

TABLE DES MATIERES :

GLOSSAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES ILLUSTRATIONS

INTRODUCTION	1
1. Contexte	2
1.1 Présentation du Vignoble du Pays nantais	2
1.2 La situation du Vignoble	2
2. La fertilisation de la vigne	3
2.1 Les besoins de la vigne	3
2.2 Les apports nutritifs	6
2.2.1 La nutrition du sol	6
2.2.2 La nutrition foliaire	6
3. Objectifs de l'étude	8
4. matériels et méthodes	9
4.1 Matériel biologique	9
4.2 Mise en place de l'essai	9
4.2.1 Parcelle d'expérimentation	9
4.2.2 Choix des engrains foliaires	9
4.2.3 Application des produits	10
4.3 Suivi de la vigne	11
4.3.1 Suivi hydrique	11
4.3.2 Croissance	12
4.3.3 Indice de vigueur	12
4.3.4 Etat sanitaire	13
4.3.5 Analyse de sève	14
4.3.6 Evaluation du rendement	14
4.3.7 Analyse de baies	15
5. Résultats	16
5.1 Les conditions climatiques à la parcelle	16
5.2 Croissance de la vigne	17
5.3 Indice de vigueur	17
5.4 Etat sanitaire	19
5.5 Analyse de sève	20
6. Discussion	21
6.1 Croissance de la vigne	21
6.2 Indice de vigueur	22
6.3 Etat sanitaire	23
6.4 Analyse de sève	24
Conclusion et perspectives pour le projet Vign'Alim	26
Bibliographie	27
Annexes	I

GLOSSAIRE :

AOP : Appellation d'Origine Protégée, signe de qualité reconnu par l'Europe. Les producteurs en AOP doivent respecter un cahier des charges précis (type de taille autorisée, méthodes de culture ou vinification...). Cela induit un seuil maximum de production. Signe de qualité en France.

Coulure : Chute des fleurs et des jeunes fruits causés par un accident au moment de la fécondation (fortes pluies, parasites).

ESCA : maladie du bois qui dégrade le système conducteur de la vigne. Les champignons dégradent la lignine, un des principaux composants du bois.

Fermentisabilité : Qualité de ce qui peut entrer en fermentation.

Nouaison : Début de la croissance et du développement du jeune ovaire en fruit.

Millerandage : fécondation imparfaite de la fleur de vigne qui donnera des petits fruits.

Sélection massale : consiste à repérer sur une parcelle les pieds les plus intéressants puis de prélever des fragments de sarments et de les multiplier pour ensuite les replanter.

Vendange : Récolte du raisin destinée à la production de vin. Peut désigner également le raisin lui-même récolté à cette occasion.

Vin perlant : vin dans lequel se forment quelques fines bulles de gaz carbonique lorsqu'on le verse dans un verre.

LISTE DES ABREVIATIONS :

AOP : Appellation d'Origine Protégée

OCM : Organisation Commune du marché

Ha : Hectare

IGP : Indice Géographique Protégée

LISTE DES ANNEXES :

Annexe I : Stades phénologiques de la vigne	I
Annexe II : Plan de l'essai Vign'Alim 2015	II
Annexe III : Comparaison du climat de l'année 2015 et du climat moyen pour la ville de Nantes	III
Annexe IV : Gamme de valeurs du SPAD 502	IV

LISTE DES ILLUSTRATIONS :

- Figures :

Figure 1 : Le Vignoble du Val de Loire	1
Figure 2 : Le Vignoble du Pays Nantais	1
Figure 3 : Exploitations viticoles dans le département des Pays de la Loire	2
Figure 4 : diagramme représentant les valeurs moyennes (Kg/ha) en éléments minéraux absorbés par la vigne au cours d'un cycle et celles exportées	4
Figure 5 : Schéma représentant l'utilisation des différentes formes de matières organiques par la vigne ainsi que le cycle de l'azote.....	4
Figure 6 : Schéma de la distribution des engrais foliaires au niveau de la feuille	7
Figure 7 : Schéma de la distribution du phloème et du xylème au sein d'un cep de vigne	7
Figure 8 : Chambre à pression de Scholander.....	11
Figure 9 : Conditions météorologiques à Saint-Lumine-de-Clisson pour la saison 2015	16
Figure 10 : Potentiel hydrique moyen mesuré pour chaque modalité	16
Figure 11 : Vitesse de croissance journalière (cm/jour) des rameaux à différentes dates et en fonction des différentes modalités.	17
Figure 12 : Vitesse de croissance journalière (mm/jour) des grappes à différentes dates et en fonction des différentes modalités	17
Figure 13 : Taux de nouaison des différentes modalités	17
Figure 14 : Indices SPAD relevés pour chaque modalité à différentes dates	18
Figure 15 : Fréquences et intensités d'attaque de mildiou sur feuilles et sur grappes en fonction des différentes modalités	19
Figure 16 : Fréquences et intensités d'attaque d'oïdium sur grappe en fonction des différentes modalités	19

Figure 17 : Fréquences et intensités d'attaque de Black-Rot sur grappe en fonction des différentes modalités	19
Figure 18 : Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève au stade Boutons Floraux séparés	20
Figure 19 : Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève à Floraison	20
Figure 20 : Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève à la Nouaison	20
Figure 21 : Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève à Véraison	20
Figure 22 : Photos d'une grappe millerandée	22
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Tableaux :</u> 	
Tableau I : Caractéristiques des différents produits utilisés lors de l'essai Vign'Alim	9
Tableau II : Concentrations à l'hectare et quantités appliquées par modalité	11
Tableau III : Formule pour calculer le pourcentage d'un élément dans le flux de sève	14
Tableau IV : Seuils des potentiels hydriques et leurs conséquences vis-à-vis de la contrainte hydrique	16
Tableau V : Diamètre moyen des rameaux (cm) en fonction des différentes modalités	18



Figure 1: Le vignoble du Val de Loire (chateauloisel.com). Zone de production de vin regroupant plusieurs régions viticoles situées au bord de la Loire et de ses affluents.



Figure 2: Le vignoble du pays nantais (vinsvignesvignerons.com). Vignoble implanté sur la rive gauche de la Loire, situé principalement dans le département de Loire-Atlantique et débordant sur les départements du Maine-et-Loire et de Vendée.

Introduction

Le vignoble nantais est un vignoble périurbain rattaché au Vignoble du val de Loire, 3^{ème} bassin viticole français (Fig.1). Il est implanté principalement au sud de la Loire dans le département de Loire-Atlantique et dans quelques communes de Vendée et de Maine-et-Loire (Syndicat Mixte du SCoT, 2011) (Fig.2). La particularité des Pays de la Loire, est la forte orientation du vignoble sous AOP ou IGP (86% des surfaces en AOP et 8% en IGP) (Agreste, mai 2013). Le vignoble nantais est principalement connu pour son vin d'appellation Muscadet produit à partir du cépage Melon de Bourgogne.

Le vieillissement du vignoble, la crise économique ou encore la forte propagation des maladies du bois de la vigne, tel que l'ESCA, entraînent de nettes baisses de rendement et poussent les viticulteurs à trouver des solutions pour maintenir un niveau de production constant année après année tout en continuant à produire des vins de qualité.

L'optimisation de ce potentiel de production passe par plusieurs axes de travail : adéquation sol/matériel végétal, fertilisation au sol, complantation, protection phytosanitaire... La fertilisation foliaire apparaît comme un sujet d'intérêt pour les vignerons et pourrait constituer un de ces leviers d'optimisation. Cependant les données actuelles issues des fournisseurs de produits sont sujettes à caution. Une forte demande de la profession viticole a donc encouragé le pôle viticole de la Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique à mettre en place un projet d'essai de fertilisants foliaires (Projet Vign'alim). Au travers de plateformes expérimentales, il permettra d'évaluer l'intérêt de la fertilisation foliaire sur la vigne et d'obtenir des données objectives sur différents engrains foliaires, afin de pouvoir conseiller la profession viticole.

La première année du projet permettra tout d'abord d'obtenir des résultats mais également d'évaluer la pertinence du protocole d'expérimentation et de l'adapter aux besoins. Après une présentation du vignoble nantais et du contexte dans lequel est réalisée l'étude, nous analyserons les données bibliographiques nécessaires à la compréhension du rapport. Par la suite, le matériel et les méthodes réalisés tout au long du stage, seront expliqués. Les résultats seront ensuite présentés et discutés et s'ensuivra une conclusion sur cette première année de projet.

Exploitations viticoles dans les départements des Pays de la Loire

s : secret statistique ; nc : non communiqué

Source : Agreste - Recensement agricole 2010 - Traitement SRISE Pays de la Loire

Figure 3: Exploitations viticoles dans les départements des Pays de la Loire (Agreste, 2013)

1. Contexte

1.1. Présentation du Vignoble du Pays Nantais

Le vignoble du pays nantais recouvre une surface de 14 158 ha et regroupe 645 exploitations viticoles, possédant au moins un hectare de vigne (Fig.3). Il a la particularité de se trouver proche de l'océan, ce qui lui confère un climat océanique doux et humide, avec des sols à dominante sablo-limoneux et limono-sableux. La majorité de la production (96%) sont des vins blancs secs avec en tête le Muscadet suivi du Gros plant (Agreste, 2013).

Le Muscadet est un blanc sec d'Appellation d'Origine Contrôlée depuis 1937. Cette appellation couvre une surface de 11 500 ha (SDAOC, muscadet-grosplant.fr). Il est issu d'un cépage unique, le Melon de bourgogne. On y trouve 3 niveaux d'appellations :

- Appellation régionale Muscadet, sans dénomination particulière
- Appellations sous régionales : le Muscadet Sèvre-et-Maine, le Muscadet Côtes-de-Grandlieu et le Muscadet Coteaux-de-la-Loire.
- Crus communaux : Clisson, Le Pallet, Gorges, ayant des règles plus strictes que dans le reste de l'appellation. Ces appellations d'origines communales ont pour objectif de valoriser une production tournée vers des vins haut de gamme et permettent d'exprimer l'excellence du terroir. ([Interloire, vinsvaldeloire.fr](http://interloire.vinsvaldeloire.fr))

De plus, ce vignoble est considéré comme le plus grand vignoble de vin blanc d'appellation mono-cépage au monde (nantes-tourisme.com). Cette typicité est renforcée par la technique d'élevage sur lie, entièrement associé à la région et qui consiste à laisser les vins un hiver entier sans tirage en cuve, ce qui leur donne la particularité d'être légèrement perlant. (Pirmil, 2015)

1.2. La situation du Vignoble

La situation économique du Muscadet et du vignoble nantais est instable depuis plusieurs années. En 2008, des gelées importantes ont entraîné une diminution des vendanges de moitié, passant d'une récolte en moyenne de 600 000 hl/an à 300 000 hl. Cette production a alors été insuffisante pour répondre à la demande des entreprises de négoce qui écoulent 70% des volumes, ce qui a entraîné une forte augmentation des prix du Muscadet avec des pics atteignant 230€/hl. Les grandes surfaces ont répercuté cette hausse du prix et les bouteilles ont été vendues à plus de 5€ entraînant alors une diminution des ventes.

La grande distribution et le négoce qui ont acheté aux prix fort un millésime 2008, ne sont pas disposés à acheter le millésime 2009, malgré son excellente qualité. Cela entraîne une surproduction et un fort stock d'invendus (250 000 hl en 2010) que les vignerons ont du mal à écouter.

Selon la chambre d’Agriculture de Loire-Atlantique, le vignoble nantais aura perdu 10 millions d’euros en 2010, soit le quart de son revenu (Bonnardel, 2010) avec des prix atteignant 36.30€/hl (Touchais, 2012). Face à ces difficultés rencontrées par les vignerons de Loire-Atlantique, des plans de restructuration ont vu le jour entraînant des distillations importantes pour réduire les invendus, des déclassements ainsi que des programmes d’arrachage soutenu dans le cadre de l’OCM viti-vinicole. (Agreste, 2013)

En plus d’une crise économique au sein du vignoble, l’image du vignoble nantais demeure celle d’un vignoble de seconde catégorie produisant un vin pour la soif, ce qui commercialement parlant n’est pas vendeur. A cela s’ajoute une concurrence accrue sur les marchés export et une diminution de la consommation de vin en France qui est passée de 160 L/habitant/an en 1965 à 50 L/habitant/an en 2010 et cette consommation tend vers des vins réputés de qualité (Mangematin, 2012).

Une ombre s’ajoute à ce climat déjà instable : l’ESCA qui, depuis plusieurs années, se propage rapidement au sein du vignoble du Pays Nantais. C’est une des maladies les plus graves car elle s’attaque à la charpente et à terme fait mourir le cep. Une dizaine de champignons sont vraisemblablement impliqués dans cette maladie mais des doutes persistent sur les facteurs d’origine ou d’aggravation de la maladie. A ce jour, aucune méthode de lutte chimique ou biologique n’est validée au vignoble ce qui entraîne de gros dégâts et de nombreux arrachages. Le vignoble nantais ne déroge pas à ce phénomène avec une augmentation de 6.3% des céps présentant des symptômes d’ESCA en 2014 contre 4.8% en 2013 (Brochard-Mémain, 2015) Ce déclin des vignes entraîne une perte de production que les viticulteurs vont tenter de contrecarrer en s’appuyant sur différents leviers et notamment sur la fertilisation, qu’elle soit foliaire ou appliquée au sol.

2. La fertilisation de la vigne

La fertilisation a pour objectif, de fournir les éléments nutritifs essentiels afin de favoriser le développement de la vigne, la mise en réserve et de stimuler la production de grappes. Les apports peuvent se faire au niveau du système racinaire ou directement sur le feuillage. Dans les deux cas, ils doivent être faits en fonction du cépage et du type de sol, il est donc important de bien connaître les besoins de sa parcelle de vigne.

2.1. Les besoins de la vigne

La vigne est une plante pérenne ligneuse, dicotylédone de l’ordre des *Rhamnales* et qui appartient à la famille des *Vitaceae*. Elle appartient au genre *Vitis* qui regroupe plusieurs espèces. La principale espèce cultivée en Europe et dans le monde est *vinifera*. On y retrouve un certain nombre de cultivars appelés cépages qui ont des caractéristiques morphologiques et organoleptiques spécifiques permettant de produire des vins différents.

Valeurs moyennes en kg/ha

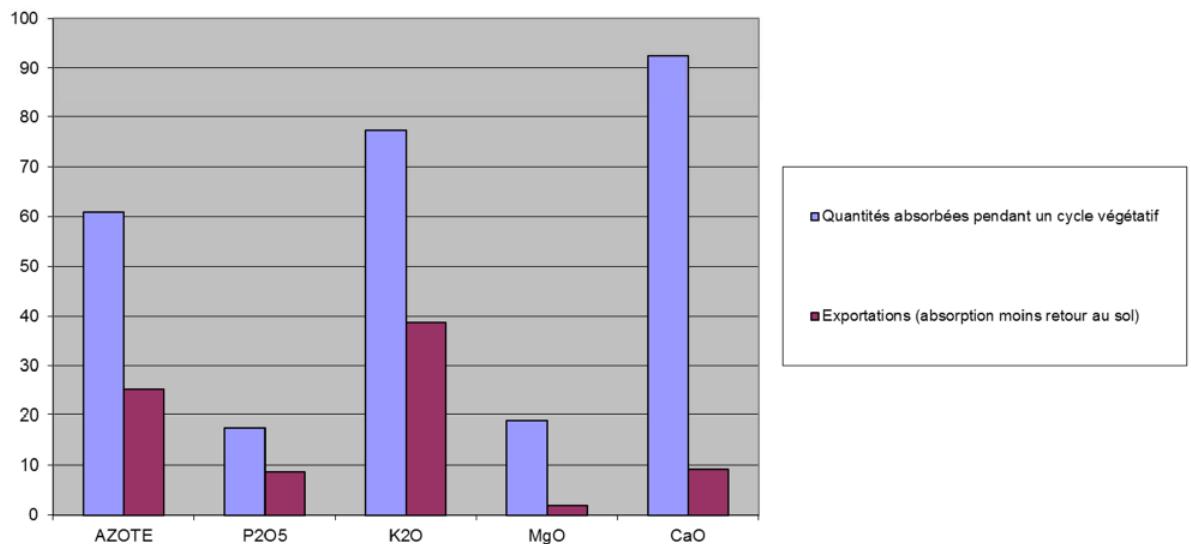


Figure 4: Diagramme représentant les valeurs moyennes (Kg/ha) en éléments minéraux absorbés par la vigne au cours d'un cycle et celles exportées (L'Helgouach, 2014). L'exportation est la quantité d'éléments contenue dans les produits végétaux sortis de la parcelle (sarmants, raisins, feuilles). Une grande partie des quantités absorbées retournent au sol.

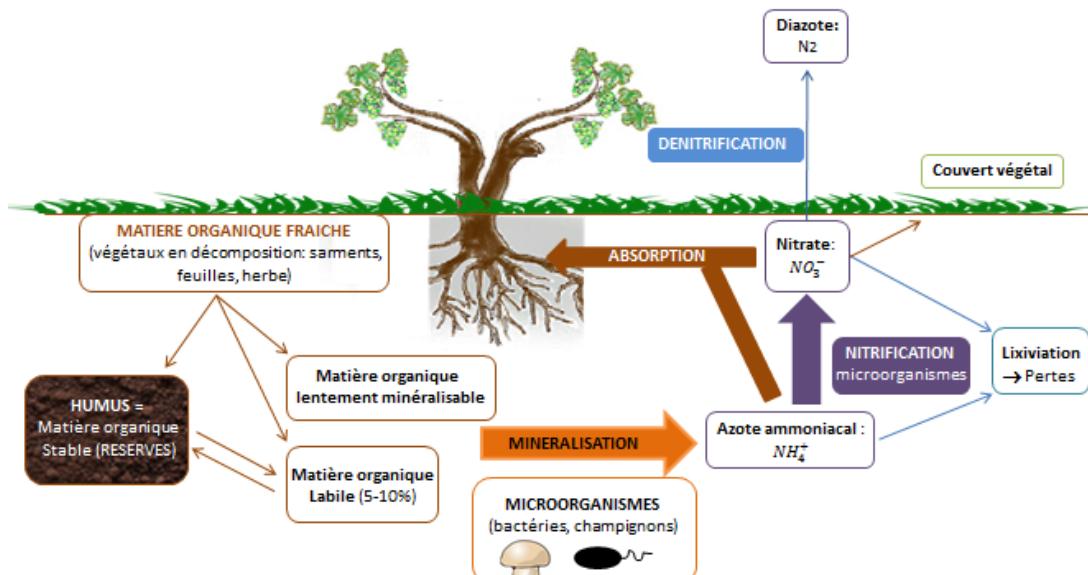


Figure 5: Schéma représentant l'utilisation des différentes formes de matières organiques par la vigne ainsi que le cycle de l'azote (Paytra M., 2015). La matière organique se décompose en trois types : l'humus qui sert de réserve dans le sol, la matière labile et la matière organique lentement minéralisable. Cette matière organique va être minéralisée par les microorganismes ce qui permet de fournir à la vigne les éléments nutritifs dont elle a besoin. L'azote se retrouve sous deux formes principales : l'azote ammoniacal et le nitrate, tous deux absorbables par les racines.

La vigne peut être cultivée pendant 30 ou 40 ans avec une succession de cycles annuels interdépendants les uns des autres. Les éléments fertilisants nécessaires à la vigne se répartissent parmi les macroéléments (N, P, K, Mg, Ca), indispensables à la plante et les oligoéléments (Fe, B, Zn, Cu, Mn...) présents en plus petites quantités mais ayant un rôle dans le métabolisme de la vigne. (Louvieaux, 2004). Une partie des prélèvements réalisés par la vigne retournent au sol (bois de taille, feuilles...) ce qui réduit les exportations réelles (Fig.4). De plus, une partie des éléments nutritifs sera stockée dans le bois et les racines (Institut Rhodanien, 2003)

- **Les macroéléments :**

L'azote :

Certainement l'un des éléments les plus importants. En effet, c'est un constituant majeur du végétal (chlorophylle, hormones végétales, acides aminés, acides nucléiques). Il stimule l'absorption optimale des autres éléments nutritifs et influe sur la croissance de la vigne, le rendement et la fermentisabilité des moûts. (N'Dayegamiye, 2007) Les besoins de la vigne se situent entre 20-30 kg d'azote par hectare et par an, cependant l'azote est l'élément le plus difficile à gérer en fertilisation. En effet, des carences en azote entraînent des baisses de production et une baisse de la maturité des raisins tandis qu'un excès d'azote entraîne des vigueurs excessives, une pression accrue en maladies et ravageurs et dans les cas extrêmes, entraîne une baisse de production (Bontemps et Balue, 2013).

L'azote dans le sol résulte principalement de la minéralisation par les microorganismes du sol (bactéries, champignons) de la matière organique, provenant des végétaux en décomposition tel que les feuilles, les sarments ou encore l'herbe. Elle se sépare en 3 types: la matière organique labile représentant 5 à 10% de la matière organique totale et qui se décompose rapidement, la matière organique lentement minéralisable et l'humus ou fraction stable, récalcitrant à la minéralisation servant de réserve dans le sol.

Une partie de l'azote minéralisé est utilisée par les microorganismes pour leur synthèse protéique, tandis que le reste est libéré dans le sol sous forme d'azote ammoniacal (NH_4^+). Les microorganismes nitrificateurs peuvent par la suite transformer cette forme d'azote en nitrates (NO_3^-), mais les deux formes peuvent être absorbées par le système racinaire (Fig.5). (N'Dayegamiye, 2007)

Le phosphore :

Le phosphore est impliqué dans les mécanismes énergétiques de la plante et joue un rôle dans le développement végétatif de la vigne.

Les sols contiennent suffisamment de phosphore pour répondre aux besoins de la vigne. Peu mobile et se trouvant dans les couches supérieurs du sol, la présence de mycorhizes au niveau des racines, facilite l'absorption de cet élément (Carboneau, 2015). Actuellement, aucune carence phosphorique n'a été relevée dans les vignobles.

Le potassium :

Le potassium est un élément important dans la croissance de la vigne. Il permet de réguler le potentiel osmotique, essentiel au contrôle de l'état hydrique de la plante, de sa turgescence et donc de sa croissance (Carboneau, 2015). La vigne a un fort besoin en potassium et une carence peut entraîner des conséquences graves sur la récolte. L'observation du feuillage est primordiale pour déceler une éventuelle carence potassique, se manifestant par une décoloration jaune périphérique des jeunes feuilles durant le mois de juillet.

Le magnésium :

Le magnésium entre dans la composition de la chlorophylle, pigment essentiel au bon déroulement de la photosynthèse et donc à la production de sucres. Il intervient dans l'activation de nombreuses enzymes telles que la RubisCo (Ribulose-1,5-bisphosphate Carboxylase/oxygénase) et la phosphoénolpyruvate carboxylase permettant la fixation du carbone (Louvieaux, 2004). Les symptômes d'une carence apparaîtront sur les feuilles âgées à la base des rameaux sous la forme d'une décoloration internervaire et sur le pourtour du limbe (Carboneau, 2015).

Le potassium et le magnésium sont deux éléments antagonistes, l'excès de l'un (souvent le potassium) bloquera l'assimilation de l'autre. Il est donc impératif de raisonner simultanément la fertilisation de ces deux éléments.

- Les oligoéléments :

Les oligoéléments (Bore, manganèse, zinc, fer, cuivre,...) sont des éléments minéraux nécessaires à la vie de la plante, mais en quantités très faible : quelques centaines de g/ha/an au maximum. Cependant ils sont tout aussi importants que les macroéléments car une carence ou un excès se traduira par une perte de qualité et de quantité à la récolte, accompagnée par une diminution de la pérennité des céps. Ces problèmes sont toutefois assez rares et sont souvent propres à certaines situations (types de sol, conditions atmosphériques,...). Dans la plupart des cas, l'usage des bonnes pratiques (drainage, gestion de la matière organique, limitation de la vigueur,...) permet d'éviter ces soucis (Association Viticole Champenoise, 2012 ; Cahurel, 2008).

2.3.Les apports nutritifs

2.3.1. La nutrition du sol

La fertilisation, doit assurer le bon fonctionnement du sol afin de fournir une nutrition satisfaisante aux vignes. Pour cela, deux types d'apport peuvent être réalisés :

- Une fumure de fond : réalisée avant la plantation et après une analyse de terre. Elle permet de relever le niveau des réserves minérales et organiques du sol.

- Des fumures d'entretien : réalisées sur vignes en place, en se basant sur des observations, des analyses de sol et éventuellement des analyses pétiolaires. Elles ont pour but de maintenir la teneur analytique du sol à un niveau jugé suffisant pour satisfaire les besoins de la vigne. (Association Viticole Champenoise, 2012)

L'apport d'éléments nutritifs par le sol joue un rôle dans la structure du sol en régénérant ses fonctions agronomiques et sur la vie microbienne, très importante pour la mise à disposition des éléments nutritifs pour la plante. La fertilisation s'additionnera d'un travail du sol afin de maintenir des sols de qualité ayant une structure meuble, aérée et de bonne stabilité.

La vigne déploie principalement ses racines dans les horizons supérieurs du sol compris entre 20 et 50 cm (Louvieaux, 2004). C'est dans ces couches que la vigne trouvera les éléments nécessaires à son développement, les poils absorbants pourront ainsi les puiser dans la solution du sol (Crespy, 2010). Elle peut cependant développer des racines verticales dans les environs profond (jusqu'à 3 ou 4 mètre de profondeurs) pour lutter contre la sécheresse (Louvieaux, 2004).

Cependant, une partie des apports au sol sont perdus par lixiviation et se retrouve bien souvent au niveau des nappes phréatiques ce qui peut, à de grandes concentrations, les polluer. De plus, il est assez difficile de doser l'apport exact nécessaire et un haut niveau de fertilisation peut entraîner une trop forte croissance végétative au détriment de la qualité des raisins, accompagné d'une augmentation de la sensibilité aux maladies et notamment à *Botrytis cinerea*, champignon responsable de la pourriture grise (Dufourcq *et al*, 2009).

Pour parer ces désagréments, une fertilisation foliaire peut être appliquée en complément, pour optimiser la fertilisation au sol.

2.2.2. La nutrition foliaire

La fertilisation foliaire est une pratique agricole d'importance croissante qui permet de s'affranchir des obstacles du sol nuisant à la bonne alimentation de la vigne. En effet, la disponibilité des nutriments est liée à la qualité du sol, au climat (sécheresse, excès d'eau) ou encore au porte-greffe qui préleve certains minéraux au détriment du greffon.

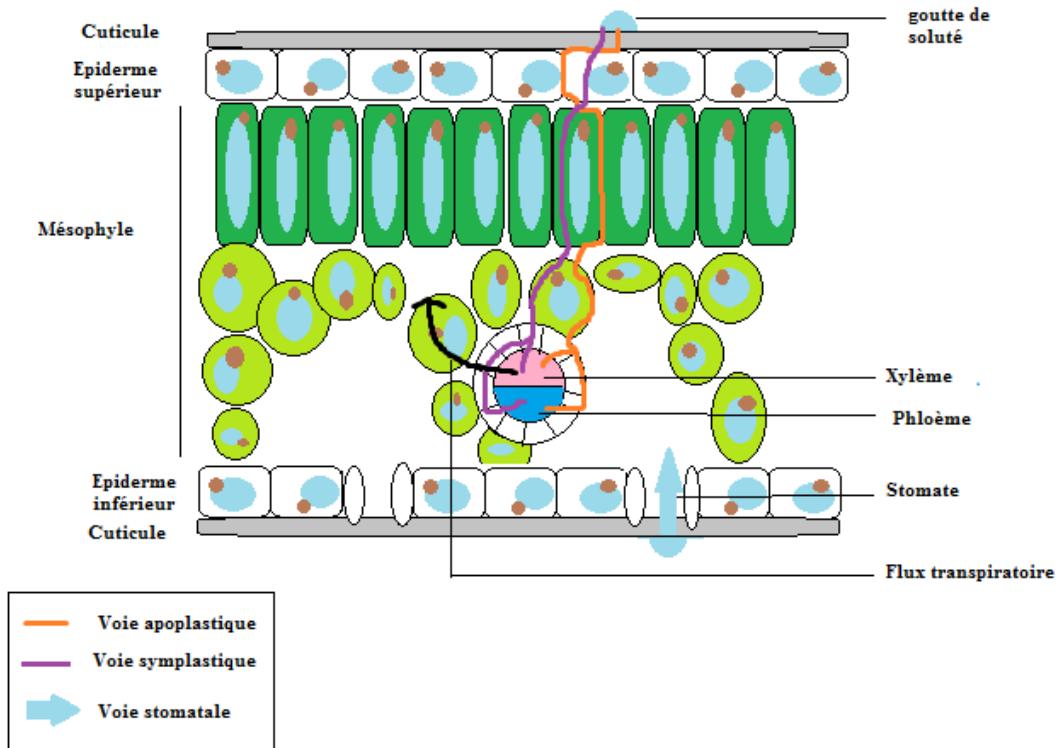


Figure 6: Schéma de la distribution des engrains foliaires au niveau de la feuille (Paytra M., 2015).

Après projection du produit, les solutés se retrouvent au niveau de la surface des feuilles et pénètrent par la suite via la cuticule et/ou via les stomates. Une fois pénétrés, ils peuvent se déplacer par la voie symplastique ou la voie apoplastique et rejoindre les faisceaux xylémiens ou phloémiens pour être transportés par la suite dans toute la plante.

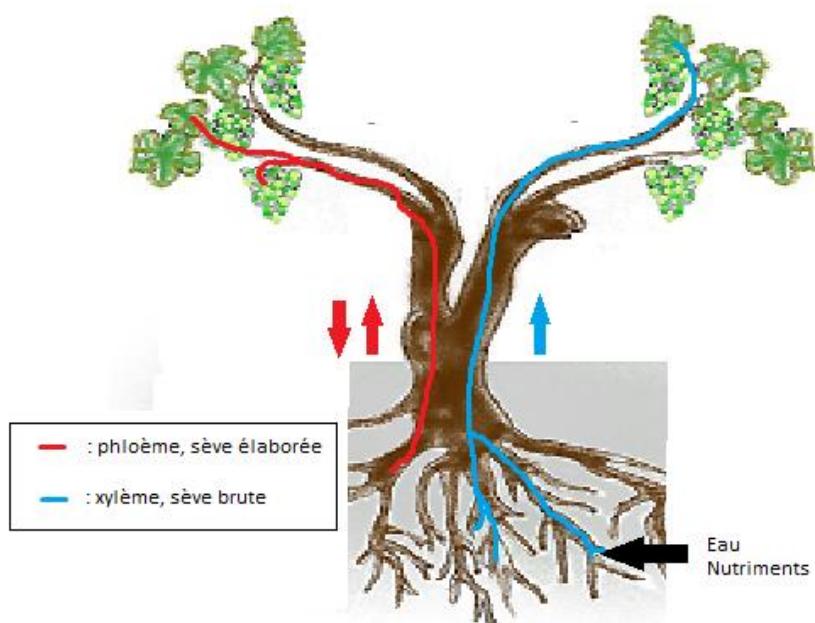


Figure 7: Schéma de la distribution du phloème et du xylème au sein d'un cep de vigne (Paytra M., 2015).

La sève brute contenant l'eau et les nutriments absorbés par les racines, est transportée via le xylème jusqu'aux feuilles. La sève élaborée, contenant principalement des sucres, est transportée vers les racines mais également vers les fruits ou les feuilles.

Cette technique permet d'appliquer les éléments minéraux au niveau des feuilles, là où se passent les synthèses essentielles qui conditionnent la qualité des vendanges. (Crespy, 2010)

A ce jour, les apports foliaires sont principalement réservés aux problèmes ponctuels de carence. Ayant en général un effet à court terme sur le végétal, ils agissent plus rapidement (Institut Rhodanien, 2003).

Peu d'études ont été réalisées sur l'impact des engrains foliaires sur le rendement et la pérennité du vignoble. Les études portent majoritairement sur l'application d'engrais foliaires à la véraison, le plus souvent sous forme d'urée combiné ou non à du soufre.

Ces apports tardifs ont un effet sur les qualités organoleptiques (synthèse de composés thiols) des vins en corrigeant par exemple le statut azoté des moûts et leur potentiel de fermentiscibilité (Dufourcq, 2006).

L'apport d'engrais par voie foliaire semble donc avoir un impact direct sur la composition des raisins. Il est cependant connu que la feuille est recouverte d'une cuticule constituée de composés hydrophobes. Cette barrière physique va donc limiter la pénétration de l'eau et des solutions appliquées par pulvérisation foliaire. Une question se pose donc : Par quels moyens les solutés arrivent-ils à pénétrer au travers de la feuille?

Une partie sera absorbée par diffusion passive à travers la cuticule en fonction des gradients de concentration (Fernandez et Eichert, 2009). D'après Mancuso et al en 2006, une autre partie pénètre directement au niveau des stomates lorsque les conditions favorisant leur ouverture sont réunies (luminosité, humidité relative, température) (Fig.6). Dans tous les cas, la présence de cires épicuticulaires à la surface des feuilles rend difficile la pénétration des solutés. De plus, chaque nutriment possède un taux de pénétration qui lui est propre, un taux élevé est un prérequis pour une nutrition foliaire efficace (Yildirim *et al*, 2007). Il a cependant été démontré que l'addition d'adjuvants permet d'augmenter le pouvoir d'absorption du produit par la plante.

Différents types d'adjuvants existent et sont adaptés au mode d'action des produits utilisés et sont le plus souvent inclus dans les formulations de pulvérisation (Fernandez et Eichert, 2009).

Une fois absorbés, les nutriments se déplacent par voie apoplastique ou symplastique et rejoignent les vaisseaux conducteurs que sont le xylème et le phloème. La distribution des nutriments va se faire principalement via le phloème, vers les parties de la plante en croissance tel que les fruits, les rameaux, les feuilles ou encore les racines. Une partie peut également rejoindre le xylème, suivre alors le flux de transpiration et se retrouver de nouveau dans les feuilles (Bukovac, 1957) (fig.7).

3. Objectifs de l'étude

Dans un contexte de perte de rendement dû aux maladies de la vigne tel que le mildiou ou encore l'ESCA et faisant face à une situation économique difficile, les viticulteurs de la région nantaise sont à la recherche de solution leur permettant de maintenir des niveaux de production viables avec une qualité croissante au fil des années. La Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique est à l'écoute des besoins des vignerons de la région et une forte attente se fait ressentir par la profession viticole sur la mise en place d'une expérimentation sur les engrains foliaires.

Pour tenter de répondre à cette demande croissante, la Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique en partenariat avec l'Association Technique Viticole du Maine et Loire (ATV49) et la Chambre Régionale d'Agriculture (CRA) a mis en place un projet ayant pour but l'expérimentation sur deux plateformes en Loire-Atlantique et de Maine et Loire de plusieurs engrains foliaires, commercialisés ou sur le point de l'être. Ces expérimentations permettront de répondre à une problématique régionale sur les apports réels de l'utilisation d'engrais foliaires.

L'objectif de cette première année d'expérimentation est la mise en place du protocole et la récolte des premiers résultats, sur la région nantaise. Des choix seront fait sur le lieu d'implantation, les produits à appliquer mais également sur les différentes notations à réaliser. Les résultats recueillis permettront de faire un premier point sur l'efficacité des produits ainsi que sur le protocole afin de l'optimiser pour les prochaines années d'expérimentation. L'an prochain sera mis en place en parallèle, une deuxième expérimentation dans l'Anjou sur le cépage Cabernet franc afin de comparer les résultats en fonction du cépage, du climat et des conditions de sols.

La finalité à long terme est de pouvoir emmagasiner des références locales dans les deux vignobles, sur les différents produits foliaires appliqués et alimenter ainsi les connaissances techniques. Cette expérimentation jouera également un rôle dans le conseil, en effet les conseillers viticoles de la Chambre d'Agriculture pourront s'appuyer sur ces données pour conseiller les vignerons.

Tableau I : Caractéristiques des différents produits utilisés lors de l'essai Vign'Alim

modalités	Produits	Société	Composition	Quantité/ha	Nombre d'application	Périodes d'application
T	-	-	-	-	-	-
1	Vivaflor®	Goëmar	- Filtrat d'algues CL 143 - Bore (B): 26,8 g/L - Magnésie (MgO): 68,8 g/L	2L	3	- Grappes séparées - Début à pleine floraison - Floraison à début nouaison
2	Maxifruit®	Timac Agro	- Azote total : 3% - Azote uréique : 3% - P ₂ O ₅ : 7% - K ₂ O : 7% - Mn : 0.05% - Zn : 0.1%	3L	2	- Grappes séparées - stade petits pois
3	ALD	Agrauxine	Dérivés de levures	4L	3	- Grappes séparées - Floraison - Nouaison
4	Basfoliar kelp Bio®	Compo Expert	- Extrait d'algues naturellement enrichies en auxine - Bore : 0,15% - Cuivre: 0,05% - Fer: 0,30% - Manganèse: 0,25% - Molybdène: 0,005% - Zinc: 0,25%	1.5L	2	- Nouaison au début de grossissement des baies - 14 jours après
5	Fertigofol®	AgroNutrition	- N: 107 g/L - P ₂ O ₅ : 32,9 g/L - K ₂ O: 86,3 g/L - MgO: 1,31 g/L - SO ₃ : 1,28 g/L - B: 0,5 g/L - Cu: 0,14 g/L - Fe: 0,25 g/L - Mn: 0,5 g/L - Mo: 0,05 g/L - Zn: 0,4 g/L - acides aminés	5L	3	- Grappes séparées - Début de floraison - Nouaison
6	Purin d'ortie		orties fermentés	7.5L	4	- Grappes séparées - 7 jours après - Floraison - Nouaison

4. Matériels et méthodes

4.1. Matériel biologique

L'étude a été réalisée sur du matériel végétal d'une parcelle de *Vitis vinifera* var. Melon de Bourgogne (greffon issu d'une sélection massale, porte-greffe 3309C) plantée en 2007 à une densité de 7142 Cep/ha (1,4 m de distance entre les rangs, 1 m de distance entre les ceps sur le rang) dans la parcelle de La Gourtière à Vertou en Loire-Atlantique. Les souches ont été taillées en Guyot simple et palissées en monoplan vertical.

4.2. Mise en place de l'essai

4.2.1. Parcelle d'expérimentation

La parcelle choisie pour planter l'essai est une parcelle homogène avec peu de manquants (0,5%) et une pente faible (5,2% dirigée Nord-Est vers Sud-Ouest).

Le dispositif d'expérimentation choisi est un dispositif en bloc complet. L'essai comporte 4 blocs contenant chacun 7 modalités disposées aléatoirement. Ce dispositif permet aux parcelles composant les blocs d'être les plus uniformes possibles. Le plan de l'essai a été réalisé par le logiciel StatBox.

Chaque répétition contient 14 ceps, ce qui permet d'avoir 56 ceps par modalité. Les blocs sont encadrés par des rangs de garde afin de jouer un rôle de tampon entre les modalités juxtaposées afin d'éviter le phénomène de dérive qui peut biaiser les résultats. (Annexe II)

Une fertilisation au sol a été réalisée en mars, par le viticulteur, avec l'apport d'un engrangé organique à base de fumier de volaille. Les pratiques culturales (traitements, désherbage, travail du sol...) sur la parcelle, sont également réalisées par le viticulteur. Cependant les applications des produits à tester sont réalisées par la Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique.

4.2.2. Choix des engrangés foliaires

Les produits à appliquer ont été choisis en fonction des demandes et des enquêtes réalisées auprès des viticulteurs de la région. De plus le choix se portait exclusivement sur des engrangés foliaires pouvant optimiser le rendement et non sur des engrangés foliaires à appliquer en fin de saison pour permettre une optimisation de la qualité de récolte (amélioration de la teneur en sucres, potentiel aromatique,...). Les échantillons ont été fournis par les sociétés distributrices de ces produits mais il n'existe pas de lien contractuel entre la Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique et les sociétés. La composition des produits, la quantité à l'hectare ainsi que les stades d'application se trouve dans le tableau I.

- Vivaflor : à base d’algues provenant de l’océan atlantique : *Ascophyllum nodosum*. Le filtrat issu de ces algues est riche en oligosaccharines qui vont activer les fonctions physiologiques de la plantes telles que les voies nutritionnelles ou la biosynthèse des hormones de floraison.

- Basfoliar Kelp Bio : à base d’algues provenant d’Afrique du Sud : *Ecklonia maxima* réputées pour être riche en auxine et faible en cytokinine ce qui entraînerait une stimulation de l’élargissement cellulaire et un meilleur développement des racines.

- ALD : produit non commercialisé pour le moment, contenant une fraction sélectionnée de levures permettant de booster le rendement.

- Maxifruit : C’est un engrais foliaire NPK 3-7-7 (pourcentage de chacun des composants dans l’engrais), contenant des oligoéléments. Ce produit serait un soutien à la nouaison et il aurait un impact sur le grossissement des baies.

- Fertigofol : engrais NPK contenant des oligo-éléments se rapprochant au maximum de la composition moyenne de la sève des plantes. Cet engrais améliorerait la photosynthèse et entraînerait un effet pompe pour permettre une meilleure utilisation des réserves du sol.

- Purin d’orties possède une action fertilisante mais la teneur en N, P et K n’est pas connue contrairement à un engrais « du commerce ». Il est généralement plus riche en azote qu’en potasse et contient de nombreux oligo-éléments. (Gerbeau, 2015)

4.2.3. Application des produits

Le but de cette étude est de se rapprocher au mieux des conditions d’utilisations de ces produits par les viticulteurs, afin de voir l’impact réel que ces produits pourraient avoir sur la culture. Les produits sont appliqués en fonction des recommandations fournies avec le produit, notamment au niveau des quantités et des périodes d’applications. Chaque produit a un nombre d’applications propres et les périodes d’applications sont définies en fonction du stade phénologique. (Annexe I)

La quantité de bouillie à appliquer est calculée en fonction de la dose/hectare, fournie par l’étiquette et qui peut varier en fonction des cultures sur lesquelles le produit est appliqué.

Pour connaître la quantité à apporter, il faut tout d’abord calculer la surface d’une modalité. Pour cela, il faut connaître le nombre de cep par modalité et la distance entre deux rangs : 1.4 mètre.

$$S(\text{modalité}) = 56 \times 1.4 = 78.4 \text{ m}^2 = 0.00784 \text{ ha}$$

A partir de cette donnée, on peut donc calculer la quantité de produit nécessaire par modalité.

Tableau II: Concentrations à l'hectare et quantités appliquées par modalité

Produit	Dose (L)/hectare	Quantité (mL) /modalité
Vivaflor®	2	15.68
Maxifruit®	3	23.52
ALD	4	31.36
Basfoliar Kelp Bio®	1,5	11.76
Fertigofol®	5	39.20
Purin d'orties	7.5	58.8

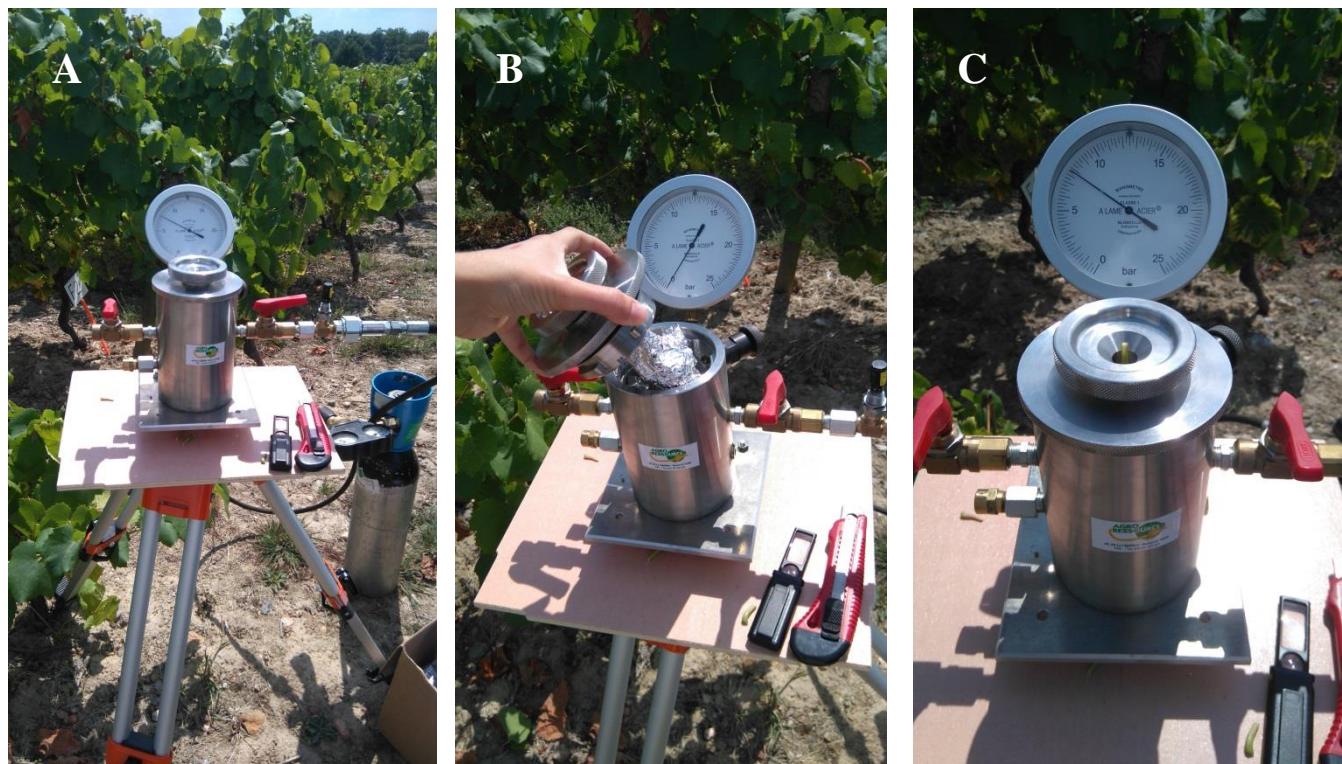


Figure 8: Chambre à pression de Scholander (A). (La Gourtière (Vertou), 18/08/2015, Paytra M.).
 Les feuilles ensachées sont introduites dans la chambre (B), elles sont ensuite soumises à une pression croissante et la mesure est lue lorsque la sève commence à perler au bout du pétiole (C).

Par exemple, prenons le cas du produit Vivaflor® :

On commence par calculer la quantité nécessaire pour une application :

$$V = \frac{2 \times 0.00784}{1} = 0.01568 L = 15.68 mL$$

On réalise par la suite, les mêmes calculs pour tous les produits (Tab.II).

L'application des produits se fera à l'aide d'un atomiseur SOLO (pulvérisation pneumatique) avec le port d'équipements de protection individuel appropriés. La température, la vitesse du vent ainsi que l'hygrométrie sont relevés en début et en fin d'application.

4.3. Suivi de la vigne

Pour chaque notation réalisée, la moyenne par répétition sera calculée et une analyse de variance sera réalisée. L'analyse de variance, ou ANOVA, est un test statistique qui permet d'étudier l'influence d'un facteur X (variable qualitative prenant plusieurs modalités) sur une variable Y. Pour cet essai, le facteur est l'apport d'engrais foliaire, qui contient 7 modalités. A la suite de cette analyse, une comparaison multiple de moyenne (Test de Newman-Keuls) sera réalisée, permettant de comparer les moyennes par paire et ainsi savoir quelle modalité diffère significativement des autres. (Labatte, 2015)

L'analyse de variance ainsi que la comparaison multiple des moyennes sera réalisée par le logiciel StatBox.

4.3.1. Suivi hydrique

Mesurer le potentiel hydrique de tige permet de connaître dans quelles conditions hydriques se situent la vigne à différents moments du cycle phénologique et peut nous aider à expliquer certains résultats si des différences apparaissent entre les traitements.

Le suivi de l'état hydrique est réalisé par mesure du potentiel hydrique de tige. Ce potentiel reflète l'état hydrique global de la vigne au cours de la journée. Une fois ensachée, la feuille ne respire plus et son potentiel hydrique s'équilibre avec celui du rameau, appelé potentiel hydrique de tige. Celui-ci dépend de la transpiration globale de la plante, de la disponibilité de l'eau dans le sol, de la conductivité hydraulique du sol et de l'interface sol/racines. Le potentiel hydrique de tige renseigne sur la capacité de la plante à conduire l'eau du sol à l'atmosphère. (Choné *et al*, 2000)

La mesure est réalisée sur 20 feuilles par modalité, ensachées pendant au moins une heure au midi solaire. Le principe est de déterminer la capacité de rétention de la sève dans la feuille en la soumettant à une pression constante. Pour cela, on utilise une chambre à pression (Fig. 8) mise au point par Scholander dans les années 60.

Lorsque la sève perle en bordure de pétiole, on relève la pression atteinte qui est proportionnelle au statut hydrique de la plante. (IFV Sud-Ouest, 2011) Les résultats donnés en Bar, sont convertis en MPa (1 Bar = 0.1 MPa) et comparer aux seuils fournis par l'IFV Sud-Ouest (vignevin-sudouest.com).

4.3.2. *Croissance*

- Croissance des rameaux

La longueur des rameaux est mesurée de manière hebdomadaire sur des 20 rameaux identifiés par modalité, se situant dans le milieu de la baguette. Ils sont mesurés jusqu'au premier rognage. La vitesse de croissance journalière (cm/jour) est calculée à partir de ces données.

- Croissance des grappes

La longueur des grappes est également mesurée, afin d'observer si l'apport d'éléments minéraux entraîne un allongement de la grappe qui amènerait à des grappes plus grandes et plus aérées. Pour cela, 40 grappes identifiées par modalités sont mesurées chaque semaine, jusqu'à la récolte. La vitesse de croissance journalière (mm/jour) est calculée à partir de ces données.

4.3.3. *Indice de vigueur*

- Teneur en chlorophylle

Au cours de cet essai, la teneur en chlorophylle foliaire est évaluée grâce à un chlorophyllemètre SPAD-502 (Konica-Minolta, Japon). Cet instrument permet d'estimer la teneur en chlorophylle de manière rapide et non destructive. Cela nous permet d'avoir un aperçu de la coloration du feuillage et d'évaluer la vigueur de la vigne. Le principe de base du SPAD-502 est la mesure de la transmittance de la feuille. Il possède deux lumières : rouge et infrarouge intégrées dans la tête de mesure (pince permettant de coincer la feuille) qui émettent de la lumière lorsque la tête de mesure est fermée.

Les lumières passent à travers la feuille et frappe le récepteur à photodiode qui les convertit en signaux électrique puis en unités analogique appelée unité SPAD (Renaud, 2005). Les valeurs fournies par l'instrument nous permettent de comparer les différentes modalités au témoin ainsi qu'à une gamme de valeurs réalisées par nos soins.

Il y a cependant un manque d'informations sur l'utilisation du SPAD-502 en vignes, il n'est donc pas possible de faire le lien avec une concentration exacte en chlorophylle.

Afin d'avoir un référentiel de mesures SPAD en fonction de la coloration du feuillage et de la vigueur de la vigne, des mesures ont été réalisées dans différentes parcelles du vignoble du Pays Nantais. Des photos du feuillage et les valeurs associées pour construire une gamme de couleur allant du vert pâle au vert foncé (Annexe IV).

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Pour chaque répétition, 20 feuilles ont été mesurées. La valeur retenue pour une feuille est la moyenne de 3 mesures réalisées en différents points de la feuille (Steele *et al*, 2010).

- **Taux de nouaison**

Calculer le taux de nouaison permet d'avoir un aperçu de la quantité de raisin pouvant se développer, en observant si la fécondation c'est bien déroulée. De mauvaises conditions météorologiques peuvent entraîner une coulure et donc une mauvaise nouaison entraînant ainsi une perte de récolte. Mesurer ainsi le taux de nouaison nous permet de comparer l'efficacité des produits vis-à-vis de la coulure.

Pour cela, un pourcentage de floraison est relevé sur 40 grappes par modalité. A la nouaison les mêmes grappes sont observées afin d'avoir un pourcentage de baies nouées.

$$\text{taux de nouaison} = \frac{\% \text{ de fruits}}{\% \text{ de fleurs}}$$

- **Diamètre de rameaux**

Mesurer le diamètre des rameaux, permet d'avoir un aperçu de la vigueur de la vigne. Ce diamètre a été estimé sur 100 rameaux par modalité, en prenant 1 ou 2 rameaux par cep se situant entre le 4ème et le 6ème rang compté à partir de la base. (Messaoudi et El Fellah, 2004). Ils sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse à la véraison, lorsque les vignes ont fini leur croissance.

4.3.4. Etat sanitaire

Il existe une relation entre la vigueur de la vigne ou intensité de croissance et la présence de maladies cryptogamiques tel que l'oïdium, le mildiou ou encore le botrytis. (Valdes, 2007) Un accès privilégié à la ressource en nutriment pourrait donc accroître la pression en maladie. Un suivi de l'état sanitaire est réalisé, afin de voir si les engrangements utilisés ont un impact sur le taux d'attaque de ces maladies.

Au vu de la faible pression de maladie sur la saison 2015, dû notamment à un climat non favorable au développement des organismes fongiques, une seule notation par maladie est réalisée.

- Oïdium et mildiou : La notation est réalisée à la fermeture de grappes sur 400 feuilles et 200 grappes par modalité.
- Au vu de la forte présence au vignoble du Black-Rot, une notation est réalisée à fermeture de grappes sur 200 grappes par modalité.
- Botrytis : un comptage sur 200 grappes par modalité est réalisé au moment des vendanges.

Pour chaque maladie, la fréquence et l'intensité d'attaque sera mesurée sur grappes et/ou feuilles.

Tableau III : Formule pour calculer le pourcentage d'un élément dans le flux de sève

Macroéléments	N	P	K	Mg	Ca
Valeurs brutes (g/L)	a	b	c	d	e
Pourcentage d'azote dans le flux de sève = $\frac{a}{a+b+c+d+e}$					

4.3.5. Analyse de sève

Les analyses de sève seront réalisées par la société Vitivista par le biais de l’Outil d’Aide à la Décision Nutrivista®. Cette société est indépendante des produits testés lors de cet essai.

4 prélèvements foliaires sont réalisés : boutons floraux séparés, floraison, nouaison et véraison (Annexe I). Une feuille (limbe + pétiole) est prélevée sur chaque cep. La feuille doit se trouver sur un rameau de la baguette et si possible, opposée à une grappe. L’analyse se fait par modalité et non par répétition, il ne sera donc pas possible de réaliser des statistiques sur les données envoyées par le laboratoire. Cette technique d’analyse va permettre d’avoir un aperçu de la dynamique d’assimilation minérale au cours de la saison et ainsi de voir s’il y a des différences dans la composition de la sève en fonction des produits appliqués. Elle ne permet cependant pas de faire une distinction entre la composition du xylème et du phloème.

Une fois récoltée, les feuilles sont envoyées au laboratoire Galys (Toulouse). Elles sont lavées en surface dans un bain d’eau puis passées au rouleau compresseur afin d’en récolter la sève et de doser différents éléments minéraux :

- Macro éléments : azote (total, ammoniacal et nitrite), phosphate, potassium, calcium et magnésium
- Oligo-éléments : fer, manganèse, bore, zinc et cuivre.

Les résultats sont envoyés sous forme de bulletin 6 à 10 jours après l’envoi des prélèvements.

Les valeurs brutes (en g/L) des éléments sont comparés à la quantité totale d’éléments, afin d’obtenir un pourcentage de présence d’un élément dans le flux de sève (Tab. III).

Ils sont ensuite comparés au témoin afin de savoir si le produit favorise le passage d’un élément dans le flux de sève par rapport aux autres.

En automne, une analyse sera également réalisée sur les sarments des ceps de vigne. Cette analyse permettra de connaître l’état de réserve des ceps.

4.3.6. Evaluation du rendement

Afin d’évaluer le rendement et de voir si il y a un effet des engrains sur la quantité de récolte, 20 ceps par modalité sont entièrement vendangés.

La récolte se fait à la main au moment des vendanges et le nombre de grappes par cep ainsi que le poids par cep sont mesurés pour déterminer le poids moyen par grappe.

Sachant que chaque répétition contient 14 ceps, le nombre total de souches par modalité est de 56. De plus, les ceps sont plantés avec une densité de 7142 ceps/ha. A partir de cela, nous pouvons calculer la surface recouverte par modalité :

$$S = \frac{56 \times 1}{7142} = 0.0078 \text{ ha}$$

On peut alors calculer pour chaque modalité, le rendement parcellaire par hectare :

$$R = \frac{\text{Poids moyen par grappe} \times \text{nombre de grappes par souche} \times \text{nombre de souches}}{\text{surface (ha)}}$$

4.3.7. Analyse de baies

Pour connaître l'impact des engrains foliaires sur la qualité de la récolte, une analyse de baies est réalisée par le laboratoire Inovalys (Vertou).

Lors des vendanges, 200 baies par modalité sont récoltées de manière aléatoire de part et d'autre du rang, en alternant leur position sur la grappe (face interne, externe, haut, bas), elles sont ensuite envoyées au laboratoire en charge de leur analyse.

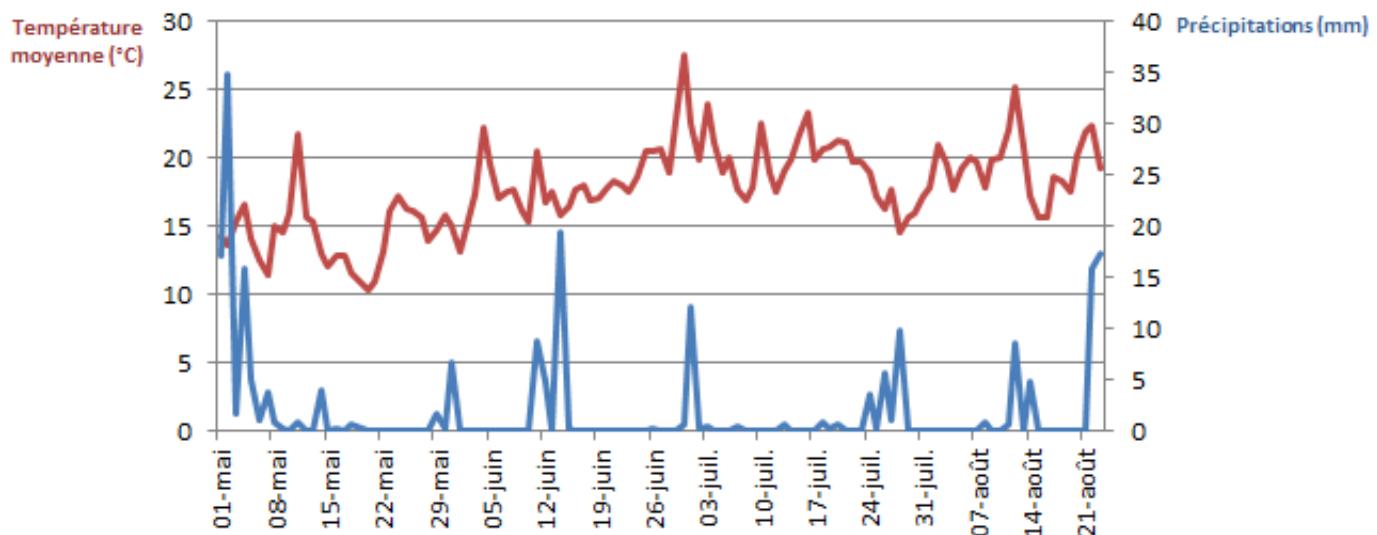
Plusieurs éléments sont analysés :

- L'acidité totale
- L'acide tartrique sur moûts
- pH
- sucres sur moûts
- acide malique sur moûts
- azote assimilable
- teneur en minéraux : P, Mg, K, B, Mn

Les résultats sont envoyés 10 jours après la récolte.

Le début des vendanges étant évalué pour se dérouler dans la première quinzaine de septembre, les résultats du rendement et de l'analyse de baies ne seront pas disponibles dans ce rapport.

Conditions météorologique pour la saison 2015 à St-Lumine-de-Clisson (44190)



Suivi du potentiel hydrique de tige

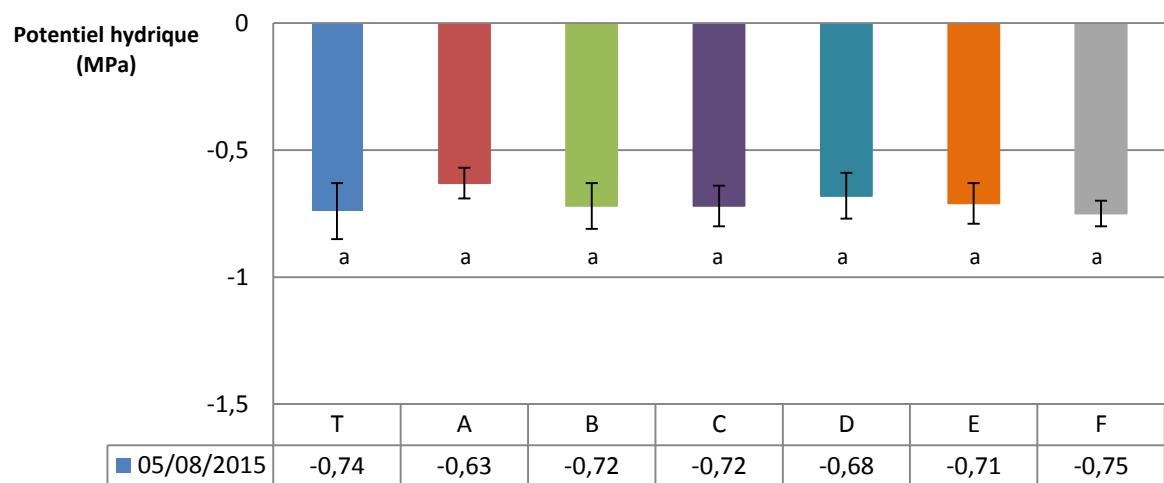


Figure 10: Potentiel hydrique moyen mesuré pour chaque modalité.

Chaque donnée correspond à une moyenne de 20 mesures réalisées grâce à la chambre à pression. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

Tableau IV: Seuils des potentiels hydriques et leurs conséquences vis à vis de la contrainte hydrique

Seuils	Conséquences
-0,6 MPa < X	Contrainte hydrique absente
-0,9 MPa < X < -0,6 MPa	Contrainte hydrique faible
-1,1 MPa < X < -0,9 MPa	Contrainte hydrique faible à modérée
-1,4 MPa < X < -1,1 MPa	Contrainte hydrique modérée à sévère
X < -1,4 MPa	Contrainte hydrique sévère

5. Résultats

5.1. Les Conditions climatiques à la parcelle

Avant toute analyse de résultats, il est important de connaître les conditions dans lesquelles la vigne s'est développée au cours de cette saison 2015, en analysant les conditions climatiques et les résultats du suivi hydrique.

Les données météorologiques utilisées pour cette expérimentation proviennent de la station météorologique de St-Lumine-de-Clisson se situant à 17 Km au sud-est de la parcelle d'expérimentation.

Les conditions climatiques pour cette année 2015 sont présentées dans la figure 9. Elles ont été propices à un bon développement de la vigne avec des chaleurs élevées pendant l'été et de faibles précipitations. La comparaison du climat 2015 au climat moyen enregistré sur la ville de Nantes est disponible en annexe III. La vigne a moins de difficultés que certaines cultures pour se développer lors de périodes chaudes, cependant une exposition prolongée à de fortes chaleurs sans apport d'eau pourront lui être dommageable. Des symptômes de stress hydrique (jaunissement des feuilles de la base des rameaux) ont été aperçus sur des jeunes vignes dans le vignoble nantais courant juillet. La mise en place d'un suivi du potentiel hydrique de tige permet de connaître les conditions hydriques dans lesquelles se trouve la parcelle d'expérimentation et de pouvoir éventuellement comprendre si des différences apparaissent entre les modalités dans les résultats présentés ci-après.

Suite à de légers problèmes logistiques liés à la mise en place de l'expérimentation et au délai de livraison, les premiers résultats n'ont été mesurés qu'au début du mois d'août. Les résultats sont présentés dans la figure 10. L'analyse statistique réalisée indique qu'il n'y a pas de différences significatives entre les modalités. La disponibilité en eau du sol semble homogène sur toute la parcelle d'expérimentation. De plus si l'on compare ces données aux seuils (Tab. IV) fournis par l'Institut Français de la Vigne et du Vin du Sud-ouest (vignevin-sudouest.com), la contrainte hydrique est faible sur la parcelle. Toutes les conditions sont réunies pour un bon développement de la vigne. Un problème de matériel ainsi que l'apparition de pluies n'ont pas permis de réaliser d'autres notations (conditions à la réalisation des prélèvements : pas de précipitations dans les 4 jours avant la mesure et réalisation des mesures par temps clair (IFV, vignevin-sudouest.com).

Vitesse de croissance journalière moyenne des rameaux au cours de la saison 2015

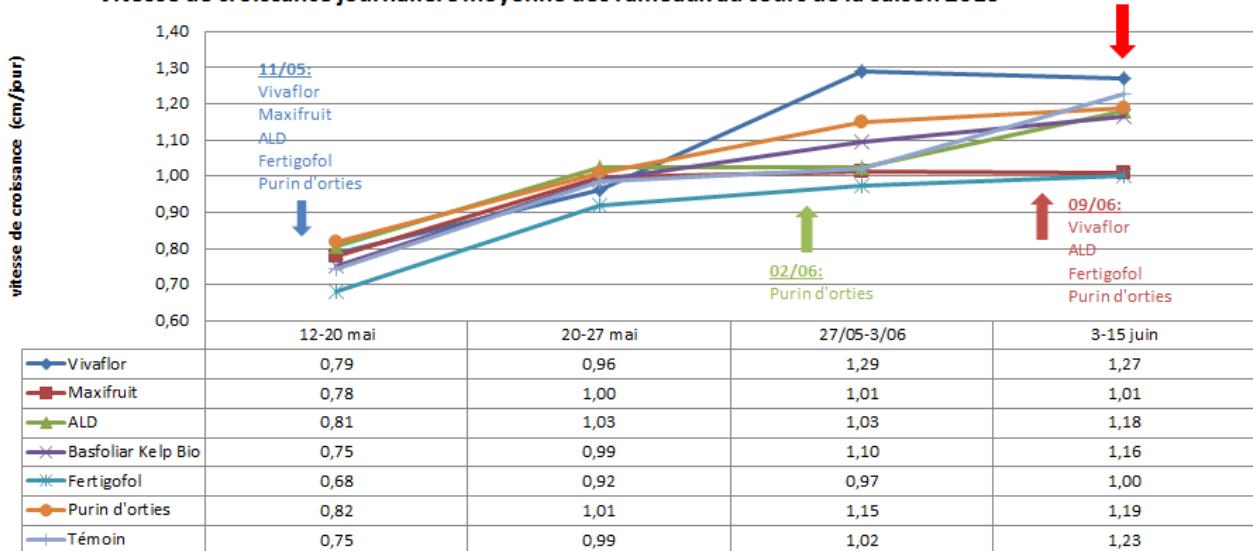


Figure 11: Vitesse de croissance journalière (cm/jour) des rameaux à différentes dates et en fonction des différentes modalités. Chaque point représente la vitesse de croissance calculée à partir de la moyenne de 20 mesures effectuées à deux dates différentes. Les flèches représentent les applications des différents produits ainsi que le rognage. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

Vitesse de croissance journalières moyenne des grappes au cours de la saison 2015

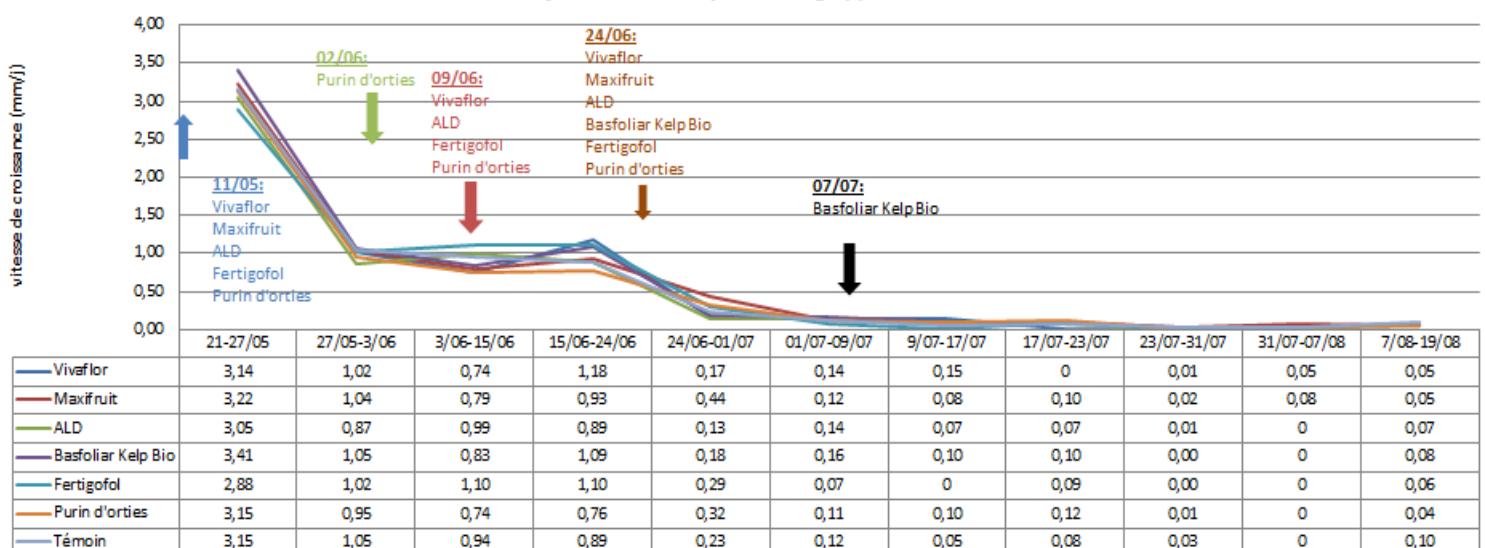


Figure 12: Vitesse de croissance journalière (mm/jour) des grappes à différentes dates et en fonction des différentes modalités.

Chaque point représente la vitesse de croissance calculée à partir de la moyenne de 40 mesures effectuées à deux dates différentes. Les flèches représentent les applications des différents produits ainsi que le rognage. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

Taux de nouaison pour la saison 2015

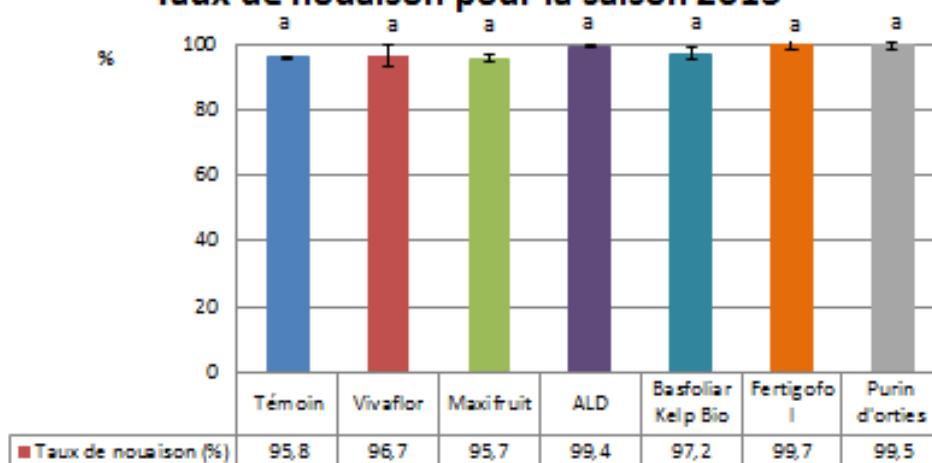


Figure 13: Taux de nouaison des différentes modalités.

Chaque donnée correspond à la moyenne du rapport du pourcentage de fruits/pourcentage de fleurs effectué sur 40 grappes. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

5.2. Croissance de la vigne

La croissance de la vigne est liée à de multiples paramètres en interaction : le climat, l'âge, le couple greffon/porte-greffe, le sol etc... Suivre la croissance de la vigne au cours de la saison permet de voir si un de ces paramètres a eu un effet à un instant T et si les engrains foliaires ont pu contrebalancer une chute de vitesse de croissance. Les résultats obtenus pour la saison 2015 sont présentés dans les figures 11 et 12 pour la croissance des rameaux et des grappes respectivement.

Les statistiques réalisées sur vitesse de croissance journalière moyenne des rameaux, indique qu'il n'y a pas de différences significatives entre les modalités. Le fait d'appliquer les engrains foliaires ne permet pas d'avoir une croissance plus rapide des rameaux. En moyenne les rameaux ont grandi de 0.77 cm/jour lors de la première semaine de notation jusqu'à atteindre une vitesse de croissance de 1,15cm/jour un mois plus tard avec des longueurs pouvant atteindre jusqu'à 107cm.

Si l'on observe maintenant la croissance des grappes, la même conclusion se profile. Les modalités ayant reçues de l'engrais foliaire possèdent des grappes ayant une taille non significativement différente aux grappes de la modalité témoin. Le graphique peut être découpé en quatre parties : en début de saison lorsque les boutons floraux se séparent, la croissance est très rapide (moyenne maximale de 3,41mm/jour) puis la vitesse de croissance décroît rapidement. Un premier plateau est atteint correspondant à la floraison, la vitesse de croissance reste constante pendant plusieurs semaines (en moyenne les grappes prennent 0.95mm/jour). S'ensuit à nouveau une diminution de la croissance pour atteindre un second plateau à la fermeture de grappes. A ce moment-là, la vitesse de croissance des grappes est quasiment nulle. Les grappes mesurées plafonnent à une taille allant de 14 à 15 cm. On remarque une légère ré-augmentation de la vitesse de croissance lors de la dernière notation, en pleine véraison (moyenne maximale de 0.10mm/jour).

5.3. Indice de vigueur

- Taux de nouaison

La nouaison est une étape clé pour obtenir un bon rendement. En effet, c'est à ce moment-là que les baies nouent, c'est-à-dire que les fleurs fécondées évoluent en fruits. Si les conditions climatiques sont mauvaises (humide et froid), on risque d'observer un phénomène de coulure : les fleurs non fécondées vont tomber, ce qui aboutit à une perte de récolte (Bessim, 1992).

Les résultats (Fig. 13), non significativement différent indiquent que la nouaison s'est bien déroulée. En effet pour toutes les modalités, environ 95 à 99% des fleurs ont nouées en fruits, ce qui augure un très bon rendement.

Indice SPAD corrélé au taux de chlorophylle dans la feuille relevé à différentes dates

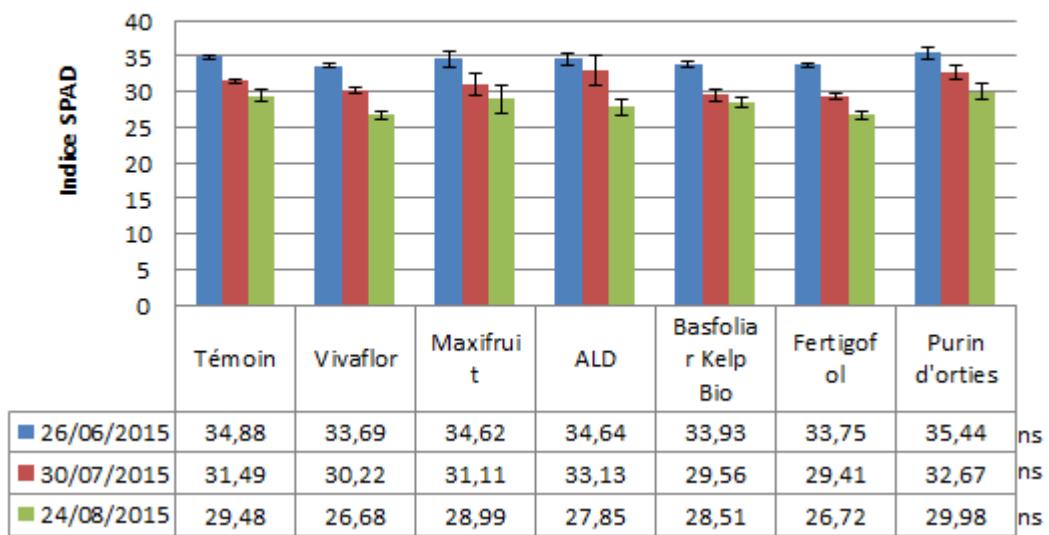


Figure 14: Indices SPAD relevés pour chaque modalité à différents dates. Chaque donnée représente une moyenne de 80 mesures, chaque mesure étant elle-même une moyenne de 3 relevés en différents points de la feuille. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

Tableau V: Diamètre moyen des rameaux (cm) en fonction des différentes modalités

Modalités	Diamètre moyen des rameaux (cm)
Vivaflor	0,73 ns
Maxifruit	0,78 ns
ALD	0,76 ns
Basfoliar Kelp Bio	0,77 ns
Fertigofol	0,75 ns
Purin d'orties	0,81 ns
Témoin	0,77 ns

ns : non significativement différents à 0.05% (Test de Newman-Keuls)

- **Taux de chlorophylle**

Le SPAD 502 est encore très peu utilisé en viticulture et chaque cépage est différent. Les résultats présentés en figure 14 ne sont pas comparables aux quelques données pouvant exister dans la littérature. Il n'y a pour le moment pas de corrélation établie entre l'indice SPAD fourni par l'instrument et la quantité réelle de chlorophylle présente dans les feuilles pour le cépage Melon de Bourgogne.

Une gamme de valeurs SPAD a tout d'abord été réalisée pour ce cépage. Les données ont été récupérées sur des parcelles proches de la parcelle d'expérimentation afin d'avoir un climat semblable. La gamme de valeurs ainsi créée est disponible en annexe IV.

De cette première recherche nous avons pu voir que les ceps portant des feuilles avec des indices inférieurs à 20 semblent moins vigoureux et que les ceps avec des feuilles ayant des indices supérieurs à 35 sont fortement vigoureux, très vert et ont bien souvent un feuillage plus important.

Les statistiques réalisées sur les valeurs SPAD recueillies sur l'essai indiquent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les modalités. Les valeurs mesurées semblent cependant diminuer au fur et à mesure que la saison avance. En comparant ces données à celles de la gamme, on peut conclure que les ceps sont vigoureux avec des valeurs mesurées oscillant entre 26,68 et 35,44 unités SPAD.

- **Diamètre des rameaux**

Mesurer le diamètre des rameaux peut apporter un indice sur le niveau de vigueur de la parcelle. Le fait d'apporter des éléments nutritifs, pourrait entraîner un développement plus important des sarments.

Pour un rameau, plus le diamètre est important, plus le cep est plus vigoureux. A dire d'experts, la référence représente le diamètre d'un crayon de papier (0.8cm). D'après les résultats obtenus (Tab.V) et les statistiques réalisées, il n'y a pas de différences entre les modalités. De plus, la comparaison avec la taille de référence, indique que l'application d'engrais foliaires, quel qu'il soit, n'entraîne pas d'augmentation du diamètre des sarments. Il semble donc que la parcelle garde une vigueur dite « normale » malgré l'application d'engrais foliaire.

Fréquence et intensité d'attaque de mildiou sur feuilles et sur grappes au 22/07/2015

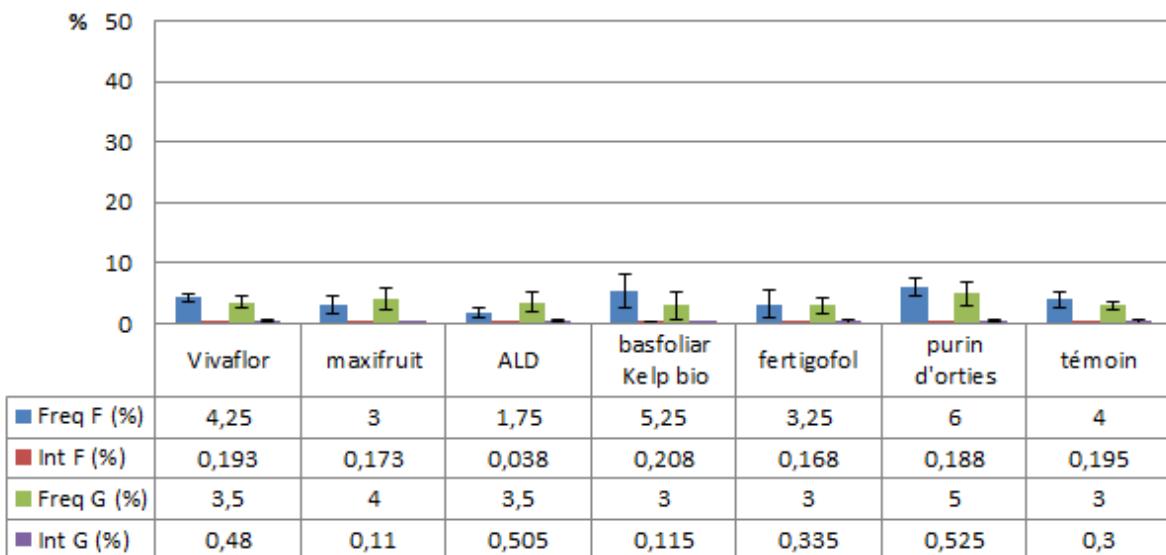


Figure 15: Fréquences et intensités d'attaque de mildiou sur feuilles et sur grappes en fonction des différentes modalités. Notation réalisée le 22/07/2015. Freq F : moyenne du nombre de feuilles attaquées sur 400 ; Int F : moyenne du pourcentage de surface foliaire attaquée ; Freq G : moyenne du nombre de grappes attaquées sur 200 ; Int G : moyenne du pourcentage de surface de la grappe attaquée. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

Fréquence et intensité d'attaque de oïdium sur grappes au 22/07/2015

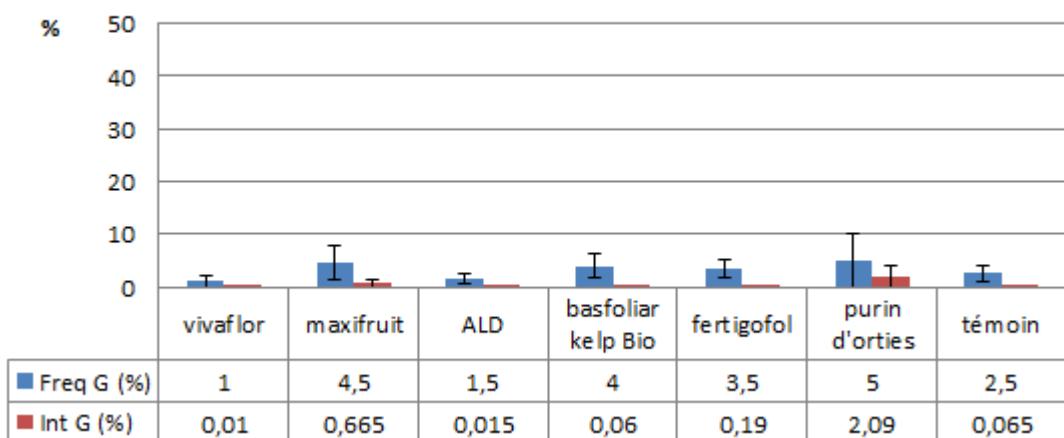


Figure 16: Fréquences et intensités d'attaque d'oïdium sur grappe en fonction des différentes modalités. Notation réalisée le 22/07/2015. Freq G : moyenne du nombre de grappes attaquées sur 200 ; Int G : moyenne du pourcentage de surface de la grappe attaquée. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

Fréquence et intensité d'attaque du Black-Rot sur grappes au 29/07/2015

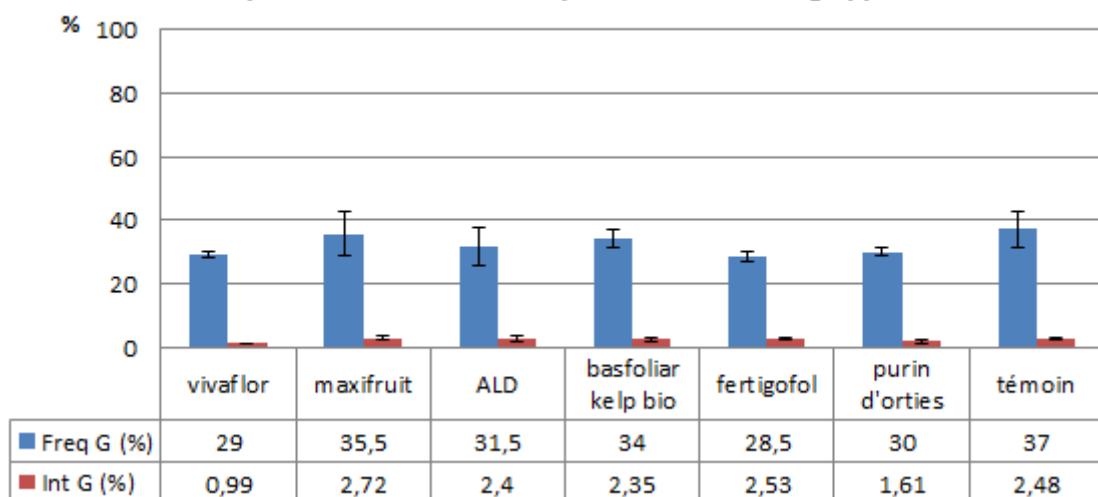


Figure 17 : Fréquences et intensités d'attaque de Black-Rot sur grappe en fonction des différentes modalités. Notation réalisée le 29/07/2015. Freq G : moyenne du nombre de grappes attaquées sur 200 ; Int G : moyenne du pourcentage de surface de la grappe attaquée. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

5.4. Etat sanitaire

Une plus forte vigueur est souvent accompagnée d'attaques de maladies plus intenses. En effet, cela va entraîner une surface de feuillage plus importante, formant un microclimat au niveau des grappes et une mauvaise aération de celles-ci.

Avec un climat plutôt sec pour cette année 2015, la pression des maladies a été amoindrie. Un risque important était prévu pour cette année, dû à un hiver chaud synonyme de maintien des populations microbiennes. Cependant les pluies s'étant faites assez rares, les contaminations sont restées faibles. La faible pression au sein de la parcelle, autant sur le témoin que sur les modalités traitées, a permis de ne réaliser qu'une seule notation.

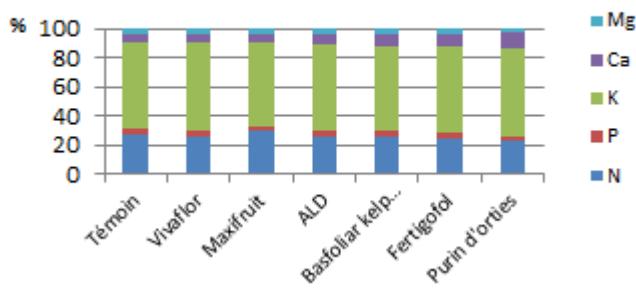
Les données relevées sur la fréquence et l'intensité des symptômes de mildiou le 22 juillet 2015 (Fig. 15), ne présentent pas de différences significatives entre les modalités, ni sur les feuilles, ni sur les grappes. De plus la fréquence et l'intensité d'attaque sont relativement faibles : en moyenne, 4% des feuilles sont touchées et 3.5% des grappes avec des intensités ne dépassant pas les 1% sur les deux organes.

Pour l'oïdium, seul les résultats obtenus sur grappes sont présentés (Fig. 16), car aucune tâche n'a été observée sur le feuillage. Les statistiques indiquent qu'il n'y a aucune différence significative en fréquence comme en intensité entre les modalités. La pression d'attaque est faible avec des moyennes maximales de 5% de grappes touchées et une intensité maximale de 2,09%.

Cette année, le vignoble Nantais s'est trouvé confronté à une augmentation de la pression de Black-rot, assez faible les autres années. Des symptômes ayant été observés au sein de l'essai, une notation a été réalisée. Les résultats sur grappes sont présentés en figure 17. On remarque dans un premier temps que la pression d'attaque est plus importante que pour le mildiou ou l'oïdium : jusqu'à 37% des grappes touchées. Mais l'intensité d'attaque reste à des niveaux faibles avec une moyenne maximale de 2,72% de la grappe touchée.

Une notation botrytis est prévue dans les quelques jours précédents les vendanges, elle ne peut donc être présentée dans ce présent rapport.

A Proportion des macro-éléments dans le flux au stade Boutons Floraux Séparés



B Proportion des oligo-éléments dans le flux au stade Boutons Floraux Séparés

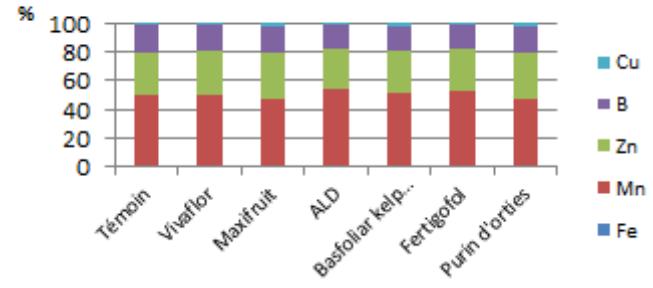
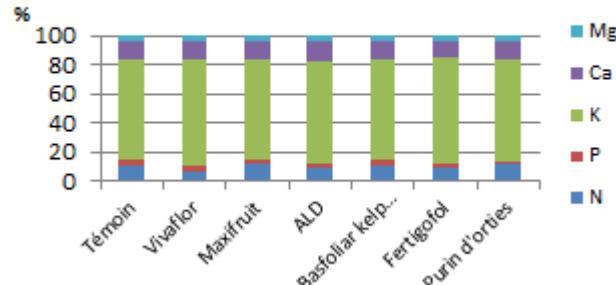


Figure 18: Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève au stade Boutons Floraux séparés. Le prélèvement foliaire a été réalisé le 20/05/2015. Les données présentées sont calculées en fonction de la quantité d'élément/somme de tous les éléments de la même famille afin de donner un pourcentage d'occupation de la sève vis-à-vis des autres éléments. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

A Proportion des macro-éléments dans le flux à floraison



B Proportion des oligo-éléments dans le flux à floraison

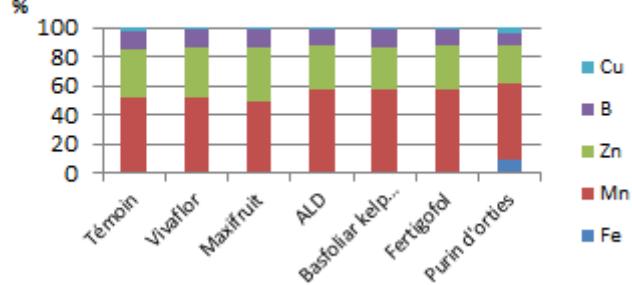
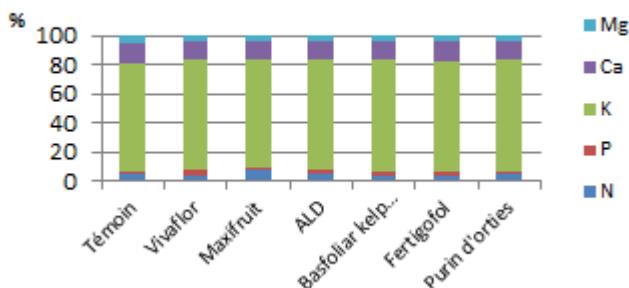


Figure 19: Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève à Floraison ; Le prélèvement foliaire a été réalisé le 16/06/2015. Les données présentées sont calculées en fonction de la quantité d'élément/somme de tous les éléments de la même famille afin de donner un pourcentage d'occupation de la sève vis-à-vis des autres éléments. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

A Proportion des macro-éléments dans le flux de sève à nouaison



B Proportion des oligo-éléments dans le flux de sève à nouaison

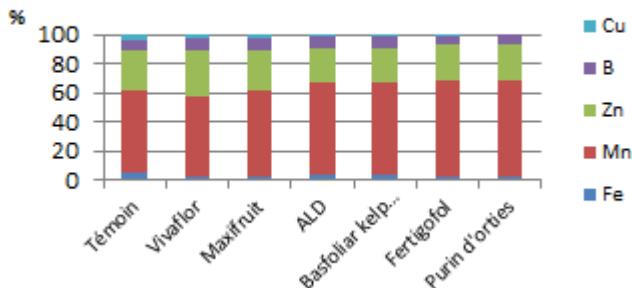
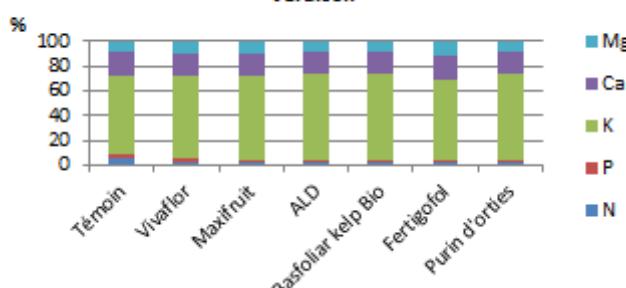


Figure 20: Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève à la Nouaison. Le prélèvement foliaire a été réalisé le 30/06/2015. Les données présentées sont calculées en fonction de la quantité d'élément/somme de tous les éléments de la même famille afin de donner un pourcentage d'occupation de la sève vis-à-vis des autres éléments. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

A Proportion des macro-éléments dans le flux de sève à véraison



B Proportion des oligo-éléments dans le flux de sève à véraison

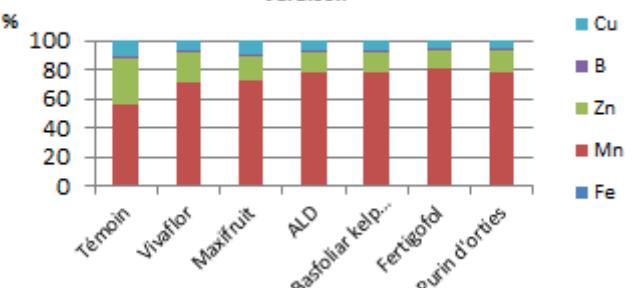


Figure 21: Proportion des macroéléments (A) et des oligoéléments (B) dans le flux de sève à Véraison. Le prélèvement foliaire a été réalisé le 11/08/2015. Les données présentées sont calculées en fonction de la quantité d'élément/somme de tous les éléments de la même famille afin de donner un pourcentage d'occupation de la sève vis-à-vis des autres éléments. Il n'existe aucune différence significative d'après le Test de Newman-Keuls (0,05)

5.5. Analyse de sève

L'analyse de sève est réalisée à 4 temps différents du cycle de la vigne. Pour les trois premières analyses réalisées au stade boutons floraux séparés (Fig. 18), à floraison (Fig. 19) et à nouaison (Fig. 20), le prélèvement foliaire a été réalisé une semaine après l'application des produits. Le dernier prélèvement a été quant à lui, réalisé à véraison (Fig. 21), permettant ainsi de faire un point au début de la maturation des raisins.

Deux grandes familles d'éléments sont analysées : les macroéléments et les oligo-éléments. Le choix a été fait de présenter ces éléments selon leur proportion dans le flux de sève (sans distinction du xylème et du phloème). Pour chaque analyse, une cohérence est observable entre les modalités vis-à-vis des proportions de chaque élément. De plus, il ne semble pas y avoir de différence entre les modalités aux différentes étapes clés du cycle de la vigne.

Cette analyse est intéressante, car elle nous permet de visualiser l'évolution des éléments dans la sève au cours de la saison. Il est ainsi observé que la proportion d'azote dans le flux de sève diminue à chaque analyse. Prenons comme exemple le Maxifruit : à boutons floraux séparées, l'azote occupait jusqu'à 29,5% du flux de sève tandis qu'il n'est plus qu'à 2,25% à la véraison. L'azote considéré ici est l'azote total.

Pour l'ensemble des modalités, le niveau de magnésium est assez faible surtout s'il est comparé au potassium, son antagoniste. Quelques symptômes de carence magnésienne induite sont apparus dans l'essai au cours du mois de juillet. Le bore à tendance à diminuer au cours de la saison tandis que le cuivre augmente et atteint des niveaux acceptables (d'après les résultats fournis par le laboratoire Galys) en fin de saison (8,9% du flux de sève pour le Maxifruit à véraison contre 2,5% au stade boutons floraux séparés). Tout au long de la saison, le fer se situe à des niveaux très bas, cependant on remarque une légère augmentation de cet élément dans la modalité purin d'orties qui passe de 0,1% pour le Maxifruit au stade boutons floraux séparés à 9,8% à la nouaison. La différence observée pour le purin d'ortie à Floraison n'est cependant plus observable dans les stades suivants. Pour les oligoéléments, le flux de sève à tendance à se charger en manganèse et en cuivre au cours de la saison, au détriment des autres oligoéléments.

6. Discussion

6.1. Croissance de la vigne

Les résultats obtenus pour la croissance de la vigne, que ce soit pour la taille des rameaux ou pour la taille des grappes ne nous permettent pas de conclure sur un quelconque effet des produits sur la croissance de ces éléments. Toutefois on peut remarquer que dans l'ensemble la croissance de la vigne est homogène et que si une différence apparaît sur le rendement elle ne pourra être due à une différence de croissance.

La croissance des rameaux est restée soutenue jusqu'au premier rognage. Cette augmentation de la vitesse au cours de la saison peut être due aux conditions météorologiques propices à un bon développement de la vigne avec un mois de juin particulièrement chaud. De meilleures conditions pour une photosynthèse réussie entraînent une meilleure croissance des organes végétatifs de la vigne. Il aurait pu être intéressant de couper le dernier rameau de la baguette sur le fil du bas et de l'attacher régulièrement pour lui éviter d'être rogné afin de continuer à suivre la croissance des rameaux tout au long de la saison (Tregot, 2002). Les ceps n'étant séparés que d'un mètre et les rameaux atteignant de grande taille, enroulé un rameau sur le fil devient rapidement compliqué et risque de poser des problèmes pour le viticulteur pour l'entretien de la parcelle.

Pour les grappes, la croissance ne s'est pas faite de manière continue, avec une diminution de la vitesse de croissance au cours de la saison. Une croissance rapide est tout d'abord observée au début de la saison, lorsque les grappes commencent à se développer. La floraison a débuté dans la parcelle dans les premiers jours du mois de juin. Cette étape s'est accompagnée d'une stagnation de la vitesse de croissance. On peut émettre l'hypothèse qu'à ce moment-là, la vigne utilise ses réserves dans le but d'avoir une bonne fécondation et laisse de côté la croissance de ses grappes. A la mi-juin, la vitesse de croissance diminue et cette période correspond à la nouaison. Il semble que la rafle des grappes ait atteint sa taille définitive durant la nouaison et que l'augmentation observée correspond au grossissement des baies. Le second plateau correspondant à une vitesse de croissance quasi nulle, apparaît au moment de la fermeture de grappe. Les raisins ne grossissent plus ou très peu et attendent la véraison. On voit apparaître dans la dernière notation une légère augmentation de la croissance de la grappe dû à la période de maturité des raisins. C'est à ce moment-là que les raisins vont se gorger d'eau et de sucres et donc reprendre du poids ce qui se manifestera par un léger allongement de la grappe.

Cette notation est intéressante pour comprendre l'évolution de la croissance des grappes et également pour voir si les ceps croissent de manière continue.



Figure 22: photos d'une grappe millerandée. (La Gourtière (Vertou), 18/08/2015, Paytra M.)
Les petits grains ne se développeront pas suite à une mauvaise fécondation.

Vis-à-vis des engrais foliaires utilisés, deux hypothèses apparaissent : les engrais foliaires n'ont pas d'impact sur la croissance des rameaux et des grappes mais cette conclusion semble légèrement prématuée, ou bien nous avons un effet du climat, avec une année particulièrement ensoleillée, et une croissance à son maximum d'où une inefficacité des engrais. Il est cependant trop tôt pour conclure et ici, apparaît la nécessité de poursuivre cette expérimentation sur plusieurs années afin de déduire s'il existe un effet millésime ou non.

6.2. Indice de vigueur

- Taux de nouaison :

Les résultats et l'observation des grappes montrent que la fécondation s'est très bien déroulée sur l'ensemble de la parcelle. Très peu de phénomène de coulure ont pu être observés. La coulure est un phénomène naturel qui peut être accentué lorsque les conditions climatiques à la floraison sont défavorables (froid, pluie..) entraînant ainsi un maintien du capuchon floral et ainsi une non fécondation. Cette année les conditions climatiques ont permis d'éviter au maximum ce désagrément. Les valeurs présentées dans ce rapport sont approximatives. En effet, il était convenu en début de saison de compter précisément le nombre de fleurs puis le nombre de baies nouées présentes sur une grappe identifiée. Cependant, au vu des charges importantes en fleurs, le dénombrement n'était pas réalisable, la notation s'est donc faite sur des pourcentages de floraison et de nouaison. Le dénombrement des fleurs et des baies auraient également pu être réalisé après décrochage de la grappe et dénombrement au laboratoire fleurs par fleurs mais cela entraînait la perte de la grappe et le dénombrement des baies n'aurait pas pu être réalisé sur la même grappe, ce qui aurait faussé les résultats.

De plus, le Melon de Bourgogne est un cépage peu sensible à la coulure. Pour voir le réel effet des engrais foliaires sur la floraison et notamment sur la coulure, il aurait pu être intéressant de tester ces produits sur des cépages plus sensibles à la coulure comme le chasselas ou le merlot (Carbonneau, 2015), mais ces cépages sont difficiles à trouver en Loire-Atlantique.

Il faut savoir qu'une fois la nouaison réalisée, le rendement n'est pas définitif. En effet, il est possible de voir des phénomènes de millerandage (Fig.22). Cela se traduit par des grains plus petits qui ne se développent pas suite à une mauvaise fécondation. Il a été décidé pour cet essai de ne pas évaluer le taux de millerandage, la notation du nombre de grains millerandés sur le nombre de grains total étant trop fastidieuse au vu des charges importantes sur les inflorescences. L'impact du millerandage sera tout de même visible lors des pesées de récoltes.

Dans ces deux cas, coulure et millerandage, un excès de vigueur peut favoriser ces phénomènes. L'alimentation en sucres des inflorescences devient alors insuffisante au profit de la croissance des rameaux. (Murisier et Koblet, 1990).

Cette notation permet de faire un point au moment de la nouaison, d'évaluer la vigueur des ceps mais également de visualiser le potentiel de récolte.

- Taux de chlorophylle

Le suivi des indices SPAD est un bon indicateur de la vigueur de la parcelle. Cela permet de situer les différentes modalités en fonction de la gamme réalisée à partir de différentes teintes du feuillage. Le fait d'avoir un feuillage foncé révèle une forte teneur en azote et donc une intense activité photosynthétique.

Il faut cependant faire attention à ne pas avoir une trop forte concentration en azote qui favoriserait la croissance des éléments végétatifs au détriment de la maturation qualitative des baies. Peu de données sont disponibles dans la littérature sur l'utilisation du SPAD-502 sur vignes. Les auteurs Porro D *et al*, 2001 ont montré que les valeurs obtenues par le SPAD-502 sont corrélées de façon significative avec les concentrations en azote et en phosphore dans les feuilles de vigne. Cependant, cette corrélation diminue à partir de la véraison jusqu'à la récolte. La mesure des indices chlorophylliens semble donc être intéressante pour connaître le statut azoté et phosphoré des ceps avant la véraison. Un plus serait de réaliser une gamme étalon en fonction des indices de SPAD-502 et des mesures sur ces mêmes feuilles des concentrations en azote et phosphore. Cependant la mesure de ces différents éléments auraient un coût supplémentaire (non budgétisé) pour cette expérimentation mais permettrait d'avoir des données avec lesquelles comparer les données de terrain.

Les résultats du SPAD-502 pour cette année nous indiquent que la vigne se porte bien et qu'elle est assez vigoureuse. L'appareil permet d'analyser la verdeur des feuilles, il sera intéressant pour les prochaines années de faire des mesures dans les 24h à 48h suivant l'application des produits. En effet, certains produits sont réputés pour reverdir le feuillage entraînant ainsi une meilleure photosynthèse. On peut émettre l'hypothèse que s'il existe des différences entre les modalités, elles seront observables rapidement après l'application des produits. Ce suivi n'a pas pu être réalisé cette année suite à un envoi tardif du SPAD-502.

6.3. Etat sanitaire

Il existe une relation entre la vigueur de la vigne et sa sensibilité aux maladies cryptogamiques (mildiou, oïdium, botrytis) (Valdes, 2007). On peut émettre l'hypothèse qu'un apport d'engrais foliaires complémentaires à l'apport au sol entraînerait une plus forte vigueur et donc une sensibilité accrue aux maladies.

Les résultats obtenus lors des notations des différentes maladies ne vont pas dans le sens de cette hypothèse. En effet, les fréquences d'attaque pour le mildiou et l'oïdium sont faibles et un peu plus élevées pour le Black-Rot.

Il faut cependant comparer ces résultats aux données de vigueur et aux conditions climatiques : les modalités semblent avoir une vigueur similaire et la pression en maladie est assez faible, conséquence des fortes chaleurs et d'un manque de pluie et potentiellement lié à une protection phytosanitaire suffisante.

Des différences pourront éventuellement être observées lors de la notation du Botrytis mais il n'est pas possible pour cette première année de conclure sur un impact des produits sur la sensibilité de la vigne aux maladies cryptogamiques que sont le mildiou, l'oïdium et le black-rot.

6.4. Analyse de sève

L'analyse de sève est un outil pertinent pour le suivi en temps réel de la dynamique d'assimilation de différents éléments par la vigne. Au vu des résultats, l'application d'engrais foliaires contenant des concentrations variables en éléments minéraux, n'a pas entraîné de modification dans le flux de sève. On pourrait penser au contraire, que ces éléments se seraient retrouvés dans le flux de sève. Une question se pose alors : Les produits ont-ils pénétrés correctement dans les feuilles ? Les températures rencontrées cette année sont-elles responsables d'une diminution de l'ouverture des stomates, lieu d'entrée des produits ? Cependant, d'après les résultats obtenus pour le potentiel hydrique, la vigne n'est pas en stress hydrique elle est donc en capacité de transpirer et d'ouvrir ses stomates. On peut émettre l'hypothèse que le fait de prélever les feuilles une semaine après l'application ne permet peut-être pas de voir le passage des éléments dans le flux de sève. En effet, la pénétration des produits se fait dans les 24h à 48h après application. Au bout d'une semaine, les éléments ajoutés par voie foliaire ont pu être dilués dans le flux de sève et une différence entre les modalités n'est donc pas observable.

Les différences entre modalités ne sont pas observables mais nous avons néanmoins des variations propres à chaque élément au cours de la saison. Il a été observé que les proportions de cuivre et de manganèse dans la sève ont augmenté au cours de la saison. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette augmentation. Tout d'abord on peut penser que ces éléments proviennent du sol et qu'ils sont absorbés de façon croissante au cours de la saison. Cette hypothèse pourra être analysée de plus près lorsque l'analyse de terre sera réalisée. L'explication la plus plausible reste tout de même l'application de produits phytosanitaire contre le mildiou, l'oïdium et le Black-Rot. En effet, au vu du calendrier de traitement fourni par le viticulteur, une dose croissante de Manconyl (nom commercial du produit phytosanitaire) a été apportée tout au long de la saison. Le Manconyl contient comme matière active le mancozèbe ayant pour formulation $C_8H_{12}MnN_4S_8Zn$ (www.csst.qc.ca) ce qui pourrait expliquer l'augmentation de manganèse. Il a également appliqué du cuivre pour lutter contre le mildiou en fin de campagne. Cette application a été réalisée le 22 juillet 2015, cela pourrait expliquer la forte progression du cuivre dans le flux de sève lors du dernier prélèvement réalisé le 11 août 2015. Ou dernière hypothèse, le travail fait par le laboratoire de lavage des feuilles n'a pas été suffisant.

Pour ce qui est des symptômes de carence magnésienne qui sont observables, on peut émettre que la forte proportion de potassium dans le flux de sève empêche l'absorption correcte du magnésium ou bien il y a un taux faible de magnésium disponible dans le sol. Le Bore quant à lui semble avoir diminué au cours de la saison, cependant il intervient principalement pendant la floraison en jouant un rôle dans la fécondation (Carboneau, 2015). Au vu des données fournies par le laboratoire, la concentration de bore au moment de la floraison était optimale ce qui peut jouer sur le fait que peu de coulure a été observée.

Pour comprendre les différences des proportions d'azote au cours de la saison, comparons nos résultats à ceux obtenus par Dubernet M. *et al* en 2015. Tout d'abord, il faut savoir que l'azote total mesuré par cette méthode comprend l'azote structurel présent dans le pétiole et la feuille (principalement la RuBisCO, enzyme de la photosynthèse), le flux d'azote assimilé par la plante mais également le flux des éventuels effets de déprotéénéisation. L'analyse réalisée par Dubernet M montre que l'azote pétioinaire est à son maximum dans les stades printaniers et qu'il diminue dans la saison. Cette analyse va dans le sens de nos résultats. L'hypothèse donnée par Dubernet pour expliquer ces différences d'assimilation d'azote dans le temps est qu'au printemps l'humidité et les températures permettent le fonctionnement biologique du sol et la minéralisation de la matière organique entraînant une forte assimilation par la vigne. En été, au contraire, le fonctionnement des sols est beaucoup plus limité par la chaleur et le dessèchement des zones de surface. Il sera intéressant au fil des années d'observer le flux d'azote en fonction des produits mais également des conditions météorologiques : un printemps plus froid limitera le fonctionnement du sol, les teneurs en azote seront alors plus faibles et la croissance ralentie. Ces résultats d'analyse de sève seront alors à comparer avec les indices SPAD, mais également avec les données sur la croissance et la vigueur de la vigne. L'assimilation de l'azote au printemps est déterminante pour la vigne, elle va conditionner le développement de la surface foliaire mais également le bon développement des racines ce qui influera sur l'assimilation des autres éléments.

L'analyse de sève mais également l'observation du feuillage indiquent quelques carences dans la parcelle, qui ne semblent pas pouvoir être comblés par la seule application d'engrais foliaire. Afin de mieux comprendre, une analyse de terre est primordiale pour obtenir des informations sur la disponibilité des éléments dans le sol mais également sur la structure du sol et donc sur la faculté des racines à l'explorer. Cette analyse de sol sera réalisée en automne lorsque les sols seront moins secs.

Conclusion et perspectives pour le projet Vign'Alim

Cette première année d'expérimentation sur les engrais foliaires avait pour but de mesurer l'effet de ces produits sur le rendement en vigne et d'évaluer leur performance. Cette année avait également pour but la mise en place de la plateforme d'expérimentation : trouver la parcelle et les produits à tester, évaluer la réalisation des notations: leur récurrence, la durée de notation, les difficultés rencontrées.

Un certain nombre de notations ont été réalisées afin d'évaluer tous les aspects physiologiques de la vigne, que ce soit la croissance, la vigueur, la sensibilité aux maladies mais également les teneurs en éléments dans le flux de sève. Les résultats associés à ces mesures, ne nous permettent pas pour cette première année de conclure sur un effet des produits. Plusieurs hypothèses apparaissent cependant: Les produits ont-ils pénétrés correctement dans les feuilles? Au vu des conditions météorologiques on pourrait également penser que la parcelle a atteint son potentiel de rendement maximum. On aurait donc un effet millésime qu'il sera important d'analyser dans les prochaines années d'expérimentation. On peut également se demander si le choix de la parcelle a été judicieux. En effet c'est une parcelle jeune avec une bonne vigueur, ne semblant pas souffrir d'un manque de rendement. Cette parcelle a été choisie principalement pour son homogénéité, sa taille, son bon entretien et le fait que le viticulteur la conduise en optimisant le rendement. Mais ne serait-il pas plus cohérent de réaliser cette expérimentation sur une parcelle ayant plus de difficultés à obtenir un bon rendement (parcelle plus âgée)? Mais à cette condition, se pose le problème de l'homogénéité de la parcelle qui contiendrait un fort taux de manquants (vieillissement du vignoble, attaque d'ESCA). A la fin de ce rapport il nous manque cependant un élément essentiel pour évaluer l'efficacité des produits: le rendement, qui ne sera disponible qu'au moment des vendanges.

Nous avons été confrontés à quelques modifications du protocole notamment suite à un envoi tardif du SPAD-502 et de la chambre à pression qui ont obligé à réaliser les premières notations tardivement dans la saison. Une difficulté également rencontrée fut la notation du taux de nouaison non réalisable de manière précise. De plus des analyses restent à effectuer, telles que l'analyse de sol (non réalisé à l'automne dernier car le projet d'expérimentation n'était pas validé), l'analyse Nutrivista des rameaux ainsi que le poids des bois de taille, indice essentiel dans la mesure de vigueur.

Cette première année a donc permis de faire un point sur l'ensemble du projet, de discuter du protocole et de l'améliorer. Cela est essentiel à la réussite du projet qui se poursuivra sur deux années supplémentaires et sur deux vignobles en parallèle. Au bout de trois années d'expérimentation des résultats pourront peut-être être observables vis-à-vis des conditions météorologiques, du sol ou encore du cépage. A l'issue de ce travail, une conclusion, plus affinée, sur l'effet des produits pourra être fournie aux professionnels de la filière viticole.

Bibliographie

AGRESTE (2013). Recensement agricole 2010, Typologie des exploitations viticoles en Pays de la Loire – Chiffres clés, 8 p.

Association Viticole Champenoise (2012). Viticulture durable en Champagne. *Le vigneron champenois*, Guide Pratique 2012, pp. 37-65

Bessim R., Fournioux JC. (1992). Zone d'abscission et coulure de la vigne. *Vitis*, 31:9-21

Bontemps C., Balue M. (2013). Fertilisation en viticulture - les points clés, Chambre d'Agriculture du Var

Bukovac MJ., Wittwer SH. (1957). Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Plant physiology*, 5:428-435

Brochard-Mémain N. (2015). Maladies du bois, actualités de la recherche, Observatoire Val de Loire, In : Assemblée technique CDV, Vertou, 7/04/2015.

Cahurel JY. (2008). Fiche 6 : Fertilisation de la vigne, un point sur les préconisations, les oligo-éléments, 6 p.

Carboneau A., Deloire A., Torregosa L., Pellegrino A. et al (2015). Sources et système « plante entière », In : Traité de la vigne – 2^e éd. – Physiologie, terroir, culture, DUNOD, Paris, pp. 194-205

Choné X., Tregot O., Van Leeuwen C., Dubourdieu D. (2000). Déficit hydrique modérée de la vigne : parmi les 3 applications de la chambre à pression, le potentiel tige est l'indicateur le plus précis. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 34, n°4 :169-176

Crespy A. (2010). Nutrition de la vigne et amélioration de la qualité des mouts et des vins, In : Choix des itinéraires techniques, Angers, 15-16/12/2010, pp. 13-20

Dubernet M., Toussaint M., Camper PM., Paricaud T., Coste M. et al (2015). Dynamique annuelle de la nutrition de la vigne et ses conséquences œnologiques, cas de l'azote et du potassium. *Revue des œnologues*, 156 :22-25

Dufourcq T. (2006). Influence de l'apport d'azote foliaire sur le potentiel aromatique des vins blancs et rosés, In : Rencontre technique le fruit dans le vin, Gaillac, 12 décembre 2006, pp. 14-16

Dufourcq T., Charrier F., Poupault P., Schneider R., Gontier L., Serrano E. (2009). Foliar spraying of nitrogen and sulfur at veraison : a viticultural technique to improve aromatic composition of white and rosés wines, In : 16th International GiESCO Symposium, Davis (USA), 2009, pp. 379-383

Duilio P. (2001). Use of spad meter in diagnosis of nutritional status in apple and grapevine. *Acta Horticulturae*, 564 :243-252

Fernàndez V., Eichert T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves : Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Science*, 28:36-68

Institut Rhodanien (2003). Guide de la fertilisation raisonnée, Vignobles de la Vallée du Rhône, 21 p.

L'Helgouach E. (2014). Evaluer les besoins de la vigne, In : Rencontres Rhodaniennes, Suze la Rousse, 18/02/2014, 42 p.

Louvieaux J. (2004). Mesure de l'efficacité d'extraits d'algues sur la vigne (*Vitis vinifera L.*), en conditions contrôlées et au vignoble, validée par la mesure de l'activité photosynthétique et les analyses chimiques. Mémoire ingénieur agronome, Ecole Interfacultaire de Bioingénieurs, Bruxelles, 86 p.

Mancuso S., Azzarello E., Mugnai S., Briand X. (2006). Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Advances in Horticultural Science*, 20:156-161

Messaoudi Z., El Fellah A. (2004). Optimisation de l'irrigation de la vigne dans le plateau de Meknès (Maroc), In: Mediterranean rainfed agriculture: Strategies for sustainability, Zaragoza (Espagne), 02-03 juin 2003, 197-201

Murisier F., Koblet W. (1990). Fiche 036 : Dessèchement de la rafle, coulure, gel et accidents divers, 3 p.

N'Dayegamiye A. (2007). La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO : facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote, In : Colloque sur l'azote, Drummondville, 28 mars 2007, 28 p.

Renaud A. (2005). Variabilité interspécifique des relations entre transmittance et teneur en chlorophylle foliaire chez les espèces de forêt guyanaise. Rapport de stage d'option scientifique, Unité Mixte de recherche EcoFoG, Kourou (Guyane), 25 p.

Steele M., Gitelson A., Rundquist D. (2008). A comparison of two techniques for nondestructive measurement of chlorophyll content in grapevine leaves. *Agronomy Journal*, 100:779-782

Syndicat Mixte du SCoT et du Pays du Vignoble Nantais (2011). Pays du Vignoble Nantais vers un pays d'art et d'histoire, Dossier de candidature au label national 2011, 143 p.

Touchais P. (2012). Blancs : Remontée raisonnable des prix en muscadet. *La vigne*, 247:91

Tregot O., Van Leeuwen C., Choné X., Gaudillère JP. (2002). Etude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* L. cv Merlot, 2000, Bordeaux). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 36, n°3, 133-142

Valdes Gomez H. (2007). Relations entre états de croissance de la vigne et maladies cryptogamiques sous différentes modalités d'entretien du sol en région méditerranéenne. Doctorat Science du sol, BSIAE, Montpellier, 108 p.

Yildirim E., Guvenc I., Turan M., Karatas A. (2007). Effect of foliar urea application on quality, growth, mineral uptake and yield of broccoli (*Brassica oleracea* L., var. *italica*). *Plant Soil Environ.*, 53 (3) :120-128

Sitographie

Bonnardel X. (2010). Muscadet : les raisons d'une crise historique, *Ouest France*. <http://www.ouest-france.fr/muscadet-les-raisons-d'une-crise-historique-588910> (publié le 3 mai 2010)

Château Loisel, <http://www.chateauloisel.com/degustation/loire-muscadet.htm> (consulté le 10/06/2015)

CSST. Répertoire toxicologique, mancozèbe,
http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=656926
(consulté le 25/08/2015)

Gerbeaud X. (2015). N, P, K : qu'est-ce que c'est ?
<http://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/npk-signification,1470.html> (18/05/2015)

IFV Sud-Ouest, (2011). Mesure du potentiel hydrique foliaire de tige [vidéo] 2mn, <https://www.youtube.com/watch?v=0VJf5EtAy98>

IFV Sud-ouest. Estimation de l'état hydrique de la vigne, <http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/estimation-etat-hydrique.php> (consulté le 23/04/2015)

Interloire, Muscadet crus communaux : Clisson, Gorges, Le pallet,
<http://www.vinsvaldeloire.fr/SiteGP/FR/Appellation/Appellation/Muscadet-crus-communaux--Clisson,-Gorges,-Le-Pallet>, (consulté le 10/06/2015)

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Mangematin J. (2012). Les français n'ont jamais consommé aussi peu de vin : progrès sanitaire ou déchéance culturelle?, <http://www.atlantico.fr/decryptage/francais-ont-jamais-consommé-aussi-peu-vin-progres-sanitaire-ou-decheance-culturelle-perico-legasse-564292.html>, publié le 03/12/2012

Météo France, Données climatiques de la station de Nantes, <http://www.meteofrance.com/climat/france/nantes/44020001/normales> (consulté le 24/08/15)

Nantes tourisme, Le vignoble nantais, <http://www.nantes-tourisme.com/vignoble-nantais-113222.html>, (consulté le 10/06/2015)

Pirmil, Muscadet sur Lie – Nantes,

http://www.azurever.com/loire/magazine/gastronomie/magloire_vins_nantes_muscadet.php3, (consulté le 10/06/2015)

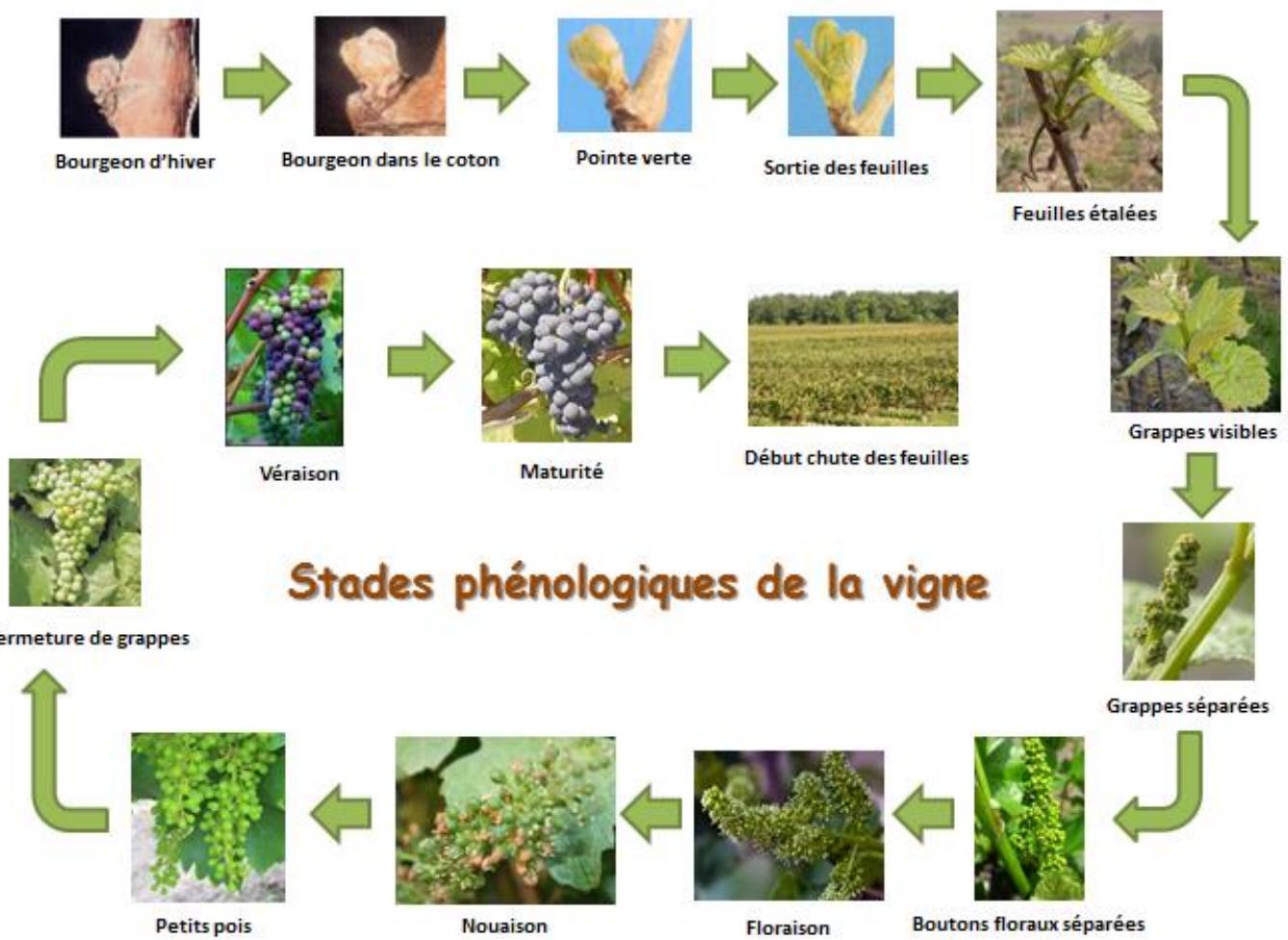
SDAOC Muscadet, Présentation,

<http://www.muscadet-groplant.fr/index.php?T=presentation&R=3&P=2&NCT=0>, (consulté le 10/06/2015)

VinsVignesVignerons, Pays nantais : le vignoble,

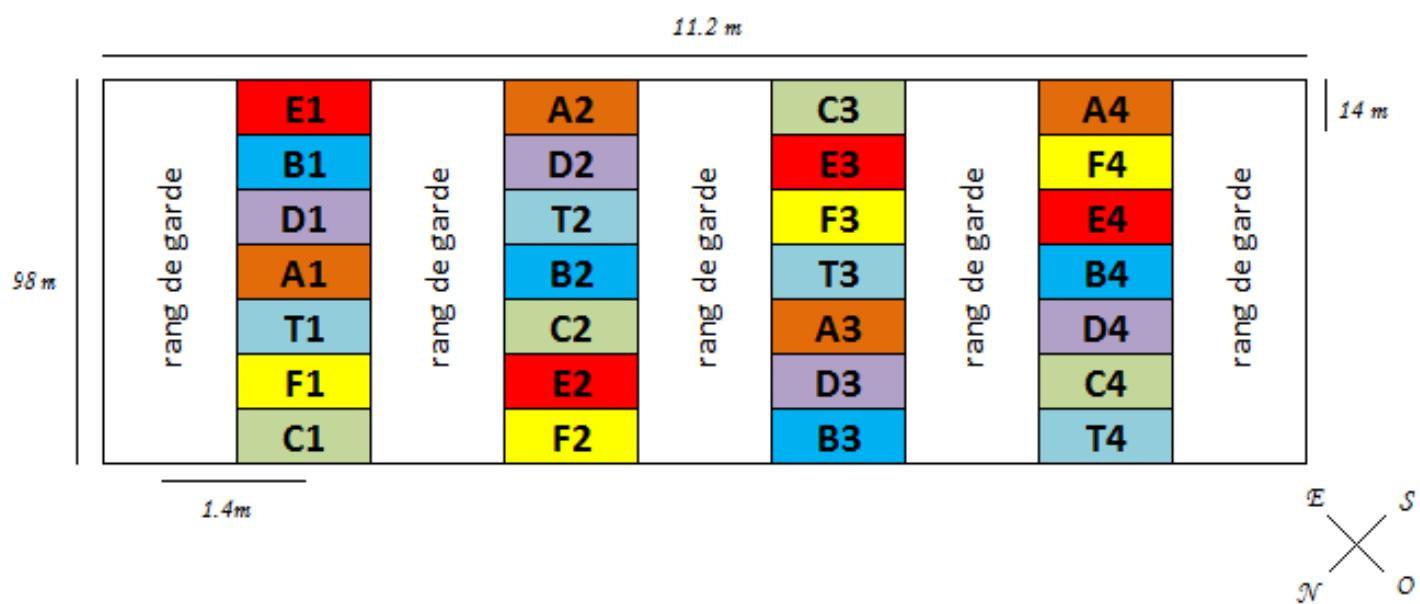
<http://www.vinsvignesvignerons.com/Regions/Loire/PAYS-NANTAIS/Le-vignoble>, (consulté le 10/06/2015)

Annexe I : Stades phénologiques de la vigne



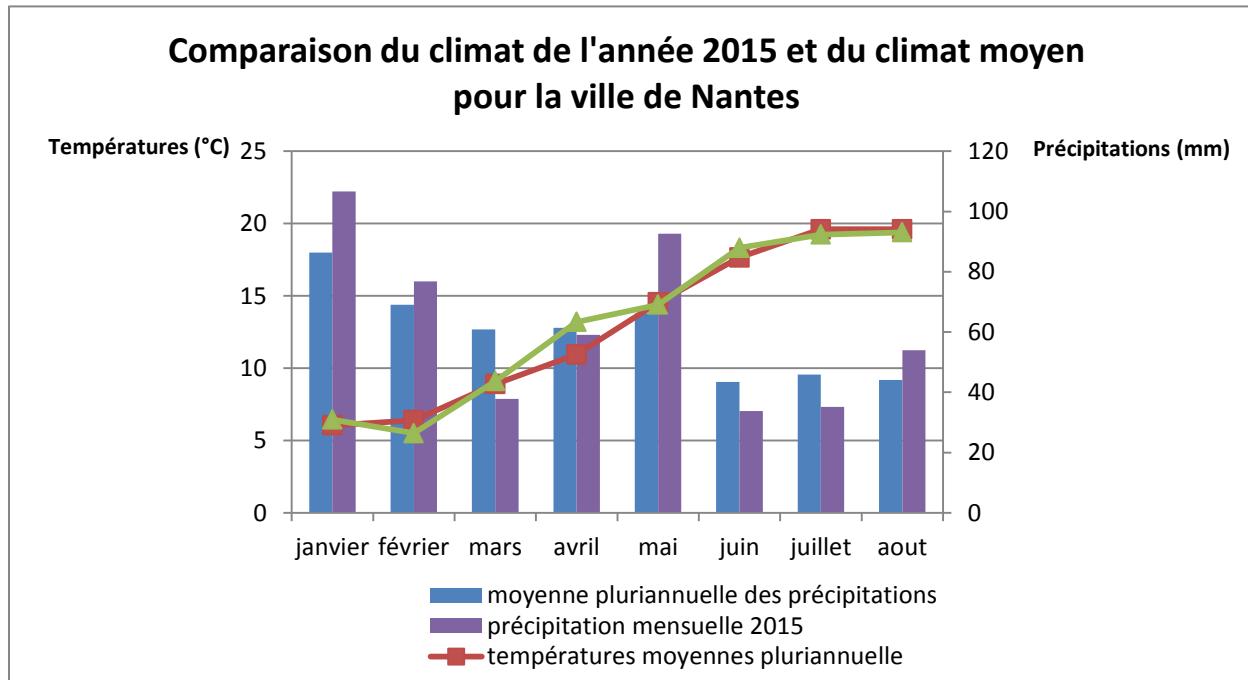
Source : Paytra M. 2015

Annexe II : Plan de l'essai Vign'Alim 2015



Source: Paytra M. 2015

Annexe III : Comparaison du climat de l'année 2015 et du climat moyen pour la ville de Nantes



Données Météo France. Pour le climat moyen, les données météorologiques sont une moyenne réalisée sur plusieurs années (1981-2010).

Annexe IV : Gamme de valeurs du SPAD-502

PHOTOS	INDICE SPAD	PHOTOS	INDICE SPAD
	3.9		32.5
	16		38.8
	18.5		41.2
	26		

Source : Paytra M., 2015



Diplôme / Mention : Master 2

Spécialité : Production et technologie du Végétal (ProTeV)

Parcours : PVS I

Option : Filière de l'horticulture et végétal urbain

Auteur(s) : Paytra Marie

Date de naissance : 05/07/1991

Nb de pages : 30

Annexe(s) : 4

Année de soutenance : 2015

Organisme d'accueil : Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique

Adresse : La Frémoire, 44120 Vertou

Maître de stage : Druart Guillaume

Titre français : Optimisation de l'alimentation de la vigne

Titre anglais : Optimization of the food supply of the vineyard

Résumé (1600 caractères maximum) :

Le vieillissement du vignoble et la forte propagation des maladies du bois de la vigne, entraînent des baisses de rendement poussant les viticulteurs à chercher des solutions permettant de maintenir un niveau de production constant tout en produisant des vins de qualité. La fertilisation foliaire apparaît comme un levier d'optimisation et une augmentation de son utilisation est constatée au vignoble, sans évaluation scientifique des résultats sur le potentiel de récolte. La Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique a mis en place, une expérimentation visant à évaluer l'intérêt des engrains foliaires comme solution de fertilisation complémentaire à la fertilisation du sol.

Six engrains foliaires de compositions différentes ont été appliqués sur une parcelle de vignes, avec quatre répétitions. Des témoins non traités sont aussi présents pour permettre de faire des comparaisons sur l'efficacité des produits.

La croissance de la vigne, sa vigueur ainsi que son alimentation ont été suivis tout au long de la saison, au travers de différentes notations. Les résultats obtenus pour cette première année d'expérimentation ne permettent pas de démontrer l'efficacité des produits ni de discriminer un produit par rapport à un autre. La poursuite de l'essai sur deux années supplémentaires ainsi que la mise en place d'un essai parallèle en Anjou sur un cépage différent, permettra de voir s'il existe un effet millésime, ainsi qu'un effet du cépage et de l'environnement. A l'heure où ce dossier est écrit, les vendanges n'ont pas encore été réalisées, les résultats sur le rendement ne sont donc pas encore disponibles.

Abstract :

The ageing of the vineyard, the economic crisis and the strong spread of ESCA disease, cause yield crop losses. Thus, some wine-growers are looking for solutions to maintain a constant level of production without losing the quality. Foliar fertilization appears as a way of optimizing and increasing the crops. Its use is noticed in the vineyard, without scientific evaluation of the results on the potential of harvest. The Chamber of Agriculture of Loire-Atlantique sets up an experiment to evaluate interest of foliar fertilizers as a complementary solution to soil fertilization.

Six different composition of foliar fertilizers were applied on a plot of vines, with four repetitions. Untreated controls are also present to allow for comparisons of the effectiveness of products.

The growth of the vine, its vigour and its food supply were monitored throughout the season, through different ratings. The results obtained for this first year of experiment did not demonstrate the efficiency of products nor to distinguish one product over another. The pursuit of the trial over two additional years as well as the establishment of a parallel trial in vineyards of Anjou on a different grape variety, will see if it exists an effect dates, and an effect of the grape variety and the environment. At a time when this file is written, the grape harvests were not realized yet, the results on the yield are not still available.

Mots-clés : Viticulture, engrains foliaire, rendement, expérimentation

Key Words : viticulture, foliar fertilizers, yield, experimentation