

Development of an *a priori* zoning of Physiological Behavior Units of vines, using precision viticulture techniques

Elaboration d'un zonage *à priori* d'Unités de Fonctionnement Physiologique de la vigne à l'aide des techniques de viticulture de précision

Marc RAYNAL^{1*}, Christian DEBORD¹, Marc VERGNES¹, Benoit DELFOUR¹, Michael GEORGES², Remy FULCHIC², Jonathan SERVANT²

¹Institut Français de la Vigne et du Vin, 39 rue Michel Montaigne 33290 Blanquefort France

²Château Léoville Las Cases, 33250 Saint Julien Beychevelle France

*Corresponding author: Marc Raynal, 33 (0)556161420, Fax: 33 (0)556355888, Email: marc.raynal@vignevin.com

Abstract

The systemic analysis of the performance of a vineyard at the scale of a wine-making exploitation is made possible by the use of sensors stemming from so called precision techniques, which allow precise and exhaustive geo-located measures.

The aim of our study is to exploit this kind of data and evaluate their information using geographical information systems (GIS) and crossing different layers representing characteristic and independent variables of the production system. The goal is then to elaborate an *a priori* zoning, likely to explain variations of the physiological development of vines and possible differences of the plants susceptibility to fungus diseases.

The study is based on the combination of two maps established on the property of Chateau Léoville Las Cases in the Medoc area of the Bordeaux vineyard (France). These maps represent the behavior of the two compartments, soil and plant, respectively determined by means of electric resistivity (R) and biomass index (B) measures. Three levels - low, medium, high- are defined for each type of data. The combination of these indicators allows the elaboration of 9 classes of islets, named Physiological Behavior Units (PBU), whose distribution is bounded by the GIS on the whole vineyard.

Six of these nine PBU were selected by exclusion of the medium class of the biomass index. Each PBU is replicated twice, thus establishing an observation device of 12 PBU likely to identify differences in terms of physiological development and disease susceptibility. For this purpose, treated and non-treated zones were delimited for each PBU, and a weekly monitoring of these areas has been performed during the 2014 crop year. The first year's results of the study show that the PBU concept proposed seem to correlate with some of the significant variations observed for physiological and sanitary criterions.

Key words: precision viticulture, zoning, physiological development, disease susceptibility

Résumé:

L'analyse systémique du fonctionnement d'un vignoble à l'échelle d'une exploitation viticole est rendue possible par l'exploitation de données issues de capteurs provenant des techniques dites de précision, permettant des mesures physiques géo localisées précises et exhaustives. Le but de notre étude vise à exploiter ce type de mesures et valoriser les informations qu'ils délivrent en croisant, à l'aide d'un système d'information géographique (SIG), les différentes couches représentant des variables indépendantes et caractéristiques du système de production. L'objectif est ainsi d'établir un zonage susceptible d'expliquer les variations du développement physiologique de la vigne et, le cas échéant, d'éventuelles différences de sensibilité des plantes aux maladies. L'étude porte sur la combinaison de deux cartes du vignoble Léoville Las Cases, établies pour représenter respectivement le fonctionnement des compartiments sol et plante, par des mesures de résistivité électrique (R) et d'indice de biomasse (B). Trois niveaux – faible, moyen, fort - sont définis pour chacune de ces deux variables. La combinaison de ces indicateurs permet ainsi de définir 9 classes caractérisant des îlots, baptisés Unités de Fonctionnement Physiologiques (UFP), dont la distribution est délimitée par le SIG sur l'ensemble du domaine viticole. Six classes sont retenues par exclusion du niveau de biomasse moyen. Un dispositif d'observation de 12 UFP est ainsi mis en place, chaque classe étant représentée par 2 répétitions dans l'objectif de décrire des différences de comportement au plan du développement physiologique des ceps, et de leur sensibilité aux maladies. A cet effet, des observations régulières ont été réalisées durant la campagne 2014 sur des zones traitées et non traitées de chaque UFP. Les résultats issus de cette première année d'étude montrent que la clé de lecture proposée par le concept d'UFP permet de décrire des variations significatives constatées sur certains des critères physiologiques et sanitaires observés.

Mots-clefs : viticulture de précision, zonage, variabilité intra parcellaire, développement physiologique, sensibilité aux maladies

Introduction:

La réduction des intrants phytosanitaires est un objectif sur lequel l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV) travaille depuis le début des années 1980, via les programmes de modélisation du comportement des principales maladies du feuillage et des grappes pour améliorer la prévision des risques de développement épidémique de ces maladies. Cet objectif a été clairement réaffirmé dans le cadre du plan Ecophyto 2018 maintenant décliné dans une deuxième phase visant à réduire cette consommation de l'ordre de 50% d'ici à l'horizon 2020. Les travaux conduits en ce sens par l'institut montrent qu'au plan théorique tout au moins, cet objectif global est loin d'être irréalisable : l'optimisation des doses de produits de traitement appliquées en tenant compte de l'évaluation de la pression parasitaire, du développement végétal et de la performance du pulvérisateur permet dans bien des cas d'approcher voire d'atteindre ou même de dépasser cette performance lors de certains

millésimes (Raynal 2002, Davy 2011, Claverie 2014). La mise en place et le suivi dans différents vignobles de réseaux de parcelles témoin non traitées (TNT) montrent qu'on peut conclure à posteriori à la quasi inutilité des applications anti mildiou réalisées près de deux années sur dix en façade Atlantique (Raynal 2008). Cependant, même lors de millésimes de faible pression, des foyers épidémiques plus ou moins virulents, délimités ou étendus, peuvent apparaître ici ou là sans qu'on en connaisse les causes.

L'émergence récente des techniques de précision dans les domaines de l'agriculture, puis de la viticulture (Tisseyre 2012) et de l'agrométéorologie (Raynal 2010), permet d'envisager de nettes avancées en ce sens. La pluviométrie à l'aide de la technologie Radar permet de localiser les cellules orageuses à la maille du km, précision hors de portée des réseaux de stations météorologiques, et d'expliquer ainsi la variabilité des attaques de mildiou à l'échelle d'une commune (Raynal 2010). Mais la variabilité des attaques s'exprime parfois à une échelle plus fine se situant au niveau parcellaire, voire intra parcellaire. Si des phénomènes méso climatiques peuvent en expliquer les raisons ils ne sont certainement pas les seuls et interagissent vraisemblablement avec les caractéristiques du sol et de la plante. Cette variabilité est mieux connue des viticulteurs qui savent empiriquement où se situent les zones sensibles de leur parcellaire.

L'objectif du projet « Plan de Traitement Optimisé » (PTO®) (Raynal 2012) développé au sein de l'IFV vise à définir, une méthodologie de zonage à priori de l'iso sensibilité aux principales maladies à partir d'une approche systémique à l'échelle de l'exploitation viticole. L'objectif à terme est ainsi d'élaborer une cartographie des quantités de matières actives nécessaires et suffisantes pour enrayer les développements épidémiques pour des pulvérisateurs intelligents capables de moduler les doses appliquées à l'échelle intra parcellaire, dont les premières versions prototypes sont en cours d'élaboration. Le transfert de ces technologies vers la profession suppose une automatisation de l'intégration des différentes couches des variabilités constatées et repose donc sur l'exploitation des principes de la viticulture de précision.

Matériel et méthode:

1 – Parcellaire support de l'étude

L'étude est conduite sur le parcellaire du château Léoville Las Cases (LLC) second grand cru classé situé sur la commune de Saint Julien-Beychevelle dans le Médoc en Gironde (33250, France), sur une superficie de 98 hectares. Le parcellaire est constitué à 66% de Cabernet Sauvignon, 23% de Merlot, 10% de Cabernet Franc et 1% de Petit Verdot, greffés sur des porte-greffes de type Riparia Gloire de Montpellier, 3309C, 101-14Mgt, et 420A. Les vignes sont conduites en Guyot double, avec une charge moyenne de l'ordre de 45 000 bourgeons par hectare. L'âge moyen de plantation est de 41 ans et varie selon les parcelles de 3 à 83 ans. Certains porte-greffes sont inconnus sur les parcelles les plus anciennes.

2 – Base de données et Système d'Information Géographique

Les données descriptives du parcellaire détaillé sont géo référencées et stockées dans une base de données spécifique du château LLC sous Oracle. Cette base de données est couplée à un Système d'Information Géographique (SIG) ArcGis.

3 – Couches d'informations agronomiques

Une cartographie du vignoble est établie en 2013 puis 2014 à l'aide de capteurs embarqués permettant de mesurer des indices NDVI (normalized difference vegetation Index) et du statut azoté des plants de vigne, via les outils Greenseeker® de la société Trimble, et Multiplex on-the-go™, respectivement proposés par les sociétés Avidorhightech et Force A. Outre ces informations relevées dans le cadre du suivi du dispositif expérimental, le château LLC a mis à notre disposition deux cartes préétablies sur le domaine :

- valeurs chromatiques de la biomasse réalisée par télédétection à l'aide d'un drone équipé d'un capteur Proche Infra Rouge (PIR) (800nm) par la société L'Avion Jaune en aout 2013, puis 2014
- résistivité électrique du sol, réalisée par la société Géocarta en 2006 à l'aide d'un dispositif multi électrodes (ARP®) embarquées sur enjambeur

Trois classes d'iso valeurs - faibles, moyennes, fortes - ont été constituées pour chacune de ces deux variables, la maille élémentaire représentant une surface de 10m², dont la combinaison détermine 9 classes à priori différentes quant à ces critères analysés.

4 – Suivi du développement de la vigne.

Un suivi physiologique est réalisé sur des zones privilégiées du vignoble que nous avons baptisées Unités de Fonctionnement Physiologique (UFP). Ces zones, à priori homogènes, sont déterminées par la combinaison de critères de tri présélectionnés qui sera décrite dans la partie résultats. Chaque UFP comporte une zone Témoin Non Traitée (TNT). De part et d'autres du TNT, huit ceps sont repérés à proximité immédiate pour servir de support aux observations physiologiques pour caractériser le développement végétal protégé par la couverture phytosanitaire.

Différentes mesures sont réalisées sur ces placettes d'observation disposées au sein de ces UFP. A partir du stade pré-débourrement une comptabilité régulière est effectuée sur les nombres de bourgeons laissés à la taille, du total des bourgeons débouffés ou participant au potentiel de production, des rameaux fructifères et des grappes. Ces observations sont réalisées chaque semaine jusqu'à stabilisation des données, à l'approche du stade 7-8 feuilles étalées.

5 – Suivi sanitaire

La zone TNT de chaque UFP est constituée de cinq ceps consécutifs protégés d'une bâche disposée sur la piquetée lors des traitements. Les trois ceps centraux servent de support aux observations de l'état sanitaire vis-à-vis du mildiou, de l'oïdium, du black rot et du botrytis. Sur chacun des trois ceps, une évaluation de la fréquence et de l'intensité d'attaque sur feuilles et sur grappes est réalisée chaque semaine à dire d'expert selon le protocole d'évaluation développé par l'IFV pour ces quatre maladies cryptogamiques, jusqu'au stade de la véraison.

6 – Analyses statistiques et géostatistique des résultats.

Les résultats des observations sanitaires et de développement de la vigne sont soumis à une analyse de variance et comparaison des moyennes à l'aide du test de Tuckey au seuil de risque de 5%. Ces analyses sont réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT 2013.5.04 de la société Addinsoft. Sur les résultats du suivi sanitaire l'analyse est d'abord conduite sur l'ensemble des dates de contrôles, puis date par date. Une approche géostatistique est réalisée sur les couches d'informations cartographiques à l'aide du logiciel ISATIS (v2013.03) développé par la société Géovariances, pour vérifier l'indépendance des variables constituant les différentes cartes utilisées, ce préalablement à leur combinaison. Par ailleurs, les informations recueillies sur des mailles et des fréquences d'acquisition différentes ont fait l'objet d'un lissage des valeurs sur une maille uniforme de 10 m dans l'objectif d'optimiser la lecture et l'exploitation des structures spatiales mises en évidence (B. Tisseyre 2012).

Résultats et Discussion :

1 - Définition des Unités de Fonctionnement Physiologiques

La délimitation des UFP résulte du croisement des cartes d'entrée du système étudié. Un zonage est constitué à partir des couches de résistivité électrique (figure 1g) et d'indice de biomasse (figure 1c), en retenant respectivement pour chacune d'elles trois et deux niveaux : la classe d'indice de biomasse moyenne a été écartée au profit des deux extrêmes, de manière à simplifier la mise en œuvre du dispositif d'observation tout en optimisant la variabilité potentielle des écarts de comportement observés. Le croisement des couches d'informations offre ainsi 6 classes différentes représentant autant d'UFP réparties sur le vignoble (figure 2c). Deux répétitions de ces UFP ont été mises en place l'une sur « l'enclos » correspondant à la partie Est du vignoble, l'autre sur le « plateau » en zone Ouest du parcellaire. Douze UFP sont ainsi implantées sur des parcelles d'une trentaine d'années en moyenne, plantées avec les cépages Merlot et Cabernet Sauvignon (figure 1d). Ces critères d'analyse déterminés a priori nous servent ensuite de clefs d'interprétation des variables physiologiques et sanitaires étudiées sur le millésime 2014.

2 – Analyse de la variabilité du développement de la vigne

Le suivi du développement réalisé en début de campagne permet de calculer des indicateurs de débourrement, de mise en place de la biomasse, et de la fertilité des bourgeons et des rameaux. Les principaux indices sont présentés dans le tableau 1. Le taux de débourrement, déterminé par le ratio des bourgeons débourrés sur ceux laissés à la taille (DF/T), ne montre pas de variation significative entre les UFP. Il en est de même pour l'indicateur du potentiel de production, défini par le ratio du nombre de rameaux fructifères sur le nombre des bourgeons laissés à la taille. La puissance du cep, déterminée par le nombre total de rameaux débourrés, gourmands compris, montre une variation significative en fonction de l'indice de résistivité électrique du sol : les sols S3, caractérisés par une forte résistance électrique, révèlent un taux de près 1.6 rameaux par bourgeon laissé à la taille, significativement supérieur à celui, proche de 1, observé sur les sols S1 de faible résistivité.

Le niveau de biomasse présente un effet significatif sur le taux de fertilité : le niveau de biomasse B3 induit des taux de fertilités toujours supérieurs à ceux observés sur B1. L'effet sol n'apparaît pas significatif sur le taux de fertilité des bourgeons laissés à la taille, mais cet indicateur semble pertinent si on le ramène à l'analyse du taux de fertilité des seuls bourgeons débourrés ; dans ce cas cependant, le test de Tuckey ne permet pas de dissocier de groupes distincts. L'analyse de la fertilité des seuls rameaux fructifères révèle un effet significatif du niveau de résistivité des sols. Le test de Tuckey sépare dans ce cas les niveaux S1 et S3 : la fertilité des rameaux fructifères des sols de faible résistivité électrique (1.38) apparaît significativement supérieure à celles des sols de forte résistivité (0.88).

La production de grappes apparaît donc plus importante sur les zones vigoureuses ; la fertilité semble supérieure sur les sols à faible résistivité électrique. Ces suivis physiologiques ont été prolongés tout au long de la saison par des mesures de longueur des rameaux, des estimations de surface foliaire, et des indicateurs de maturité des baies, résultats qui ne sont pas développés dans ce texte.

3 – Analyse de la variabilité de l'état sanitaire

L'évaluation de l'état sanitaire porte sur l'observation hebdomadaire du mildiou, de l'oïdium, du black rot et du botrytis (non montré ici) sur les zones témoin non traitées. Le millésime 2014 est marqué par une forte attaque du mildiou dans le courant du mois de juillet ; les niveaux d'attaque atteignent en moyenne près de 30% de destruction de feuillage et 25% de grappes atteintes en fin de saison. Les niveaux d'attaque par l'oïdium sont globalement plus faibles sur le feuillage (30% de feuilles atteintes et 7% de destruction du feuillage) mais restent conséquents sur grappes (75% de grappes atteintes pour un niveau de destruction moyen de 10% à la véraison). Le Black rot montre un niveau d'attaque faible sur feuilles (moins de 1% de feuilles atteintes) comme sur grappes (2% de grappes atteintes et 0.7% de destruction de la récolte au stade véraison). L'analyse de la répartition spatiale des attaques montre des foyers bien distincts pour chacune des trois maladies, comme le montrent les trois cartes de la figure 2 établies fin juillet, peu avant le stade de la véraison.

Les résultats de l'analyse de variance à chaque date de contrôle sont résumés dans la planche graphique de la figure 3 qui illustre pour chacune des trois maladies le niveau de significativité de la variance globale du système étudié, les effets sol et biomasse et de leurs interactions. Ces graphiques sont établis à partir du contrôle du 13 juin au stade de la nouaison, dernière date qui ne montre pas de variation significative des niveaux d'attaque. Les courbes vertes représentent les variables observées sur feuilles, les rouges celles des grappes ; les traits pleins symbolisent les fréquences d'attaques, ceux en pointillés les intensités de destruction.

3.1 – Mildiou

Les premiers symptômes de mildiou sont observés sur deux des TNT à partir du 18 juin. L'UFP explique dès cette date la variabilité constatée des attaques du feuillage ; l'effet sur grappes est moins marqué et n'apparaît qu'à partir du 25 juillet au stade fermeture. L'effet du sol n'apparaît significatif que sur le développement du mildiou sur le feuillage et ne semble pas avoir d'influence sur le niveau d'attaque de la récolte. L'indicateur de la biomasse expliquerait très nettement le développement du mildiou sur le feuillage, exception faite lors du contrôle du 18 juillet, date à partir de laquelle il discrimine également les attaques sur grappes. On observe à cette date une très forte progression des symptômes sur feuilles et grappes, qui résultent vraisemblablement d'une contamination massive et généralisée dans la première décade du mois.

3.2 – Oïdium

Les premiers symptômes d'oïdium sont également relevés sur feuilles à partir du 18 juin, et dès le 27 juin sur grappes. Les niveaux d'attaque de l'oïdium sur feuilles restent globalement nettement plus faibles que ceux observés sur le mildiou, ce qui peut être de nature à expliquer l'apparition plus tardive, au 4 juillet seulement et moins nette (effet HS au maximum) de l'effet discriminant des UFP. La fréquence de grappes atteintes augmente fortement à partir de début juillet. L'UFP devient ainsi discriminant sur ce critère à partir de cette date mais ne se révèle pas significatif quant à la variabilité de l'intensité de destruction. L'indice de biomasse semble peu jouer tout au long de la saison : il ne se manifeste que sur feuilles sur la période de juillet. L'effet sol semble nettement plus marqué et apparaît comme un révélateur significatif de la fréquence de grappes atteintes. L'interaction sol x biomasse se manifeste sur le feuillage à partir du stade fermeture de la grappe.

3.3 – Black rot

Le Black rot sur feuilles apparaît sur notre dispositif, sur le contrôle du 13 juin. L'attaque sur feuilles reste très faible ; elle ne dépasse pas une moyenne de 0.1 % de feuilles atteintes tout au long de la saison. L'attaque sur grappes se manifeste à partir du 10 juillet. Légèrement plus forte que celle sur feuilles, elle avoisine les 2 à 3 % de grappes atteintes pour une destruction de récolte inférieure à 1% au stade de la véraison : La variance globale du système étudié n'apparaît significative qu'à partir du contrôle du 11 juillet et uniquement sur le feuillage. L'effet sol ne semble avoir aucune incidence lorsqu'il est étudié seul ; il ne semble jouer sur le feuillage, au-delà du stade de la fermeture, que par le biais d'interactions avec l'indice de biomasse.

Malgré une forte pression du black rot plutôt inhabituelle constatée sur l'ensemble du vignoble bordelais en ce millésime 2014, le niveau d'attaque observé sur le domaine du château Léoville Las Cases reste sans doute trop faible pour permettre de révéler des discriminations via le système des UFP proposées.

Conclusion

Malgré les difficultés inhérentes à la mise en œuvre d'une telle approche systémique sur la globalité d'une exploitation de 100 Ha, les premiers résultats obtenus en 2014 issus du dispositif d'étude proposé nous semblent très encourageants : ces résultats révèlent, comme nous l'espérions, des différences de comportements constatées selon les UFP, tant au niveau du développement des ceps qu'à celui du niveau d'expression des principales maladies observées. Le concept des UFP, délimitant un zonage homogène déterminé a priori à partir d'indicateurs préétablis, apparaît ici comme une clef de lecture pertinente de l'analyse de la variabilité des principales attaques cryptogamiques sur le vignoble. L'étude confirme ainsi d'ores et déjà, à nos yeux et s'il en était besoin, tout l'intérêt que revêt la capitalisation d'informations exhaustives issues de capteurs embarqués exploités dans le cadre des techniques émergentes de la viticulture de précision. Ces premiers résultats devront bien sûr être confirmés par la poursuite de l'étude sur plusieurs millésimes de manière à vérifier la stabilité temporelle des critères étudiés en fonction de l'itinéraire climatique.

Par ailleurs, l'ensemble des autres variables directement issues de la base de données du parcellaire du château (cépage, âge, porte greffé, clone, exposition du parcellaire, orientation des rangs, ...) ont été individuellement testées comme autant de facteurs explicatifs des variabilités observées. Il ressort de cette première approche qu'ils peuvent bien évidemment jouer à un moment ou l'autre des processus étudiés. Notre objectif est ainsi de combiner l'ensemble de ces facteurs à celui de l'UFP pour tenter de hiérarchiser leurs impacts respectifs et de définir à terme, à partir de l'ensemble des principaux critères, un zonage de la sensibilité parcellaire et des risques encourus par combinaison avec l'itinéraire climatique en cours. Ces données pourront alors servir de base au raisonnement des doses fongicides nécessaires et suffisantes pour enrayer les cycles épidémiques envisagés en fonction des prévisions météorologiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des personnels du château Léoville Las Cases qui contribue au bon déroulement de cette étude. Ce programme est par ailleurs réalisé grâce à l'appui financier du fond européen de développement rural (FEDER)

dans le cadre du programme Innovine, et celui de France Agrimer contribuant aux programmes Millévine et Pulvérisation de précision.

Références bibliographiques

Claverie M., Davy A., and Raynal M. 2014. A 3 year evaluation of Optidose® method for pesticide dose adjustment in Mediterranean French Vineyards to control powdery (and downy) mildew. Proceedings of the seventh international workshop on the grapevine downy and powdery mildew, Vitoria Gasteiz, Spain, June 30th July 4th 2014, Arabaco Foru Aldundia, 47-50

Davy A, Raynal M, Vergnes M, Claverie M, Codis S, Bernard FM et al. 2011, Trials results of the Optidose® method using an adjustment of the pesticide dose for control of downy mildew and powdery mildew, proceedings of the 11th international workshop on sustainable plant protection techniques in fruit growing, Lanxade, France, 8-10 June 2011, CTIFL, 80-81.

Raynal M., Debord C., Davy A., Vergnes M., and Codis S. 2014. Optimized Treatment Plan®: a global approach to reduce environmental impacts. Proceedings of the seventh international workshop on the grapevine downy and powdery mildew, Vitoria Gasteiz, Spain, June 30th July 4th 2014, Arabaco Foru Aldundia, 42-46.

Raynal M., Guittard S., Debord C, Davy A., Plancq T., Vergnes M., Codis S., Hebrard O., 2012, Le Plan de Traitement Optimisé : une approche globale pour réduire les impacts environnementaux, actes du colloque CIETAP, conférences sur les techniques d'application de produits de protection des plantes, AFPP, Lyon 15-16 mars 2012.

Raynal M., Debord C, Guittard S., Vergnes M., 2010, les perspectives de prévisions des risques mieux localisées via les technologies RADAR., Actes du colloque Mondiaiviti, Bordeaux 1er et 2 décembre 2010, IFV, 43-49.

Raynal M., Debord C, Guittard S., Vergnes M., 2008, Ne traiter que si nécessaire : le point sur les travaux de modélisation des risques phytosanitaires appliqués par l'IFV au domaine de la protection du vignoble, Actes du colloque Mondiaiviti, Bordeaux 3 et 4 décembre 2008, IFV, 7-18.

Raynal M., Vergnes M., Anneraud M., Claverie M., Coulon T., 2002, Downy and powdery mildew control : adaptation of the doses of pesticides according to risks of epidemics and total leaf surface developed in the vineyard, proceedings of the fourth international workshop on powdery and downy mildew in grapevine, Napa California USA, October 2002, 87-88.

Tisseyre B., 2012, Peut-on appliquer le concept d'agriculture de précision à la viticulture ?, mémoire d'habilitation à diriger des recherches CNCA n°3, 71.

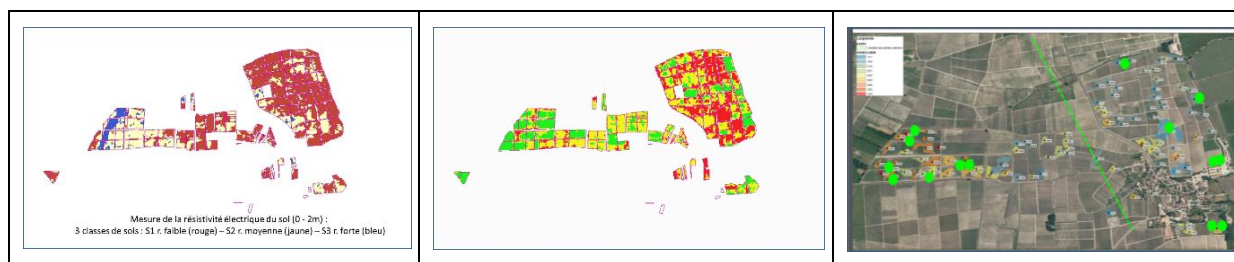


Figure 1 : représentation sur le vignoble du domaine LLC, des 3 classes résistivité électrique du sol (gauche) du NDVI (centre) et localisation des zones UFP homogènes et des placettes d'observation en vert (droite). Representation on the LLC vineyard of the 3 classes of electric resistance of the soil (left) of the NDVI (center) and localization of the homogeneous PFU and monitoring spots (green dots) (right)

Modalité	Tx Débour. (DF/T)	Tukey (5%)	Pot prod (F/T)	Tukey (5%)	Puissance du cep (D/T)	Tukey (5%)	Tx fertilité bourgeons (G/T)	Tukey (5%)	Tx fertilité bourgeons débourrés (G/DF)	Tukey (5%)	Tx fertilité rameaux fructifères (G/F)	Tukey (5%)
S1	0.79	A	0.82	A	1.03	B	1.14	A	1.44	A	1.38	A
S2	0.80	A	0.90	A	1.38	A B	1.07	A	1.34	A	1.23	A B
S3	0.85	A	0.93	A	1.57	A	0.82	A	0.97	A	0.88	B
B1	0.82	A	0.89	A	1.28	A	0.81	B	0.98	B	0.90	B
B3	0.81	A	0.88	A	1.37	A	1.21	A	1.53	A	1.42	A
S1 x B1	0.79	A	0.78	A	0.94	B	0.80	A	1.01	B	1.03	A B C
S1 x B3	0.79	A	0.85	A	1.12	A B	1.48	A	1.87	A	1.74	A
S2 x B1	0.82	A	1.03	A	1.53	A B	0.94	A	1.11	A B	0.88	B C
S2 x B3	0.78	A	0.78	A	1.22	A B	1.20	A	1.58	A B	1.57	A B
S3 x B1	0.85	A	0.84	A	1.36	A B	0.70	A	0.81	B	0.80	C
S3 x B3	0.86	A	1.01	A	1.78	A	0.95	A	1.13	A B	0.96	B C
variance globale	NS		NS		S		NS		S		S	
Effet sol	NS		NS		S		NS		S		S	
Effet biomasse	NS		NS		NS		S		HS		THS	
interaction S x B	NS		S		NS		NS		NS		NS	

Tableau 1 : tableau résumé des valeurs moyennes et groupes statistiques (Anova, Test Tukey) des principaux indicateurs physiologiques en fonction des critères de sol (S) de biomasse (B) et de leurs interactions. Summary table and statistic groups (variance, Tukey test) of the main average values of physiological indicators according to soil effect (S), biomass effect (B) and their interaction.

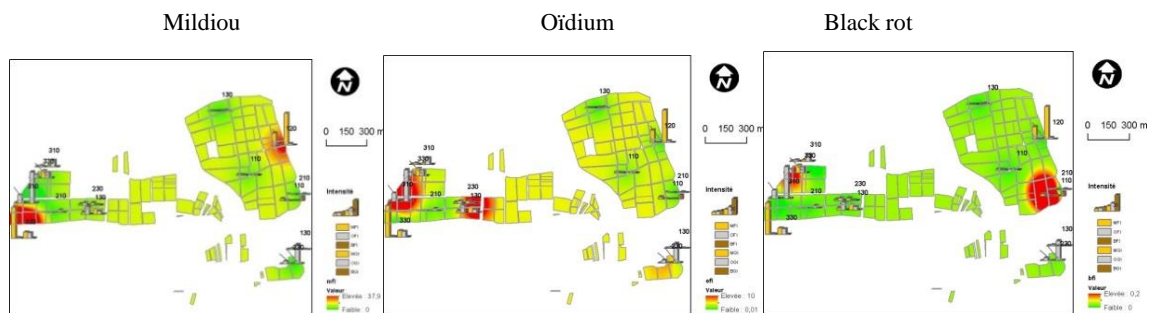


Figure 2 : localisation fin juillet 2014 au stade pré véraison des foyers de mildiou (gauche), d'oïdium (centre) et de Black rot (droite). Location on end of July 2014 at pre veraison stage of the Downy (left) and Powdery (center) mildew and Black rot (right)



Figure 3 : niveau de significativité de l'analyse de variance sur l'état sanitaire des TNT vis-à-vis du Mildiou (gauche) de l'Oïdium (centre) et du Black rot (droite) à chaque date de contrôle, du 13 juin (stade nouaison), première date montrant des variations significatives des niveaux d'attaque au 14 août (stade véraison). Les courbes vertes et rouges représentent respectivement les variables observées sur feuilles et grappes ; les traits pleins et pointillés symbolisent respectivement les fréquences d'attaques et les intensités de destruction.

Significance level of the variance analysis on sanitary estate of the untreated plots (TNT) regarding to Downy (left) and Powdery (center) mildew and Black rot (right) on each monitoring date from the 13th of June (fruit setting stage) first date of significant variations of the attack level, to the 14th of August (veraison stage). Green and red lines respectively represent the significance level for leaves and berries; Full and dotted lines, respectively symbolize these levels for incidence and severity of the diseases.

