	291	52	116	18,4	1,3	14,1	192	7,4	31,6

BDD analyse de sols (suite)

BDD physiocap (année (n-1))

	MO	MO_souhaitable	CEC_metson	P2O5_ %**	K_ % CEC	Mg_en % CEC	K/Mg	NBSARM(n-1)	DIAM(n-1)	BIOM(n-1)	campagne	parcelle	annee-etudiee	code_secteur	code_parcelle_annee-etudiee	
Source																
ACP15	1	34,4	30	13,7	0,526	7,7	10	0,77			2012-2013	AY 303 SORANGES COTE MUTIGNY	2013	SV12	AY 3032013	
PLS_BIOM_7var	2	36,3	30	13,2	0,377	4,6	8,3	0,56			2012-2013	AV 02 LES BARMONTS	2013	SV12	AV 022013	
ACP15variable27juin	3	65	30	17,7	0,581			0,8			2012-2013	ML 15 GRANDE COULLEMET ROUTE	2013	SV12	ML 152013	
ACP15variable27juin2	4	26,7	30	16,5	0,114	4,2	9	0,47			2012-2013	AY 09A VARMERY HAUT	2013	SV12	AY 09A2013	
	5	38	27,5	14,6	0,443	6	7,5	0,79			2012-2013	OG 22A LES GLORIETTES	2013	SV12	OG 22A2013	
	6	31,6	27,5	15,2	0,509	5,5	10,4	0,53			2012-2013	VT 308C LE MONT FERRE 7 et 8	2013	SV12	VT 308C2013	
	7	43	30	16,7	0,628	7,7	10	0,77			2012-2013	VT 309B MAZEAUX LE PLATEAU	2013	SV12	VT 309B2013	
*	8	25,1	21,2	10,1	0,687	7,6	15,2	0,5			2012-2013	VD 06 LES VIGNES DU PRE	2013	SV40	VD 062013	
*	9	23,4	24,9	12	0,749	7,2	15,2	0,47			2012-2013	VD 14 LES VIGNES RICHER	2013	SV40	VD 142013	
□	10	32	30	19,3	0,524	3,749169656	5,218653702	0,718417023			2012-2013	BZ 07 LES HAUTS CHAMPS FERRES	2013	SV23	BZ 072013	
□	11	39,7	26,1	16,2	0,662	4,2	6,9	0,61			2012-2013	BZ 15 LES CLOS COLIN	2013	SV23	BZ 152013	
□	12	44	30	15,6	0,408	6,2	9,3	0,666666667			2012-2013	BZ 02 LA GRANDE CHAUDETTE	2013	SV23	BZ 022013	
□	13	40,4	30	12,5	0,526	4,7	6,8	0,69			2012-2013	VM 15 LE CLOS (B COULOIRS)	2013	SV23	VM 152013	
□	14	32,8	24,2	10,8	0,907	5,1	8,1	0,63			2012-2013	VZ 14 LE CLOS	2013	SV23	VZ 142013	
□	15	26,3	25,2	12,1	0,441	5,9	8,8	0,66			2012-2013	VZ 32 LES VERBUTOIS HERGAUDE	2013	SV23	VZ 322013	
□	16	33,2		13,1	0,493	0,211	0,096				2012-2013	VZ 34B VERBUTOIS POMMERY	2013	SV23	VZ 34B2013	
□	17	35,5		11,9	0,451	0,168	0,11				2012-2013	W 39 LES VIGNES GOISSES HAUT	2013	SV23	W 392013	
*	18	50	30	6,7	0,434	6,4	9,9	0,7			2012-2013	OG 310 BELLEVOIES	2013	SV12	OG 3102013	
*	19	21	23,6	9,4	0,684	5,7	8,2	0,7			2012-2013	ST 13 LA GLACIERE	2013	SV40	ST 132013	
*	20	39,4	23,8	12,2	0,635	6,3	10,8	0,6			2012-2013	ST 12 LA GLACIERE	2013	SV40	ST 122013	
*	21	34,4	30	13,7	0,526	7,7	10	0,77	8,5	9,16	566,12	2013-2014	AY 303 SORANGES COTE MUTIGNY	2014	SV12	AY 3032014
*	22	36,3	30	13,2	0,377	4,6	8,3	0,56	9,69	9,17	650,41	2013-2014	AV 02 LES BARMONTS	2014	SV12	AV 022014
*	23	65	30	17,7	0,581			0,8	6,69	9,15	442,51	2013-2014	ML 15 GRANDE COULLEMET ROUTE	2014	SV12	ML 152014
*	24	26,7	30	16,5	0,114	4,2	9	0,47	8,06	9,05	528,68	2013-2014	AY 09A VARMERY HAUT	2014	SV12	AY 09A2014
*	25	38	27,5	14,6	0,443	6	7,5	0,79	8,55	9,48	602,78	2013-2014	OG 22A LES GLORIETTES	2014	SV12	OG 22A2014
*	26	31,6	27,5	15,2	0,509	5,5	10,4	0,53	7,78	8,86	485,22	2013-2014	VT 308C LE MONT FERRE 7 et 8	2014	SV12	VT 308C2014
*	27	43	30	16,7	0,628	7,7	10	0,77	9,26	9,09	606,81	2013-2014	VT 309B MAZEAUX LE PLATEAU	2014	SV12	VT 309B2014
*	28	25,1	21,2	10,1	0,687	7,6	15,2	0,5	6,38	7,71	315,35	2013-2014	VD 06 LES VIGNES DU PRE	2014	SV40	VD 062014
*	29	23,4	24,9	12	0,749	7,2	15,2	0,47	7,82	8,24	422,32	2013-2014	VD 14 LES VIGNES RICHER	2014	SV40	VD 142014
□	30	32	30	19,3	0,524	3,749169656	5,218653702	0,718417023	6,69	8,6	403,83	2013-2014	BZ 07 LES HAUTS CHAMPS FERRES	2014	SV23	BZ 072014
□	31	39,7	26,1	16,2	0,662	4,2	6,9	0,61	6,38	7,69	302,03	2013-2014	BZ 15 LES CLOS COLIN	2014	SV23	BZ 152014
□	32	44	30	15,6	0,408	6,2	9,3	0,666666667	7,54	8,34	417,21	2013-2014	BZ 02 LA GRANDE CHAUDETTE	2014	SV23	BZ 022014
□	33	40,4	30	12,5	0,526	4,7	6,8	0,69	6,66	9,31	458,96	2013-2014	VM 15 LE CLOS (B COULOIRS)	2014	SV23	VM 152014
□	34	32,8	24,2	10,8	0,907	5,1	8,1	0,63	6,52	9,29	443,74	2013-2014	VZ 14 LE CLOS	2014	SV23	VZ 142014
□	35	26,3	25,2	12,1	0,441	5,9	8,8	0,66	6,54	8,66	397,57	2013-2014	VZ 32 LES VERBUTOIS HERGAUDE	2014	SV23	VZ 322014
□	36	33,2		13,1	0,493	0,211	0,096		7,1	9,58	514,45	2013-2014	VZ 34B VERBUTOIS POMMERY	2014	SV23	VZ 34B2014
□	37	35,5		11,9	0,451	0,168	0,11		7,93	8,34	440,36	2013-2014	W 39 LES VIGNES GOISSES HAUT	2014	SV23	W 392014
*	38	50	30	6,7	0,434	6,4	9,9	0,7	6,01	9,33	412,92	2013-2014	OG 310 BELLEVOIES	2014	SV12	OG 3102014
*	39	21	23,6	9,4	0,684	5,7	8,2	0,7	7,3	8,25	394,95	2013-2014	ST 13 LA GLACIERE	2014	SV40	ST 132014
*	40	39,4	23,8	12,2	0,635	6,3	10,8	0,6	7,33	8,23	400,39	2013-2014	ST 12 LA GLACIERE	2014	SV40	ST 122014
*	41	34,4	30	13,7	0,526	7,7	10	0,77	8,55	8,83	527,78	2014-2015	AY 303 SORANGES COTE MUTIGNY	2015	SV12	AY 3032015
*	42	36,3	30	13,2	0,377	4,6	8,3	0,56	8,55	8,31	495,02	2014-2015	AV 02 LES BARMONTS	2015	SV12	AV 022015
*	43	65	30	17,7	0,581			0,8	5,52	8,64	328,98	2014-2015	ML 15 GRANDE COULLEMET ROUTE	2015	SV12	ML 152015
*	44	26,7	30	16,5	0,114	4,2	9	0,47	7,42	8,3	415,88	2014-2015	AY 09A VARMERY HAUT	2015	SV12	AY 09A2015
*	45	38	27,5	14,6	0,443	6	7,5	0,79	6,42	9,08	423,98	2014-2015	OG 22A LES GLORIETTES	2015	SV12	OG 22A2015
*	46	31,6	27,5	15,2	0,509	5,5	10,4	0,53	7,35	9,03	476,1	2014-2015	VT 308C LE MONT FERRE 7 et 8	2015	SV12	VT 308C2015
*	47	43	30	16,7	0,628	7,7	10	0,77	7,59	9,29	515,17	2014-2015	VT 309B MAZEAUX LE PLATEAU	2015	SV12	VT 309B2015
*	48	25,1	21,2	10,1	0,687	7,6	15,2	0,5	6,96	8,41	388,82	2014-2015	VD 06 LES VIGNES DU PRE	2015	SV40	VD 062015

BDD rendement

Colonnes issues de la régression PLS

BDD_parcelle+analyse_s...						Colonnes issues de la régression PLS					
Source	parcelle	annee-etudiee	code_secteur	code_parcelle_annee-etudiee	rdt_surf_reelle	Pred Formula DIAM	BIOM Pred PLS Lin	Ecart au modèle	Form. prév. BIOM (PLS ...	ecart au modele ...	
ACP15	1	SORANGES COTE MUTIGNY	2013	SV12	AY 3032013	9291,3003	8,9512805571	535,3405393	30,7794607	551,66979355	-14,45020645
PLS_BIOM_7var	2	ES BARMONTS	2013	SV12	AV 022013	12976,1905	9,3454347258	652,41671624	-2,006716236	631,05729547	-19,35270453
ACP15variable27juin	3	GRANDE COULLEMET ROUTE	2013	SV12	ML 152013	18444,2238					
ACP15variable27juin2	4	VARMERY HAUT	2013	SV12	AY 09A2013	15993,4727	8,4705573177	419,78113115	108,89886885	463,22886988	-65,45113012
	5	LES GLORIETTES	2013	SV12	OG 22A2013	11811,2633	8,9930324116	542,31566268	60,464337324	533,76568214	-69,01431786
	6	LE MONT FERRE 7 et 8	2013	SV12	VT 308C2013	15224,0614	9,1402478664	555,17934686	-69,95934686	572,31641466	87,096414664
	7	MAZEAUX LE PLATEAU	2013	SV12	VT 309B2013	17973,7783	9,4743031778	600,60231717	6,2076828292	609,55646259	2,7464625949
	8	LES VIGNES DU PRE	2013	SV40	VD 062013	12243,0916	8,1676618922	408,56566914	-93,21566914	342,56376927	27,213769265
	9	LES VIGNES RICHER	2013	SV40	VD 142013	13671,5952	8,5362540737	433,92268543	-11,60268543	434,42495136	12,104951359
	10	ES HAUTS CHAMPS FERRES	2013	SV23	BZ 072013	12816,813	8,4544933607	381,94920304	21,880796962	426,91051204	23,080512042
	11	ES CLOS COLIN	2013	SV23	BZ 152013	10194,416	8,2323622362	345,61563622	-43,58563622	382,8017185	80,771718503
	12	A GRANDE CHAUDETTE	2013	SV23	BZ 022013	16977,0992	8,6054983952	420,27843639	-3,068436391	458,121146522	40,911146522
	13	LE CLOS (B COULOIRS)	2013	SV23	VM 152013	19030,6947	9,1215146377	432,2750715	26,684928505	538,25692232	79,296922318
	14	E CLOS	2013	SV23	VZ 142013	14090,9433	9,0212382478	416,5055434	27,234456602	501,15949954	57,419499544
	15	ES VERBUTOIS HERGAUDE	2013	SV23	VZ 322013	15222,3748	8,6614898662	391,21843351	6,3515664851	464,03708786	66,467087864
	16	VERBUTOIS POMMERY	2013	SV23	VZ 34B2013	13092,5313	8,7548116974	438,49486231	75,955137687	473,92399214	-40,52600786
	17	ES VIGNES GOISSES HAUT	2013	SV23	W 392013	13958,1761	8,558046799	406,00183164	34,358168359	434,28281349	-6,077186515
	18	BELLEVOIES	2013	SV12	OG 3102013	7309,0242	9,0372934716	484,17951487	-71,25951487	530,43205717	117,51205717
	19	A GLACIERE	2013	SV40	ST 132013	7649,9242	8,6426536088	439,76256908	-44,81256908	417,94082348	22,990823477
	20	A GLACIERE	2013	SV40	ST 122013	10079,8297	8,6007900661	448,37965017	-47,98965017	411,97453845	11,584538451
	21	SORANGES COTE MUTIGNY	2014	SV12	AY 3032014	11109,1281	8,8240037709	495,41625202	32,363747978	497,09856688	-30,68143312
	22	ES BARMONTS	2014	SV12	AV 022014	17400,7937	9,1430123964	573,37630961	-78,35630961	556,48910227	61,469102271
	23	GRANDE COULLEMET ROUTE	2014	SV12	ML 152014	16980,0287					
	24	VARMERY HAUT	2014	SV12	AY 09A2014	12236,4042	8,3432805316	379,85684388	36,023156123	408,65764321	-7,222356788
	25	LES GLORIETTES	2014	SV12	OG 22A2014	11659,5999	9,0358764197	485,09577979	-61,11577979	440,64703978	16,667039779
	26	LE MONT FERRE 7 et 8	2014	SV12	VT 308C2014	13091,4413	8,9658419275	477,89653009	-1,796530093	508,07289782	31,972897821
	27	MAZEAUX LE PLATEAU	2014	SV12	VT 309B2014	16017,1581	9,2998972389	523,3195004	-8,1495004	545,31294575	30,142945752
	28	LES VIGNES DU PRE	2014	SV40	VD 062014	8902,3825	7,9442562631	335,36553542	53,454464581	298,90993426	-89,91006574
	29	LES VIGNES RICHER	2014	SV40	VD 142014	9215,7223	8,3128484446	360,72255171	-7,23255171	390,77111636	37,281116355
	30	ES HAUTS CHAMPS FERRES	2014	SV23	BZ 072014	10117,2667	8,3215554195	340,5978616	-12,9778616	376,11021009	48,490210094
	31	ES CLOS COLIN	2014	SV23	BZ 152014	9815,8164	8,0994242951	304,26429478	-23,79429478	332,00141656	51,531416556
	32	A GRANDE CHAUDETTE	2014	SV23	BZ 022014	16544,1658	8,472560454	378,92709495	-13,89709495	407,32084457	42,290844575
	33	LE CLOS (B COULOIRS)	2014	SV23	VM 152014	16612,8164	8,9370456752	431,92034499	-18,19034499	458,19553808	44,465538082
	34	E CLOS	2014	SV23	VZ 142014	13456,2195	8,9003411605	374,30969242	53,53037581	431,69018818	3,8501881763
	35	ES VERBUTOIS HERGAUDE	2014	SV23	VZ 322014	11379,6746	8,5405927789	349,02258254	35,597417465	394,5677765	9,9477764964
	36	VERBUTOIS POMMERY	2014	SV23	VZ 34B2014	13466,6859	8,6339146101	396,29901133	-55,83901133	404,45468077	63,994680775
	37	ES VIGNES GOISSES HAUT	2014	SV23	W 392014	11558,2063	8,3735778365	405,64710514	-16,66710514	354,22142925	-34,75857075
	38	BELLEVOIES	2014	SV12	OG 3102014	20073,3347	9,0801374797	426,95963198	85,850368021	437,3134148	-75,4965852
	39	A GLACIERE	2014	SV40	ST 132014	11079,4541	8,7187220896	438,66189536	-39,08189536	387,06494678	-12,51505322
	40	A GLACIERE	2014	SV40	ST 122014	14440,3051	8,676858547	447,27897646	22,821023542	381,09866175	-89,00133825
	41	SORANGES COTE MUTIGNY	2015	SV12	AY 3032015	10882,9542	8,2051396326	476,8577381	-67,3877381	430,09329028	20,623290282
	42	ES BARMONTS	2015	SV12	AV 022015	10813,4921	8,5224973285	493,27291575	-53,20291575	488,48961117	48,41961117
	43	GRANDE COULLEMET ROUTE	2015	SV12	ML 152015	16814,6845					
	44	VARMERY HAUT	2015	SV12	AY 09A2015	12710,1173	7,7244163933	361,29832995	-26,89832995	341,65236661	7,2523666147
	45	LES GLORIETTES	2015	SV12	OG 22A2015	11176,8863	8,2451266452	437,16009614	38,029903865	409,31868908	-65,87131092
	46	LE MONT FERRE 7 et 8	2015	SV12	VT 308C2015	10892,713	8,3430655522	417,57688331	47,143116688	453,00731952	-11,71268048
	47	MAZEAUX LE PLATEAU	2015	SV12	VT 309B2015	12780,7459	8,6771208636	462,99985362	-18,42985362	490,24736745	45,677367451
	48	LES VIGNES DU PRE	2015	SV40	VD 062015	12646,5291	7,4152695535	269,45073499	17,989265007	214,74630627	-72,69369373

Annexe IV - Rappels tests statistique de comparaisons de moyennes (Gentzbittel, 2011).

- Le test de Shapiro :

Ce test permet de vérifier si les données d'un jeu de données sont normales. On teste l'hypothèse suivante :

H0 : Les données suivent une loi normale

H1 : Les données ne suivent pas une loi normale

Si $p\text{-value} < 0.05$ alors on rejette H0.

- Le test de Levene ou de Bartlett

Ces tests comparent les variances des échantillons. Ce sont des tests bilatéraux qui testent les hypothèses suivantes :

H0 : Les variances sont identiques

H1 : Au moins l'une des variances est différente d'une autre

Si $p\text{-value} < 0.05$ alors on rejette H0.

- L'ANOVA à un facteur

Le but de l'ANOVA est de comparer les moyennes de plusieurs populations, supposées normales et de même variance, à partir d'échantillons aléatoires, simples et indépendants entre eux. Elle permet de comparer des moyennes par l'intermédiaire d'une comparaison de variances.

Pour p populations, analysées au travers de leurs p échantillons respectifs, l'ANOVA est alors le test de l'hypothèse nulle définie par : $H0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p$

Si $p\text{-value} < 0.05$ alors on rejette H0 et il y a une différence significative.

Conditions d'applications du test :

- Les données suivent une loi normale : $p\text{-value} > 0.05$ pour un test de Shapiro
- Les données ont leur variance égale : $p\text{-value} > 0.05$ pour un test de Levene ou de Bartlett

- Le test de Tukey

Si l'ANOVA conduit à rejeter l'hypothèse H0, la question à résoudre est alors « Quelles sont parmi les p moyennes considérées, celles qui diffèrent significativement ? ». Le test de Tukey permet des comparaisons multiples de moyennes. (Il définit l'écart maximum significatif qui peut exister entre de deux moyennes parmi un ensemble de p moyennes).

Conditions d'applications du test :

- Les données suivent une loi normale :
- Les variances sont égales
- Les échantillons sont de même effectif.

Si $p\text{-value} < 0.05$, alors la différence entre les deux moyennes testées est significative.

Annexe V - Présentation détaillée de VitiCanopy et protocole des mesures de LAI (Leaf Area Index) (De Bei et al., 2016)

- L'application VitiCanopy

L'indice de surface des feuilles (LAI) est un paramètre biophysique important et commun utilisé pour estimer des variables agronomiques telles que la croissance de la canopée, l'interception de la lumière et les besoins en eau des plantes et des arbres.

Cette application VitiCanopy, utilisable sur smartphone et tablette, a été développée par un groupe de chercheurs de l'Université d'Adélaïde et de l'Université de Melbourne pour estimer la couverture foliaire (LAI), la porosité de la canopée et l'indice d'agglutination.

VitiCanopy utilise la caméra intégrée et les capacités GPS des smartphones et des tablettes PC pour lancer automatiquement des algorithmes d'analyses sur des images numériques (figure 1). Elle calcule ainsi les paramètres pertinents de l'architecture de la canopée. Les résultats de l'utilisation de VitiCanopy sur les vignes sont bien corrélés avec les méthodes traditionnelles pour mesurer/estimer LAI et PAI. Comme d'autres méthodes indirectes, VitiCanopy ne distingue pas les feuilles des non-feuilles, mais il a été démontré que le matériel de type « non-feuille » pourrait être extrait des résultats, si nécessaire, pour augmenter la précision.

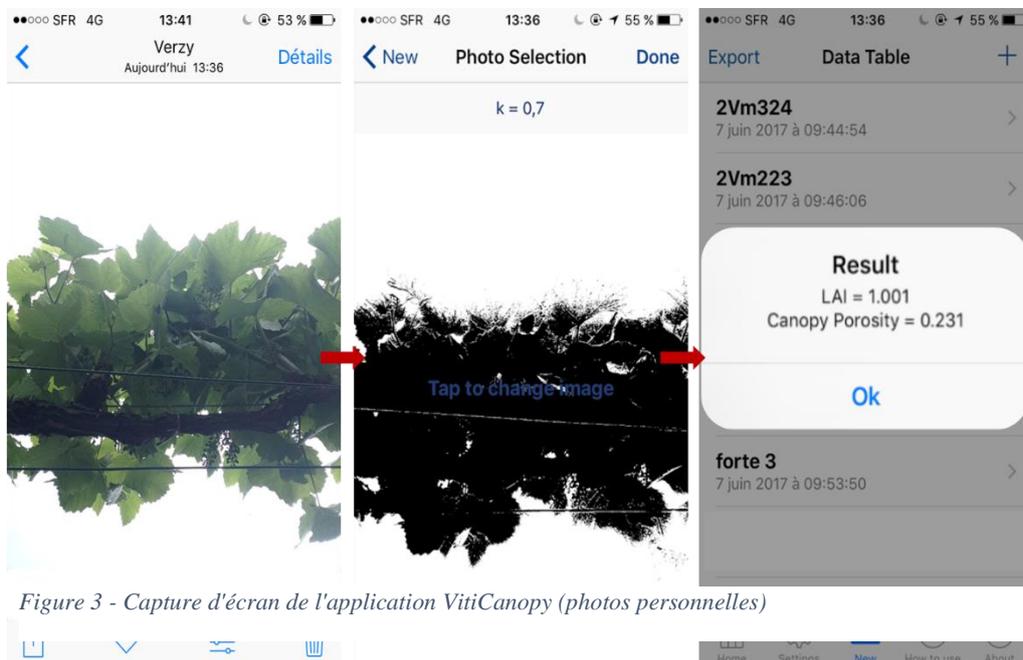


Figure 3 - Capture d'écran de l'application VitiCanopy (photos personnelles)

- Conditions d'utilisation

- Cette application nécessite de posséder un iPhone (version 4S minimum).
- L'iPhone doit être placé entre 60 et 80 cm sous la canopée (on est à la limite en champagne)
- L'iPhone doit être placé perpendiculairement au cordon (meilleur angle droit possible)
- Le cordon de vigne doit être placé au centre de l'image et ne doit pas prendre tout le cadre (figure 2)
- Les conditions météorologiques ne doivent pas apparaître sur l'image (soleil, pluie etc)
- Il est recommandé d'utiliser un déclencheur de photo à distance

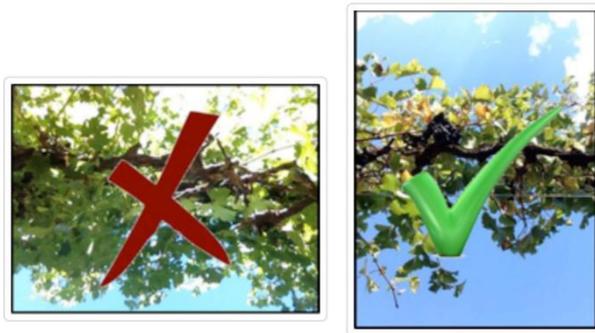


Figure 4 - Photos aide à la compréhension disponible sur l'application Viticanopy (De Bei et al, 2016).

- Protocole dans le cadre de l'expérimentation

Dans le cadre de l'expérimentation, on travaille avec 6 pieds par placettes. Pour chaque placette, 3 photos sont prises (voir schéma ci-dessous), on obtient 3 mesures de LAI et on fait la moyenne des 3 mesures. En tout on a donc 27 mesures moyennes de LAI pour les 27 placettes étudiées.

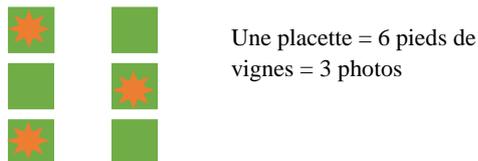


Figure 5 - Schéma représentatif des prises de vues réalisées dans le cadre de l'expérimentation (personnel)

Annexe VI - Analyse de la distribution des données biomasse 2016, LAI-floraison, LAI véraison : loi normale pour toutes les distributions (cadre rouge) (JMP)

Distributions				
Biomasse_2016				
Quantiles				
100.0%	maximum	645,15		
99.5%		645,15		
97.5%		645,15		
90.0%		631,684		
75.0%	quartile	447,52		
50.0%	médiane	375,34		
25.0%	quartile	250,25		
10.0%		186,996		
2.5%		171,95		
0.5%		171,95		
0.0%	minimum	171,95		
Statistiques de résumé				
Moyenne		380,03704		
Écart-type		147,61922		
Erreur standard de la moyenne		28,409331		
Limite supérieure de l'intervalle de confiance de la moyenne pour 95 %		438,43325		
Limite inférieure de l'intervalle de confiance de la moyenne pour 95 %		321,64082		
Nombre d'observations		27		
Ajustement normal				
Estimations des coefficients				
Type	Coefficient	Estimation	Inférieur à 95 %	Supérieur à 95 %
Position μ		380,03704	321,64082	438,43325
Dispersion σ		147,61922	116,25256	202,30204
-2log(vraisemblance) = 345,333029813431				
Test du bon ajustement				
Test W de Shapiro-Wilk				
	W	Prob.<W		
	0,941676	0,1340		
Remarque : Ho = les données proviennent de la distribution Normale. Les petites p-values rejettent Ho.				

Distributions				
LAI-floraison				
Quantiles				
100.0%	maximum	1,865		
99.5%		1,865		
97.5%		1,865		
90.0%		1,7288		
75.0%	quartile	1,543		
50.0%	médiane	1,102		
25.0%	quartile	0,587		
10.0%		0,2018		
2.5%		0,115		
0.5%		0,115		
0.0%	minimum	0,115		
Statistiques de résumé				
Moyenne		1,0539259		
Écart-type		0,5549507		
Erreur standard de la moyenne		0,1068003		
Limite supérieure de l'intervalle de confiance de la moyenne pour 95 %		1,2734571		
Limite inférieure de l'intervalle de confiance de la moyenne pour 95 %		0,8343948		
Nombre d'observations		27		
Ajustement normal				
Estimations des coefficients				
Type	Coefficient	Estimation	Inférieur à 95 %	Supérieur à 95 %
Position μ		1,0539259	0,8343948	1,2734571
Dispersion σ		0,5549507	0,4370327	0,7605219
-2log(vraisemblance) = 43,8233721347893				
Test du bon ajustement				
Test W de Shapiro-Wilk				
	W	Prob.<W		
	0,932950	0,0817		
Remarque : Ho = les données proviennent de la distribution Normale. Les petites p-values rejettent Ho.				

Distributions

ha LAI-veraison

Quantiles

100.0%	maximum	1,98
99.5%		1,98
97.5%		1,98
90.0%		1,952
75.0%	quartile	1,92
50.0%	médiane	1,75
25.0%	quartile	1,71
10.0%		1,578
2.5%		1,52
0.5%		1,52
0.0%	minimum	1,52

Statistiques de résumé

Moyenne	1,777037
Écart-type	0,1328045
Erreur standard de la moyenne	0,0255582
Limite supérieure de l'intervalle de confiance de la moyenne pour 95 %	1,8295728
Limite inférieure de l'intervalle de confiance de la moyenne pour 95 %	1,7245013
Nombre d'observations	27

Ajustement normal

Estimations des coefficients

Type	Coefficient	Estimation	Inférieur à 95 %	Supérieur à 95 %
Position μ		1,777037	1,7245013	1,8295728
Dispersion σ		0,1328045	0,1045857	0,1819995

-2log(vraisemblance) = -33,3966829021577

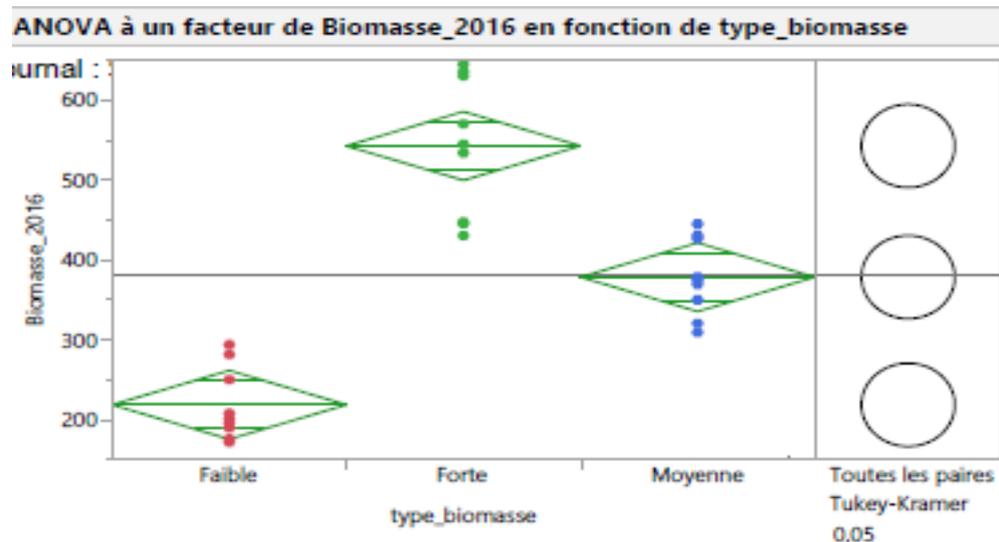
Test du bon ajustement

Test W de Shapiro-Wilk

W	Prob.<W
0,945428	0,1658

Remarque : Ho = les données proviennent de la distribution Normale. Les petites p-values rejettent Ho.

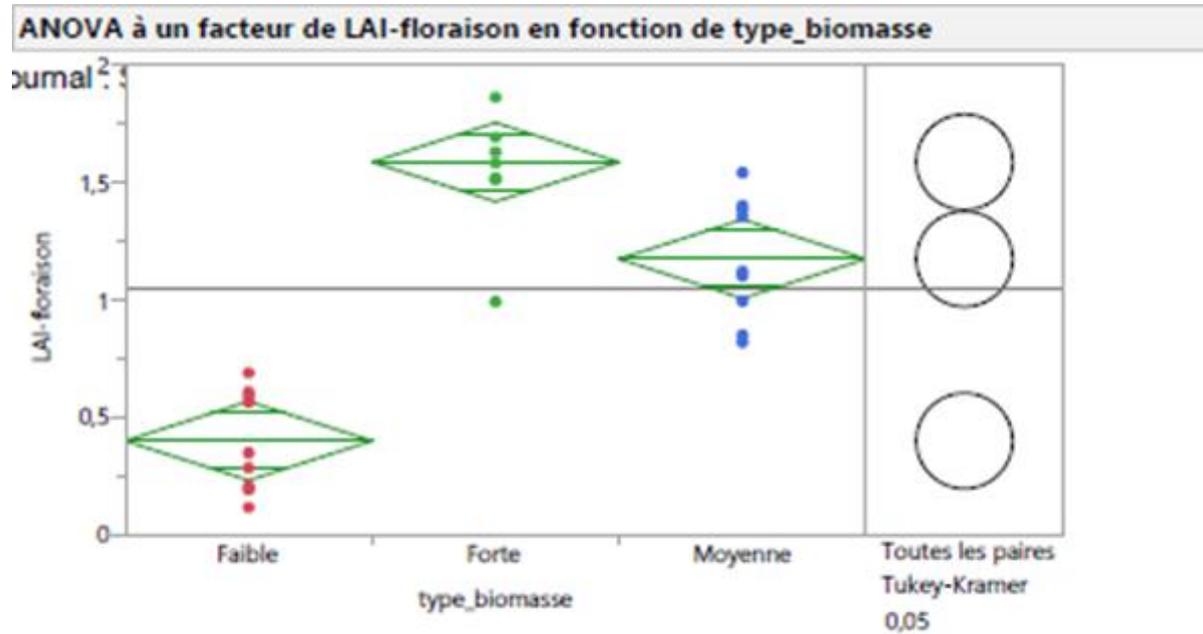
Annexe VII - Résultats des tests ANOVA et Tukey pour les données biomasse_2016 et modalité biomasse (JMP).



Analyse de la variance					
Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport F	Prob. > F
type_biomasse	2	472755,19	236378	60,4662	<,0001*
Résidus	24	93822,07	3909		
Total corrigé	26	566577,26			

Comparaisons de moyennes						
Comparaisons pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer						
Niveau	- Niveau	Différence	Erreur standard de la différence	Limite de contrôle inférieure	Limite de contrôle supérieure	P-value
Forte	Faible	324,1144	29,47410	250,5091	397,7198	<,0001*
Forte	Moyenne	164,2711	29,47410	90,6658	237,8764	<,0001*
Moyenne	Faible	159,8433	29,47410	86,2380	233,4486	<,0001*

Annexe VIII - Résultats des tests ANOVA et Tukey pour les données LAI-floraison et modalité biomasses (JMP).



Analyse de la variance

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport F	Prob. > F
type_biomasse	2	6,5691556	3,28458	54,8164	<,0001*
Résidus	24	1,4380702	0,05992		
Total corrigé	26	8,0072259			

Comparaisons de moyennes

Comparaisons pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

Niveau	- Niveau	Différence	Erreur standard de la différence	Limite de contrôle inférieure	Limite de contrôle supérieure	P-value
Forte	Faible	1,189889	0,1153927	0,9017203	1,478057	<,0001*
Moyenne	Faible	0,776556	0,1153927	0,4883870	1,064724	<,0001*
Forte	Moyenne	0,413333	0,1153927	0,1251647	0,701502	0,0041*

Annexe IX - Protocole d'utilisation du N tester

- Le N tester

Cet outil est un appareil optique piéton qui mesure l'intensité de la coloration verte du limbe qui dépend de la teneur en chlorophylle de la plante et donc de la nutrition azotée. La mesure réalisée permet donc de connaître l'état de vigueur de la plante.

Le N-tester permet d'effectuer un diagnostic précoce, non-destructif avec un résultat immédiatement connu. Les valeurs de N-tester mesurées évoluent au cours de la saison et peuvent varier en fonction du cépage. A titre d'exemple, pour une mesure effectuée au moment de la véraison, une valeur N-tester inférieure à 400 indique une très faible alimentation en azote de la vigne et une valeur supérieure à 550 une alimentation en azote très forte. (Van Leeuwen, K, Friant, P, 2011)



Figure 6 - Utilisation du N tester (personnel)

- Utilisation

- Allumer l'appareil et l'étalonner en fermant la tête de mesure jusqu'à l'émission d'un BIP (deux secondes).
- Puis effectuer 30 pincements ; chaque pincement implique d'insérer la feuille dans la tête de mesure. Si la mesure n'est pas bonne, l'appareil bip et il faut recommencer cette mesure seulement.
- A la fin des 30 pincements, l'appareil peut supprimer les valeurs extrêmes et demander de refaire 1, 2 ou 3 pincements.
- L'écran affiche alors N = 30 et la valeur de la mesure obtenue pour ces 30 pincements (figure 4).
- Appuyer sur CLEAR et recommencer autant de fois que nécessaire.

- Protocole dans le cadre de l'expérimentation

Sur chacune des 27 placettes, une mesure est réalisée, soit 30 pincements par placette et donc trois répétitions par modalité.

Les feuilles sont prises de manière aléatoires, mais pas trop haut dans la canopée pour ne pas être biaisé par les feuilles plus juvéniles qui n'ont pas encore atteint leur stade de fonctionnement.

Annexe X - Analyses de limbes foliaires

- Protocole prélèvement :

Cette analyse nécessite 200 grammes d'échantillons frais soit environ 200 feuilles. Sachant que les placettes de l'expérimentation ne possèdent que 6 pieds, on fait une analyse par modalité (type_biomasse*type_traitement) et donc une analyse pour trois placettes, ce qui permet un gain de temps considérable et également de ne pas trop modifier le métabolisme des plants en enlevant 200 feuilles.

Les feuilles sont prises de manière aléatoires parmi les feuilles matures, les pétioles sont détachés, seuls les limbes sont analysés.

Les deux protocoles utilisés au laboratoire sont détaillés par la suite (d'après la CAMA) :

- Analyse de l'azote foliaire
- Analyse des autres éléments minéraux foliaires

- Protocole d'analyse de l'azote foliaire

Le principe est fondé sur la minéralisation de type Kjeldahl, mais le catalyseur utilisé est le dioxyde de titane (contenu dans la pastille « KJELTABS ») au lieu du sélénium.

APPAREILLAGE

Balance de précision 0.001 g
 Centrifugeuse
 Distributrice Dispensette 10 ml réglée à 9 ml
 Blocs minéralisants : Digester DS 20 (20 tubes) et Digester 1007 (6 tubes)
 Système d'aspiration des vapeurs (bloc de cloche +neutralisateur de vapeur)
 Micropipettes 1 ml
 Autoanalyseur Flux continu et logiciel SKALAR

VERRERIE

Tubes à minéralisation de 300 ml jaugés à 250 ml
 Fioles jaugées 200 ml, 250 ml Classe A
 Fioles jaugées de 1 litre Classe A
 Flacons de 500 ml, 250 ml, 1 L
 Pipettes 10 ml, 20 ml

CONSOMMABLES

Parafilm
 Tubes à hémolyse 10 ml

PRODUITS NECESSAIRES

Eau déminéralisée	Sodium hydroxyde
Acide sulfurique 95-98%	Sodium salicylate
Pastille KJELTABS CT5	Nitroprussiate de sodium
Potassium sodium tartrate tétrahydraté	Brij 35
Citrate de sodium	Chlorure d'ammonium
Acide dichloroisocyanurique sel de sodium dihydraté	

REACTIFS COLORIMETRIQUES

Solution A :

Préparation pour 500 ml, dissoudre 16.5 g de potassium sodium tartrate et 12 g de citrate de sodium.
 Ajuster la fiole à 500 ml avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser. Ajouter quelques gouttes de Brij 35.

Solution B :

Préparation pour 100 ml, dissoudre 8 g de sodium salicylate et 2.5 g de sodium hydroxyde
 Compléter à 100 ml avec de l'eau déminéralisée.

Solution C :

Préparation pour 200 ml , dissoudre 0.20 g de nitroprussiate de sodium.
 Compléter à 200 ml avec de l'eau déminéralisée.

Solution D :

Préparation pour 200 ml, dissoudre 0.4 g d'acide dichloroisocyanurique de sodium.
 Compléter à 200 ml avec de l'eau déminéralisée.

Solutions A.B.C.D :

A PREPARER A CHAQUE SERIE - NE PAS CONSERVER

SOLUTIONS ETALONS

Solution-mère de chlorure d'ammonium à 1000 mg/l d'azote :

Dans une fiole jaugée de 1 L, dissoudre 3.8207 g de chlorure d'ammonium.
Ajuster à 1 L. Homogénéiser.

Indiquer la date de préparation sur le planning étalon

CONSERVATION AU FRIGO PENDANT 3 MOIS MAXIMUM

Solutions Etalons

Verser les quantités indiquées dans des fioles jaugées de 200 ml :

Compléter à 200 ml avec de l'eau déminéralisée.

A CONSERVER MAXIMUM 3 MOIS AU FRIGO

EXTRACTION

PRISE D'ESSAI : Végétaux 0.500 g \pm 0.001 g de l'échantillon séché et BROYE à 1mm

Déchets liquides 1.500 g à 5.000 g \pm 0.001 g suivant l'échantillon

Préparer la série sur la feuille de pailleuse correspondante.
Les tubes de minéralisation sont jaugés à 250 ml et numérotés de 1 à 20.

Introduire la prise dans un tube en respectant la correspondance N° CAMA / N° tube indiquée par la feuille de pailleuse.

Ajouter 1 pastille d'activateur de minéralisation (KJELTABS) et 9 ml d'acide sulfurique par tube (distributrice).
Agiter doucement et laisser agir minimum ½ heure.

Placer les tubes sur le bloc chauffant allumé une heure avant et réglé à 370°C. Ajouter sur les tubes la cloche d'extraction de vapeur reliée à la trombe à eau. Ne pas oublier d'ouvrir le robinet d'eau.

Laisser réagir 30 minutes à 1 heure, jusqu'à coloration verdâtre.

Retirer du chauffage et laisser refroidir, toujours avec les cloches, pendant 20 à 25 minutes.

Agiter sur le vortex en ajoutant un peu d'eau déminéralisée afin de décoller les suspensions du fond des tubes.

Ajouter environ 200 ml d'eau déminéralisée et laisser refroidir complètement.

Ajuster les tubes à 250 ml, les boucher avec du parafilm et homogénéiser (retourner environ 15 fois).

Laisser décanter une nuit.

Agiter les tubes et transférer une partie du surnageant dans les tubes à centrifuger numérotés (1 à 20 + numéro du panier) au marqueur.

Centrifuger pendant 10 minutes à 2000 tours/minute

DOSAGE

Colorimétrie en flux continu à 660 nm

Disposer les tubes sur le passeur du SKALAR en respectant l'ordre de la table dans Flow access

Lancer l'analyse << N total Déchet >>

Identifier la série.

SE REPORTER A LA NOTICE D'UTILISATION DE L'ANALYSEUR

Si un résultat sort de la gamme, le diluer avec de l'eau déminéralisée et le relire

AUTOCONTROLE

Traiter les échantillons témoins de la même façon que les échantillons à doser (extraction et dosage)
La nature et la fréquence des échantillons témoins sont indiquées sur la feuille de paillasse
Terminer chaque série par un échantillon témoin

RESULTATS

Edités automatiquement en ‰ d'N
Résultats rendus en ‰ d'N avec 2 chiffres après la virgule
Agraffer la feuille de résultats à la feuille de paillasse

- Protocole d'analyse des autres minéraux foliaires

Mise en solution des éléments à doser dans l'eau régale et dosage par ICP

APPAREILLAGE

Balances de précision 0.001 g
Distributrice de 50 ml réglée à 10 ml
Bloc digi PREP SCP
3 distributrices de 10 ml
Spectro ICP optique

VERRERIE

Fioles de 1 l
Fiole de 2 l
Fioles de 200 ml
Becher
Flacon de 2 l

CONSOMMABLES

Tube 50 ml SCP avec bouchon à usage unique
Tube à centrifuger 10 ml

PRODUITS NECESSAIRES

Acide chlorhydrique 37%
Acide nitrique 65%
Eau déminéralisée
Etalons à 1 g/l de Cu, Mn, Zn, Fe, Na, Mg, P
Carbonate de calcium CaO₃ pour analyse
Chlorure de potassium KCl pour analyse

PRODUITS PREPARES

Acide nitrique à 10% :
Mettre 200 ml d'acide nitrique dans un flacon de 2 litres contenant 1600 ml d'H₂O déminéralisée
Ajuster à 2 litres

CONSERVATION JUSQU'A EPUISEMENT

PREPARATION DES SOLUTIONS ETALONS

SOLUTIONS MERES

Solution de Ca à 10g/l :

Peser 24.973g (\pm 0.001g) de CaO₃ dans un becher
Transvaser dans une fiole de précision de 1l

Ajouter avec précaution 60 ml d'acide chlorhydrique à 37%
 Agiter et laisser refroidir
 Ajuster à 1000 ml puis agiter de nouveau

A PREPARER AU MOMENT DE LA CONFECTION DES ETALONS – NE PAS CONSERVER

Solution de K à 10g/l :

Peser 19.067g (\pm 0.001g) de KCl dans un becher
 Transvaser dans une fiole de précision de 1l
 Ajuster à 1l
 Agiter

A PREPARER AU MOMENT DE LA CONFECTION DES ETALONS – NE PAS CONSERVER

SOLUTION FILLE

Solution de Cu, Zn, Mn, à 0.1g/l

Dans une fiole jaugée de 200 ml verser :

20 ml de solution étalon à 1g/l de Cu
 20 ml de solution étalon à 1g/l de Zn
 20 ml de solution étalon à 1g/l de Mn
 Ajuster à 200 ml avec de l'eau déminéralisée
 Agiter

A PREPARER AU MOMENT DE LA CONFECTION DES ETALONS – NE PAS CONSERVER

SOLUTIONS ETALONS

Identifier de 1 à 7 fioles jaugées de 200 ml classe A
 Y verser les quantités indiquées dans la tableau ci-dessous
 Ajuster à 200 ml avec de l'eau déminéralisée

N° fiole	1	2	3	4	5	6	7
Solution à 0.1g/l de Cu Mn Zn	0	0.5 ml	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml
Solution à 1g/l de Mg	0	2 ml	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml	30 ml
Solution à 10g/l de K	0	1 ml	2 ml	5 ml	8 ml	10 ml	12 ml
Solution de 10g/l de Ca	0	1 ml	2 ml	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml
Solution à 1g/l de Na	0	2 ml	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml	25 ml
Solution à 1g/l de P	0	2 ml	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml	30 ml
Solution à 1g/l de Fe	0	1 ml	2 ml	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml

CONCENTRATIONS

N° fiole	Unité	1	2	3	4	5	6	7
Cu Mn Zn	Mg/l	0	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5
Mg	%	0	0.001	0.0025	0.005	0.0075	0.0100	0.0150
K	%	0	0.0050	0.0100	0.0250	0.0400	0.0500	0.0600
Ca	%	0	0.005	0.01	0.025	0.05	0.075	0.1
Na	%	0	0.001	0.0025	0.005	0.0075	0.01	0.015
P	%	0	0.001	0.0025	0.005	0.0075	0.0100	0.0150
Fe	%	0	0.0005	0.001	0.0025	0.005	0.0075	0.0100

CONSERVER 4 MOIS AU FRIGO

Indiquer les dates de préparation sur le planning E-MOS-08

Remarque :

La lecture du Bore est possible. Ne pas oublier de rentrer le facteur de dilution soit 0.25g dans 50 ml avant la lecture.

Faire étalon à 1mg/l

Choix de la ligne : 249.773

EXTRACTIONS

PRISE D'ESSAI :

PRISE D'ESSAI : 0.250 g (\pm 0.001g) de l'échantillon sec mouliné ou 1 à 4 g de l'échantillon

Préparer la série sur la feuille de paillasse correspondante

Introduire la prise d'essai dans un tube de 50 ml SCP à usage unique

Sous la hotte

Ajouter :

- 4 gouttes d'eau déminéralisée
- 3.5 ml d'acide chlorhydrique 32%
- 1.2 ml d'acide nitrique 65%
- 7 ml d'acide nitrique dilué à 10 %

Mettre les bouchons et laisser reposer 16 heures

Le lendemain

Placer les flacons sur le bloc chauffant 2 heures à 90° C

Laisser refroidir

Ajuster à 50 ml

Homogénéiser (10 mn sur l'agitateur de retournement)

Centrifuger pour le doser avec l'ICP

SE REPORTER A LA NOTICE D'UTILISATION DE L'ICP

Noter les prise d'essai sur la table

Cette extraction est utilisée pour le dosage :

- des oligoéléments : Cu, Zn, Mn, Fe
- Des cations : Ca, MG, K, Na
- Du phosphore

AUTOCONTROLE

Inclure des BIPEA connus dans les séries

RESULTATS

Edités automatiquement en mg/l de Cu, Mn, Zn, Fe

% de Mg, K, Ca, Na, P

Agrafer la feuille de résultats à la feuille de paillasse

Annexe X - Exemple de résultats d'analyse foliaire (Laboratoire CAMA Reims)



CAMA - Centre de Recherches en Environnement et Agronomie
2 Esplanade Roland Garros - 51100 Reims Tel 03 26 77 36 07 - Fax 03 26 77 36 06

Vm - OTAB - 1

MHCS - Veuve Clicquot
Mme Léa Manceau
50 rue Carnot
51380 Verzy

Bon de commande MHCS n° 4400081797

Reims, le 28/08/2017

Code échantillon : N° 1

N° CAMA
107 F

Réception au laboratoire : 08/08/2017

RESULTATS D'ANALYSES FOLIAIRES

Matière sèche : 28.6 % du produit brut

Résultats en ‰ (ou g/kg) sur le produit sec

Azote	(N)	‰	23.6
Phosphore	(P)	‰	2.2
Potassium	(K)	‰	6.4
Magnésium	(Mg)	‰	5.1
Calcium	(Ca)	‰	30.3

Annexe XI - Protocole d'évaluation de botrytis (Document interne Veuve Clicquot, 2017)

Tous les pieds de chaque placette sont observés. Les 27 placettes sont observées. Pour chaque pied on évalue :

- La fréquence moyenne par pied : nombre de grappe présentant des symptômes de botrytis
- L'intensité moyenne par pied : l'intensité est décidée selon les schéma présentés figure 5.

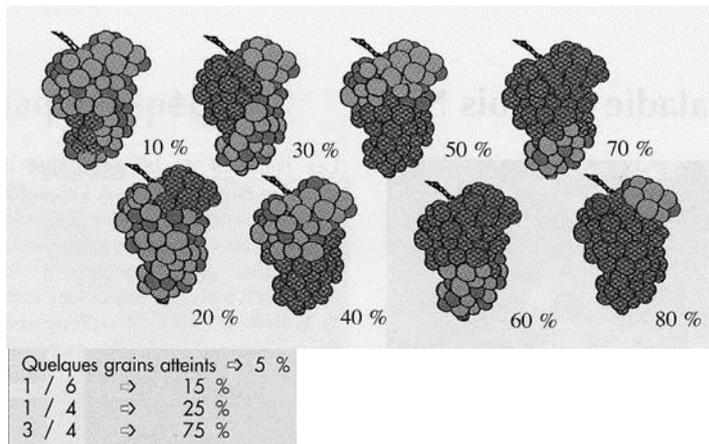


Figure 7 - Guide d'évaluation de l'intensité d'attaque par botrytis
(Document interne Veuve Clicquot)

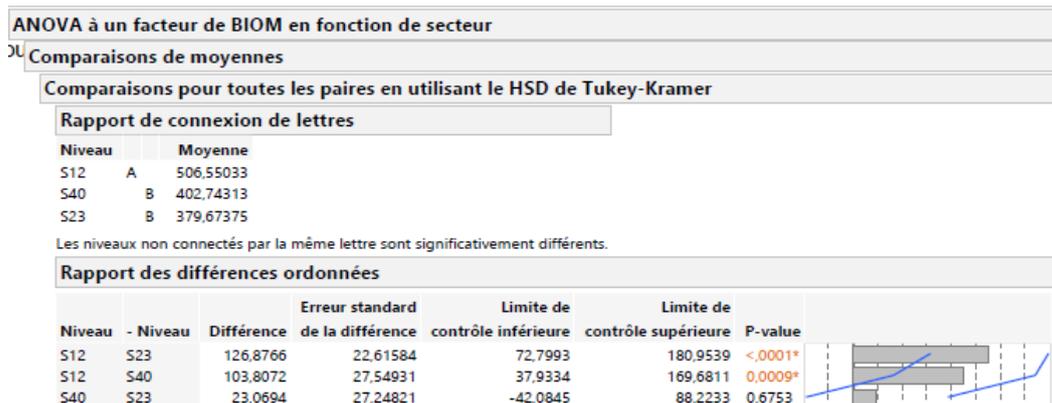
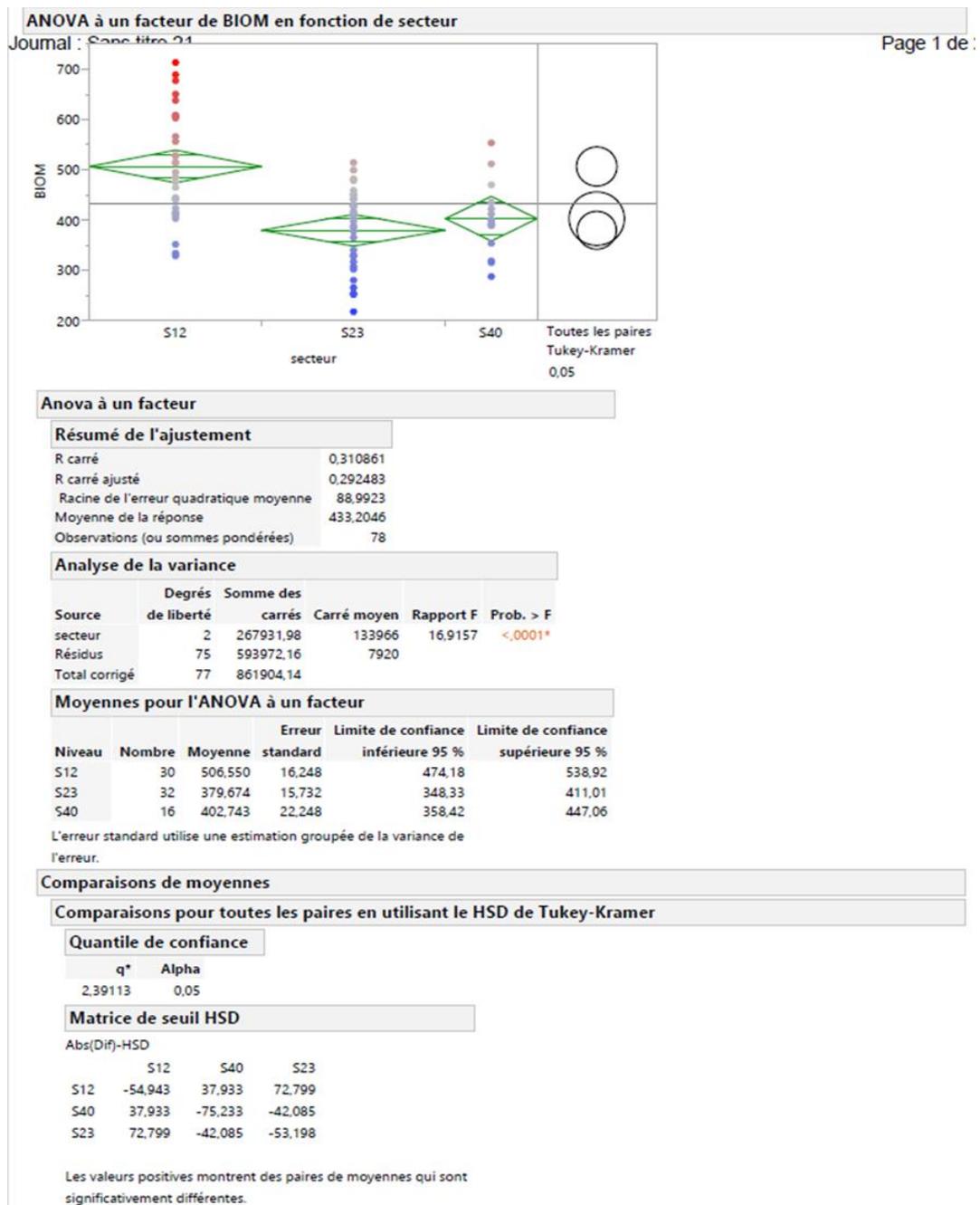
On en déduit la fréquence et l'intensité moyenne par placette. On a donc 27 mesures, visibles dans notre base de données.

Annexe XII - Détail de la base de données de l'expérimentation sur la parcelle VD06 (JMP).

	placette n°	type_traitement	code_traitement	type_biomasse	code_biomasse	répétition n°	code_placette	modalité	coordonnees_N	coordonnees_E	coordonnee_L93	coordonnee_L93'	Biomasse_2016	
•	1	1	OTAB	0	Faible	Bf	1	0Bf1	OTAB-Bf	35630,63	491216,61	6995275,36	1017343,21	293,91
•	2	2	OTAB	0	Faible	Bf	2	0Bf2	OTAB-Bf	35630,63	491216,62	6996749,21	1018140,55	281,67
•	3	3	OTAB	0	Faible	Bf	3	0Bf3	OTAB-Bf	35630,63	491216,63	6998222,96	1018938,08	250,25
•	4	4	OTAB	0	Moyenne	Bm	1	0Bm1	OTAB-Bm	35633,03	491215,38	6629550,62	1273286,05	445,19
•	5	5	OTAB	0	Moyenne	Bm	2	0Bm2	OTAB-Bm	35633,03	491215,39	6630992,06	1274037,07	430,82
•	6	6	OTAB	0	Moyenne	Bm	3	0Bm3	OTAB-Bm	35633,03	491215,4	6632433,4	1274788,28	427
•	7	7	OTAB	0	Forte	BF	1	0BF1	OTAB-BF	35631,87	491215,94	6799258,1	1147444,72	636,18
•	8	8	OTAB	0	Forte	BF	2	0BF2	OTAB-BF	35631,87	491215,95	6800715,48	1148217,23	645,15
•	9	9	OTAB	0	Forte	BF	3	0BF3	OTAB-BF	35631,87	491215,96	6802172,75	1148989,94	630,56
•	10	10	1TAB	1	Faible	Bf	1	1Bf1	1TAB-Bf	35630,51	491216,82	7035894,54	1016326,39	196,1
•	11	11	1TAB	1	Faible	Bf	2	1Bf2	1TAB-Bf	35630,51	491216,83	7037368,52	1017128,88	201,14
•	12	12	1TAB	1	Faible	Bf	3	1Bf3	1TAB-Bf	35630,51	491216,84	7038842,4	1017931,55	207,83
•	13	13	1TAB	1	Moyenne	Bm	1	1Bm1	1TAB-Bm	35633,18	491215,5	6635548,28	1303908,78	309,5
•	14	14	1TAB	1	Moyenne	Bm	2	1Bm2	1TAB-Bm	35633,18	491215,51	6636985,84	1304660,57	320,61
•	15	15	1TAB	1	Moyenne	Bm	3	1Bm3	1TAB-Bm	35633,18	491215,52	6638423,31	1305412,53	350,18
•	16	16	1TAB	1	Forte	BF	1	1BF1	1TAB-BF	35632,07	491216,05	6799763,77	1185137,69	545,17
•	17	17	1TAB	1	Forte	BF	2	1BF2	1TAB-BF	35632,07	491216,06	6801216,37	1185910,27	570,58
•	18	18	1TAB	1	Forte	BF	3	1BF3	1TAB-BF	35632,07	491216,07	6802668,87	1186683,03	534,16
•	19	19	2TAB	2	Faible	Bf	1	2Bf1	2TAB-Bf	35630,89	491216,77	6997937,35	1068588,87	171,95
•	20	20	2TAB	2	Faible	Bf	2	2Bf2	2TAB-Bf	35630,89	491216,78	6999404,71	1069386,55	175,82
•	21	21	2TAB	2	Faible	Bf	3	2Bf3	2TAB-Bf	35630,89	491216,79	7000871,96	1070184,42	189,79
•	22	22	2TAB	2	Moyenne	Bm	1	2Bm1	2TAB-Bm	35633,27	491215,7	6657484,65	1331897,91	369,77
•	23	23	2TAB	2	Moyenne	Bm	2	2Bm2	2TAB-Bm	35633,27	491215,71	6658918,66	1332652,47	375,34
•	24	24	2TAB	2	Moyenne	Bm	3	2Bm3	2TAB-Bm	35633,27	491215,72	6660352,58	1333407,21	378,64
•	25	25	2TAB	2	Forte	BF	1	2BF1	2TAB-BF	35632,64	491216,04	6754346,05	1267065,83	430,6
•	26	26	2TAB	2	Forte	BF	2	2BF2	2TAB-BF	35632,64	491216,05	6755788,28	1267832,66	445,57
•	27	27	2TAB	2	Forte	BF	3	2BF3	2TAB-BF	35632,64	491216,06	6757230,4	1268599,67	447,52

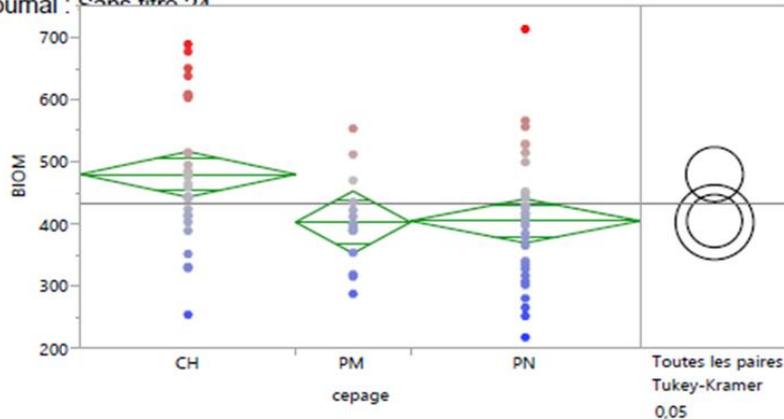
	N-tester_Flo	N-tester_Ver	LAI_Flo	LAI_Ver	bot_Ver_Freq	bot_Ver_Int	Azote foliaire	Phosphore foliaire	Potassium Foliaire	Magnesium Foliaire	Calcium Foliaire	bot_vdge_F	bot_vdge_Int	°refrecto (Atago)
1	280	440	0,607	1,58	5%	10%	23,8	2,5	5,9	3,3	30,8	27	8,1	9
2	303	454	0,115	1,75	0%	0%	•	•	•	•	•	35	5	•
3	283	417	0,189	1,52	0%	0%	•	•	•	•	•	33	7	•
4	310	447	0,85	1,75	5%	10%	23,6	2,2	6,4	5,1	30,3	47	10	7,4
5	300	441	1,403	1,74	0%	0%	•	•	•	•	•	41	8,3	•
6	340	465	1,102	1,52	5%	5%	•	•	•	•	•	44	7,7	•
7	350	516	1,584	1,61	5%	5%	27,5	1,6	6,6	3,5	35,9	71	9,9	8,4
8	340	488	1,695	1,72	10%	10%	•	•	•	•	•	66	12	•
9	330	522	1,864	1,74	5%	5%	•	•	•	•	•	59	2,07	•
10	270	479	0,205	1,85	0%	0%	25,1	1,7	6,3	3	33,9	15	1,25	9
11	275	448	0,347	1,69	0%	0%	•	•	•	•	•	23	0,5	•
12	260	401	0,587	1,6	0%	0%	•	•	•	•	•	20	1,75	•
13	320	503	0,82	1,78	0%	0%	24,2	1,3	6	4,1	28,3	39	8,06	7,3
14	317	492	1,356	1,95	0%	0%	•	•	•	•	•	35	7,6	•
15	325	493	1,122	1,54	0%	0%	•	•	•	•	•	35	5,3	•
16	360	516	1,63	1,95	0%	0%	29,9	1,2	6,6	2,3	32,1	57	9,85	9,7
17	402	525	1,865	1,92	0%	0%	•	•	•	•	•	51	10,71	•
18	375	534	0,992	1,57	0%	0%	•	•	•	•	•	49	6,17	•
19	290	540	0,283	1,57	0%	0%	25,3	1,5	6,8	3,1	35,9	15	1,12	9,4
20	260	532	0,689	1,65	0%	0%	•	•	•	•	•	19	2,7	•
21	270	534	0,564	1,92	0%	0%	•	•	•	•	•	21	0,07	•
22	348	505	1,384	1,84	0%	0%	23,7	1,3	6,6	4	30,2	31	1,5	9
23	326	483	1,543	1,74	0%	0%	•	•	•	•	•	32	3,35	•
24	315	511	0,995	1,85	0%	0%	•	•	•	•	•	35	7,75	•
25	360	627	1,521	1,87	0%	0%	26,7	1,3	9,6	2,9	32,5	37	14,07	9,1
26	347	572	1,632	1,95	0%	0%	•	•	•	•	•	35	12,55	•
27	384	679	1,512	1,75	0%	0%	•	•	•	•	•	31	10,04	•

Annexe XIII - Résultats détaillés des tests ANOVA et Tukey pour l'effet secteur, cépage et millésime (JMP).



ANOVA à un facteur de BIOM en fonction de cepage

Journal : Sans titre 24



Anova à un facteur

Résumé de l'ajustement

R carré	0,122586
R carré ajusté	0,099189
Racine de l'erreur quadratique moyenne	100,4156
Moyenne de la réponse	433,2046
Observations (ou sommes pondérées)	78

Analyse de la variance

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport F	Prob. > F
cepage	2	105657,64	52828,8	5,2392	0,0074*
Résidus	75	756246,50	10083,3		
Total corrigé	77	861904,14			

Moyennes pour l'ANOVA à un facteur

Niveau	Nombre	Moyenne	Erreur standard	Limite de confiance inférieure 95 %	Limite de confiance supérieure 95 %
CH	30	479,749	18,333	443,23	516,27
PM	16	402,743	25,104	352,73	452,75
PN	32	404,800	17,751	369,44	440,16

L'erreur standard utilise une estimation groupée de la variance de l'erreur.

Comparaisons de moyennes

Comparaisons pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

Quantile de confiance

q*	Alpha
2,39113	0,05

Matrice de seuil HSD

Abs(Dif)-HSD	CH	PN	PM
CH	-61,995	13,931	2,677
PN	13,931	-60,027	-71,461
PM	2,677	-71,461	-84,890

Les valeurs positives montrent des paires de moyennes qui sont significativement différentes.

ANOVA à un facteur de BIOM en fonction de cepage

Comparaisons de moyennes

Comparaisons pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

Rapport de connexion de lettres

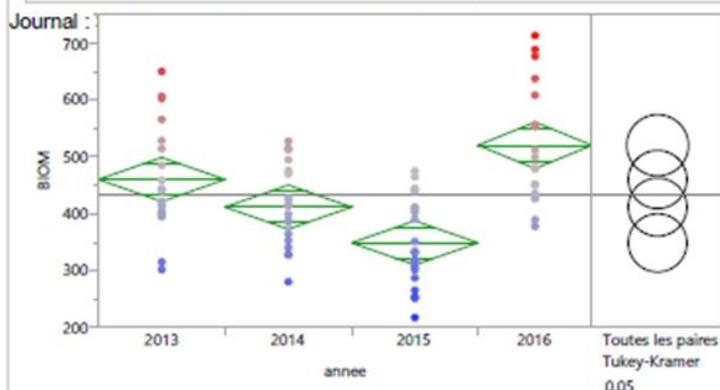
Niveau		Moyenne
CH	A	479,74933
PN	B	404,79969
PM	B	402,74313

Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

Rapport des différences ordonnées

Niveau	- Niveau	Différence	Erreur standard de la différence	Limite de contrôle inférieure	Limite de contrôle supérieure	P-value
CH	PM	77,00621	31,08561	2,6766	151,3358	0,0406*
CH	PN	74,94965	25,51886	13,9308	135,9684	0,0121*
PN	PM	2,05656	30,74586	-71,4607	75,5738	0,9975

ANOVA à un facteur de BIOM en fonction de année



Anova à un facteur

Résumé de l'ajustement

R carré	0,351277
R carré ajusté	0,324977
Racine de l'erreur quadratique moyenne	86,92473
Moyenne de la réponse	433,2046
Observations (ou sommes pondérées)	78

Analyse de la variance

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport F	Prob. > F
année	3	302766,95	100922	13,3567	<,0001*
Résidus	74	559137,19	7556		
Total corrigé	77	861904,14			

Moyennes pour l'ANOVA à un facteur

Niveau	Nombre	Moyenne	Erreur standard	Limite de confiance inférieure 95 %	Limite de confiance supérieure 95 %
2013	20	460,331	19,437	421,60	499,06
2014	20	411,823	19,437	373,09	450,55
2015	20	348,957	19,437	310,23	387,69
2016	18	520,431	20,488	479,61	561,26

L'erreur standard utilise une estimation groupée de la variance de l'erreur.

Comparaisons de moyennes

Comparaisons pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

Quantile de confiance

q*	Alpha
2,62838	0,05

Matrice de seuil HSD

Abs(Dif)-HSD

	2016	2013	2014	2015
2016	-76,157	-14,128	34,379	97,246
2013	-14,128	-72,249	-23,742	39,125
2014	34,379	-23,742	-72,249	-9,383
2015	97,246	39,125	-9,383	-72,249

Les valeurs positives montrent des paires de moyennes qui sont significativement différentes.

Rapport de connexion de lettres

Niveau		Moyenne
2016	A	520,43111
2013	A B	460,33050
2014	B C	411,82300
2015	C	348,95650

Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

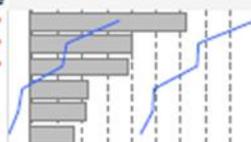
ANOVA à un facteur de BIOM en fonction de année

Comparaisons de moyennes

Comparaisons pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

Rapport des différences ordonnées

Niveau	- Niveau	Différence	Erreur standard de la différence	Limite de contrôle inférieure	Limite de contrôle supérieure	P-value
2016	2015	171,4746	28,24125	97,2457	245,7035	<,0001*
2013	2015	111,3740	27,48801	39,1249	183,6231	0,0007*
2016	2014	108,6081	28,24125	34,3792	182,8370	0,0014*
2014	2015	62,8665	27,48801	-9,3826	135,1156	0,1104
2016	2013	60,1006	28,24125	-14,1283	134,3295	0,1538
2013	2014	48,5075	27,48801	-23,7416	120,7566	0,2985



Annexe XIV - Résultats détaillés de l'ACP (toutes variables comprises) (JMP)

• Matrice des corrélations et graphiques de résumé

	NBSARM	DIAM	BIOM	age_parcelle	FTSWdeb	FTSWfio	FTSWmVer	FTSWVer	FTSWVde	FTSWdeb-fioM	FTSWdeb-fioS	Pldeb-fioS	Tdeb-fioM	FTSWmVer-vgdM	FTSWmVer-vgdS	PlimVer-vgdS	TmiVer-vgdM	argile	limons_fins	limons_grossiers	sables_fins	sables_grossiers	r	N	C/N	calcaire_total_0/100	calcaire_actif_%	MO	NBSARM(n-1)	DIAM(n-1)	BIOM(n-1)	
NBSARM	1,0000	0,3699	0,8909	0,3333	0,2253	0,5092	0,3941	0,0812	0,1446	0,4917	0,4931	0,4969	-0,0426	0,2106	0,1822	-0,3553	0,3542	0,1097	0,3169	0,3685	-0,3275	-0,2520	-0,0353	0,0002	-0,0879	0,2904	0,2503	-0,0350	0,0552	-0,3677	-0,1618	
DIAM	0,3699	1,0000	0,7409	0,1812	0,1033	0,4305	0,2880	0,3503	0,1699	0,2666	0,5425	0,3233	-0,0986	0,2845	0,3271	-0,1532	-0,3193	0,0561	0,3865	0,3131	-0,4383	0,0650	0,2163	0,2844	-0,1160	0,3078	0,3273	0,2159	0,1855	0,1455	0,2078	
BIOM	0,8909	0,7409	1,0000	0,3405	0,2355	0,5657	0,4084	0,2152	0,1653	0,4808	0,6079	0,5017	-0,0701	0,2725	0,2728	-0,3284	0,1045	0,1334	0,4292	0,4325	-0,4631	-0,1458	0,0935	0,1494	-0,1089	0,3690	0,3488	0,0936	0,1019	-0,2188	-0,0464	
age_parcelle	0,3333	0,1812	0,3405	1,0000	0,1387	0,0569	0,0890	0,0452	0,0650	0,0695	0,0347	0,0027	-0,1248	0,0757	0,0565	-0,0669	0,0907	0,1817	0,2737	0,3897	-0,5561	0,0855	-0,1613	0,0813	-0,1560	0,2500	0,2065	-0,1618	0,2293	0,0996	0,2179	
FTSWdeb	0,2253	0,1033	0,2355	0,1387	1,0000	0,1773	0,7613	0,4457	0,3422	0,8184	0,9256	0,9059	-0,0312	0,5339	0,5833	-0,6431	0,0888	0,0443	0,0024	0,0327	-0,0036	0,0033	-0,0566	-0,0807	0,0393	-0,0336	-0,0200	-0,0567	-0,0518	-0,5229	-0,3247	
FTSWfio	0,5092	0,4305	0,5657	0,0569	0,1773	1,0000	0,7613	0,4457	0,3422	0,8184	0,9256	0,9059	-0,0312	0,5339	0,5833	-0,6431	0,0888	0,0443	0,0024	0,0327	-0,0036	0,0033	-0,0566	-0,0807	0,0393	-0,0336	-0,0200	-0,0567	-0,0518	-0,5229	-0,3247	
FTSWmVer	0,3941	0,2880	0,4084	0,0890	-0,2020	0,7613	1,0000	0,6998	0,6930	0,3398	0,6014	0,5568	-0,2114	0,8974	0,8668	-0,6048	0,2664	0,0621	0,0232	0,0613	0,0379	-0,0754	0,0852	-0,1093	0,0164	-0,0360	-0,0318	-0,0853	0,0968	-0,3644	-0,1329	
FTSWVer	0,0812	0,3503	0,2152	0,0452	-0,0843	0,4457	0,6998	1,0000	0,7106	0,0746	0,3953	0,2381	-0,3584	0,8174	0,8179	-0,1480	-0,1062	-0,0265	-0,0445	-0,0018	-0,0025	0,1349	-0,0821	-0,0828	-0,0217	-0,0639	-0,0608	-0,0823	0,2710	-0,1084	0,1269	
FTSWVde	0,1446	0,1699	0,1653	0,0650	-0,2653	0,3422	0,6930	0,7106	1,0000	-0,0168	0,2698	0,1109	-0,5766	0,8895	0,8650	-0,1822	-0,0176	0,1350	0,0878	-0,0028	-0,0067	-0,2285	-0,0552	-0,0197	-0,0787	0,1135	0,1072	-0,0548	0,2864	-0,0667	0,1578	
Pldeb-fioM	0,4917	0,2666	0,4808	0,0695	0,5101	0,8184	0,3398	0,0746	-0,0168	1,0000	0,8171	0,9082	0,1172	0,0643	0,1337	-0,4733	0,1419	0,0731	0,0014	0,0118	-0,0284	-0,0058	-0,0695	-0,0772	0,0169	0,0070	0,0148	-0,0696	-0,1567	-0,6515	-0,4697	
FTSWdeb-fioS	0,4931	0,5425	0,6079	0,0347	0,2424	0,9256	0,6014	0,3953	0,2698	0,8171	1,0000	0,8786	-0,0291	0,4221	0,4973	-0,4858	-0,1225	0,0874	0,0739	0,0658	-0,1138	-0,0034	0,0539	0,0409	0,0484	0,0570	0,0651	0,0538	0,0286	-0,4301	-0,2262	
Pldeb-fioS	0,4969	0,3233	0,5017	0,0027	0,3359	0,9059	0,5568	0,2381	0,1109	0,9082	0,8786	1,0000	0,1493	0,1936	0,2969	-0,6100	0,2355	-0,0090	-0,0661	-0,0346	-0,0030	0,0654	-0,0225	-0,0547	0,0705	-0,0636	-0,0503	-0,0227	-0,1528	-0,5789	-0,4276	
Tdeb-fioM	-0,0426	-0,0986	-0,0701	-0,1248	0,0566	-0,0312	-0,2114	-0,3584	-0,5766	0,1172	-0,0291	0,1493	1,0000	-0,4391	-0,4451	-0,1516	0,2248	-0,1513	-0,1353	-0,0396	0,1512	0,0928	0,0604	0,0102	0,1234	-0,1223	-0,1171	0,0601	-0,2855	-0,2487	-0,3384	
FTSWmVer-vgdM	0,2106	0,2845	0,2725	0,0757	-0,3223	0,5339	0,8974	0,8174	0,8895	0,0643	0,4221	0,2536	-0,4391	1,0000	0,9820	-0,2959	0,0007	0,1118	0,0807	0,0684	-0,0105	-0,1334	-0,0424	-0,0392	-0,0252	0,0540	0,0507	-0,0424	0,2673	-0,1366	0,1074	
FTSWmVer-vgdS	0,1822	0,3271	0,2728	0,0565	-0,2946	0,5833	0,8668	0,8179	0,8650	0,1337	0,4973	0,2969	-0,4451	0,9820	1,0000	-0,2435	-0,1416	0,1092	0,0658	0,0489	0,0134	-0,1269	-0,0550	-0,0524	-0,0278	0,0419	0,0389	-0,0549	0,2738	-0,1228	0,1185	
PlimVer-vgdS	-0,3553	-0,1532	-0,3284	-0,0669	-0,0036	-0,6431	-0,6048	-0,1480	-0,8520	-0,4733	-0,4858	-0,6100	-0,2959	0,9820	1,0000	-0,2435	-0,1416	0,1092	0,0658	0,0489	0,0134	-0,1269	-0,0550	-0,0524	-0,0278	0,0419	0,0389	-0,0549	0,2738	-0,1228	0,1185	
TmiVer-vgdM	0,3542	0,3193	0,1045	0,0907	0,0995	0,0888	0,2664	-0,1062	-0,0176	0,1419	-0,1225	0,2355	0,2248	0,0007	-0,1416	0,2355	1,0000	-0,0013	-0,0406	0,0144	0,1109	-0,0701	-0,0761	-0,1171	0,0582	-0,0776	-0,0676	-0,0762	-0,3258	-0,5595	-0,5241	
argile	0,1097	0,0561	0,1334	0,1817	0,2566	0,0443	0,0621	-0,0265	0,1350	0,0731	0,0874	-0,0090	-0,1513	0,1118	0,1092	-0,0418	-0,0013	1,0000	0,6434	0,2658	-0,4557	-0,5257	0,3309	0,3596	0,0217	0,6455	0,6578	0,3309	0,1841	0,1910	0,3242	
limons_fins	0,3169	0,3865	0,4292	0,2737	0,2006	0,0024	0,0232	-0,0445	0,0878	0,0014	0,0739	-0,0661	-0,1353	0,0807	0,0658	0,0728	-0,0406	0,6434	1,0000	0,5638	-0,5138	-0,4936	0,5665	0,6071	-0,0034	0,6568	0,7421	0,5664	0,2254	0,3195	0,3350	
limons_grossiers	0,3685	0,3131	0,4325	0,3897	0,1946	0,0327	0,0613	-0,0018	-0,0028	0,0118	0,0658	-0,0346	-0,0396	0,0684	0,0489	0,0118	0,0144	0,2658	0,5638	1,0000	-0,6838	-0,2917	0,1069	0,0454	0,0643	0,1727	0,1113	0,1046	0,0814	0,1961	0,1836	
sables_fins	-0,3275	-0,4383	-0,4631	-0,5561	-0,2452	-0,0036	0,0379	-0,0025	-0,0067	-0,0284	-0,1138	0,0530	0,1512	-0,0105	0,0134	-0,0665	0,1109	-0,4557	-0,5138	-0,6838	1,0000	0,0403	-0,2241	-0,3342	0,1294	-0,5817	-0,5175	-0,2236	-0,3099	-0,3908	-0,4344	
sables_grossiers	-0,2520	0,0650	-0,1458	0,0855	0,0492	0,0033	-0,0754	0,1349	-0,2295	-0,0058	-0,0034	0,0654	0,0928	-0,1334	-0,1269	-0,0676	-0,0701	-0,5257	-0,4936	-0,2917	0,0403	1,0000	0,0403	-0,2241	-0,3342	0,1294	-0,5817	-0,5175	-0,2236	-0,3099	-0,3908	-0,4344
C	-0,0353	0,2163	0,0935	-0,1613	0,1354	-0,0566	-0,0852	-0,0821	-0,0552	-0,0695	0,0539	-0,0225	0,0604	-0,0424	-0,0550	-0,0761	0,3309	0,5665	0,1069	0,1069	-0,2241	0,1284	1,0000	0,8969	0,4047	0,3303	0,3303	0,4113	1,0000	-0,0224	0,2078	0,0971
N	0,0002	0,2844	0,1494	-0,0813	0,0860	-0,0807	-0,1093	-0,0828	-0,0197	-0,0772	0,0409	-0,0547	0,0102	-0,0392	-0,0524	0,1069	-0,1171	0,3596	0,6071	0,0454	-0,3342	-0,0738	0,8969	1,0000	-0,0302	0,6966	0,7384	0,8969	0,0406	0,2509	0,1736	
C/N	-0,0879	-0,1160	-0,1089	-0,1560	0,1228	0,0393	0,0164	-0,0217	-0,0787	0,0169	0,0484	0,0705	0,1234	-0,0252	-0,0278	-0,0983	0,0582	0,0217	-0,0034	0,0643	0,0643	0,3238	0,4046	-0,0302	1,0000	-0,4631	-0,3936	0,4047	-0,0859	-0,0223	-0,0941	
calcaire_total_0/100	0,2904	0,3078	0,3690	0,2500	0,0828	-0,0336	-0,0360	-0,0639	0,1135	0,0070	0,0570	-0,0636	-0,1223	0,0540	0,0419	0,1086	-0,0776	0,6455	0,6578	0,1727	-0,5817	0,3238	0,4046	-0,0302	1,0000	-0,4631	-0,3936	0,4047	-0,0859	-0,0223	-0,0941	
calcaire_actif_%	0,2503	0,3273	0,3486	0,2065	0,0948	-0,0200	-0,0318	-0,0608	0,1072	0,0149	0,0651	-0,0503	-0,1171	0,0507	0,0389	0,0741	-0,0676	0,6578	0,7421	0,1113	-0,5175	-0,3418	0,4113	0,7384	-0,3936	0,9725	1,0000	0,4117	0,3157	0,2844	0,3787	
MO	-0,0350	0,2159	0,0936	-0,1618	0,1350	-0,0567	-0,0853	-0,0823	-0,0548	-0,0696	0,0538	-0,0227	0,0601	-0,0424	-0,0549	0,0576	-0,0762	0,3309	0,5664	0,1046	-0,2236	0,1280	1,0000	0,8969	0,4047	0,3307	0,4117	1,0000	-0,0216	0,2078	0,0975	
NBSARM(n-1)	0,0552	0,1855	0,1019	0,2293	-0,2630	-0,0518	0,0968	0,2710	0,2864	-0,1567	0,0286	-0,1528	-0,2855	0,2673	0,2738	0,1472	-0,3258	0,1841	0,2254	0,0814	-0,3099	0,0017	-0,0224	0,0406	-0,0859	0,3648	0,3157	-0,0216	1,0000	0,3926	0,8486	
DIAM(n-1)	-0,3677	0,1455	-0,2188	0,0996	-0,2856	-0,5229	-0,3644	-0,1084	-0,0667	-0,6515	-0,4301	-0,5789	-0,2487	-0,1366	-0,1228	0,4712	-0,5595	0,1910	0,3195	0,1961	-0,3908	0,0631	0,2078	0,2509	-0,0223	0,2793	0,2944	0,2078	0,3926	1,0000	0,8125	
BIOM(n-1)	-0,1618	0,2078	-0,0464	0,2179	-0,3213	-0,3247	-0,1329	0,1269	0,1578	-0,4697	-0,2262	-0,4276	-0,3384	0,1074	0,1185	0,3659</																

• Matrice des loadings

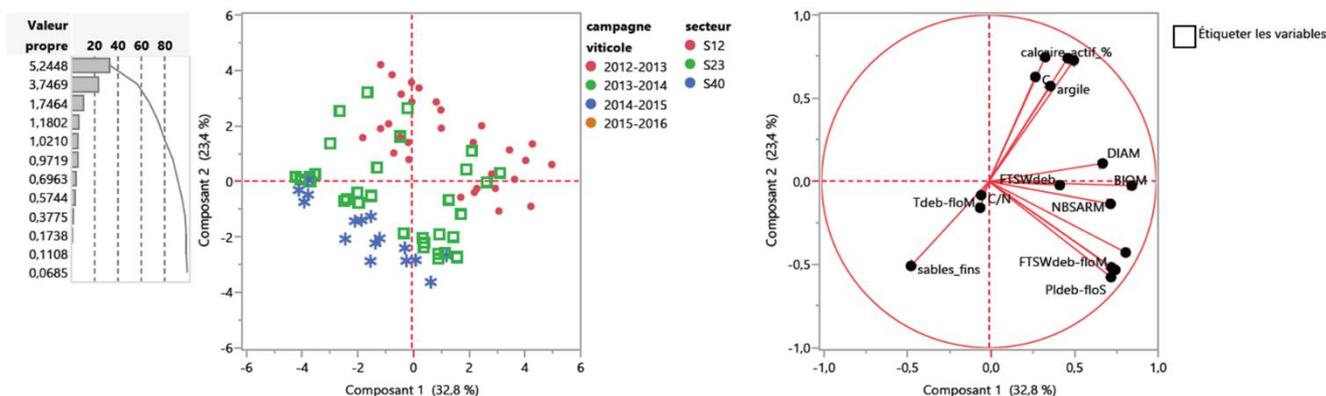
	Principal 1	Principal 2	Principal 3	Principal 4	Principal 5	Principal 6	Principal 7	Principal 8	Principal 9	Principal 10	Principal 11	Principal 12	Principal 13	Principal 14	Principal 15	Principal 16	Principal 17	Principal 18	Principal 19	Principal 20	Principal 21	Principal 22	Principal 23	Principal 24	Principal 25	Principal 26	Principal 27	Principal 28	
NBSARM	0,66915	0,05808	0,31808	-0,37530	-0,02421	0,15449	0,15475	-0,17789	0,01989	0,41127	0,02676	0,03731	0,01888	-0,15739	0,10302	0,05614	-0,12177	0,00000	0,00000	0,03406	0,00077	-0,01895	0,01681	-0,00000	0,00000	0,00000	0,01171	0,00000	0,00000
DIAM	0,57669	0,34113	0,03639	0,00263	0,46731	-0,16109	0,08700	-0,37424	-0,04367	-0,10030	-0,07660	-0,22335	0,20079	0,05171	-0,12435	-0,04732	0,15022	-0,03107	0,07185	-0,01135	0,00499	-0,01601	-0,00403	0,00061	0,01515	0,01242	-0,00047	0,00000	0,00000
BIOM	0,75345	0,21425	0,27556	-0,26739	0,19824	0,05083	0,14004	-0,30186	-0,03936	0,22476	0,01173	-0,07332	0,12299	-0,10867	0,01173	-0,02862	-0,02348	0,00000	0,00778	0,02117	0,01611	0,00000	0,01133	0,00000	-0,00000	-0,02569	0,00000	0,00000	0,00000
age_parcelle	0,23167	0,26225	0,00005	-0,54236	0,21113	0,31018	0,21318	0,29496	-0,24361	-0,16210	-0,01214	0,38085	0,25811	0,08730	-0,02155	0,01309	-0,01499	-0,06429	0,02045	-0,02165	0,01867	-0,00486	0,00128	0,00022	0,00121	0,00025	0,00040	-0,00000	0,00000
FTSWdeb	0,15354	0,02418	0,61978	-0,10792	0,17070	0,33388	-0,46127	0,27870	-0,36101	0,02717	0,15704	-0,23814	0,05239	0,08397	0,00000	0,12046	-0,08792	0,07826	0,08981	-0,03981	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
FTSWflo	0,88398	-0,32036	0,11595	0,08478	0,11714	-0,14832	-0,05084	0,05751	0,11948	-0,07850	-0,07990	0,06754	-0,03837	0,01988	0,07400	-0,01692	-0,02699	0,05545	-0,01040	-0,00764	-0,00625	-0,06041	0,08371	-0,00272	0,00576	0,00452	-0,00070	0,00000	0,00000
FTSWmiVer	0,82983	-0,23704	-0,33584	0,14549	-0,15834	0,16389	0,14243	0,00000	0,06253	-0,10845	0,00000	-0,03135	0,01199	0,11950	-0,04462	-0,02436	0,05282	0,08708	-0,05058	-0,04116	-0,00000	0,00000	0,04438	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
FTSWVer	0,58081	-0,08966	-0,58296	0,20040	0,10919	0,04495	-0,05398	0,01369	-0,24152	-0,11048	0,29920	-0,20716	0,04843	0,03496	0,07619	-0,05278	-0,07307	-0,13007	-0,14292	0,00180	0,02295	-0,02383	-0,00215	0,00290	0,00149	-0,00137	-0,00015	-0,00000	0,00000
FTSWvdg	0,56689	0,04983	-0,65521	0,14551	-0,26808	0,10369	-0,08825	0,00000	-0,15712	0,07255	0,00000	0,00000	0,00000	-0,11733	-0,15270	0,26005	0,08542	0,00000	0,00000	0,07678	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
FTSWdeb-floM	0,64896	-0,32672	0,49720	-0,07737	0,13252	-0,26761	-0,19562	0,19656	0,04709	0,04444	0,00074	0,11087	-0,08322	0,07232	-0,02701	-0,02814	0,10271	0,03219	-0,06338	0,06157	-0,00939	-0,07108	0,00000	-0,04194	0,01571	0,00291	-0,00296	0,00202	0,00000
FTSWdeb-floS	0,84276	-0,17238	0,17551	0,10927	0,25611	-0,26472	-0,14592	0,00000	0,13729	-0,03291	-0,03789	0,09739	-0,04483	-0,04999	0,08189	0,00000	-0,03996	-0,06985	-0,03637	-0,05351	-0,03879	0,12115	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Pldeb-floS	0,74274	-0,38611	0,36818	0,07277	0,13135	-0,20044	-0,01874	0,13143	0,11566	0,01149	-0,02755	0,03116	-0,10551	0,07209	0,15428	0,08502	0,09000	-0,11078	0,05230	0,00895	0,04818	0,01599	-0,01294	-0,02288	-0,01261	-0,00431	0,00273	-0,00000	0,00000
Tdeb-floM	-0,21455	-0,23114	0,54099	0,04191	0,02791	-0,03679	0,31052	-0,12301	0,37751	-0,35321	0,43790	0,00000	0,10170	-0,07295	0,00000	0,12791	0,00139	0,01896	0,01133	0,03977	-0,01898	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
FTSWmiVer-vdgM	0,70492	-0,02971	-0,62661	0,19483	-0,16539	0,14326	0,00569	-0,04204	-0,04344	-0,07173	0,06279	0,03812	-0,00387	-0,04381	0,01392	-0,01189	0,00684	0,06415	0,04800	-0,01914	-0,01681	0,00276	-0,00979	-0,01505	-0,00237	0,00506	0,02395	0,00002	0,00000
FTWsmiVer-vdgS	0,71488	-0,03237	-0,62649	0,20341	-0,08632	0,04240	-0,08941	-0,04995	0,01338	-0,08658	0,05633	0,09432	0,02670	-0,04983	0,01900	0,02351	0,00000	0,08388	0,03999	0,00000	0,01632	0,00000	-0,02188	-0,03804	0,00000	0,00000	-0,01738	0,00000	0,00000
PlmiVer-vdgS	-0,56385	0,37231	-0,20264	-0,06933	0,14340	-0,12745	-0,38527	-0,20657	-0,19790	0,14520	0,31720	0,20681	-0,02692	-0,10324	0,16325	-0,04684	0,14444	-0,03679	0,05097	-0,00261	-0,03299	0,00135	0,01686	0,00838	0,00111	-0,00012	-0,00077	-0,00000	0,00000
TmiVer-vdgM	0,13845	-0,33020	0,34990	-0,11384	-0,51248	0,44653	0,39280	0,14132	-0,11213	0,09987	0,05087	-0,16957	-0,09828	0,08146	0,07816	0,02932	0,14455	-0,06448	0,02599	-0,01833	0,01386	0,01576	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
argile	0,24501	0,60514	0,15049	-0,02196	-0,37493	0,07029	-0,31494	0,38890	0,18691	-0,17520	-0,05299	-0,10746	0,12791	-0,19116	0,00064	-0,12319	-0,01138	-0,06999	0,04944	0,07891	0,01690	0,00776	0,00470	0,00334	0,00194	0,00126	0,00067	0,00000	0,00000
limons_fins	0,29213	0,80490	0,23096	0,01181	-0,16160	0,19739	-0,13546	-0,09326	0,11885	0,03011	0,00000	-0,01706	0,15203	0,27598	0,06952	0,01389	0,00861	0,05382	-0,07600	0,01338	-0,05766	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
limons_grossiers	0,23651	0,40969	0,13749	-0,36008	0,19322	0,57127	-0,22550	-0,26969	0,11926	-0,16929	0,07272	0,02101	-0,26276	0,09854	-0,00823	-0,03161	0,00469	0,05763	-0,01893	0,03581	0,08080	0,03614	0,00339	0,00277	0,00382	0,00247	0,00082	0,00000	0,00000
sables_fins	-0,25810	-0,68187	-0,13860	0,34421	-0,28677	-0,21913	-0,04425	-0,10213	0,11299	0,20320	0,04148	0,04231	0,26598	0,19439	0,09782	0,01989	-0,02237	0,03387	0,02790	0,03966	0,09048	0,03835	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
sables_grossiers	-0,16446	-0,26277	-0,00931	0,31196	0,66831	0,03019	0,39519	0,26384	-0,32566	-0,02713	-0,00127	-0,03163	-0,03412	-0,05957	0,07237	-0,05471	0,02712	0,10366	-0,01922	0,08222	0,00817	0,04304	0,00300	0,00512	0,00196	0,00202	0,00025	0,00000	0,00000
C	0,05092	0,55092	0,34933	0,72898	0,03853	0,14316	0,05222	-0,03107	-0,04432	0,05516	0,00702	0,07592	-0,03993	0,02800	-0,02607	0,01709	-0,04352	-0,03732	0,04206	0,05068	-0,01460	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
N	0,08981	0,70733	0,31270	0,52431	-0,13988	-0,16770	0,16283	-0,08817	-0,16908	-0,02801	0,01708	0,09287	-0,09998	0,04026	-0,02776	0,02960	-0,03519	-0,03039	-0,01021	-0,09365	0,04689	-0,03014	-0,00571	-0,00078	0,00066	-0,00157	-0,00005	-0,00000	0,00000
C/N	-0,05838	-0,14645	0,15047	0,53183	0,30205	0,56002	-0,17731	0,20516	0,27701	0,19107	0,00000	0,00000	0,15485	-0,16131	-0,00000	0,03626	0,10720	-0,03782	-0,06967	-0,09000	0,03316	-0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
calcaire_total_Q/00	0,25113	0,80462	0,13568	-0,15085	-0,28358	-0,31526	0,16016	0,09581	-0,07765	-0,01333	0,06404	-0,00346	-0,04086	-0,11912	0,01407	0,01008	0,03484	0,06033	-0,00513	-0,03127	0,09592	0,00689	0,00333	0,01980	0,00911	-0,00116	-0,00002	0,00001	0,00000
calcaire_activ_%	0,25161	0,81029	0,16790	-0,04616	-0,29761	-0,30992	0,15290	0,10087	-0,06936	-0,00000	0,00000	0,00000	0,06552	-0,03112	0,06603	0,00000	0,07444	0,09475	-0,08788	-0,03411	0,03573	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
MO	0,05082	0,55094	0,34897	0,72929	0,03801	0,14214	0,05265	-0,03048	-0,04397	0,05687	0,00734	0,07585	-0,03814	0,02725	-0,02629	-0,01635	-0,04372	-0,03787	0,04214	0,04967	-0,01744	-0,00504	0,00201	-0,00028	-0,00073	-0,00062	-0,00065	0,00046	0,00000
NBSARM(n-1)	0,13398	0,45325	-0,49497	-0,15152	0,23146	-0,13163	0,17297	0,33525	0,31098	0,30341	0,25334	-0,03343	-0,08032	0,11841	-0,12758	-0,04851	0,00000	0,04097	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DIAM(n-1)	-0,39724	0,66720	-0,36079	0,00000	0,29285	0,01063	0,01457	-0,02050	0,13303	-0,12707	-0,25602	-0,09429	0,01706	-0,00502	0,23345	0,13720	-0,00416	-0,02599	0,00054	0,01090	-0,00608	-0,00841	-0,00554	-0,00343	0,01882	-0,01650	0,00125	0,00000	0,00000

Annexe XV - Résultats détaillés de l'ACP avec les variables les plus représentatives (JMP)

• Matrice des corrélations

	NBSARM	DIAM	BIOM	FTSWdeb	FTSWflo	FTSWdeb-floM	FTSWdeb-floS	Pldeb-floS	Tdeb-floM	argile	limons_fins	sables_fins	C/N	calcaire_actif_%	C	N
NBSARM	1,0000	0,3699	0,8909	0,2253	0,5092	0,4917	0,4931	0,4969	-0,0426	0,1097	0,3169	-0,3275	-0,0879	0,2503	-0,0353	0,0002
DIAM	0,3699	1,0000	0,7409	0,1033	0,4305	0,2666	0,5425	0,3233	-0,0986	0,0561	0,3865	-0,4383	-0,1160	0,3273	0,2163	0,2844
BIOM	0,8909	0,7409	1,0000	0,2355	0,5657	0,4808	0,6079	0,5017	-0,0701	0,1334	0,4292	-0,4631	-0,1089	0,3486	0,0935	0,1494
FTSWdeb	0,2253	0,1033	0,2355	1,0000	0,1773	0,5101	0,2424	0,3359	0,0566	0,2566	0,2006	-0,2456	0,1228	0,0948	0,1354	0,0860
FTSWflo	0,5092	0,4305	0,5657	0,1773	1,0000	0,8184	0,9256	0,9059	-0,0312	0,0443	0,0024	-0,0036	0,0393	-0,0200	-0,0566	-0,0807
FTSWdeb-floM	0,4917	0,2666	0,4808	0,5101	0,8184	1,0000	0,8171	0,9082	0,1172	0,0731	0,0014	-0,0284	0,0169	0,0149	-0,0695	-0,0772
FTSWdeb-floS	0,4931	0,5425	0,6079	0,2424	0,9256	0,8171	1,0000	0,8786	-0,0291	0,0874	0,0739	-0,1138	0,0484	0,0651	0,0539	0,0409
Pldeb-floS	0,4969	0,3233	0,5017	0,3359	0,9059	0,9082	0,8786	1,0000	0,1493	-0,0090	-0,0661	0,0530	0,0705	-0,0503	-0,0225	-0,0547
Tdeb-floM	-0,0426	-0,0986	-0,0701	0,0566	-0,0312	0,1172	-0,0291	0,1493	1,0000	-0,1513	-0,1353	0,1512	0,1234	-0,1171	0,0604	0,0102
argile	0,1097	0,0561	0,1334	0,2566	0,0443	0,0731	0,0874	-0,0090	-0,1513	1,0000	0,6434	-0,4557	0,0217	0,6578	0,3309	0,3596
limons_fins	0,3169	0,3865	0,4292	0,2006	0,0024	0,0014	0,0739	-0,0661	-0,1353	0,6434	1,0000	-0,5138	-0,0034	0,7421	0,5665	0,6071
sables_fins	-0,3275	-0,4383	-0,4631	-0,2456	-0,0036	-0,0284	-0,1138	0,0530	0,1512	-0,4557	-0,5138	1,0000	0,1294	-0,5175	-0,2241	-0,3342
C/N	-0,0879	-0,1160	-0,1089	0,1228	0,0393	0,0169	0,0484	0,0705	0,1234	0,0217	-0,0034	0,1294	1,0000	-0,3936	0,4046	-0,0302
calcaire_actif_%	0,2503	0,3273	0,3486	0,0948	-0,0200	0,0149	0,0651	-0,0503	-0,1171	0,6578	0,7421	-0,5175	-0,3936	1,0000	0,4113	0,7384
C	-0,0353	0,2163	0,0935	0,1354	-0,0566	-0,0695	0,0539	-0,0225	0,0604	0,3309	0,5665	-0,2241	0,4046	0,4113	1,0000	0,8969
N	0,0002	0,2844	0,1494	0,0860	-0,0807	-0,0772	0,0409	-0,0547	0,0102	0,3596	0,6071	-0,3342	-0,0302	0,7384	0,8969	1,0000

• Eboulis des valeurs propres et graphiques de résumé



• Matrice des loadings

	Principal 1	Principal 2	Principal 3	Principal 4	Principal 5	Principal 6	Principal 7	Principal 8	Principal 9	Principal 10	Principal 11	Principal 12	Principal 13	Principal 14	Principal 15
NBSARM	0,72780	-0,13495	-0,29149	0,00250	-0,21513	0,27585	0,33909	0,33281	-0,11536	0,05747	-0,02643	0,00124	0,01698	0,00855	0,03713
DIAM	0,68064	0,10840	-0,21120	0,45200	-0,14154	0,05968	-0,32354	-0,24334	0,27658	0,08376	0,03629	-0,05113	0,02367	-0,00047	0,02465
BIOM	0,85492	-0,02513	-0,29704	0,19213	-0,22860	0,23686	0,08583	0,11401	0,05147	0,09057	-0,01161	-0,02275	0,00692	0,02118	-0,05129
FTSWdeb	0,42428	-0,02227	0,28670	-0,63056	-0,12220	0,23453	-0,45056	0,20285	0,12531	0,05713	-0,04640	0,06553	0,01471	0,00068	0,00143
FTSWflo	0,75590	-0,53136	0,07333	0,08240	0,08880	-0,25507	0,09027	-0,09702	-0,02225	-0,03827	-0,09018	0,09080	0,10404	0,12029	0,00988
FTSWdeb-floM	0,73342	-0,51694	0,18496	-0,24460	0,18110	-0,03250	-0,06062	0,04564	-0,03413	-0,10594	0,14545	-0,13269	-0,06845	0,07370	0,00145
FTSWdeb-floS	0,81821	-0,42700	0,10671	0,11324	0,07419	-0,22545	-0,03283	-0,14277	-0,02910	0,00860	-0,04362	0,09983	-0,17241	-0,06121	0,00988
Pldeb-floS	0,73075	-0,57523	0,22196	-0,02185	0,18757	-0,08214	0,02542	0,00342	-0,06768	-0,01853	0,01045	-0,04808	0,12884	-0,13717	-0,00530
Tdeb-floM	-0,05228	-0,15848	0,40721	0,07620	0,38640	0,74438	0,17407	-0,25125	0,04828	0,00107	-0,02680	0,02029	-0,01012	0,01073	0,00105
argile	0,36801	0,57358	0,07405	-0,51170	0,03323	-0,23130	0,29820	-0,27980	0,08131	0,17019	-0,07792	-0,07278	-0,00923	0,00237	0,00123
limons_fins	0,50790	0,72821	-0,01767	-0,05755	-0,09220	0,00748	0,18102	0,04473	0,27044	-0,30010	-0,02863	0,01912	0,00102	-0,02503	0,00134
sables_fins	-0,46556	-0,50825	0,28138	0,15588	0,26581	-0,20095	0,18803	0,33822	0,38704	0,10290	0,00020	-0,00345	-0,01700	0,00291	-0,00022
C/N	-0,04582	-0,08260	0,74163	0,05655	-0,60621	-0,02513	0,18544	-0,10042	0,00098	0,03792	0,14586	0,05063	0,01647	0,00101	0,00038
calcaire_actif_%	0,47176	0,74156	-0,18928	-0,07858	0,35722	-0,04474	0,08950	0,03669	0,00985	0,07728	0,18911	0,09055	0,02489	-0,00070	0,00029
C	0,27818	0,62876	0,63341	0,28763	-0,03775	-0,05934	0,05642	0,13393	-0,09456	0,01019	-0,10249	-0,07577	0,01659	0,01322	0,00211
N	0,33659	0,74718	0,32905	0,27220	0,28294	-0,05679	-0,14067	0,17667	-0,14623	0,04294	0,00466	0,01987	0,00442	0,01172	-0,00114

- Valeurs propres

Numéro	Valeur propre	Pourcentage		Pourcentage cumulé
1	5,2448	32,780		32,780
2	3,7469	23,418		56,198
3	1,7464	10,915		67,113
4	1,1802	7,376		74,489
5	1,0210	6,381		80,871
6	0,9719	6,074		86,945
7	0,6963	4,352		91,297
8	0,5744	3,590		94,887
9	0,3775	2,360		97,247
10	0,1738	1,086		98,333
11	0,1108	0,692		99,025
12	0,0685	0,428		99,454
13	0,0646	0,404		99,857
14	0,0441	0,275		100,133
15	0,0047	0,029		100,162

Annexe XVI - Régression PLS (Partial Least Square) avec toutes les variables sans les données année (n-1) (JMP)

Partial Least Squares

Model Launch

- (x) NIPALS
- () SIMPLS

Number of Factors (1 to max=15) 3

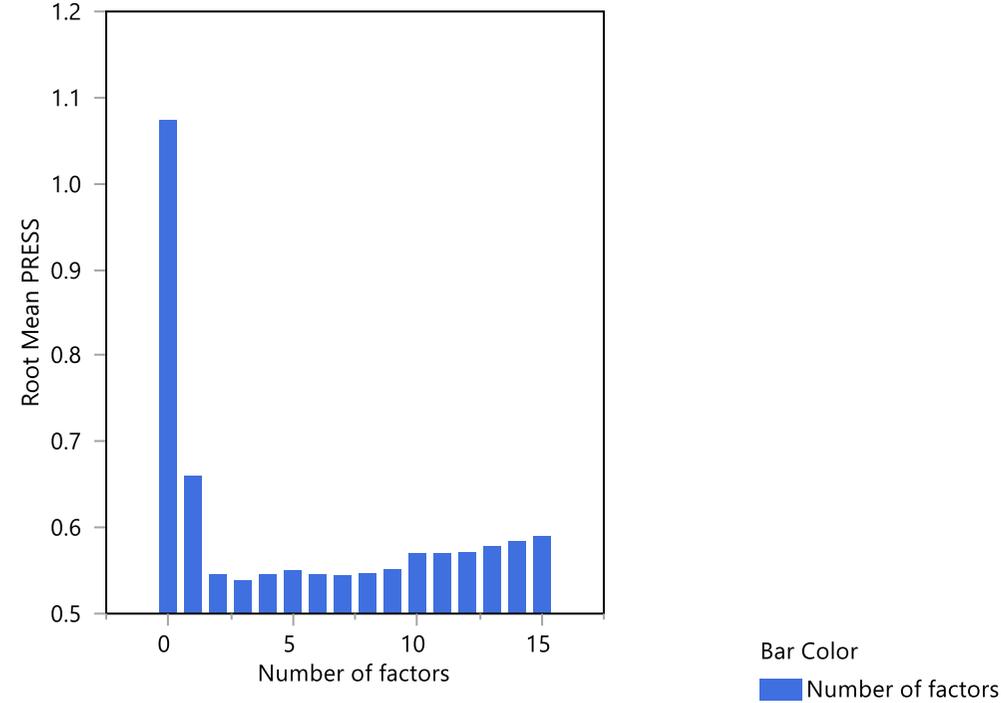
Model Comparison Summary

Method	Number of rows	Number of factors	Percent Variation Explained for Cumulative X	Percent Variation Explained for Cumulative Y	Number of VIP > 0.8
NIPALS	74	3	49.007411	81.161808	19

KFold Cross Validation with K= 7 and Method=NIPALS

Number of factors	Root Mean PRESS	van der Voet T ²	Prob > van der Voet T ²	Q ²	Cumulative Q ²	R ² X	Cumulative R ² X	R ² Y	Cumulative R ² Y
0	1.073458	16.588929	<.0001*	-0.027635	-0.027635	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1	0.660663	6.270337	0.0020*	0.613521	0.613521	0.213561	0.213561	0.690295	0.690295
2	0.545516	0.153276	0.7220	0.731481	0.896223	0.169485	0.383046	0.098054	0.788349
3	0.538493	0.000000	1.0000	0.738688	0.972882	0.108871	0.491917	0.028785	0.817133
4	0.545452	0.084241	0.7750	0.734022	0.992787	0.056581	0.548498	0.018463	0.835596
5	0.550317	0.186898	0.6580	0.729796	0.998051	0.055018	0.603516	0.009996	0.845592
6	0.545274	0.038945	0.8380	0.734343	0.999482	0.083816	0.687332	0.003766	0.849358
7	0.545035	0.029989	0.8720	0.734605	0.999863	0.050992	0.738324	0.002674	0.852032
8	0.546597	0.044198	0.8410	0.733256	0.999963	0.044230	0.782554	0.002105	0.854137
9	0.551288	0.139360	0.7070	0.728952	0.999990	0.032766	0.815320	0.001767	0.855904
10	0.569900	1.043197	0.2870	0.710622	0.999997	0.030578	0.845898	0.001158	0.857062
11	0.570067	1.102334	0.2770	0.710223	0.999999	0.026437	0.872334	0.000783	0.857846
12	0.571036	1.159524	0.2680	0.709128	1.000000	0.020438	0.892773	0.000720	0.858565
13	0.578064	1.695802	0.1890	0.702123	1.000000	0.020147	0.912920	0.000435	0.859000
14	0.584398	2.270415	0.1400	0.695705	1.000000	0.021934	0.934854	0.000457	0.859457
15	0.590670	2.872176	0.0810	0.689237	1.000000	0.017766	0.952620	0.000462	0.859919

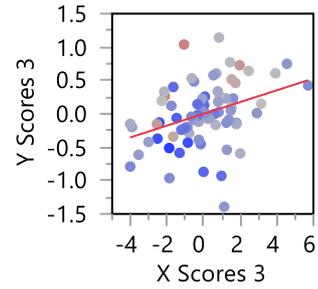
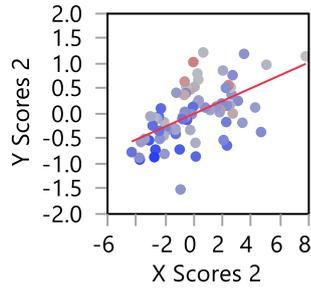
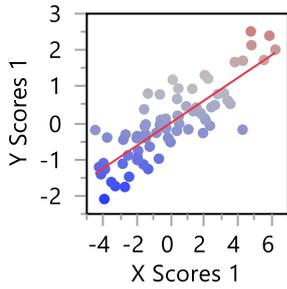
Root Mean PRESS Plot



Note: The minimum root mean PRESS is 0.53849 and the minimizing number of factors is 3.

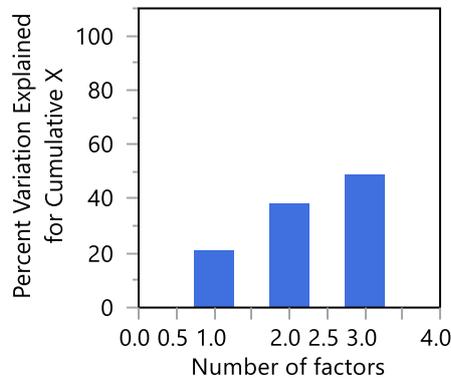
NIPALS Fit with 3 Factors

X-Y Scores Plots

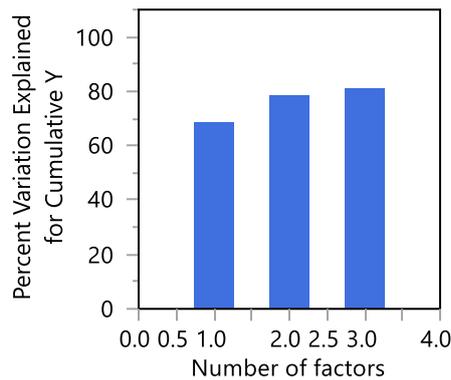


Percent Variation Explained

Number of factors	X Effects	Cumulative X
1	21.1080	21.108
2	17.2056	38.314
3	10.6938	49.007



Y Responses	Cumulative Y
68.7104	68.7104
9.6255	78.3359
2.8259	81.1618



Model Coefficients for Centered and Scaled Data

Coefficient	BIOM
Intercept	0.0000
annee[2013]	0.0516
annee[2014]	-0.0177
annee[2015]	-0.1221
annee[2016]	0.0915
secteur[S12]	0.1236

Coefficient	BIOM	
secteur[S23]	-0.1305	
secteur[S40]	0.0137	
cepage[CH]	0.0362	
cepage[PM]	0.0137	
cepage[PN]	-0.0468	
FTSWflo	0.1320	
FTSWdeb-floS	0.1435	
Pldeb-floS	0.1133	
Tdeb-floM	-0.0471	
Amendement Organique[MV 100]	0.0956	
Amendement Organique[OVI 100]	-0.0956	
SKOR[Pas de SKOR]	0.0316	
SKOR[SKOR]	-0.0316	
Patenkali[Pas Patenkali]	-0.0411	
Patenkali[Patenkali]	0.0411	
mode_taille[Chablis]	0.0554	
mode_taille[Cordon de Royat]	-0.0554	
ORSTIM[ORSTIM]	0.0496	
ORSTIM[PAS ORSTIM]	-0.0496	
EHB (Plein ou 1R/2)[1R/2]	-0.0182	
EHB (Plein ou 1R/2)[Plein]	0.0182	
densité[7600]	0.1062	
densité[8300]	-0.1062	
argile	-0.0551	
limons_fins	0.0716	
sables_fins	-0.0700	
C	-0.0080	
N	0.0230	
calcaire_total_0/00	0.0561	

Note: X variables have been standardized.

Annexe XVII - Régression PLS avec les données année (n-1) (JMP)

Partial Least Squares

Model Launch

- NIPALS
- SIMPLS

Number of Factors (1 to max=15) 3

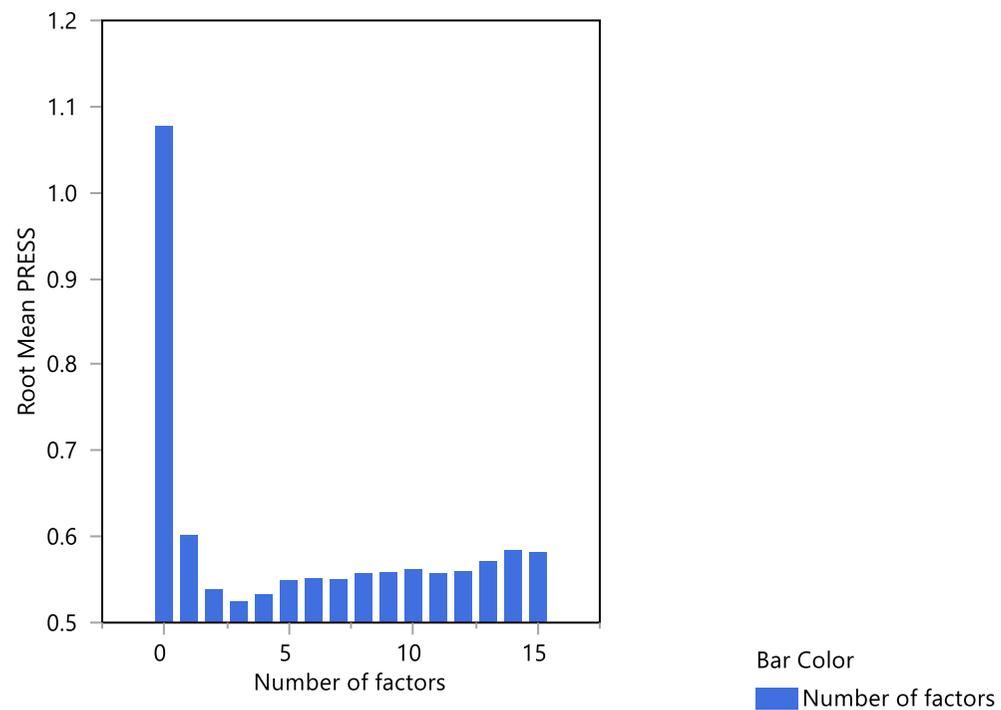
Model Comparison Summary

Method	Number of rows	Number of factors	Percent Variation Explained for Cumulative X	Percent Variation Explained for Cumulative Y	Number of VIP > 0.8
NIPALS	57	3	52.695929	85.444968	20

KFold Cross Validation with K= 7 and Method=NIPALS

Number of factors	Root Mean PRESS	van der Voet T ²	Prob > van der Voet T ²	Q ²	Cumulative Q ²	R ² X	Cumulative R ² X	R ² Y	Cumulative R ² Y
0	1.077353	11.250029	<.0001*	-0.118935	-0.118935	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1	0.601692	4.075647	0.0430*	0.652955	0.652955	0.216348	0.216348	0.748350	0.748350
2	0.538464	0.323030	0.5640	0.721903	0.903488	0.182620	0.398968	0.078595	0.826945
3	0.524174	0.000000	1.0000	0.734931	0.974418	0.130775	0.529743	0.034658	0.861603
4	0.533203	0.148207	0.7350	0.726139	0.992994	0.060805	0.590548	0.023120	0.884723
5	0.549736	0.498549	0.5220	0.710651	0.997973	0.055991	0.646539	0.014442	0.899165
6	0.552096	0.458091	0.5280	0.708607	0.999409	0.067986	0.714526	0.004361	0.903527
7	0.550359	0.294124	0.6270	0.710849	0.999829	0.048265	0.762791	0.002837	0.906364
8	0.557406	0.402371	0.5660	0.704220	0.999949	0.038352	0.801143	0.002797	0.909161
9	0.558402	0.432355	0.5370	0.702965	0.999985	0.029904	0.831046	0.002210	0.911371
10	0.562480	0.591260	0.4640	0.698385	0.999995	0.030780	0.861826	0.001172	0.912543
11	0.557965	0.505489	0.5100	0.702868	0.999999	0.022382	0.884208	0.001383	0.913926
12	0.559989	0.522305	0.4990	0.700762	1.000000	0.017178	0.901386	0.001816	0.915742
13	0.571251	0.981561	0.3330	0.688452	1.000000	0.021812	0.923198	0.001107	0.916849
14	0.584292	1.620538	0.2000	0.674130	1.000000	0.017993	0.941191	0.000750	0.917599
15	0.581761	1.531287	0.2180	0.676942	1.000000	0.015966	0.957157	0.000456	0.918055

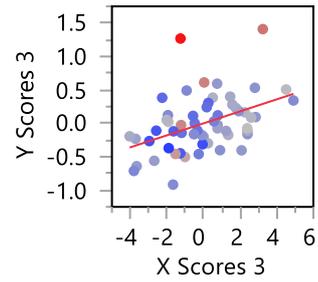
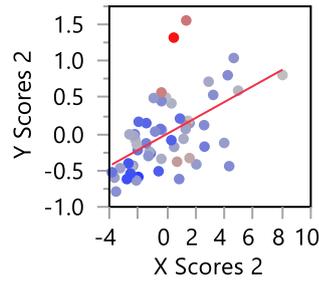
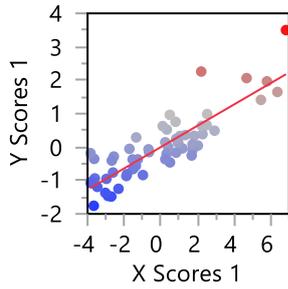
Root Mean PRESS Plot



Note: The minimum root mean PRESS is 0.52417 and the minimizing number of factors is 3.

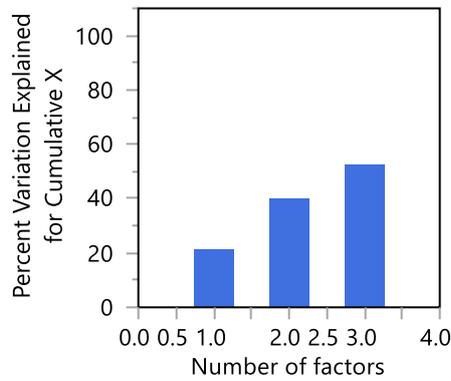
NIPALS Fit with 3 Factors

X-Y Scores Plots

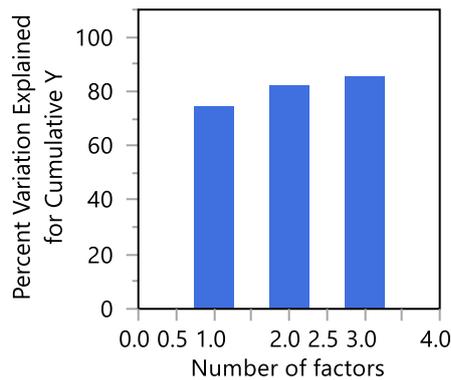


Percent Variation Explained

Number of factors	X Effects	Cumulative X
1	21.5060	21.506
2	18.5649	40.071
3	12.6250	52.696



Y Responses	Cumulative Y
74.3837	74.3837
7.6021	81.9858
3.4592	85.4450

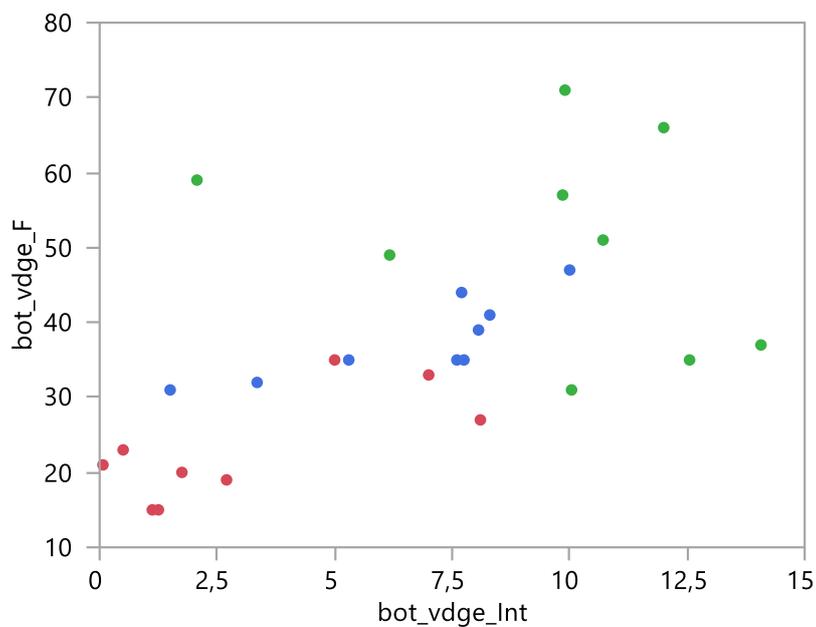


Model Coefficients for Centered and Scaled Data

Coefficient	BIOM
Intercept	0.0000
annee[2014]	-0.0112
annee[2015]	-0.1131
annee[2016]	0.1243
secteur[S12]	0.1162
secteur[S23]	-0.1361

Coefficient	BIOM
secteur[S40]	0.0274
cepage[CH]	0.0152
cepage[PM]	0.0274
cepage[PN]	-0.0375
FTSWflo	0.1228
FTSWdeb-floS	0.1363
Pldeb-floS	0.1011
Tdeb-floM	-0.0386
Amendement Organique[MV 100]	0.0887
Amendement Organique[OVI 100]	-0.0887
SKOR[Pas de SKOR]	0.0367
SKOR[SKOR]	-0.0367
Patenkali[Pas Patenkali]	-0.0548
Patenkali[Patenkali]	0.0548
mode_taille[Chablis]	0.0434
mode_taille[Cordon de Royat]	-0.0434
ORSTIM[ORSTIM]	0.0463
ORSTIM[PAS ORSTIM]	-0.0463
EHB (Plein ou 1R/2)[1R/2]	-0.0085
EHB (Plein ou 1R/2)[Plein]	0.0085
densité[7600]	0.1190
densité[8300]	-0.1190
argile	-0.0515
limons_fins	0.0702
sables_fins	-0.0440
C	0.0043
N	0.0451
calcaire_total_0/00	0.0731
BIOM(n-1)	-0.0314

Annexe XVIII – Corrélation entre Fréquence et Intensité d’attaque de botrytis (JMP, 2017)



Impact de l'environnement et des pratiques agronomiques sur la biomasse de la vigne et conséquences sur la production.

Résumé : Depuis 2013, Veuve Clicquot suit l'évolution de la biomasse de son vignoble grâce au capteur Physiocap®. Les nouvelles pratiques mises en place depuis plusieurs années ont fortement impacté la vigueur et l'expression végétative de la vigne. Après plusieurs années de diminution progressive de la biomasse, une nouvelle dynamique d'augmentation est visible sur l'ensemble du vignoble. L'objectif de cette étude est de caractériser l'impact de l'environnement et des pratiques agronomiques sur l'évolution de la biomasse ces quatre dernières années ainsi que les conséquences sur la qualité de la production. Pour répondre à cet objectif, un bilan des connaissances actuelles sur les paramètres qui influencent la biomasse et ceux qu'elle influence elle-même a été dressé. Puis quatre années de données du Physiocap® ont été croisées avec des données du milieu (historique météorologique et compositions des sols) ainsi que les itinéraires techniques du vignoble afin de tenter de déterminer les leviers d'action permettant d'avoir une biomasse convenable tous les ans et qui réponde aux critères de la maison. De plus, grâce à un essai mené sur une parcelle de Pinot Meunier, l'effet du niveau de la biomasse sur la production ainsi que sur l'efficacité des traitements anti-botrytis a pu être étudié. Le niveau de biomasse traduit l'équilibre de la vigne et impacte fortement qualité et quantité de récolte.

Mots-clés : Physiocap®, capteur, base de données, vigueur, expression végétative, biomasse, millésime, botrytis, itinéraire technique.

Impact of the environment and agronomical practices on the biomass of the vineyard and consequences on the production.

Abstract: Since 2013, Veuve Clicquot has studied the evolution of the biomass in its vineyard with the Physiocap® sensor. The new practices implemented a decade ago have had a strong impact on the vigour and development of the vine. After a gradual decrease in biomass over several years, a new upward trend is visible across the entire vineyard. The aim of this study is to characterize the impact of the environment and agronomic practices on the evolution of the biomass over the past four years and also the consequences on the quality of production. To achieve this objective, a review of current knowledge on the parameters which influences the biomass and those it influences itself was assembled. Then four years of Physiocap® data were cross-referenced with data from the environment (meteorological history and soil composition) as well as vineyard management practices to try to determine the levers that would give rise to an acceptable biomass every year and which meet the criteria of the house. Thanks to an experiment conducted on a plot of Pinot Meunier, the effect of the level of biomass on production and also on the efficiency of anti-botrytis treatments has been studied. The level of biomass reveals the balance of the vine and has a powerful impact on the quantity and quality of the harvest.

Keywords : Physiocap®, sensor, database, vigour; vegetative growth, biomass, vintage, grey mould, management practices.



2 place Pierre Viala F 34060 MONTPELLIER cedex 2
tel; 33(0)4 99 61 22 00