Étude de l'efficacité qualitative et quantitative du curetage à court et moyen terme

Tom Boury

▶ **To cite this version:**

Tom Boury. Étude de l'efficacité qualitative et quantitative du curetage à court et moyen terme. Agronomie. 2019. dumas-02969153

HAL Id: dumas-02969153

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02969153

Submitted on 22 Oct 2020

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

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

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

Option : Viticulture-Œnologie

Manuscript confidentiel jusqu'au 01 mars 2020

Etude de l'efficacité qualitative et quantitative du curetage à court et moyen terme

par

Tom Boury

Année de soutenance : 2019

Organisme d'accueil : SIMONIT & SIRCH

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES
présenté pour l'obtention du
DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME
Option : Viticulture-Œnologie

Etude de l'efficacité qualitative et quantitative du curetage à court et moyen terme

par
Tom BOURY

Mémoire préparé sous la direction de :
Céline CHOLET, Laurence GENY-DENIS,
Alain DELOIRE

Présenté le : 05/11/2019

Organisme d'accueil :
SIMONIT & SIRCH

Maître de stage :
Tommaso MARTIGNON

Avant-propos & remerciements

Ce mémoire est dans la continuité de l'étude menée conjointement par l'unité de recherche d'œnologie de l'ISVV et de l'UMR SAVE de l'INRA. Ce projet de recherche a débuté en 2015. Les résultats globaux de l'étude sont en cours de publication.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Merci à Alain Deloire pour sa réactivité aux questionnements scientifiques.

Merci à l'équipe de l'ISVV : Pr. Laurence Geny-Denis, Céline Cholet, et Emilie Bruez pour leur bienveillance et le partage de leurs connaissances scientifiques qui m'ont beaucoup aidé à l'élaboration de ce mémoire. A Audrey Dubois et Valentin Le Brecq pour leur aide et leur sympathie.

Merci à l'équipe du Château Pichon Longueville - Comtesse de Lalande. Merci notamment à François Taris, Julien Benquet, pour volonté d'expérimentations, d'amélioration constante et le respect aux personnes qu'ils managent. Merci à Céline Maussire pour sa confiance et son organisation. Merci à Romain Mercier qui a beaucoup aidé sur différents projets.

Merci au Château Latour dont Hélène Genin pour son accessibilité.

Merci à Pascal Lecomte, chercheur à l'INRA de l'UMR SAVE, avec qui j'ai eu un échange qui a été très fructueux.

Merci à mes confrères stagiaires qui m'ont accueilli comme un de leur colocataire sur Pauillac dès que j'en avais besoin : Noémie Lohou, Maximillien De Billy, Hugues De la Bigne, et Elysée Brigandat.

Merci à Jean-Baptiste Lecaillon pour ses conseils avisés. Son enthousiasme pour les pratiques innovantes m'a impressionné lors de nos rencontres.

J'aimerais également remercier chaleureusement l'équipe de Simonit & Sirch :

- Merci à Julien Musset, Michaël Rességuier, et Hugo Zufferey, pour leur pédagogie et sympathie.
- Merci à Carole Dumont pour son partage de connaissances.
- Merci à Massimo Giudici pour sa confiance.
- Merci à Tommaso Martignon, qui m'a appris aussi bien en matière de savoir-faire que de savoir-être. L'écoute, la compréhension, et la transmission de ses connaissances menant à une remise en question des pratiques.

Merci à ma famille pour leur soutien et leurs encouragements. Avec toute mon affection.

Nous côtoyons la fleur, le fruit, la vigne,
et la saison n'est pas leur seul langage.
De l'ombre monte une évidence coloriée
qui a l'éclat, peut-être, de la jalousie

des morts dont se nourrit la terre.
Mais savons-nous quel est leur rôle en tout cela ?
Depuis longtemps c'est leur manière
de traverser le sol de cette libre moelle.

Mais savoir : le font-ils de leur plein gré ?
Ce fruit, oeuvre de lourds esclaves,
se tend-il vers nous, maîtres, comme un poing serré ?

Sont-ils les maîtres qui près des racines dorment,
et, de leur superflu, daignent nous accorder
cet entre-deux muet de force et de baisers ?

Rainer Maria Rilke, *Sonnet à Orphée* (1922)
Traduction de Maurice Betz

Table des illustrations

Photos

- Photo 1. Coupe longitudinale d'un cep charentais d'Ugni Blanc atteint d'Esca. Crédit : Simonit&Sirch
- Photo 2. Nécrose mixte avec liseré foncé dans le bois accompagné d'amadou. Photo issus du site internet « Ephytia de l'INRA » [5] Crédit : Pascal Lecomte.
- Photo 3. Relation entre la présence de la bande longitudinale et celle des symptômes foliaires. Photos issues du site internet sur les maladies du bois de la vigne [6] (Crédit : P.Lecomte)
- Photo 4. Quatre exemples de l'évolution des symptômes foliaires de l'Esca sur Cabernet-Sauvignon dans la région bordelaise durant l'été 2005 et 2006. Photos issues de la publication de Lecomte *et al.* en 2012
- Photo 5. Grappes issues de ceps asymptomatiques (à gauche) et symptomatiques (à droite) de Cabernet-Sauvigon de la région bordelaise au moment de la vendange (fin septembre 2019)
- Photo 6. Greffage en place sur le château de Pichon Longueville – Comtesse de Lalande. Photo personnelle prise le 2 mai 2019.
- Photo 7. Cep cureté en 1919 aussitôt après l'attaque d'apoplexie (Vignoble de M. Renaus à Gensac, Charente) ; Photo extraite du livre de M. Lafon publié en 1921, figure n°67
- Photo 8. Pied cureté au château Reynon par les maîtres tailleurs de vigne (Tommaso Martignon à gauche, Massimo Giudici à droite). Photo tirée de la vidéo de Vitisphère [10]
- Photo 9. Photo d'un cep de Sauvignon blanc utilisé la mesure de la surface foliaire au Château Reynon (à gauche), analyse de cette photo à l'aide du logiciel gratuit Image J (à droite).

Schéma

- Schéma 1. Taille respectueuse des flux de sève selon la méthode Simonit & Sirch ; illustration issue du livre « Guide pratique de la taille Guyot » publié par Simonit *et al.* en 2016.

Figure

- Figure 1. Evolution des symptômes foliaires des pieds témoins symptomatiques à l'année N sans opération de curetage ; Résultats lissés sur les années 2014, 2015, 2016 ; n, nombre de pieds étudiés ; n 2014 =52, n 2015 = 26, n 2016 = 32
- Figure 2. Modélisation de l'évolution des symptômes foliaires des pieds « sains » (asymptomatique de 2012 à 2014) sans opération de curetage ; Parcelle de Sauvignon blanc « Cyprés Est » au Château Reynon ; Nombre de pieds étudiés = 147
- Figure 3. Evolution des symptômes foliaires des pieds curetés à l'année N ; Parcelle de Sauvignon blanc « Cyprés Est » au Château Reynon ; Résultats lissés sur les années 2014, 2015, 2016 ; n, nombre pieds étudiés ; n2014 = 79, n2015 = 28, n2016 = 29
- Figure 4. Moyenne de bourgeons primaires laissés à la taille par cep : Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique ANOVA
- Figure 5. Taux de débourrement des ceps par modalité : Asympto_X, Pieds asymptomatiques depuis l'année X ; C_X, Pieds curetéss à l'année X ; Esca_X, Pieds

symptomatiques à l'année X ; « XX/XX/2019 », date du comptage ; Test statistique de Kruskal-Wallis

- Figure 6. Pourcentage de débourrement réel : Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; C_X, Pieds curetés à l'année X ; Esca_X, Pieds symptomatiques à l'année X ; Test statistique de Kruskal-Wallis
- Figure 7. Moyenne de la fertilité pratique des ceps : Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique de Kruskall-Wallis
- Figure 8. Moyenne du nombre de rameaux par cep ; Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique ANOVA
- Figure 9. Moyenne du nombre de grappes par cep ; Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique ANOVA
- Figure 10. Moyenne de la surface foliaire par cep ; Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; « XX/07/2019 », Date des photos ; Test statistique de Kruskal-Wallis

Tableau

- Tableau 1. Composition de la variable N en fonction de l'année de curetage et de l'année d'observation pour les ceps « curetés » et « malades »
- Tableau 2. Poids moyen de 10 grappes et 100 baies, et mesure à l'Oenofoss ; « Sympto ½ », pieds faiblement symptomatiques ; « Sympto ¾ », pieds fortement symptomatiques ; Nombre en gras, moyenne se distinguant (sans statistique) du témoin asymptomatique
- Tableau 3. Mesure du potentiel phénolique des cépages rouges par la méthode Glories ; PAE, Potentiel d'Anthocyanes Extractibles ; RPT, Richesse Polyphénolique Totale ; Nombre en gras, tendance notable sans statistique (pas de répétition)

SOMMAIRE

I. Introduction & problématique 9
II. Synthèse bibliographique 11
1. La Vigne et son importance économique 11
a. Généralités 11
b. Importance économique d'une filière viti-vinicole plus réglementée 11
2. Les maladies de dépérissement 12
a. Les principales maladies de dépérissement de la vigne 12
b. Les maladies cryptogamiques du bois de la vigne 13
c. Evolution et nuisibilité de ces maladies cryptogamiques du bois de la vigne 13
3. L'Esca 15
a. Les agents fongiques pathogènes impliqués dans la maladie de l'Esca 15
b. Les nécroses dans le bois (symptômes internes) 15
c. Symptômes foliaires (symptômes externes) 17
d. Lien entre l'infection au niveau du tronc et les symptômes foliaires 19
e. Symptômes au niveau des baies et des moûts obtenus 19
4. Les techniques de lutte contre les maladies du bois 21
a. La taille vertueuse des flux de sève 21
b. Les autres techniques préventives 22
c. Les techniques curatives 22
III. Matériels et méthodes 25
1. Matériel végétal et les modalités étudiées 25
a. Château Pichon Longueville - Comtesse de Lalande 25
b. Château Latour 25
c. Château Reynon 25
2. Méthodes 26
a. La technique du curetage 26
b. Evolution des symptômes des pieds suite au curetage 27
c. Suivi physiologique 28
d. Suivi maturité 30
e. Traitements statistiques 30
IV. Résultats et discussion 31
1. Suivi de l'évolution des symptômes foliaires des ceps curetés à l'année N par rapport à celle des témoins symptomatiques la même année et des témoins asymptomatiques jusqu'en 2014 31
2. Suivi physiologique 34

a. Nombre de bourgeons francs laissés à la taille 34
b. Taux de débourrement et débourrement réel 35
c. Fertilité/Rendement théorique 37
d. Surface foliaire 39
3. Suivi de maturité 40
a. Le poids moyen des grappes et des baies, et la maturité technologique 40
b. Le potentiel phénolique du Cabernet-Sauvignon 41
V. Conclusion 42
1. Comportement des ceps curetés par rapport aux sains et aux malades 42
2. Pistes d'amélioration de l'étude 43
VI. Références bibliographiques & sitiographiques 44
VII. ANNEXES 48

Glossaire

- Aste : Nom médocain pour désigner une « baguette »
- Asymptomatique : Cep n'exprimant pas de symptômes foliaires d'Esca.
- Bourgeon franc : Bourgeon primaire et fructifère laissé volontairement à la taille.
- Cultivar : Terme botanique qui désigne les variétés d'espèces végétales obtenues par croisement et cultivées.
- Cépage : Terme viticole donné à un cultivar de vigne.
- Malade : Cep possédant des nécroses au sein de son tronc et ayant été symptomatique au moins une année. Ensuite, il peut être asymptomatique ou symptomatique.
- Résilience : Capacité d'un pied de vigne à retrouver le fonctionnement d'un pied sain après avoir subi une perturbation, ici l'Esca.
- Sain : Cep ayant toujours été asymptomatique.
- Symptomatique : Cep exprimant des symptômes foliaires d'Esca sur au moins l'ensemble d'un rameau.

Acronyme

- AOC : Appellation d'Origine Contrôlée
- INRA : Institut National de Recherche Agronomique
- ISVV : Institut Scientifique de la Vigne & du Vin
- FEVS : Fédération des Exportateurs de Vins et Spiritueux de France
- MDB : Maladie du bois
- OIV : Organisation internationale de la vigne et du vin

I. Introduction & problématique

Les parasites responsables des maladies du bois (MDB) de la vigne provoquent la mort du cep à plus ou moins long terme (Bertsch *et al.*, 2012). Ces maladies peuvent-être très dommageables pour la pérennité du patrimoine viticole. Les MDB peuvent-être contrôlées par l'utilisation de l'arsénite de sodium. Cependant, ce produit a été retiré en 2001 du fait de sa toxicité pour l'homme et l'environnement (Larignon, 2018). Aucune méthode de lutte de remplacement satisfaisante n'a été proposée aux viticulteurs depuis. Une recrudescence des MDB a donc été observée depuis deux décennies. Encore aujourd'hui, le maintien de l'outil de production est mis en péril à l'échelle des régions viticoles françaises et européennes (Bruez *et al.*, 2013). Environ 13% du vignoble français seraient rendus improductifs par les MDB (Grosman *et al.*, 2012). Cela engendre d'importantes conséquences économiques pour la profession.

Décrite depuis l'antiquité, l'Esca est l'une des maladies de dépérissement principale en Europe. Elle est caractérisée par une symptomatologie complexe. Des champignons pathogènes se développent de manière lente et systémique dans le bois. Ils sont à l'origine de nécroses touchant les vaisseaux conducteurs de sève. Cette maladie engendre une perte de rendement significative, affecte la qualité des moûts et entraîne une mort prématurée des ceps infectés. La définition de nouvelles méthodes de protection pour enrayer cette crise sanitaire suppose une meilleure connaissance de l'étiologie et de l'épidémiologie de ce dépérissement.

Autrefois, lorsque que les ceps étaient symptomatiques, il était d'usage de mettre à nu les tissus nécrosés (Lafon, 1921). En 1909, le professeur Louis Ravaz décrit une méthode curative de l'Esca : le curetage. Celle-ci consiste à retirer les tissus nécrosés du tronc. Selon lui, cette technique possède une très bonne efficacité : 90% à 95% des ceps ainsi opérés se comporteraient comme des pieds sains deux ou trois ans après l'opération (Lafon, 1921).

Mise à part ce témoignage, aucune étude scientifique n'a été réalisée à notre connaissance sur l'efficacité de cette opération. Pour répondre à ce manque et apporter des conseils répondant aux besoins de la filière viticole, le travail de recherche présenté dans ce mémoire s'est concentré sur la quantification :

- Du pourcentage de pieds curetés résilients. Ces résultats seront comparés avec l'évolution naturelle d'un pool de ceps sains et malades de la même parcelle.

- De la physiologie des pieds curetés avec :
    - La capacité de croissance avec le pourcentage de débourrement
    - La vigueur caractérisée par la surface foliaire
    - Les composantes du rendement avec la fertilité.

  Ces résultats permettront de vérifier si ces indicateurs physiologiques sont similaires à ceux des pieds sains ou ceux des pieds malades.

- Des qualités technologiques et phénoliques des baies à la vendange. Ces résultats permettront de vérifier si les moûts issus des pieds curetés sont similaires à ceux des pieds symptomatiques ou asymptomatiques.

Pour cela, trois parcelles curetées à différentes années seront étudiées. Cela nous donnera une tendance du comportement des ceps curetés à court (2017-18) et moyen terme (2014-16).

La première partie de ce mémoire sera consacrée à un état de l'art présentant une vision systémique du développement de l'Esca au vignoble. La présentation du matériel végétal, et des méthodes mises en œuvre au cours de ce travail fera l'objet d'une deuxième partie. La troisième partie, les résultats obtenus seront présentés et discutés.

II. Synthèse bibliographique

1. La Vigne et son importance économique

a. Généralités

La vigne est une plante ligneuse, pérenne, de la famille des *Vitacées*. Elle fait partie des angiospermes dicotylédones de la classe des *Magnoliopsida*, de l'ordre des *Rhamnales* (Chadefaud & Emberger, 1960). Les vignes cultivées pour la production de raisin appartiennent au genre *Vitis*, originaire de l'hémisphère nord : Amérique, Europe, Asie. Ce genre se divise en deux sous-groupes, *Muscadinia* et *Euvitis*, qui présentent des caractères anatomiques, morphologiques et cytologiques distincts (Planchon, 1887). Les espèces d'intérêt agronomique dépendent du sous-genre *Euvitis*, au sein duquel les vignes sont distinguées en fonction de leur continent d'origine.

Le groupe européen se compose uniquement de l'espèce *Vitis vinifera*, dans laquelle on distingue la vigne sauvage *Vitis sylvestris* de la vigne cultivée *Vitis sativa* dont découlent la plupart des cépages connus tels que le Merlot, le Cabernet-Sauvignon, et l'Ugni blanc. Les espèces américaines comprennent une vingtaine d'espèces possédant des gènes de résistance aux principales maladies de la vigne : mildiou, oïdium, phylloxera. C'est notamment à cause de ce dernier ravageur, que sont connues les espèces *Vitis rupestris*, *Vitis riparia* et *Vitis berlandieri* qui ont permis d'obtenir des porte-greffes résistants. Ils protègent encore aujourd'hui la vigne du phylloxera.

Plus de 10 000 cultivars de vigne seraient aujourd'hui existants dans le monde, dont la plupart sont conservés dans des collections. En France, plus de 200 cultivars sont plantés mais douze cépages seulement couvrent 70% du vignoble et sept sont majoritaires : le Cabernet-Sauvignon, le Cabernet-Franc, le Merlot, le Pinot noir, le Sauvignon blanc et l'Ugni blanc. Le choix d'un cépage s'effectue en fonction de sa résistance, de son rendement et des qualités aromatiques et gustatives des baies produites (Bruez, 2013).

b. Importance économique d'une filière viti-vinicole plus réglementée

La vigne est l'arbre fruitier le plus cultivé au monde avec près de 7,65 millions d'hectares en 2009 (Rotter *et al.*, 2009). La production mondiale du raisin de table est de 677,9 millions de quintaux et celle du vin est de 259 millions d'hectolitres en 2016 (OIV, 2016). L'Europe est le premier producteur mondial de vin avec 66,5% de la production devant les Etats-Unis (19%). La France et l'Italie se disputent ces dernières années la place de premier producteur mondial de vin avec 45 à 50 millions d'hectolitres par an (OIV, 2016).

La viticulture occupe une place importante dans l'agriculture française. Selon les chiffres de France Agrimer [1], son chiffre d'affaires est de 18 milliards d'euros en 2013. La part du vin dans l'économie de la France est largement significative. Avec un solde commercial positif de 10,4 milliards d'euros, il s'agit du 1er secteur agroalimentaire excédentaire. La viticulture française génère 600 000 emplois directs ou indirects. Plus de 15% de la valeur de la production agricole est réalisée par seulement 3% des surfaces agricoles.

Selon la Chambre d'agriculture de Gironde, le vignoble bordelais représente 11,3% de la production de vin en France [2]. Plus de 155 000 hectares sont consacrés à la production de 60 vins AOC, soit 25% des AOC nationaux. De nombreux cépages sont cultivés dont les

principaux sont le Merlot, le Cabernet-Sauvignon et le Cabernet-Franc pour les vins rouges ; le Sémillon et le Sauvignon blanc pour les vins blancs.

A priori favorable, la viticulture moderne peut pourtant traverser différentes crises. Dans son passé, elle a subi celles sanitaires dû à la prolifération de l'oïdium ou du mildiou ; ou encore celle provoquée par le phylloxera à la fin du XIXème siècle. Les baisses de production ont alors un fort impact économique.

La protection phytosanitaire revêt alors d'enjeux financiers importants, mais aussi socio-environnementaux. Elle est de plus en plus encadrée par le grenelle de l'environnement de 2007 et le projet d'action Ecophyto de 2018.

Même si la vigne est sensible à divers agents pathogènes (virus, phytoplasmes, bactéries, insectes et champignons), la majorité des pesticides utilisés en viticulture sont des fongicides. En moyenne, 7 à 19 traitements sont appliqués par parcelle au cours d'une saison, selon les études du ministère de l'Agriculture publiées sur Agreste. [3] Les principales maladies visées sont le mildiou, l'oïdium et dans une moindre mesure la pourriture grise. Elles sont respectivement dues aux agents *Plasmopara viticola, Erysiphe necator* et *Botrytis cinerea*. Ces pathogènes atteignent les organes herbacés de la vigne et peuvent être maîtrisées en conjuguant prévention, prophylaxie et usage raisonné des traitements chimiques.

Le monde viticole subi actuellement une nouvelle crise majeure : la recrudescence des maladies de dépérissement de la vigne. Pour l'instant, il n'existe pas de moyens curatifs directs respectant les normes sociaux-environnementales contre ces maladies. Elles menacent la pérennité de la filière viti-vinicole.

2. Les maladies de dépérissement

Selon le Plan National de Dépérissement [4], la notion de dépérissement désigne la baisse annuelle de productivité subie par le cep infecté et/ou sa mort prématurée, brutale ou progressive liées à une multiplicité de facteurs biologiques, environnementaux ou résultant de pratiques agricoles.

a. Les principales maladies de dépérissement de la vigne

Les maladies de dépérissement se caractérisent par une contamination des parties ligneuses de la plante. L'expression erratique des symptômes foliaires rend difficile leur détection précoce au vignoble. Les principales maladies impliquées dans le dépérissement du vignoble sont les viroses, les maladies dues aux bactéries (incluant les phytoplasmes) et les maladies du bois de la vigne. A ce jour, les plus néfastes en France sont :

Le court-noué

La maladie du court-noué est une virose transmise par des nématodes. Elle est répandue dans la quasi-totalité des vignobles du monde. Ce dépérissement affecte la longévité de la vigne, son potentiel de production et la qualité des raisins produits. En France, les vignobles septentrionaux sont les plus touchés. Les pertes peuvent atteindre 60 % de la production.

La flavescence dorée

La flavescence dorée est présente en France depuis plusieurs dizaines d'années. C'est une maladie de quarantaine. Elle est soumise à une déclaration obligatoire depuis l'arrêté

ministériel JORF n°0304 du 19 décembre 2013. Il s'agit d'une jaunisse à phytoplasmes, des bactéries sans paroi. Elle est transmise à la vigne de deux manières :

- Soit, lors du greffage en utilisant un matériel végétal contaminé
- Soit par un insecte vecteur. Il se nourrit de la sève contaminée d'une plante porteuse du phytoplasme. Puis, il contamine un cep sain au cours d'une prise alimentaire ultérieure.

Tous les vignobles de France sont atteints par la flavescence dorée de la vigne, sauf à ce jour la Champagne et l'Alsace.

Les maladies cryptogamiques du bois de la vigne

Les maladies du bois sont dues à un cortège d'agents pathogènes qui provoquent des nécroses dans les vaisseaux conducteurs de sève. Les cépages de toutes les régions viticoles françaises, européennes et mondiales, sont concernés.

Avec une augmentation annuelle de 1 à 5 % de ceps atteints selon les régions, la recrudescence des maladies du bois de la vigne est à l'origine d'une crise sanitaire majeure.

b. Les maladies cryptogamiques du bois de la vigne

Les maladies cryptogamiques du bois de la vigne sont associées à des champignons pathogènes envahissant les troncs et les bras. Elles sont responsables de dépérissements importants à l'échelle mondiale. Elles diminuent donc la longévité d'une plantation de vigne (Bruez *et al.*, 2013). Elles affectent la qualité des raisins produits par les vignes malades que ce soit pour l'Esca (Lorrain *et al.*, 2012) ou la « hoja de malvón » en Argentine (Casassa *et al.*, 2010). Le maintien de l'outil de production en terme quantitatif et qualitatif à l'échelle des régions viticoles françaises et européennes est donc compromis (Bruez *et al.* 2013).

A moyen terme, ces maladies modifient la qualité des vins produits. Elles entraînent soit une dépréciation de la qualité des vins suite à un rajeunissement des parcelles, soit une perte de la typicité d'un vin d'une région viticole suite à la non-replantation des cépages les plus sensibles (Rey, 2011).

En France, trois maladies du bois sont majoritaires :

- L'Eutypiose. Ses symptômes sont facilement reconnaissables dès le printemps. Le feuillage se rabougrit, les feuilles ont un aspect crispé et chlorotique des feuilles. Au niveau du bois, une nécrose sectorielle de couleur brune se retrouve.
- L'Esca et le Black Dead Arm (BDA). La distinction entre les symptômes d'Esca et de BDA est très délicate. Le BDA présenterait plus de taches inter-nervures sur les feuilles à la base des rameaux. Cependant, une superposition des symptômes est fréquente au cours de la saison. Certains chercheurs pensent qu'il n'y a pas de raison de les distinguer.

c. Evolution et nuisibilité de ces maladies cryptogamiques du bois de la vigne

Les maladies du bois, dont majoritairement l'Esca et l'Eutypiose, sont en recrudescence en France depuis les années 2000 (Bruez *et al.*, 2013). Cette recrudescence s'explique à la fois par l'interdiction de l'arsénite de sodium en 2001, et le réchauffement global des températures depuis 1978 (Larignon, 2018).

- L'arsénite de sodium était appliqué durant le XX^{ème} siècle. Par badigeonnage sur les plaies de taille, il pénétrait dans le cep. Son large spectre d'action antifongique permettait une application préventive. Cette substance a été interdite à cause des effets cancérogènes sur l'Homme et de sa forte toxicité sur l'environnement (Hermelont *et al.*, 2005).
- Le changement climatique amplifie les périodes de sécheresse estivales (IPCC 2013). et augmente le nombre de fortes précipitations ponctuelles. Cette alternance serait favorable au développement des champignons.

Avec l'application d'arsénite de sodium, les maladies du bois n'étaient pas préoccupantes. Les mesures de lutte préventive ont donc été reléguées au second plan, dont notamment l'importance de la taille. De plus, la main d'œuvre qualifiée dans les vignobles s'est raréfiée au cours du siècle précédent. Les vignobles ont donc hérité de tailles dites non vertueuses des flux de sève.

La création d'un observatoire pluriannuel des maladies du bois en 2002, a permis de dresser un état des lieux en France. Entre 2003 et 2008 l'analyse a porté sur plus de 600 parcelles réparties dans la plupart des régions viticoles et représentant environ 27 cépages. Concernant l'Esca, le nombre de parcelles exprimant des symptômes a augmenté au cours des six années d'études passant de 50% en 2003 à 73% en 2008. L'incidence des symptômes augmente aussi régulièrement : de 1% en 2003 à 3% en 2008.

En développement constant depuis le début des années 2000, les MDB induisent des pertes économiques conséquentes. Par exemple, Bruez *et al.* (2013) a estimé qu'environ 6% des ceps du vignoble Bordelais sont symptomatiques. Ce chiffre atteint 14% si l'on inclut les pertes indirectes ; c'est-à-dire, les ceps morts ou arrachés, les jeunes plants ne produisant pas durant 3ans et les plants recepés (voir chapitre II.4.b). Pour une région viticole représentée par un cépage sensible, le constat est encore plus alarmant. Par exemple, sur le vignoble charentais, les parcelles d'Ugni blanc présentent généralement 15% de ceps improductifs. Certaines parcelles ont des valeurs atteignant 30% (Bruez *et al.*, 2013). D'autre part, un même cépage peut être plus ou moins atteint par l'Esca selon la région. Par exemple, comme le Cabernet-Sauvignon qui est plus atteint dans la région bordelaise qu'en Provence-Alpes Côte d'Azur.

Pour connaître l'impact global des MDB sur une parcelle, l'expression des symptômes foliaires doit être considérée sur plusieurs années. Un cep pourra exprimer des symptômes une année, et être asymptomatique l'année suivante. Considérant cela, le pourcentage de ceps malades est bien plus important. Par exemple, sur une parcelle en Bourgogne, Grosman et Doublet (2012) ont rapporté un pourcentage de ceps symptomatiques annuel bas (3-4%). Cependant, sur une période de 10 ans, 21% des ceps avaient exprimés des symptômes d'Esca au moins une fois.

Rappelons qu'en France plus de 15% de la valeur de la production agricole est réalisée par seulement 3% des surfaces agricoles. La valeur ajoutée à l'hectare, et même par cep, est très forte. C'est pour cela que les MDB sont devenues une préoccupation majeure pour la filière viti-vinicole en l'espace de deux décennies (Bertsch *et al.*, 2012). Parmi ces MDB, l'Esca est devenue le dépérissement le plus préoccupant.

Face à cette crise, une aide sur les moyens de lutte efficaces, respectueux de l'environnement et économiquement acceptables doit être apportée. La mise au point de moyens de lutte nécessite cependant une meilleure compréhension du mode de développement et de propagation de l'Esca.

3. L'Esca

L'Esca est une des plus anciennes maladies du bois de la vigne en Europe. Des descriptions datent de l'antiquité.

a. Les agents fongiques pathogènes impliqués dans la maladie de l'Esca

L'Esca est une maladie qui est due à l'infection et la propagation de champignons pathogènes au sein du cep. [Photo 1] Les principaux champignons pathogènes de l'Esca sont : *Phaeomoniella chlamydospora*, *Phaeoacremonium minimum*, *Fomitiporia mediterranea* et *Botryosphaeria* spp (Bertsch *et al.*, 2012 ; Gimenez-Jaime *et al.*, 2006; Larignon *et al.*, 2009 ; Rumbos et Rumbou, 2001; Maher *et al.*, 2012). La communauté scientifique s'accorde sur le fait que ce sont plutôt des champignons aériens, car ils sont rarement retrouvés dans les racines.

L'infection peut être due à la combinaison de plusieurs facteurs :

- La pression fongique qui est soit endophyte via des boutures issues de rameaux contaminés, soit exogène *via* les plaies de tailles pouvant constituer des portes d'entrée à de nouveaux pathogènes.
- A la présence de bois mort au sein du cep qui pourrait être un substrat au développement des champignons pathogènes.
- A des conditions climatiques favorables au développement de ces champignons, soit une période sèche associée à des orages pluvieux.

L'Esca atteint généralement des ceps de vigne âgés de 15 à 25 ans, mais des études ont montré que les jeunes plants pouvaient également être atteints (Murolo *et al.*, 2014).

Ensuite, les champignons pathogènes déstructurent de façon complémentaire le bois. Le processus de dégradation se déroule en différentes étapes. Celles-ci se chevauche selon la dynamique de la population fongique. Un cortège de champignons pionniers, dont les ascomycètes *Phaeomoniella chlamydospora* ou *Phaeoacrémonium minimum*, commence à dégrader les tissus sains en nécroses brunes. Ensuite, le basidiomycète *Fomitiporia mediterranea* est un colonisateur plutôt secondaire. Il dégraderait préférentiellement la cellulose et la lignine, puis l'hémicellulose qui est plus difficilement dégradable. Le tissu nécrosé totalement dégradé s'appelle l'amadou. Seul *Fomitiporia mediterranea* y est présent à plus de 70%. D'autres champignons peuvent contribuer au développement des nécroses comme *Eutypia lata*, ou encore des espèces de *Botryosphaeria* spp.

La flore fongique interagit de manière intra et interspécifique au sein du cep. Des projets de recherche tentent d'en savoir plus sur ces interactions. Par exemple, l'hypothèse suivante est actuellement testée : *Fomitiporia mediterranea* possède des interactions positives avec d'autres pathogènes. L'ensemble des projets de recherche à l'échelle nationale est disponible sur la plateforme du « Plan National Dépérissement du Vignoble » dans la rubrique des « travaux de recherche ». [4]

b. Les nécroses dans le bois (symptômes internes)

Photo 1. Coupe longitudinale d'un cep charentais d'Ugni Blanc atteint d'Esca. Crédit : Simonit&Sirch

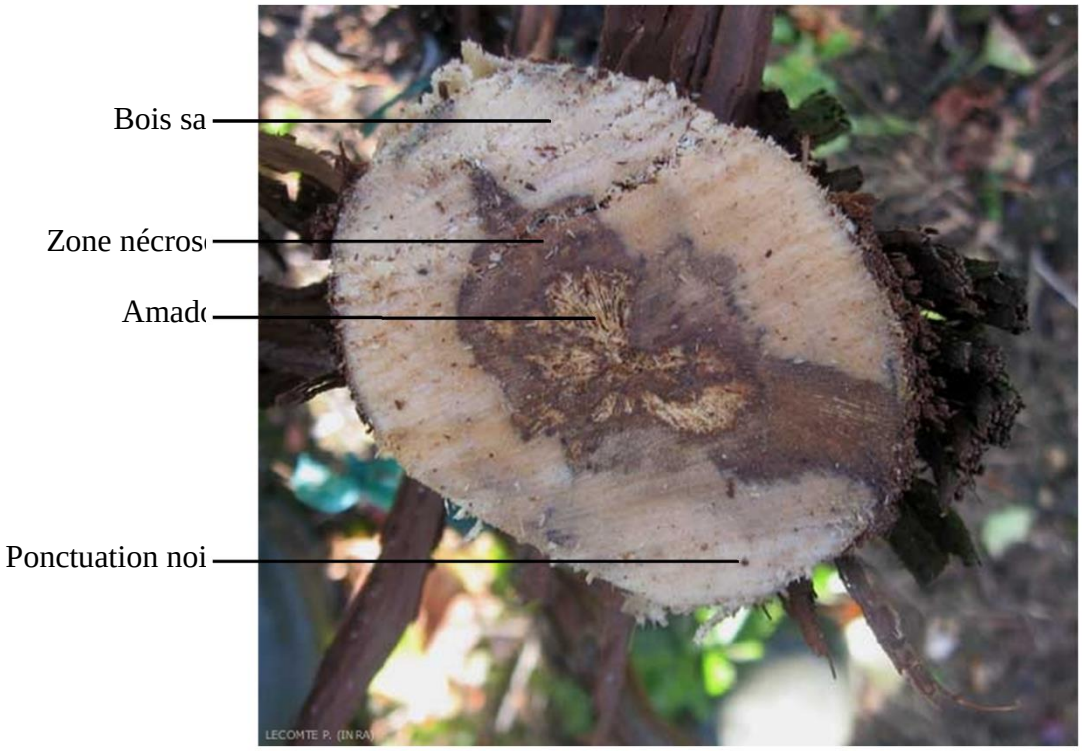


Photo 2. Nécrose mixte avec liseré foncé dans le bois accompagné d'amadou. Photo issus du site internet « Ephytia de l'INRA » [5] Crédit : Pascal Lecomte.

Une coupe transversale des ceps malades permet d'observer différents symptômes au niveau du tronc : [Photo 2]

- Les tissus sains qui apparaissent en beige.
- Les ponctuations noires au sein du bois sain. Elles seraient dues à des faisceaux de xylème qui cesseraient de fonctionner.
- Les nécroses pouvant être centrales, sectorielles, ou mixtes. Elles présentent un tissu brun/rose avec un liseré foncé dans la majorité des cas.
- L'amadou - tissus totalement nécrosé - se présente sous la forme de « pourriture » blanchâtre ou jaunâtre avec une texture spongieuse.

L'observation longitudinale d'un cep sans écorce ni tissus superficiels montre des rayures superficielles jaunes orangées. [Photo 1 et 3] Ces nécroses semblent se traduire par une symptomatologie foliaire en altérant le fonctionnement vasculaire de la plante.

D'autre part, la dégradation des tissus ligneux et la production de certains composés toxiques par les agents pathogènes, causeraient des perturbations dans le métabolisme de la plante et l'apparition de symptômes foliaires (Dubos, 2002).

c. Symptômes foliaires (symptômes externes)

Les symptômes foliaires, engendrés par l'Esca, sont soit des plages décolorées au niveau du limbe, soit un dessèchement puis une nécrose des zones inter-nervaires donnant un aspect tigré aux feuilles. [Photo 4] Ces deux symptômes peuvent apparaître simultanément sur une même feuille.

Les premiers symptômes apparaissent selon les régions à partir de fin juin/mi-juillet et se manifestent régulièrement durant toute la période végétative. Comme le développement des rameaux est terminé à cette période, peu d'incidences sur la taille des mérithalles sont remarqués ; contrairement à l'Eutypiose dont les symptômes apparaissent dès avril.

Entre août et décembre, les rameaux symptomatiques produisent très peu de subérine par rapport aux rameaux sains (Fleurat-Lessard *et al.*, 2013).

Selon les travaux de Petit *et al.* (2006), les feuilles symptomatiques présentent une fermeture stomacale et une altération de la photosynthèse sur les zones colorées du fait de :

- La baisse d'assimilation du CO2, la baisse de transpiration et l'augmentation du CO2 intracellulaire.
- La baisse de rendement du photosystème II mesuré par fluorescence.
- La baisse de chlorophylle

Au final, les réserves de carbohydrates accumulées dans les rameaux symptomatiques en fin de saison sont réduites de moitié par rapport à des rameaux asymptomatiques.

Photo 3. Relation entre la présence de la bande longitudinale et celle des symptômes foliaires. Photos issues du site internet sur les maladies du bois de la vigne [6] (Crédit : P.Lecomte)

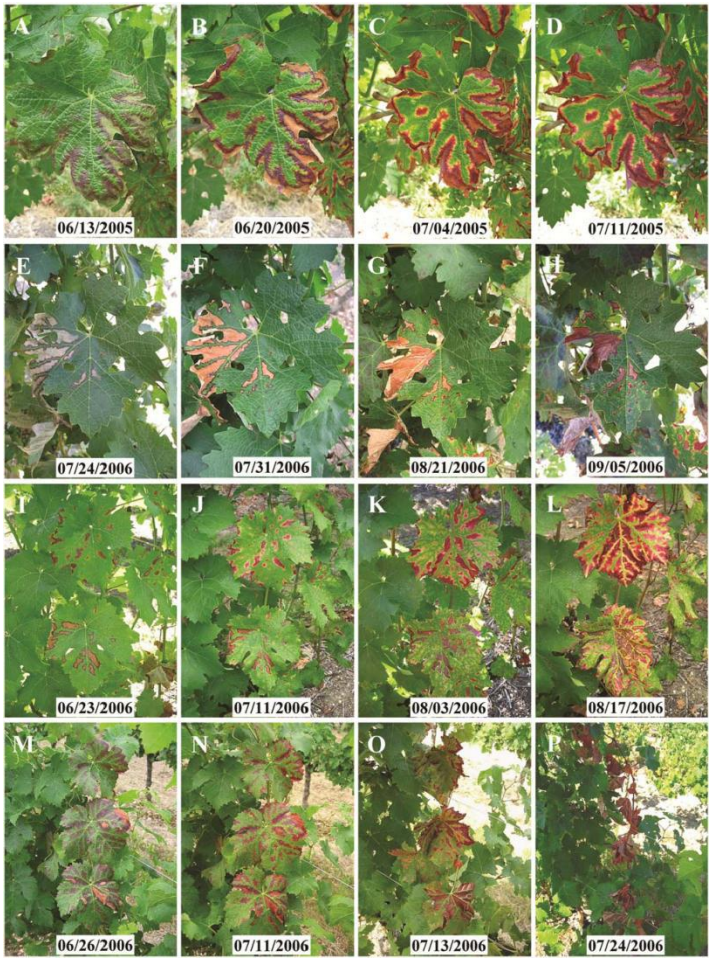


Photo 4. Quatre exemples de l'évolution des symptômes foliaires de l'Esca sur Cabernet-Sauvignon dans la région bordelaise durant l'été 2005 et 2006. Photos issues de la publication de Lecomte *et al.* en 2012

Deux formes d'apparition de l'Esca sont à distinguer : la forme apoplectique (Mugnai *et al.*, 1999) et la forme lente avec des symptômes foliaires à « bandes tigrées » (Bertsch, 2012). La forme apoplectique foudroie un bras ou la totalité de pied en moins d'une semaine. La forme lente affaiblit le pied d'année après année.

Pour l'instant, peu de preuves scientifiques expliquent l'apoplexie. Cependant, elle s'observe le plus souvent lors de stress abiotiques forts et s'applique dans la majorité des cas à un seul bras.

Maher *et al.* ont montré en 2012 que l'état sanitaire du cep était corrélé au volume des nécroses. Pour la forme chronique, la nécrose la plus pertinente à prendre en compte pour évaluer l'état du cep est la pourriture blanche. Pour la forme apoplectique, les formes sévères d'Esca s'observent lorsque les zones du cambium et de la partie externe du xylème sont atteintes. Cela impacterait les flux d'eau et de minéraux.

d. Lien entre l'infection au niveau du tronc et les symptômes foliaires

Le lien entre les symptômes foliaires et le développement des champignons pathogènes n'est pas encore élucidé. Les hypothèses suivantes sont explorées :

- Certains champignons pourraient émettre des mycotoxines comme l'a montré Mme. Mugnai *et al.* en 1999. Cependant, cette expérimentation a été réalisée *in vitro* dans des conditions favorables pour le champignon.
- Des mycovirus seraient à l'origine des symptômes. Le projet « MYCOVIR » travaille sur cette hypothèse. Il est porté par Mme. Marais, chercheuse à l'INRA - l'UMR BFP. [4]
- La vigne et des champignons pourraient produire de la gomme engendrant des thylloses qui boucheraient le xylème (Fontaine *et al.*, 2015).

D'autres observations sont encore inexpliquées :

- Un pied symptomatique redevenant asymptomatique l'année suivante. Ceci pourrait s'expliquer soit par les flux de sèves changeant de trajet d'une année à l'autre, soit par les conditions climatiques qui influenceraient la présence et/ou l'activité de la population fongique et la physiologie de la plante.
- Au sein du même pied, un bras peut être asymptomatique et l'autre symptomatique.

e. Symptômes au niveau des baies et des moûts obtenus

Les baies issues de ceps symptomatiques peuvent présenter : [Photo 5]

- Un retard de maturité.
- Un flétrissement des grappes
- De petites taches brunes et violacées qui peuvent se présenter en surface.

Photo 5. Grappes issues de ceps asymptomatiques (à gauche) et symptomatiques (à droite) de Cabernet-Sauvigon de la région bordelaise au moment de la vendange (fin septembre 2019)

Calzarano *et al.* (2004) ont mesuré les caractéristiques des moûts et des vins issus de ceps symptomatiques et sains du cépage blanc italien le Trebbiano d'Abruzzo.

L'étude quantifie la forte diminution de production de sucre et une acidité totale dans les moûts issus des ceps symptomatiques. Cela s'explique essentiellement par la plus grande concentration d'acide malique. L'acide majoritaire du vin est l'acide tartrique. Son niveau ne diffère pas entre les modalités. Il en est de même pour le pH.

L'acide malique est synthétisé à partir de la β-carboxylation du phosphoénolpyruvate (PEP) issu de la glycolyse. Son accumulation se fait dans des cellules de stockage du mésocarpe de la baie (Hale, 1962). Cette phase se réalise jusqu'à la véraison. Après ce stade, une perte d'étanchéité de la membrane vacuolaire entraînerait la libération du malate (Terrier et Romieu, 2001). Ce dernier serait dégradé par une enzyme en pyruvate (Ruffner, 1982). Cette molécule est ensuite consommée par le cycle de Kreps. La baisse d'acide malique serait un marqueur de l'évolution de maturation des raisins.

Ainsi, les teneurs en acide malique élevées et des teneurs en sucres plus faibles sont associées à un retard ou un arrêt de maturation.

D'autre part, Calzarano *et al.* (2004) ont observé pour ce cépage blanc que les teneurs en azote totale et polyphénols totaux sont bien plus élevées pour les pieds symptomatiques. Peu d'explications scientifiques justifient ces différences.

Lorrain *et al.* (2012) ont comparé les différents potentiels phénoliques entre les pieds sains et malade de Cabernet-Sauvignon de la région bordelaise. La composition phénolique n'est pas significativement différente, mais le degré de polymérisation des tannins semble avoir fortement diminué dans le cas des vins issus des ceps symptomatiques. Les raisins symptomatiques possèdent un total d'anthocyanes plus faible.

Selon les auteurs, à partir de 5% de baies contaminées présentent dans le lot de raisins microvinifiés, les vins seraient perçus comme plus d'astringence, d'odeurs herbacées et terreuses que les vins issus des ceps témoin asymptomatiques. De même, les odeurs fruitées diminueraient par rapport au témoin sain.

D'autre part, l'étude confirma les résultats de Calzarone (2004). Plus le pourcentage de raisin contaminé augmente ; plus les teneurs en sucres diminuent. Et au contraire, plus l'acidité totale et l'azote totale augmentent.

4. Les techniques de lutte contre les maladies du bois

Les moyens de protection de la vigne contre les MDB sont difficiles à mettre en œuvre car :

- Le développement des champignons dans le bois est lent et invisible.
- Les sources d'inoculum d'agents fongiques pathogènes sont variées.

L'arsénite de sodium, seul produit qui était homologué pour lutter contre l'Esca au vignoble n'est toujours pas remplacé. A l'heure actuelle, la lutte est essentiellement préventive (Larignon, 2009).

a. La taille vertueuse des flux de sève

En Italie, l'arsénite de sodium a été interdit une dizaine d'année plus tôt qu'en France. Les problèmes de MDB ont donc été plus précoce d'une décennie. C'est dans la région du Frioul que Marco Simonit et Pierpaolo Sirch ont remis en question le système de taille.

Ils ont remarqué que le flux de sève était la clef de la pérennité du cep. Il doit être le moins possible perturbé. Pour cela, une méthode a été élaborée selon les quatre principes suivants : (Simonit, 2016)

- RAMIFICATION – Repenser l'espace mis à disposition pour le développement de la plante.
- CONTINUITE DU FLUX DE SEVE – Séparer les zones de dessiccation du flux principal de sève.
- TAILLE AU NIVEAU DE LA COURONNE – Réduire les surfaces de coupe et respecter les bourgeons de la couronne pour protéger contre la dessiccation.
- CHICOT – Constituer une défense de plus pour la plante.

Ces principes sont schématisés ci-dessous :

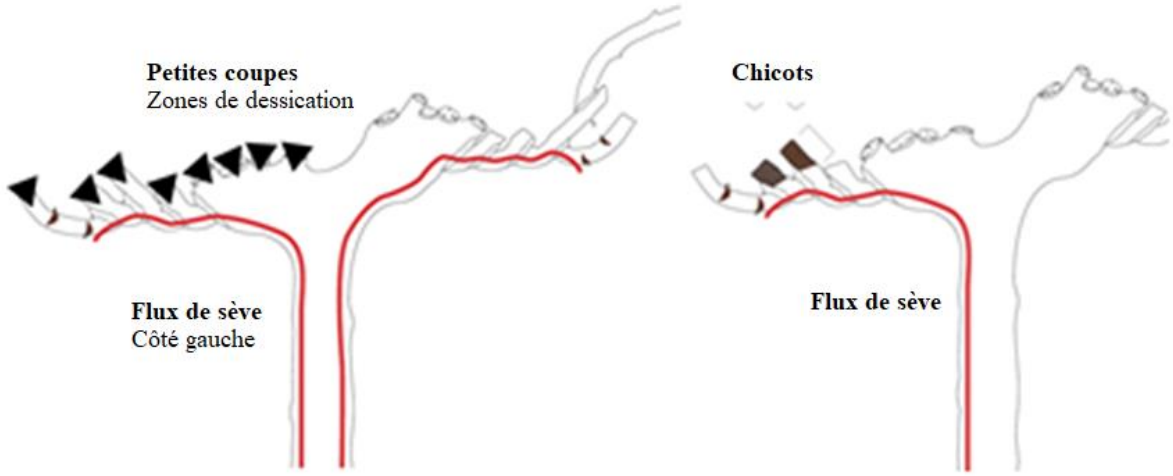


Schéma 1. Taille respectueuse des flux de sève selon la méthode Simonit & Sirch ; illustration issue du livre « Guide pratique de la taille Guyot » publié par Simonit *et al.* en 2016.

Cette taille préventive permet de réduire les dessèchements des petites coupes et de placer ces cônes du même côté du rameau. De plus, l'allongement des bras chaque année « dilue » les cônes de dessiccation dans du bois vivant et sain.

A l'inverse, des plaies mutilantes de rajeunissement cherchent à figer l'emplacement des rameaux fructifères à la même position. Cette pratique engendre de larges cônes de dessiccation dans peu de bois sain. C'est le cas des « tête de saule » pour la taille guyot, soit lorsque la tête du tronc possède de nombreuses plaies de taille comme le cep de la photo 1. C'est ce qu'explique M. Lecomte dans la vidéo ci-joint. [7]

Dans l'étude de Maher *et al.* publiée en 2012, les formes chroniques de l'Esca présentent significativement plus de nécrose de taille que les ceps asymptomatiques.

Travadon *et al.* ont comparé en 2016 deux types de tailles : le double cordon de Royat et la taille minimum. Ils ont conclu qu'ils observaient plus de bois mort et de symptôme d'Esca sur la taille en cordon. La taille influence aussi significativement la population fongique. Cette dernière est différente entre les bras et le bas du tronc. Les pathogènes sont plutôt situés en haut du tronc là où les zones de dessiccations sont présentes.

Les différences entre ces modes de taille pourraient s'expliquer par le respect des flux de sève. Pour la taille minimum, la majorité les tourelles semblent avoir pu s'allonger. Pour la taille cordon, les plaies de rajeunissement des tourelles ont créé d'importants cônes de dessiccation. Cela a engendré une recrudescence des maladies du bois.

Si l'allongement des tourelles est respecté, la taille cordon devrait être tout à fait pérenne. Elle dérive de la taille gobelet réputée vertueuse.

b. Les autres techniques préventives

En 1921, M. Lafon a écrit le livre « Modifications à apporter à la taille de la vigne des Charentes ». Il y retrace les expérimentations menées par M. Ravaz sur la lutte contre l'Esca. Ce dernier conclut qu' « un antagonisme absolu » existe entre les champignons de l'Esca et ceux de la décomposition dont les germes viennent de la terre (page 81). Il suggère le traitement préventif suivant :

- Percer les grosses plaies âgées de 2 à 3 ans jusqu'aux tissus sains.
- Y incorporer un mélange d'eau avec 10-15 % de terre.

Les champignons de la pourriture occuperaient le biotope fongique à la place de ceux de l'Esca.

Désormais, d'autres techniques préventives existent comme le biocontrôle. C'est le cas de l'application de *Trichoderma* sur les plaies de taille. Ce champignon ascomycète entrerait par les plaies de taille pour coloniser une partie biotope fongique. Il aurait un rôle de protection de ces plaies de taille en interagissant avec les champignons pathogènes.

D'autres recherches de techniques préventives sont en cours d'expérimentation. C'est le cas du chercheur alsacien Christophe Bertsch qui souhaite créer un pied « doublement greffé » en incorporant *Vitis Sylvestris* au niveau du tronc. Cette vigne non domestiquée serait plus résistante aux maladies du bois que Vitis vinifera. [8] Cette sensibilité peut être liée à la largeur des faisceaux vasculaires. Pour les cépages de Vitis vinifera, plus le diamètre des faisceaux vasculaires est large, plus ils sont plus sensibles aux maladies du bois (Pouzoulet, 2014).

c. Les techniques curatives

Des techniques de sauvetage des ceps ont été pratiquées dès l'apparition des premiers symptômes. Le choix de ces techniques dépend du le niveau de sévérité de la maladie.

Le recépage consiste à utiliser un rameau à la base du tronc pour en créer un nouveau. Le tronc infecté est ensuite coupé en dessous de l'amadou. Cette technique est maintenant critiquée. Les grosses plaies de ravalement engendrent des conditions favorables aux champignons pathogènes pour réinfecter le pied rapidement. De plus, même avec des précautions de coupe basse, certains pathogènes ne sont pas suffisamment éliminés. Une réinfection a alors lieu.

Le greffage sur porte-greffe [Photo 6] consiste à sectionner le tronc en dessous du bourrelet de greffe. Comme les champignons pathogènes franchissent difficilement le bourrelet de greffe, la majorité des porte-greffes sont sains. Une greffe en fente anglaise est ensuite réalisée sur le porte-greffe. Cette technique est chronophage et demande beaucoup de technicité.

Certaines pistes de recherche sont encore expérimentées comme l'injection d'une molécule anti-fongique au cœur du cep (Tavaux en cours réalisés par Mme. Guedon).

La dernière technique est celle sur laquelle porte notre étude : le curetage. Elle consiste à enlever les parties du tronc infectées. La description la plus ancienne de celle-ci date de 1909 par M. Ravaz. [Photo 7] Il utilisa des outils d'un autre temps : « une serpe, une grosse serpette, et une gouge à bout recourbée » (Lafon, 1921). Cependant, il apprit « de mémoire d'homme » qu'en Crête ou en Syrie, il était d'usage d'ouvrir les souches symptomatiques (page 97). La mise à nu des tissus contaminés pour soigner un cep est donc pratiquée depuis très longtemps.

Selon M. Ravaz, le curetage peut s'effectuer aussitôt que le cep présente des symptômes, ou bien pendant la période de dormance. Son efficacité serait de 90 à 95% avec des pieds redevenant vigoureux et fructifères 2 à 3 ans après le traitement. En terme de rendement de travail, un vigneron pourrait cureter 200 à 300 ceps par jour !

Photo 6. Greffage en place sur le château de Pichon Longueville – Comtesse de Lalande. Photo personnelle prise le 2 mai 2019

P : Emplacement d'une grosse plaie de ravalement.

B : Bois sain mis à nu par le curetage.

Photo 7. Cep cureté en 1919 aussitôt après l'attaque d'apoplexie (Vignoble de M. Renaus à Gensac, Charente) ; Photo extraite du livre de M. Lafon publié en 1921, figure n°67

III. Matériels et méthodes

1. Matériel végétal et les modalités étudiées

L'expérimentation est réalisée sur les cépages Cabernet-Sauvignon et Sauvignon blanc. Ce sont deux cépages particulièrement sensibles à l'Esca. La prévalence de ceps présentant des symptômes de MDB est importante : respectivement 4,6% et 5,2% dans la région bordelaise (B. Doublet, J. Grosman, 2018).

Des expérimentations ont été mises en place dans trois propriétés viticoles :

- Château Pichon Longueville – Comtesse de Lalande, et Château Latour en appellation Pauillac.
- Château Reynon en appellation Cadillac-côtes-de-Bordeaux.

Le plan de chaque parcelle a été placé en annexes : 1, 2 et 3.

Le Cabernet-Sauvignon est taillé en taille traditionnelle appelée « Médocaine ». Elle consiste à laisser une aste à trois bourgeons francs sur chaque bras.

Le Sauvignon blanc est taillé en Guyot double avec une baguette à quatre bourgeons francs et un courson laissé si possible sur chaque bras.

Le mode de conduite est un treillis en espalier simple.

Le suivi des équipes viticoles dans les parcelles est assuré par la société Simonit & Sirch depuis 2012. Ces derniers s'efforcent de respecter les flux de sèves selon leur méthode de taille.

Les modalités étudiées pour chaque château sont les suivantes :

a. Château Pichon Longueville - Comtesse de Lalande

La parcelle nommée « Virginie » de Cabernet-Sauvignon plantées en 1999 avec le porte-greffe 101-14. Le sol est à dominance graveleux.

- Souches asymptomatiques depuis 2018
- Souches curetées en 2018
- Souches malades depuis 2018

b. Château Latour

La parcelle « Grand Enclos » de Cabernet-Sauvignon plantée en 1996 avec le porte-greffe 101-14. Le sol est similaire au Château Pichon Comtesse avec plus de graves en superficie.

- Souches asymptomatiques depuis 2017
- Souches curetées en 2017
- Souches malades depuis 2017

c. Château Reynon

La parcelle « Cyprès Est » de Sauvignon blanc plantée en 1994 avec le porte-greffe 101-14. Le sol est à dominance sableuse.

- Souches asymptomatiques depuis 2012.
- Souches symptomatiques en 2014, curetées la même année.
- Souches symptomatiques en 2016, curetées la même année.
- Souches malades depuis au moins 2016.

Les souches asymptomatiques ont été choisies à proximité des autres modalités dans un souci de représentabilité de chaque parcelle.

2. Méthodes

a. La technique du curetage

Les pieds sont curetés par les maîtres tailleurs de vigne de l'entreprise Simonit&Sirch. Cette technique nécessite une identification des pieds récupérables et un savoir-faire pour enlever avec précision l'ensemble des nécroses. Selon les maîtres tailleurs de vigne, deux saisons d'entraînement sont nécessaires pour bien maîtriser cette technique.

Deux tronçonneuses sont utilisées : une thermique ayant la puissance nécessaire pour ouvrir le pied, puis une électrique permettant d'enlever finement la partie spongieuse de bois contaminé. La vidéo « SURGERY FOR ESCA DISEASE » publiée par Simonit & Sirch en 2016 [9] explique les différentes étapes du curetage. Une autre vidéo réalisée par Vitisphère [10] détaille cette opération de curetage au Château Reynon. [Photo 8]

Photo 8. Pied cureté au château Reynon par les maîtres tailleurs de vigne (Tommaso Martignon à gauche, Massimo Giudici à droite). Photo tirée de la vidéo de Vitisphère [10]

b. Evolution des symptômes des pieds suite au curetage

Dans ce chapitre, les résultats présentés se focaliseront sur la parcelle de Sauvignon blanc « Cyprès Est » du château Reynon.

i. Notation au vignoble

Depuis 2012, chaque année, chaque pied de la parcelle est noté selon son état avant les vendanges. Ce dernier peut-être : asymptomatique, symptomatique, avec un bras en moins, ou mort. Les données collectées sont actuellement en cours de publication par Pascal Lecomte, chercheur à l'INRA - UMR SAVE. Dans son étude, l'auteur discrimine aussi les pieds présentant peu et de forts symptômes. L'échelle est précisée dans sa publication de 2012 citée précédemment.

Les ceps avec un bras en moins peuvent présenter des symptômes foliaires ou non. Par soucis de clarté sur le graphique, cette discrimination n'a pas été représentée. L'ensemble de ces données ont été utilisées et retraitées afin de quantifier la résilience des pieds au curetage par rapport à l'évolution naturelle des ceps malades et sains.

ii. Traitement des données

A partir des notations au vignoble, trois modalités vont être étudiées : les ceps « malades », « curetés », et « sains ».

Pour les ceps « curetés » et « malades », l'évolution annuelle des pieds marqués est représentée graphiquement. Les évolutions des pieds curetés et leurs témoins malades en 2014, 2015, et 2016 sont affichés en annexe (5, 6, 7). Pour lisser l'effet millésime, ces trois années ont été assemblées au sein d'un même graphique. L'année « N » est celle du curetage pour le pied considéré. L'établissement de cette variable est détaillé dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Composition de la variable N en fonction de l'année de curetage et de l'année d'observation pour les ceps « curetés » et « malades »

		Année d'observation					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Année de curetage	2014	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
	2015		N	N+1	N+2	N+3	N+4
	2016			N	N+1	N+2	N+3

Pour les pieds « sains », seuls les pieds asymptomatiques en 2012, 2013 et 2014 ont été retenus sur 5 rangs de vigne. Les 147 pieds sélectionnés ont ensuite été suivis jusqu'en 2019. Parmi ces pieds, 20 ceps devenus symptomatiques ont été curetés entre 2015 et 2019. Leur évolution a été modélisée en appliquant les probabilités obtenues lors du suivi des pieds malades.

c. Suivi physiologique

Suivant les paramètres, entre 15 et 20 pieds ont été choisis aléatoirement par modalité et par château. Les ceps suivis pour les différents comptages du suivi physiologique sont toujours les mêmes.

Les comptages pour le suivi physiologique ont eu lieu avant l'apparition des symptômes. Un pied de la modalité « malade » pourra donc être symptomatique ou asymptomatique à la fin de l'année d'étude. Il en est de même pour les pieds de la modalité « cureté » et « sain ».

i. Taux de débourrement (Baggiolini, 1955)

Au sein de chaque parcelle d'étude, la taille a été réalisée à la même date. Suivant les parcelles, entre 15 et 20 pieds sont comptés par modalité. La date du comptage est choisie en fonction du stade phénologique global de chaque parcelle, en référence au code de Baggiolini. Tous les bourgeons de chaque ceps sont comptés, et leur stade de débourrement est noté (le stade A est considéré comme non débourré, les stades B et C sont considérés comme débourrés).

La moyenne par pied des bourgeons débourrés est ensuite comparée.

ii. Fertilité/Rendement

Les mêmes 15 à 20 pieds, suivis pour le comptage précédent, sont suivis pour ce paramètre. Ces pieds n'ont pas été épamprés avant le comptage. Le nombre de bourgeons, de rameaux et de grappes par aste sont dénombrés après nouaison. Seuls les bourgeons francs ont été pris en compte.

Ces comptages permettent de calculer :

- le débourrement réel = $nbre\ de\ rameaux / nbre\ de\ bourgeons$
- La fertilité pratique = $nbre\ de\ grappes / nbre\ de\ rameaux\ totaux$

iii. Surface foliaire

Dans ce cas, 6 pieds de vigne par modalité sont choisis aléatoirement dans la liste de pieds précédemment étudiés. Chaque cep est pris en photo perpendiculairement au sens du rang, toujours avec une échelle située au même emplacement sur chaque photo. La photo est prise avec un trépied permettant d'avoir une prise de vue toujours au même niveau. L'objectif de l'appareil doit être parallèle et perpendiculaire à l'axe du rang pour éviter toute distorsion d'image. [Photo 9]

Les photos ont été prises mi-juillet vers le stade fermeture de grappe. Physiologiquement, il s'agit de la fin de la phase de croissance herbacée.

La surface foliaire est estimée à l'aide du logiciel Image J. En détourant le feuillage et en appliquant un filtre ne sélectionnant que la couleur du feuillage. La surface de la sélection est mesurée (Schneider el al., 2012).

Photo 9. Photo d'un cep de Sauvignon blanc utilisé la mesure de la surface foliaire au Château Reynon (à gauche), analyse de cette photo à l'aide du logiciel gratuit Image J (à droite).

d. Suivi maturité

i. Prélèvement et préparation des baies

Le prélèvement et la préparation des baies ont été réalisés selon les étapes suivantes :

- Sur 10 pieds par modalité, 1 grappe entière est prélevée de manière aléatoire.
- Le poids de chaque des 10 grappes est ensuite pesé.
- Toutes les grappes sont égrainées, 300 baies sont tirées aléatoirement et pesées.
- Ces baies sont ensuite broyées par un malaxeur fabriqué par « IUL Instrument ». Deux marteaux tapent de manière alternée sur les baies durant une minute.
- Le moût est filtré puis récupéré.

ii. Analyse des moûts

Les moûts sont conservés une nuit à 4°C. Ils sont dosés le lendemain avec un analyseur automatique de la marque OenoFoss. Une même modalité possède deux échantillons pour vérifier la valeur. Cet appareil mesure par réfractométrie : la concentration en sucre, la densité, l'acidité totale, et l'acide malique. L'acide tartrique et le pH ne seront pas exploités dans ce travail. L'acide tartrique a pu précipiter lors de la conservation à 4°C, la mesure pH n'est pas fiable par réfractométrie.

Pour les vins rouges, le potentiel phénolique est mesuré par la méthode Glories. Il permet de mesurer et calculer :

- La composante anthocyanique, avec les anthocyanes totaux et celles extractibles.
- Le pourcentage d'extractibilité des anthocyanes.
- La composante tannique avec le calcul de l'indice polyphénolique totale (IPT).

Le protocole détaillé a été rédigé par la Pr. Laurence Geny. Il est disponible à l'annexe 4.

e. Traitements statistiques

Le nombre d'échantillons comparés est égal entre les modalités. Seules des comparaisons de moyenne seront effectuées selon les tests suivants :

- Si le nombre d'échantillons est supérieur à 15 par modalité, qu'ils sont indépendants, si leur distribution suit une loi normale (test de Shapiro-Wilk) et si la variance entre modalité est homogène (test de Levene) ; alors une ANOVA est réalisée.
- Si une des conditions n'est pas respectée ; alors un test non paramétrique est réalisé, celui de Kruskal-Wallis.

La p-value renvoyée montre la significativité des différences de moyenne à 95% (sauf contre-indication). Celle affichée en bas de graphique correspond à celle du test global sur l'ensemble d'un château. Seules les modalités ayant des lettres différentes ont des moyennes significativement différentes.

Les résultats obtenus pour chaque parcelle expérimentale sont testés statistiquement de manière indépendante.

IV. Résultats et discussion

1. Suivi de l'évolution des symptômes foliaires des ceps curetés à l'année N par rapport à celle des témoins symptomatiques la même année et des témoins asymptomatiques jusqu'en 2014

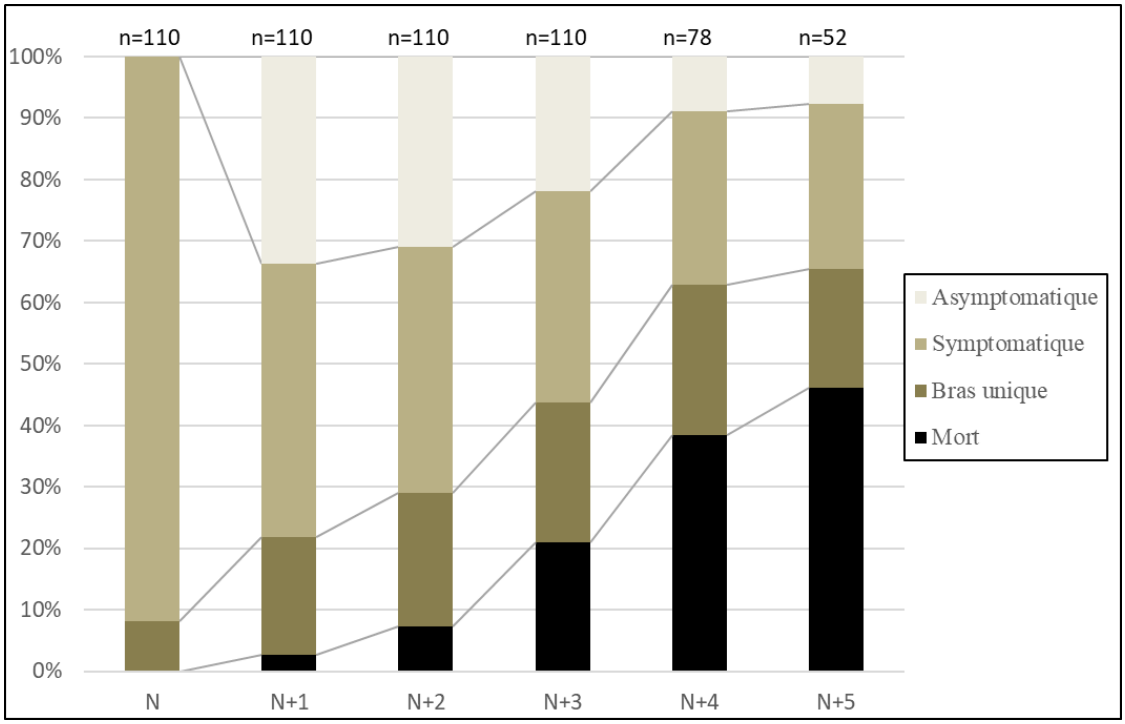


Figure 1. Evolution des symptômes foliaires des pieds témoins symptomatiques à l'année N sans opération de curetage ; Résultats lissés sur les années 2014, 2015, 2016 ; n, nombre de pieds étudiés ; n 2014 =52, n 2015 = 26, n 2016 = 32

Pour l'évolution sans curetage des ceps malades, trois phases sont observées : (Figure 1)

- Les deux premières années après l'apparition des symptômes, 30% des pieds redeviennent asymptomatiques, et peu de pieds meurent.

- A partir de « N+3 », la mortalité des ceps augmente de manière exponentielle. La majorité des ceps vivants sont symptomatiques. Seuls 5 à 10% sont asymptomatiques au bout de 5 ans après l'apparition des premiers symptômes.

- La cinquième année, la mortalité des ceps et le nombre de bras morts semblent se stabiliser. Ceci peut aussi être un artefact dû au nombre de pieds étudiés qui ont diminué de moitié.

L'évolution de la mortalité de ce pool formerait une sigmoïde où la moitié des pieds mourraient au bout de 5 ans. Seul 5% des ceps serait résilients en restant asymptomatiques.

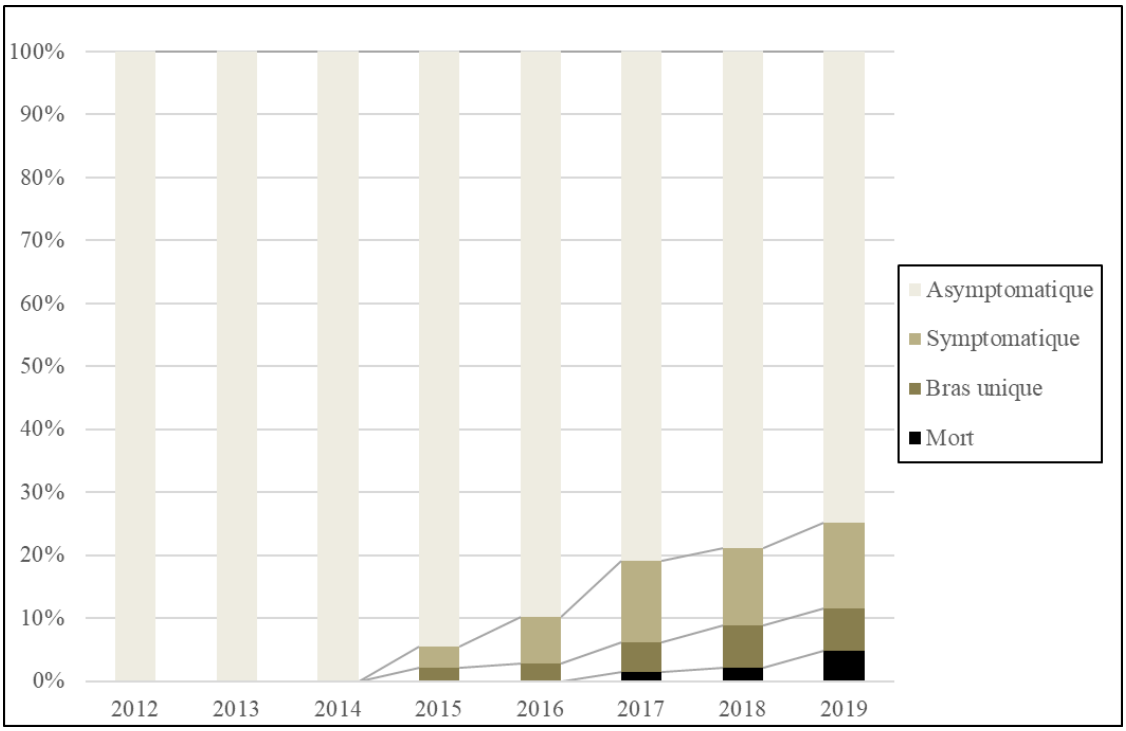


Figure 2. Modélisation de l'évolution des symptômes foliaires des pieds « sains » (asymptomatique de 2012 à 2014) sans opération de curetage ; Parcelle de Sauvignon blanc « Cyprés Est » au Château Reynon ; Nombre de pieds étudiés = 147

Concernant <u>la modélisation de l'évolution sans curetage des ceps sains</u> : (Figure 2)

- 147 pieds sains jusqu'en 2014 ont été retenus pour suivre leur évolution sans opération de curetage. Parmi ceux-ci, 20 ceps ont montré des symptômes et ont été curetés. Cette opération biaise ce suivi de témoin sans curetage sain. Pour s'en affranchir, une modélisation de l'évolution de ces 20 ceps est appliquée. Cette modélisation s'appuie sur les probabilités calculées à partir de l'évolution des ceps malades. Par exemple, un an après que le pied soit cureté, on applique les probabilités :
  $P_{Mortalité}$ =2% ; $P_{Bras\ mort}$ = 10% ; $P_{Symptomatique}$ = 55% ; $P_{Asymptomatique}$ = 33%

- Les ceps sains sont contaminés, perdent un bras et/ou meurent de manière linéaire année après année. Au bout de 5 ans, 5% des pieds étudiés sont morts, 6% présentent un bras en moins, et 12% sont symptomatiques en plus de ceux avec un bras manquant.

- Cette parcelle est impactée plus fortement par les maladies du bois que la moyenne de la région bordelaise. En 2017, B. Doublet et J. Grosman rapportent une moyenne de pieds symptomatiques de 5.2% sur le Sauvignon blanc de la région bordelaise. On obtient ce pourcentage de ceps symptomatiques en 2016 pour l'évolution naturelle des pieds sains jusqu'à 2014. Il est donc obtenu en seulement deux ans ce qui est très rapide ! Ceci peut être dû à l'héritage d'un mode de taille non respectueux des flux de sèves. Le mode de taille en place est le guyot double. Il provoque d'importantes plaies de taille avec des pieds en « tête de saule » (Expliqué au chapitre II.4.b.).

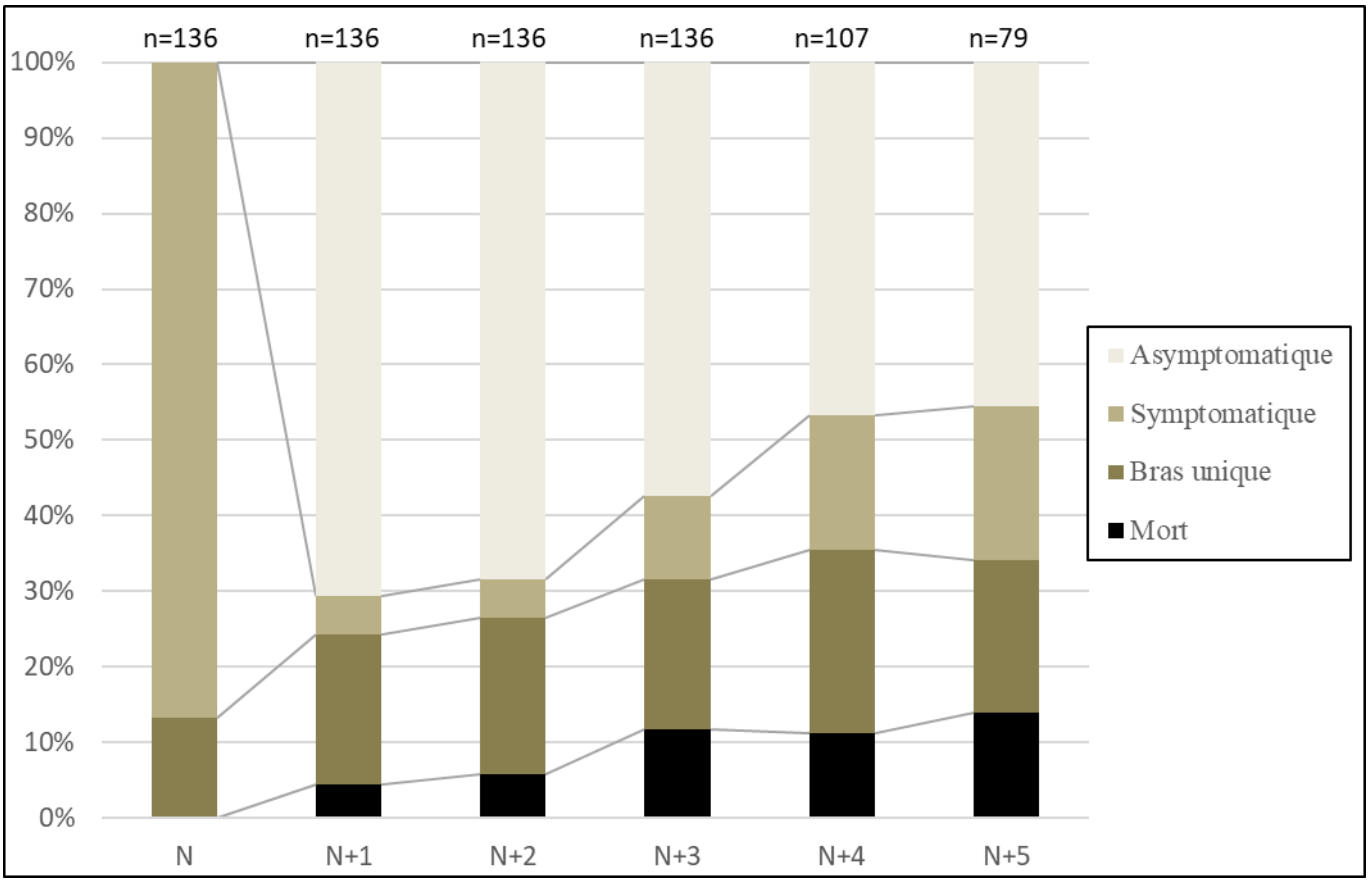


Figure 3. Evolution des symptômes foliaires des pieds curetés à l'année N ; Parcelle de Sauvignon blanc « Cyprés Est » au Château Reynon ; Résultats lissés sur les années 2014, 2015, 2016 ; n, nombre pieds étudiés ; n_{2014} = 79, n_{2015} = 28, n_{2016} = 29

- Pour l'évolution des ceps curetés à l'année N, trois phases sont à distinguer (Figure 3).
  - L'année suivant le curetage, le nombre de pieds symptomatiques est drastiquement diminué. Cependant, dès la première année, 4% des pieds meurent et le nombre de bras unique augmente de 7%.
  - Entre la 2ème et la 4ème année précédant le curetage, une réapparition des symptômes peut être observée.
    La mortalité et le nombre de bras morts augmentent de manière linéaire. Cependant, cette évolution se fait quasiment à la même vitesse que les témoins sains.
  - A partir de la 5ème année, les symptômes des pieds semblent se stabiliser. Ceci peut aussi être un artefact dû au nombre de pieds étudiés qui a diminué de moitié.

L'évolution de la mortalité et des bras morts de ce pool dépend fortement de l'opération de curetage. Le principal écart s'observe dès la première année.

D'autre part, la vitesse de mortalité un peu plus élevée que celle du témoin pourrait s'expliquer par la structure du tronc plus fragile. Sur la parcelle, certains pieds sont arrachés par le travail du sol. Il est probable que les pieds curetés soient plus touché que les sains. Cette proportion n'est toutefois pas quantifiable. Une installation de piquets de protection supplémentaires peut-être préférable.

Malgré une réexpression des symptômes les 4 années suivantes, environ 50% des ceps seraient résilients la cinquième année après leur curetage.

2. Suivi physiologique

a. Nombre de bourgeons francs laissés à la taille

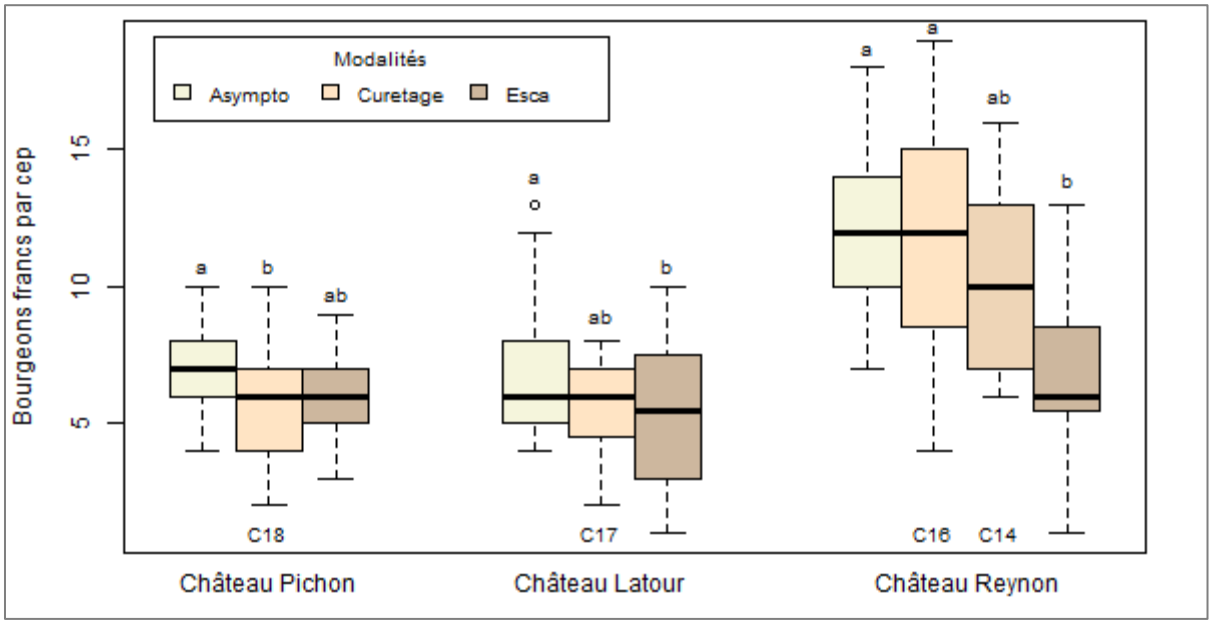


Figure 4. Moyenne de bourgeons primaires laissés à la taille par cep : Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique ANOVA

Sur la parcelle du château Pichon Longueville (p-value = 0.0358), les pieds curetés ont un nombre de bourgeons significativement plus faible que les pieds asymptomatiques. Cela s'explique par le nombre plus important de ceps n'ayant qu'un bras, soit trois ou quatre bourgeons.

Sur la parcelle du château Latour (p-value = 0.0268), ce sont les ceps symptomatiques qui possèdent un nombre de bourgeons par cep significativement plus faible que les pieds asymptomatiques. Les ceps malades possèdent en moyenne un bras en moins que les ceps asymptomatiques. Les ceps curetés ont des moyennes intermédiaires.

Sur la parcelle du château Reynon (p-value < 0.001), la différence entre les ceps « malades » et les autres modalités est plus marquée. Les ceps de la modalité « malade » ont exprimés des symptômes depuis au moins 3 ans.

Même si ce ne sont pas les mêmes parcelles d'étude, un parallèle peut être fait selon l'année de curetage :

- Plus l'opération de curetage est ancienne, plus le témoin « malade » semble posséder une moyenne de nombre de bourgeons significativement plus faible que les autres modalités.
- Mise à part juste après la première année de curetage, les ceps curetés semblent avoir un nombre de bourgeons moyen similaire aux ceps sains.

b. Taux de débourrement et débourrement réel

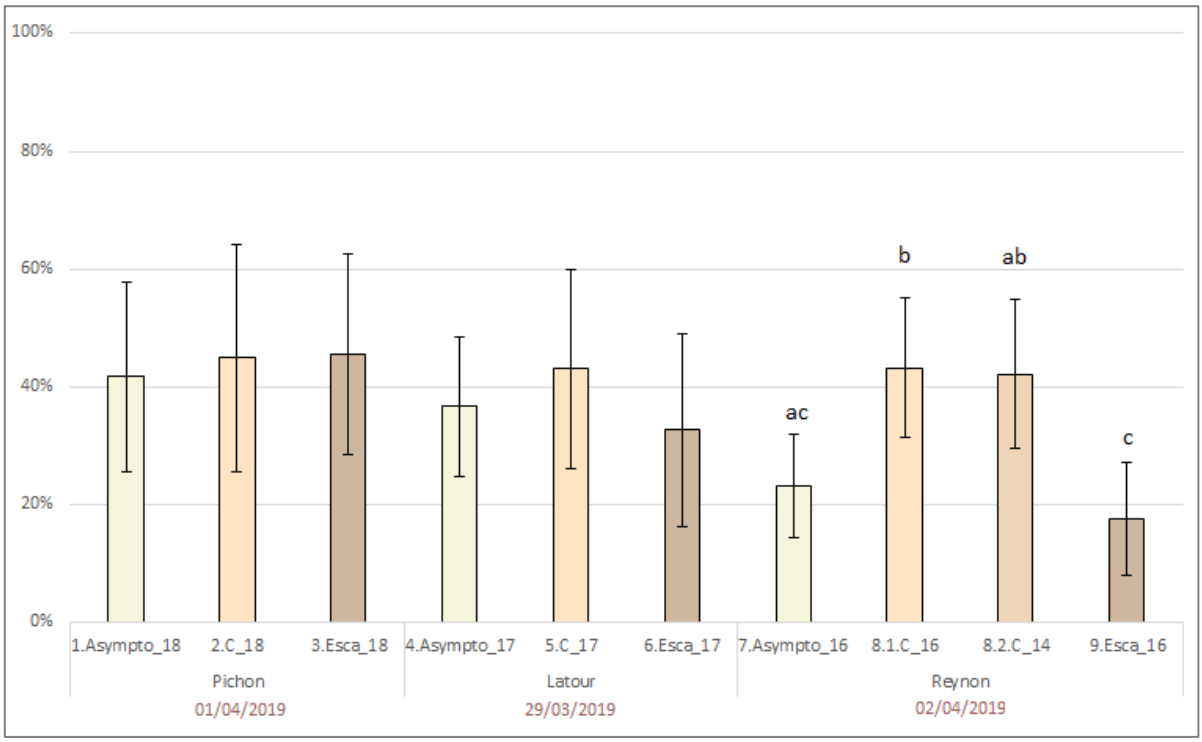


Figure 5. Taux de débourrement des ceps par modalité : Asympto_X, Pieds asymptomatiques depuis l'année X ; C_X, Pieds curetés à l'année X ; Esca_X, Pieds symptomatiques à l'année X ; « XX/XX/2019 », date de comptage ; Test statistique de Kruskal-Wallis

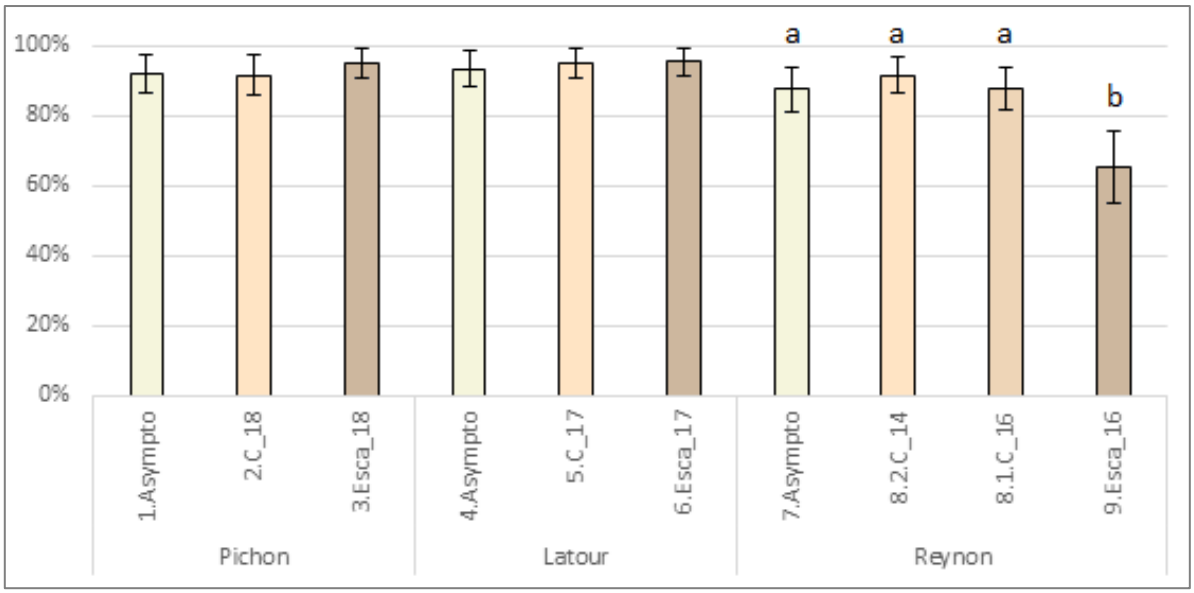


Figure 6. Pourcentage de débourrement réel : Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; C_X, Pieds curetés à l'année X ; Esca_X, Pieds symptomatiques à l'année X ; Test statistique de Kruskal-Wallis

Les moyennes des taux de débourrements et le débourrement réel ont été analysés par un test non paramétrique de Kruskal-Wallis. En effet, la distribution des données ne suivait pas une loi normale avec les effets de bord (0% et 100%).

- Pour les parcelles des châteaux Pichon Longueville et Latour, les modalités possèdent des taux de débourrement similaires (Figure 5) ; de même pour le débourrement réel (Figure 6).
  Les témoins malades ont été notés symptomatiques depuis un ou deux ans. Ces ceps sont certainement redevenus asymptomatiques, selon notre étude sur l'évolution des symptômes de ces ceps. Cela peut expliquer le peu de différences existants entre les modalités.

- Pour la parcelle de château Reynon,

Le taux de débourrement (p-value = 0.0047) est : (Figure 5)

- Plus précoce pour les pieds curetés par rapport aux autres modalités.
- Similaire entre les pieds sains et malades. Cependant, les pieds sains possèdent deux fois plus de bourgeons à débourrer que les pieds malades.
- Avec un nombre de bourgeons francs similaires, l'entrée en croissance des pieds sains est plus tardives par rapport aux pieds curetés en 2016 et en 2014. Ce résultat surprenant peut être expliqué par les hypothèses suivantes :
  - Les pieds curetés possèdent des réserves glucidiques plus facilement accessibles car les zones de dessiccation ont été enlevées. Ces dernières augmenteraient la distance (ou bloqueraient) les réserves pour atteindre les bourgeons.
  - Les bourgeons des pieds sains sont plus complexes que ceux des ceps curetés. Ils possèdent donc plus de doublons. Ces derniers demandent plus d'énergie retardant le taux de débourrement.

Le débourrement réel (p-value < 0.001) est : (Figure 6)

- Bien plus faible pour les pieds malades que les autres modalités. Les pieds malades auraient donc plus de mal à assurer la croissance ses bourgeons même avec une charge en bourgeons diminuée de moitié.
- Similaire entre les pieds curetés et les témoins sains.

c. Fertilité/Rendement théorique

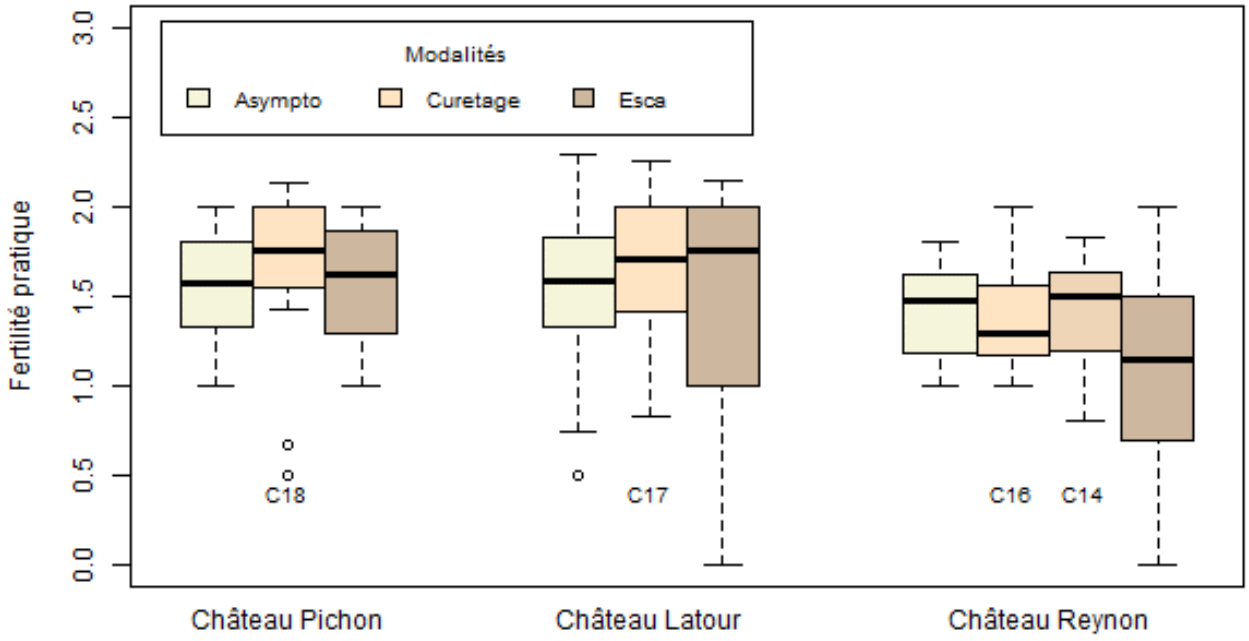


Figure 7. Moyenne de la fertilité pratique des ceps : Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique de Kruskall-Wallis

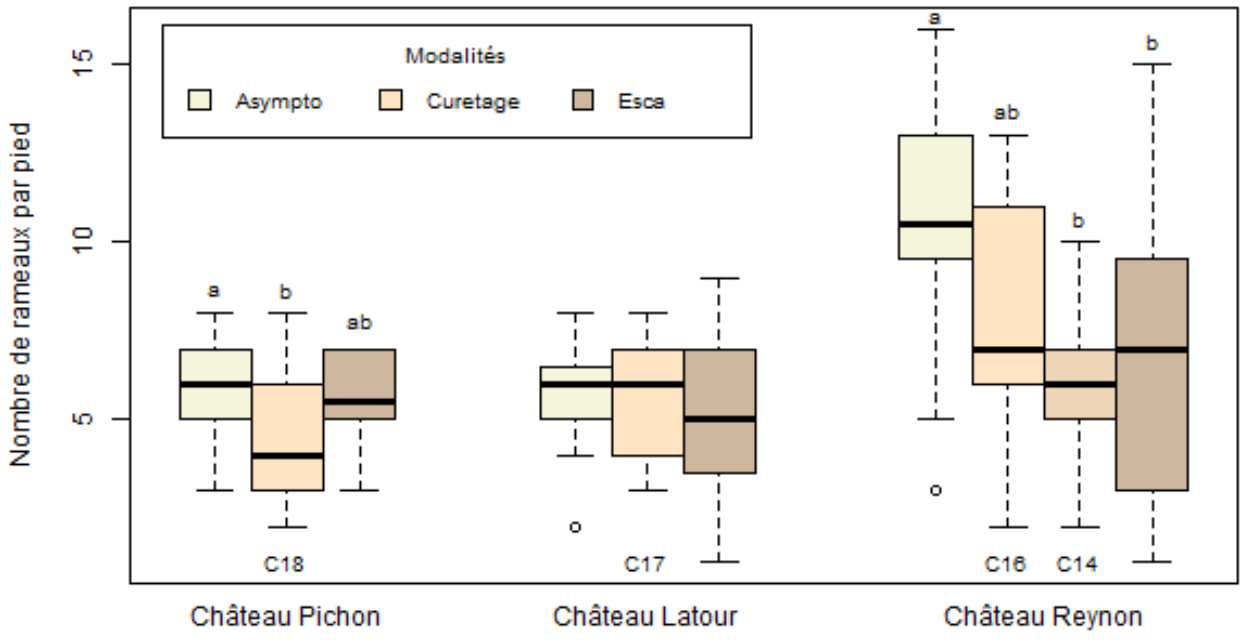


Figure 8. Moyenne du nombre de rameaux par cep ; Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique ANOVA

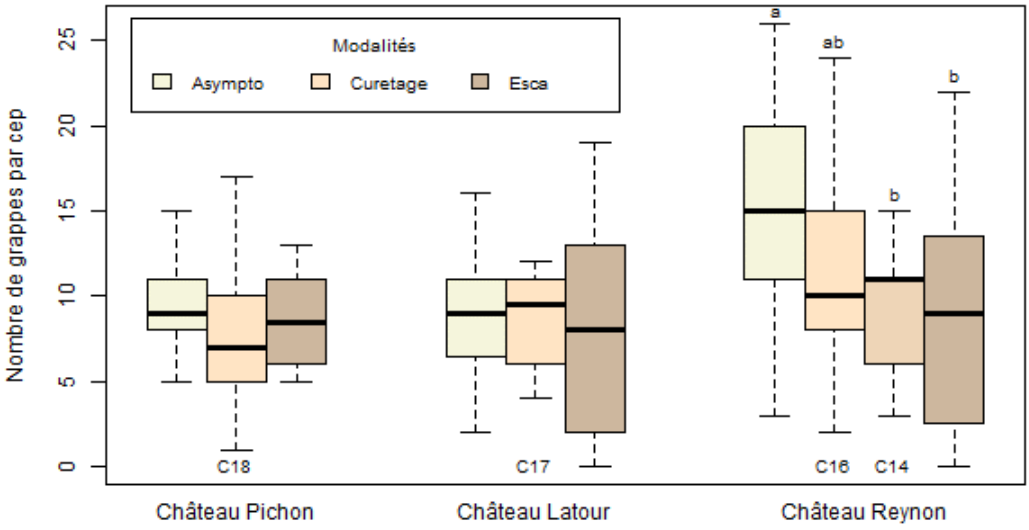


Figure 9. Moyenne du nombre de grappes par cep ; Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; Test statistique ANOVA

Le nombre de grappes par cep (Figure 9) peut être la résultante de deux composantes :

- La fertilité moyenne d'un rameau, aussi appelée fertilité pratique (Figure 7).
- Le nombre de rameaux issus de bourgeons francs par cep (Figure 8).

Pour comparer la fertilité pratique, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé car les variances n'étant pas homogènes entre les modalités. Les moyennes ne sont pas significativement différentes entre les modalités pour tous les châteaux (Figure 7). La variance des ceps malades a tout de même tendance à être plus grande pour les parcelles des châteaux Latour et Reynon. Sur ces ceps, quelques rameaux ne possèdent même pas de grappes.

Concernant le nombre de rameaux par cep (Figure 8) :

- Les ceps curetés du château Pichon Longueville possèdent significativement moins de rameaux que les pieds asymptomatiques (p-value = 0.0097). C'est en cohérence avec le nombre de bourgeons francs laissés à la taille qui est plus faible.
- Sur la parcelle du château Latour, il n'y a pas de différence significative entre les modalités.
- Sur la parcelle du château Reynon (p-value Reynon = 0.0014) :
    - Les ceps sains possèdent significativement plus de rameaux que les pieds malades et cureté en 2014. Cette tendance se retrouve entre les pieds sains et ceux cureté en 2016.
    - Les ceps curetés et malades possèdent un nombre de rameux par cep similaire.
    - Les ceps sains possèdent plus de rameaux que les curetés, alors qu'ils possèdent un nombre de bourgeons similaires. Les ceps sains posséderaient donc des bourgeons produisant plus de rameaux secondaires, appelés « doublons ». Cette déduction va dans le sens de l'hypothèse justifiant les différences de taux de débourrement.

Le nombre de grappes par cep est corrélé au nombre de rameaux présents sur celui-ci. En effet, la moyenne de fertilité pratique est semblable entre les modalités.

- Sur les parcelles des châteaux Pichon Longueville et Latour, le nombre de grappes est similaire entre les modalités.

- Sur les parcelles du château Reynon, le nombre de grappes pour les pieds curetés aurait plutôt tendance à s'approcher des pieds malades (p-value = 0.0010). Cela est dû au nombre de rameaux plus faible sur les curetés de l'année 2014, relié au nombre de bourgeon franc laissé à la taille qui est plus faible.

d. Surface foliaire

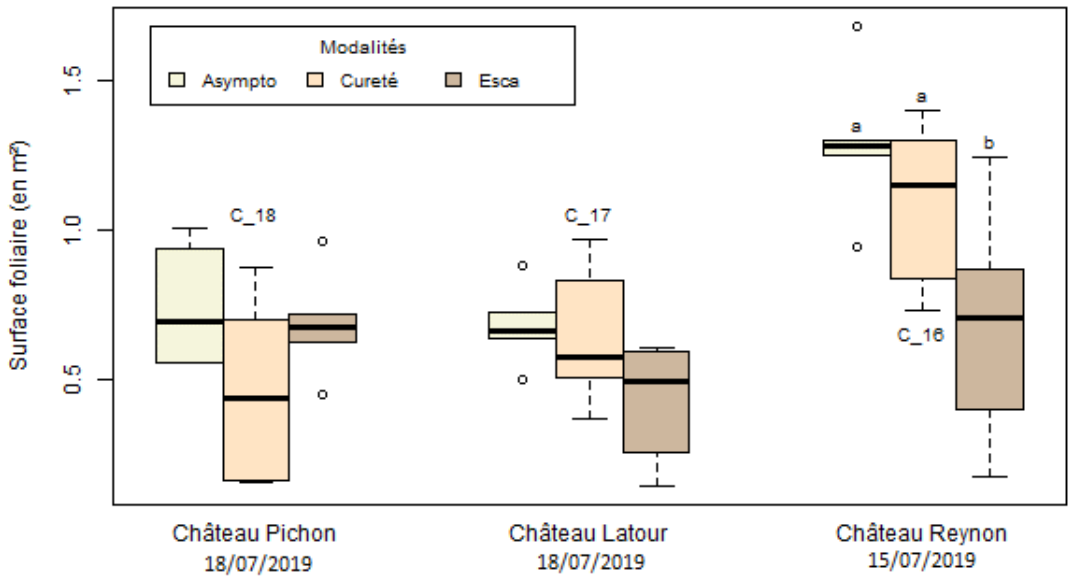


Figure 10. Moyenne de la surface foliaire par cep ; Asympto, Pieds asymptomatiques depuis l'année du curetage ; CX, Pieds curetés à l'année X ; Esca, Pieds symptomatiques à l'année du curetage ; « XX/07/2019 », Date des photos ; Test statistique de Kruskal-Wallis

Les surfaces foliaires sont comparées séparément par châteaux avec un test de Kruskal-Wallis. Six répétitions ont été faites par modalité et château. Il en faudrait 15 minimum pour faire une ANOVA

- Pour la parcelle du château Pichon Longueville, une tendance non significative se dégage. Les ceps curetés la saison dernière posséderaient moins de surface foliaire que les ceps asymptomatiques et malades. Il faudrait augmenter le nombre de mesure et faire un test ANOVA pour confirmer cette tendance.
- Pour la parcelle du château Latour, les pieds malades ont tendance à présenter une plus faible surface foliaire par rapport aux pieds sains et curetés en 2017.
- Pour la parcelle du château Reynon, les pieds malades présentent une surface foliaire significativement plus faible par rapport aux pieds sains et curetés en 2016 (p-value = 0.0032).

En général, les pieds curetés et malades présentent une plus forte variance de surface foliaire par rapport aux pieds sains.

3. Suivi de maturité

Les symptômes foliaires sont visibles au moment de la vendange. Les modalités étudiées dépendent des symptômes du cep de cette année. Nous étudierons dans ce suivi les pieds suivant :

- « Sain » depuis l'année d'étude qui sont restés asymptomatiques cette année.
- « Curetés » uniquement asymptomatiques.
- « Malades » depuis l'année d'étude et qui est symptomatique cette année.

Pour les ceps symptomatiques, seules les grappes non flétries ont été vendangées puis analysées. Le pourcentage de grappes flétries par cep n'a pas été quantifié de même que le rendement par cep.

a. Le poids moyen des grappes et des baies, et la maturité technologique

Tableau 2. Poids moyen de 10 grappes et 100 baies, et mesure à l'Oenofoss ; « Sympto ½ », pieds faiblement symptomatiques ; « Sympto ¾ », pieds fortement symptomatiques ; Nombre en gras, moyenne se distinguant (sans statistique) du témoin asymptomatique

Château	Date de vendanges	Modalité	POIDS MOYEN		OENOFOSS		
			10 grappes* (en g)	100 baies (en g)	Sucres Résiduels (en g/l)	Acidité Totale (en g/L)	Acide malique (en g/L)
Pichon	2-oct.	Asymptomatique	152	105	236	1,9	2,9
Pichon	2-oct.	Cureté_18	178	106	237	1,8	2,5
Pichon	2-oct.	Symptomatique	142	103	**218**	2,1	**3,6**
Latour	25-sept.	Asymptomatique	169	104	238	1,6	1,9
Latour	25-sept.	Cureté_17	172	99	236	**2,1**	**2,5**
Latour	25-sept.	Symptomatique	171	**93**	**211**	**2,4**	**2,7**
Reynon	27-août	Asymptomatique	135	144	203	5,0	5,5
Reynon	27-août	Cureté_16	**114**	151	204	4,4	5,1
Reynon	27-août	Cureté_14	152	145	215	4,7	5,0
Reynon	27-août	Sympto 1/2	133	**131**	**166**	**5,7**	**7,7**
Reynon	27-août	Sympto 3/4	**113**	**123**	**144**	**6,1**	**8,8**

Pour comparer le poids moyen de 10 grappes par modalité, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé. Les différences entre ces moyennes ne sont pas significatives. En revanche, une tendance de diminution du poids des baies peut être observée surtout sur la parcelle du château Reynon. Cette tendance s'observe peu sur Pichon ou Latour car les ceps sont peu symptomatiques.

Au niveau des paramètres de la maturité technologique :

- Pour toutes les parcelles, les ceps symptomatiques produisent moins de sucre que les autres modalités.
- L'acidité totale des ceps symptomatiques est plus élevée pour toutes les parcelles d'études. Ceci s'explique en partie par la concentration élevée en acide malique.

- Sur la parcelle du château Reynon, les résultats obtenus pour la modalité « symptomatique » sont proportionnels au niveau d'expression des symptômes foliaires.

b. Le potentiel phénolique du Cabernet-Sauvignon

Tableau 3. Mesure du potentiel phénolique des cépages rouges par la méthode Glories ; PAE, Potentiel d'Anthocyanes Extractibles ; RPT, Richesse Polyphénolique Totale ; Nombre en gras, tendance notable sans statistique (pas de répétition)

Château	Date	Modalité	Absorbance pH 1 (en mg/L)	Absorbance pH 3,2 (en mg/L)	PAE (en %)	RPT (en mg/l)
Pichon	2-oct.	Asymptomatique	2475	903	36	44
Pichon	2-oct.	Cureté_18	2482	**805**	32	45
Pichon	2-oct.	Symptomatique	**2147**	**819**	38	**48**
Latour	25-sept.	Asymptomatique	2116	1176	56	41
Latour	25-sept.	Cureté_17	1717	1048	61	42
Latour	25-sept.	Symptomatique	**1453**	**954**	66	**50**

Les mesures relatives aux pieds symptomatiques possèdent moins d'anthocyanes totales (extraction au pH1) que les pieds curetés ou asymptomatiques. Même si le potentiel d'extraction des ceps symptomatiques semble légèrement plus élevé, leurs mouts possèdent moins d'intensité colorante que les ceps asymptomatiques. Les ceps curetés ont un comportement intermédiaire entre les deux témoins au niveau du potentiel anthocyanique.

La richesse phénolique totale des moûts a tendance à être plus forte pour les modalités symptomatiques que pour les autres modalités. L'augmentation des polyphénols totaux s'observent lorsqu'un plant est en situation de stress. Cela va dans le sens des résultats de Calzarano *et al.* (2004), qui a cependant travaillé sur un cépage blanc.

Au niveau du poids des grappes et des baies, de la maturité technologique et de la richesse phénolique totale, les pieds curetés asymptomatiques ont un comportement similaire aux pieds asymptomatiques. Le retard ou l'arrêt de la maturation ne semble pas avoir lieu. Ils sont donc bien résilients au curetage au niveau de la maturité des baies.

Le seul point à vérifier serait sur le potentiel anthocyanique. Les moûts issus de ceps curetés semblent posséder un potentiel d'anthocyanes totales ou extractibles intermédiaire entre les ceps symptomatiques et asymptomatiques.

V. Conclusion

1. Comportement des ceps curetés par rapport aux sains et aux malades

Cette étude a permis d'étudier la capacité de résilience d'un plant malade après un curetage. Ce type de plant a été comparé à des témoins malades n'ayant pas été curetés et des témoins sains.

Les ceps sains possèdent une grande surface foliaire qui semble stable année après année. Cela vient du grand nombre de bourgeons laissés à la taille qui présentent un pourcentage de débourrement réel élevé. De même, le rendement théorique et la qualité des baies produites semblent stable avec une maturité technologique équilibrée pour les vins de bordeaux et un potentiel anthocyanique élevé pour le Cabernet-Sauvignon.

Quant aux plants malades, l'expression des symptômes foliaires empêchent le fonctionnement de la photosynthèse. La mise en réserve est donc diminuée (Petit *et al.* 2006). Cela a des répercussions l'année suivante en termes de vigueur. La date de débourrement est retardée, le pourcentage réel de débourrement est diminué, la surface foliaire devient plus faible. Cela diminue encore plus la capacité photosynthétique du cep. Une boucle de rétroaction a été amorcée diminuant les réserves du pied année après année. De plus, celles-ci sont hydrolysées par les champignons pathogènes comme *Fomitiporia mediterranea*.

A l'échelle de la parcelle, ce processus engendre une accélération de la mortalité des ceps deux ans après l'apparition des premiers symptômes. Cinq ans après l'apparition des symptômes, un cep sur deux meurt sur la parcelle de Sauvignon blanc étudiée.

Ce manque de réserve se répercute sur le rendement théorique, car le nombre de rameaux est plus faible. Ce rendement théorique est de surcroît diminué par un flétrissement des grappes qui peuvent tomber au sol avant récolte.

Les moûts produits par des ceps symptomatiques sont aussi affectés. Ils possèdent un moins bon équilibre avec un potentiel alcoolique plus faible, plus d'acidité totale, moins d'anthocyanes et plus de polyphénols.

A l'échelle de la parcelle, ces caractéristiques mettent en péril la qualité de vin produit avec une perte de typicité tout en ayant des rendements plus faibles !

Les résultats montrent que l'année qui suit le curetage est la plus difficile. Le nombre de bourgeons pouvant être laissés à la taille est réduit car certains ceps perdent un bras. Cela entraîne une réduction de la surface foliaire.

Cependant, les indicateurs physiologiques semblent ré-augmenter dès la deuxième année traduisant une reformation progressive de l'architecture du cep. De plus, la maturité technologique et le potentiel phénolique des moûts sont tout à fait similaires à ceux des pieds sains.

Nous pouvons alors affirmer que les ceps curetés et asymptomatiques sont bien résilients au curetage. Cinq ans après le curetage, sur la parcelle de Sauvignon blanc étudiée qui est fortement touchée par l'Esca, la moitié des ceps curetés seraient totalement résilients et seulement 13 % des ceps opérés sont morts.

2. Pistes d'amélioration de l'étude

Voici quelques suggestions d'amélioration si le projet était voué à une orientation plus fondamentale, ce qui nécessiterait plus de temps :

- Le rendement théorique informe sur l'état du cep. Cependant, pour le viticulteur, il serait bon de connaître le rendement par cep à la vendange en fonction de la gravité des symptômes. Des différences significatives peuvent apparaître entre les cépages rouges et blanc du fait du temps de maturation des raisins. Sur la parcelle de Cabernet-Sauvignon, les ceps symptomatiques posséderaient un pourcentage de perte par rapport au rendement théorique bien plus important.

- Pour le suivi physiologique, une forte variabilité a été observée pour les modalités « cureté » et surtout « malade » par rapport à la modalité « sain ». Ces modalités pourraient se décomposer deux sous-groupes : les symptomatiques et les asymptomatiques.
  Ainsi, dans un cadre plus théorique, il serait bon d'étudier les modalités suivantes : « Les pieds sains » ; « les curetés asymptomatiques » ; « les curetés symptomatiques » ; « les malades asymptomatiques » ; « les malades faiblement symptomatiques » ; « les malades fortement symptomatiques » dans la mesure du possible.
  Cependant, un pied peut être à la fois asymptomatique et symptomatique. Il serait alors bon de travailler à l'échelle du bras. Chacun des bras pourra être placé dans sa catégorie de symptôme.

- En couplant les informations physiologiques et de maturité de ces modalités avec un suivi de l'évolution des symptômes par bras. On pourrait modéliser avec plus de précision le comportement global d'un pool de cep cureté, malade et sain.

- Pour répondre à une question plus théorique : il serait possible de savoir si la composition du moût est affectée principalement par les symptômes foliaires (« malade symptomatique ») ; ou si les champignons pathogènes présents dans le cep affectent le moût sans que le bras ait de symptômes foliaires (« malade asymptomatique »).

VI. Références bibliographiques & sitiographiques

BIBLIOGRAPHIE

Baggiolini M., 1952. Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Revue romande d'Agriculture et d'Arboriculture*, 8 (1), 4–6.

Bertsch C., M. Ramirez-Suero, M. Magnin-Robert, P. Larignon, J. Chong, E. Abou-Mansour, A. Spagnolo, C. Clément and F. Fontaine, 2012. Grapevine trunk diseases : complex and still poorly understood. Plant Pathology DOI : 10.111

Bruez E., Lecomte P., Grosman J., Doublet B., Bertsch C., Fontaine F., Ugaglia A., Teissedre P.L., Da Costa J.-P., Gerin_Dubrana L., Rey P., 2013. Overview of grapevine trunk diseases in France in the 2000s, *Phytopathologia Mediterranea*, 52, 2, 262 − 275.

Calzarano F., Seghetti L., Del Carlo M., Cichelli A., 2004, Effect of Esca on the quality of berries, musts and wines. *Phytopathologia Mediterranea*, 43, 125–135.

Casassa L., Longone M. V., Santiago S., Cesari C., 2010. Effects of 'hoja de malvón' disease on the composition, sensory properties and preference of Malbec wines from Mendoza, Argentina, *International Journal of Wine Research*, 1, 63–73

Chadefaud M., Emberger L., 1960. Traité de botanique systémique. Edité chez Masson. Paris

Doublet B., Grosman J., 2018. Situation du vignoble, synthèse des résultats issus des dispositifs d'observation 2017 (partiellement 2018), *IFV Journée sur les maladies du bois de la vigne*, Dijon, France, 29-31 octobre, 8-10.

Dubos B., 2002. Le syndrome de l'Esca. *In* : Maladies Cryptogamiques de la Vigne, *Editions Féret*, seconde édition, Bordeaux, 127–136

Fleurat-Lessard P., Bourbouloux A., Thibault F., Ménard E., Béré E., Valtaud C., Roblin G., 2013. Differential occurrence of suberized sheaths in canes of grapevines suffering from black dead arm, Esca or Eutypa dieback, *Trees*, 27, 1087–1100

Fontaine F., Pinto C., Vallet J., Clément C., Gomes A.-C., Spagnolo A., 2015. The effects of grapevine trunk diseases (GTDs) on vine physiology, *The European Journal of Plant Pathology*, 144, 707–721

Gimenez-Jaime A., A. Aroca, R. Raposo, J. Garcia-Jimenez and J. Armengol, 2006. Occurrence of fungal pathogens associated with grapevine nurseries and the decline of young vines in Spain. *Journal of Phytopatholy* 154, 598–602

Grosman J. and B. Doublet, 2012. Maladies du bois de la vigne. Synthèse des dispositifs d'observation au vignoble, de l'observatoire 2003–2008 au réseau d'épidémio-surveillance actuel. Phytoma 651, 31–35.

Hale C.R., 1962. Synthesis of organic acids in the fruit of the grape. *Nature* 195, 917–918.

Lafon R., 1921. L'apoplexie. *In :* Modifications à apporter à la taille de la vigne dans les Charentes, *James Hennessy (Ed).*, Imprimerie Roumégous et Déhan, Montpellier, 65-91

Larignon P., 2018, L'Esca / BDA en Bourgogne au cours des XXe et XXIe siècles, *IFV Journée sur les maladies du bois de la vigne*, Dijon, France, 29-31 octobre, 11-12.

Larignon P., F. Fontaine, S. Farine, C. Clement and C. Bertsch, 2009. Esca and Black Dead Arm : two major actors of grapevine trunk diseases. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Biologie*, 332, 765–783.

Lecomte P., Darrieutort G., Liminana J.-M., Comont G., A. Muruamendiaraz, F.-J. Legorburu, Choueiri E., Jreijiri F., El Amil R., Fermaud M., 2012. New Insights into Esca of Grapevine : The Development of Foliar Symptoms and Their Association with Xylem Discoloration

Lorrain B., Ky I., Pasquier G., Jourdes M., Guerin Dubrana L., Gény L., Rey P., Donèche B., Teissedre P.-L., 2012. Effect of Esca disease on the phenolic and sensory attributes of Cabernet Sauvignon grapes, musts and wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18, 64-72.

Maher N., Piot J., Bastein S., Vallance J., Rez P., Guérin-Dubrava L., 2012. Wood necrosis in Esca-affected vines : types, relationships and possible links with foliar symptom expression. *J. Int. Sci. Vigne Vin.*, 46 n°1, 15-27.

Mugnai L., Graniti A., Surico, G., 1999. Esca (Black Measles) and Brown Wood-Streaking : Two Old and Elusive Diseases of Grapevines. *Plant Disease*. 83. 404-418.

Murolo, S.; Romanazzi, G. Effects of grapevine cultivar, rootstock and clone on Esca disease. Australas. *Plant Pathol*. 2014, 43, 215−221

OIV, Communiquer de presse, Éléments de conjoncture vitivinicole mondiale, Paris, Publié le 20 octobre 2016

Petit A.-N., Vaillant N., Boulay M., Clément C., and Fontaine F., 2006. Alteration of Photosynthesis in Grapevines Affected by Esca, *Ecology and Epidemiology*, Vol. 96, n°10, 1060-1066.

Planchon, J.E. (1887) Ampelideae. In : Candolle, A.P. de & Candolle, C. de (Eds.) Monographiae phanerogamarum Prodromi nunc continuatio, nunc revisio auctoribus Alphonso et Casimir de Candolle aliisque botanicis ultra memoratis, vol. 5 (2). *G. Masson, Paris*, pp. 305–655.

Pouzoulet J., Pivovaroff A., Santiago S., Rolshausen P, 2014. Can vessel dimension explain tolerance toward fungal vascular wilt diseases in woody plants ? Lessons from Dutch elm disease and Esca disease in grapevine, *Frontiers in Plant Science Plant Physiology*, Volume 5, Article 253

Rey P., 2011. Epidémiologie de l'Esca/BDA et étude des communautés microbiennes colonisant le tronc de la vigne. Présenté au Colloque National sur les Maladies du Bois de la Vigne. *Ministère de l'Agriculture et l'Institut Français de la Vigne et du Vin*, Paris, (09/12/2011).

Rotter A, Camps C, Lohse M, Kappel C, Pilati S, Hren M, Stitt M, Moser C, Usadel B, Delrot S, Gruden K. 2009. Gene expression profiling in susceptible interaction of grapevine with its

fungal pathogen Eutypa lata : Extending MapMan ontology for grapevine. *BMC Plant Biology*, 9 : 104-10

Ruffner H. P., 1982. Metabolism of tartaric and malic acids in Vitis : A review-Part B , *SCIENTIA VITIS ET VINI*, 21, 346-358

Rumbos I. and A. Rumbou, 2001. Fungi associated with Esca and young grapevine decline in Greece. Phytopathologia Mediterranea 40, S330–S335.

Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW, 2012. NIH Image to ImageJ : 25 years of image analysis. *Nat Methods*. 9 (7), 671-5.

Simonit M., Giudici M., Manfreda L., Ostan M., Turata R., Zanutta A., 2016. Méthode Simonit&Sirch : principes de base *In :* Guide pratique de la taille guyot, *Editions France Agricole*, Paris, 38-47

Terrier N., Romieu C., 2001. Grape Berry Acidity *In :* Molecular Biology & Biotechnology of the Grapevine, Roubelakis-Angelakis K.A. (eds), Springer, Dordrecht

Travadon R., Lecomte P., Diarra B., Lawrence D., Renault D., Ojeda H., Rey P., Baumgartner K., 2016. Grapevine pruning systems and cultivars influence the diversity of wood-colonizing fungi, *Fungal Ecology*, 24, 82-93

SITIOGRAPHIE

[1] : France Agrimer [en ligne], [Consulté dernièrement le 07/10/2019],
http : //www.franceagrimer.fr

[2] : Chambre d'Agriculture de Gironde [en ligne], [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
http : //www.gironde.chambagri.fr/

[3] : Agreste [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
http://agreste.agriculture.gouv.fr/

[4] : Les programmes de recherche, Plan National Dépérissement du Vignoble [en ligne]. Mise à jour le 3 octobre 2019 [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
https : //www.plan-deperissement-vigne.fr/travaux-de-recherche/programmes-de-recherche

[5] : Blancard D., Lecomte P., Guerin L. Ephytia champignons associés à l'Esca. INRA [en ligne]. Mise à jour le 1 septembre 2017 [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
http : //ephytia.inra.fr/fr/C/6969/Vigne-Principaux-symptomes

[6] : Lecomte P., Les maladies du bois de la vigne - Symptômes de l'Esca. INRA [en ligne]. Mise à jour le 29 juillet 2014. [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
https : //www.maladie-du-bois-vigne.fr/Maladies-du-bois/L-Esca/Symptomes-de-la-maladie

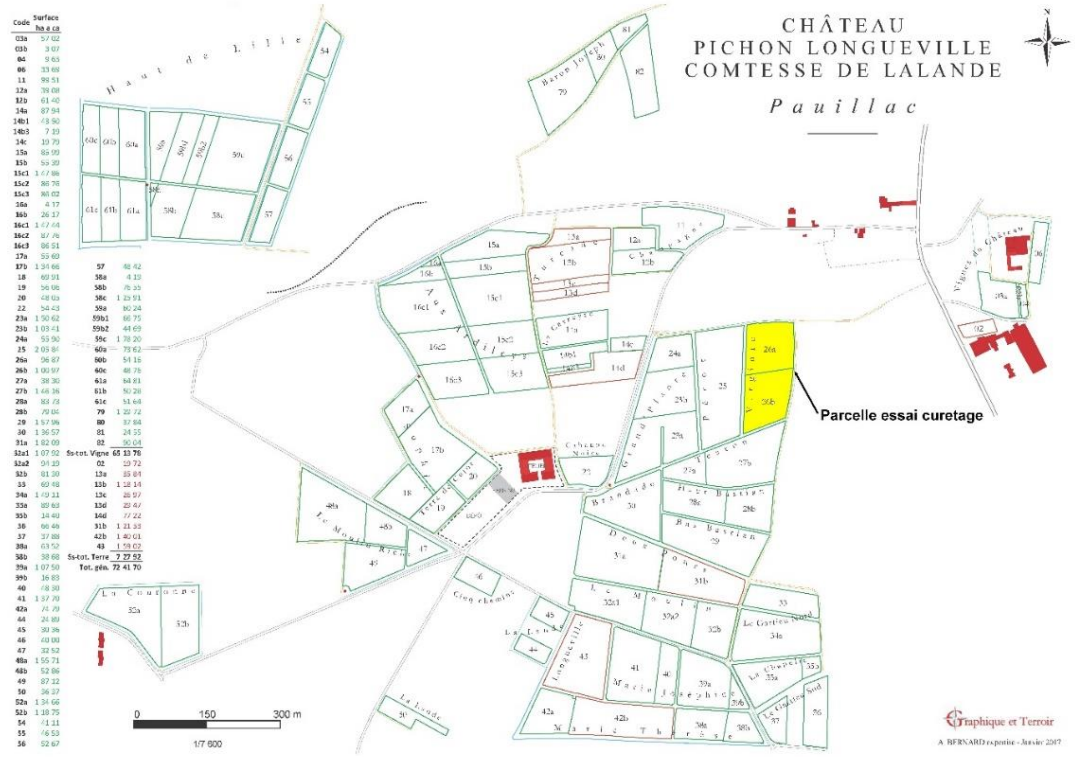
[7] : Lecomte P., Plan National Dépérissemnt du Vignoble « Impact des pratiques culturales sur l'Esca » [vidéo en ligne]. Youtube publié le 23 février 2017 [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
https : //www.youtube.com/watch?v=ouTo6ny6w2c

[8] : Lycée de Rouffach Exploitation viticole Général. Maladie du bois : Colmar en point. EPLEFPA [en ligne], Publié le 22/06/2017. [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
https : //www.rouffach-wintzenheim.educagri.fr/outils/actualites/article/maladies-du-bois-colmar-en-pointe/

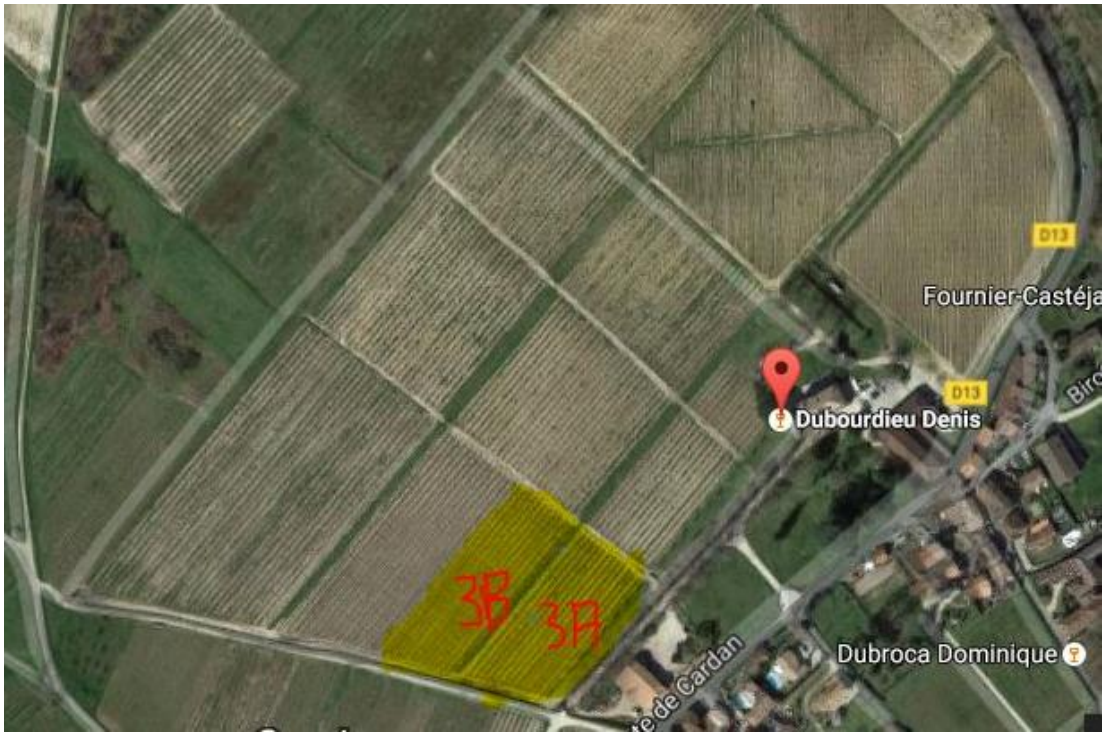
[9] : Simonit & Sirch, « SURGERY FOR ESCA DISEASE » [vidéo en ligne]. Youtube, publié le 29 octobre 2016 [consulté dernièrement le 07/10/19]
https : //www.youtube.com/watch?v=nO000SjTZmo

[10] : Vitisphère. « Esca : opération curetage au château Reynon » [vidéo en ligne]. Youtube, publié le 19 septembre 2016 [Consulté dernièrement le 07/10/2019]
https : //www.youtube.com/watch?time_continue=155&v=mNzFiEzJaAU

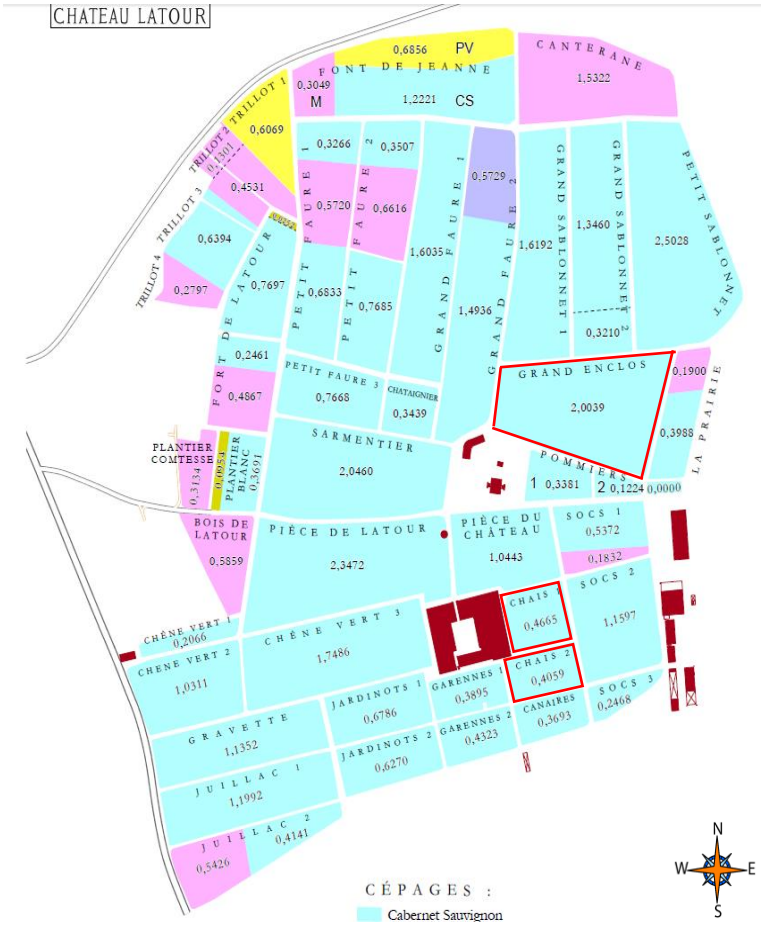
VII. ANNEXES



ANNEXE 1. Parcellaire du château Pichon Longueville – Comtesse de Lalande avec la parcelle « Virginie » en jaune.



ANNEXE 2. Vue aérienne d'une partie du parcellaire de Château Reynon. La parcelle Cyprés Est est surlignée en jaune.



ANNEXE 3. Parcellaire du Château Latour avec la localisation de la parcelle Grand Enclos en rouge.

Protocole de prélèvement et mesure de maturité phénolique Glories

Dr. Laurence GENY
laurence.geny-denis@u-bordeaux.fr

Au cours de la maturation, la structure tannique et anthocyanique des raisins évolue. Elle se traduit chez chez raisins rouges par :

- Une dimunition des tanins dans la pellicule et les pepins rendant ces tissus moins astringeants et moins amers
- Une augmentation de la couleur
- Une augmentation de l'extractibilité de la couleur

L'estimation de la maturation phénolique correspond à l'évolution de la composante phénolique de la pellicule et du pépin et est réalisée grace à des mesures spécifiques permettant d'évaluer

1 – la composante anthocyanique (couleur) : Aph1= Anthocyanes totales ; Aph3.2=Anthocyanes extractibles
2- le pourcentage d'extractibilité : proportion d'anthocyanes extractibles de la pellicule vers le jus
3- la composante tannique (tanins totaux)l : IPT Indice polyphénolique total
4- la maturité du pépin : MP% = proportion des tannins du pépinin

1- Principe des mesures et rappels sur la maturité phénolique *(extrait de Maturité phénolique des raisins et profils des vins, Yves Cadot , INRA, UE1117 Vigne Vin, F-49070 Beaucouzé, France, 2015)*

Les composés phénoliques sont des substances importantes en œnologie, et particulièrement dans le cas des vins rouges. Ils sont responsables de la couleur et de la saveur de ces vins. De plus, certaines de ces molécules ont des propriétés antioxydantes, bactéricides, et vis-à-vis du consommateur, ont des propriétés leur permettant de prévenir une pathologie cardiovasculaire majeure, l'athéroschlérose.

Les principaux composés de cette famille contenus dans le raisin sont les suivants :

• Les esters tartriques d'acides phénols sont incolores mais produisent des composés jaunes par oxydation.

Certains de ces esters d'acides phénols, particulièrement oxydables, sont à l'origine de la couleur et du brunissement des vins blancs.

• Les flavonols sont des pigments jaunes, plus ou moins intenses, présents dans la pellicule.

• Les anthocyanes sont des pigments rouges et sont présentes dans la pellicule et exceptionnellement dans la pulpe (cépages teinturiers). Elles sont également présentes dans les feuilles, en particulier en fin de cycle végétatif. Les anthocyanes sont localisées dans les vacuoles des cellules de la pellicule (épiderme et hypoderme), et en présence d'autres polyphénols, des phénomènes de co-pigmentation peuvent intervenir.

- Les tanins condensés sont situés dans la rafle, la pellicule et le pépin. Les tanins ont la particularité d'interagir avec les protéines, cette propriété étant à l'origine du mécanisme de la sensation d'astringence en bouche. Ce sont des molécules de plus grande taille que les précédents polyphénols car ce sont des polymères, constitués d'unités appelées flavan-3-ols. Les monomères, constitués d'une seule unité de flavan-3-ol, ne sont pas considérés comme des tanins, car leur affinité vis-à-vis des protéines est très faible.

Dans le raisin, on peut distinguer, selon la nature du noyau B de la molécule, les procyanidines et les prodelphinidines (Moutounet et al., 1996). Les tanins condensés sont également appelés tanins catéchiques ou proanthocyanidines.

Qu'est-ce que la maturité phénolique ?

La « maturité phénolique » peut être définie comme un niveau de maturité du raisin permettant l'obtention simultanée d'un potentiel important et d'une bonne capacité de diffusion dans le vin (Glories, 1998). Dans ce cas, elle prend en compte la teneur globale en composés phénoliques de la vendange, mais aussi la structure et l'aptitude à l'extraction au cours de la vinification (qui permet le passage dans le vin) de ces composés phénoliques. Des outils analytiques ont été proposés pour évaluer le moment optimum de récolte en fonction du niveau de « maturité » des composés phénoliques (Dupuch, 1998; Glories and Augustin, 1993; Riou and Asselin,1996). La mesure de texture des baies a été proposée comme mesure alternative (Maury et al., 2008), mais LeMoigne (Le Moigne, 2008) et Zouid (Zouid, 2011) ont montré que la relation entre mesure de texture et niveau de maturité était variable en fonction du millésime et de la parcelle et par conséquent ne pouvait pas constituer un outil

fiable du niveau de maturité. Finalement, cette notion de « maturité phénolique » semble relever plus du concept que d'une réalité précise, dans la mesure où elle ne fait pas l'objet d'un consensus du fait d'un manque de connaissance des éléments la constituant (Fournand and Moutounet, 2008).

Ainsi, cette notion reste encore peu précise, car les propriétés des tanins condensés et les déterminants de leur extractibilité sont encore peu connus. L'étude de la maturité phénolique doit prendre en compte la teneur en ces composés, mais aussi leur structure, leur aptitude à être extraits, et d'autres éléments comme le ratio liquide/solide et la teneur en sucres. Chacun de ces éléments est à rapprocher de la localisation de ces composés dans la baie.

La maturité phénolique doit être rapprochée de la maturité « technologique » ou « industrielle », mesurée par le ratio sucres/acides de la pulpe. Cependant, il n'existe pas de parallèle évident entre l'évolution des composés phénoliques de la baie, des sucres et des acides organiques, en particulier à l'approche de la maturité (Cadot & Champenois, 2004). La maturité physiologique correspond à la viabilité des pépins, considérés comme semences, et à l'acquisition par le pépin de ses capacités germinatives. Celle-ci est atteinte peu après la véraison.

Comment expliquer que cette notion de maturité phénolique puisse aider à définir la date de récolte ?

La date de récolte est un moment important dans le cycle de production : elle concrétise un itinéraire viticole et suppose dans ses choix des anticipations quant au futur itinéraire œnologique. Pour comprendre les déterminants des choix de dates de récolte, des critères technologiques, plus ou moins bien connus et/ou maîtrisés, sont aisément identifiables. Parmi eux, la « maturité phénolique » est de plus en plus couramment prise en compte, et devient un critère essentiel d'évaluation de la maturité.

Pourtant, nous l'avons vu, elle ne fait pas l'objet d'un consensus entre les producteurs, conseillers et scientifiques. Comment expliquer ce paradoxe ?

Tout d'abord rappelons ces éléments

• De nombreux auteurs montrent l'importance de ces composés sur la qualité des produits, en particulier les qualité visuelles, gustatives et somesthésiques des vins rouges (Brossaud, Cheynier et al. 1998; Nadal andLampreave 2004; Vidal, Francis et al. 2004; Lesschaeve and Noble 2005; Cheynier, Duenas-Paton et al. 2006; Condelli, Dinnella et al. 2006; Preys, Mazerolles et al. 2006; Cagnasso, Rolle et al. 2008; Holt, Francis et al. 2008).

• Ces composés sont fortement dépendants des conditions de milieu et peuvent être considérés comme lerésultat de l'interaction entre la plante et l'environnement biotique et abiotique (Do and Cormier 1991; Winkel-Shirley 2002; Bednarek, Kerhoas et al. 2003; Jaakola, Maatta-Riihinen et al. 2004; Tattini, Guidi et al. 2005; Pourcel, Routaboul et al. 2007).

• Les évolutions des tanins condensés, au cours de la maturation, ne sont pas clairement définies : certains auteurs mettent en avant une augmentation (Kennedy, Matthews et al. 2002), quand d'autres études décrivent une diminution de ces mêmes composés (Harbertson, Kennedy et al. 2002; Downey, Harvey et al. 2003; Gagne, Saucier et al. 2006) ou une relative stabilité (Fournand et al., 2006 ; Cadot et al., 2006, 2010). Les anthocyanes s'accumulent dans les vacuoles des cellules hypodermiques de la pellicule. Elles peuvent être présentes sous forme d'agrégats, appelés inclusions vacuolaires anthocyaniques (AVI, anthocyanicvacuolar inclusion) (Markham, Gould et al. 2000). En fin de période de maturation ou au début de la période de surmaturation, la teneur peut diminuer (Roggero, Coen et al. 1986 ; Kennedy, Matthews et al. 2002).

Nous faisons pourtant l'hypothèse que le choix de vendanger est déterminé en partie par le style de vin envisagé et qu'une part importante de l'influence de la date de vendange, sur la typicité, dépend de la « maturité phénolique » des baies au moment de la vendange. Des travaux récents ont montré que l'évolution des tanins dans la baie, et leur extractibilité pouvaient trouver leur explication dans l'évolution de la structure des pellicules (Cadot et al. 2006, Bindon et al., 2010, 2014), mais également dans les conditions d'extraction des anthocyanes et des tanins lors de leur analyse et les mécanismes d'extractibilité en conditions réelles de vinification. En particulier, une fraction de tanins deviendrait moins extractible, ceux-ci pourraient être « sequestrés » par les parois. Nous avons montré que la localisation des tanins, dans la pellicule, évoluait de manière importante, s'agrégeant au tonoplaste (voir figure 1). L'adsorption d'une fraction des tanins de la pellicule a t'elle lieu en fin de maturation, ou lors des premiers moments de vinification ?

Enfin, la perception de l'astringence, est modifiée par d'autres facteurs, comme l'acidité ou l'intensité colorante, éléments clés pris en compte dans les choix de vendange (Cadot et al. 2010, 2012).

<u>Implications pour le vinificateur</u>

De nombreuses études montrent un lien entre le niveau de maturité des raisins et la qualité perçue des vins. Ainsi, par exemple, nos travaux montrent que les vins sont jugés plus qualitatifs, plus prémium, en fonction de la date de vendanges (Cadot et al. 2010, 2012). Ristic et al. (2010) ont obtenu des résultats similaires. Si les teneurs en tanins et en anthocyanes semblent évoluer positivement durant la maturation, leur extractibilité moindre, du fait, d'une part, d'interactions possibles avec les parois cellulaires, et d'autre part, par la « séquestration » de tanins, peut expliquer que les vins soient perçus plus qualitatifs. Selon nos résultats, la durée de cuvaison, souvent associée à des élevages plus longs, pourrait avoir un impact différent, en permettant une extraction, certes marginale, mais plus importante des tanins des pépins, par nature peu extractibles. Si le poids moléculaire des tanins augmente avec l'effet combiné du niveau de maturité et de la durée d'extraction (cela augmenterait l'astringence des vins), cela est généralement associé avec un élevage, jugé nécessaire (qui permettrait une augmentation du « gras » du vin).

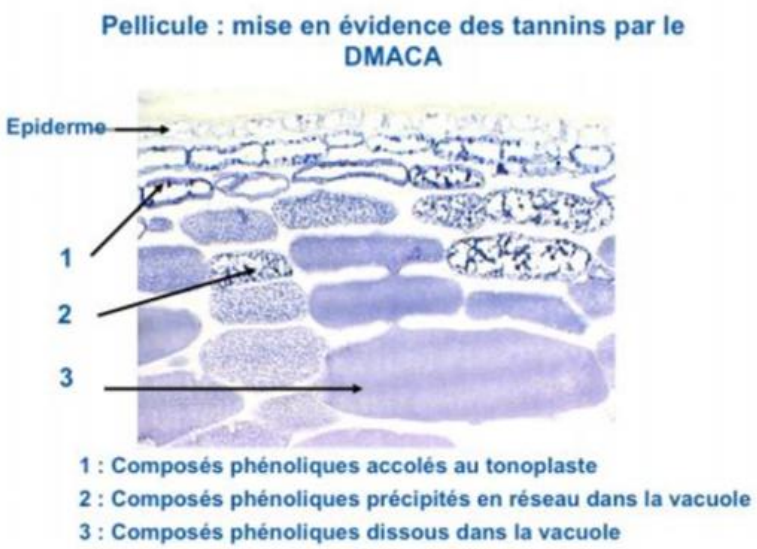


Figure 1 : Localisation des flavanols dans les pellicules.

.

2- Matériel végétal, prélèvement

Les prélèvements et l'échantillonnage des baies des parcelles demandées sont réalisés selon la méthode des morceaux de grappes 10 à 20 baies ou la méthode de grappes entières.
Le prélèvement doit être réalisé en début de matinée et correspondre à un **prélèvement de morceaux de grappe** (15 à 20 morceaux de grappe) pour représenter environ 400 baies. Les prélèvements sont réalisés sur les mêmes pieds que le prélèvement de suivi maturité technologique, soit 1 morceaux de grappe par pied.

Les morceaux de grappe doivent être prélevés à l'aide d'un petit ciseau et conservés au frais dans une boite isotherme ou glacière ou sachet de congélation. Si les baies sont récoltées après une pluie, elles doivent être étalées au maximum pour laisser les échantillons sécher.

Au laboratoire (ISVV), les baies sont séparées de la rafle puis broyées pour l'analyse Glories

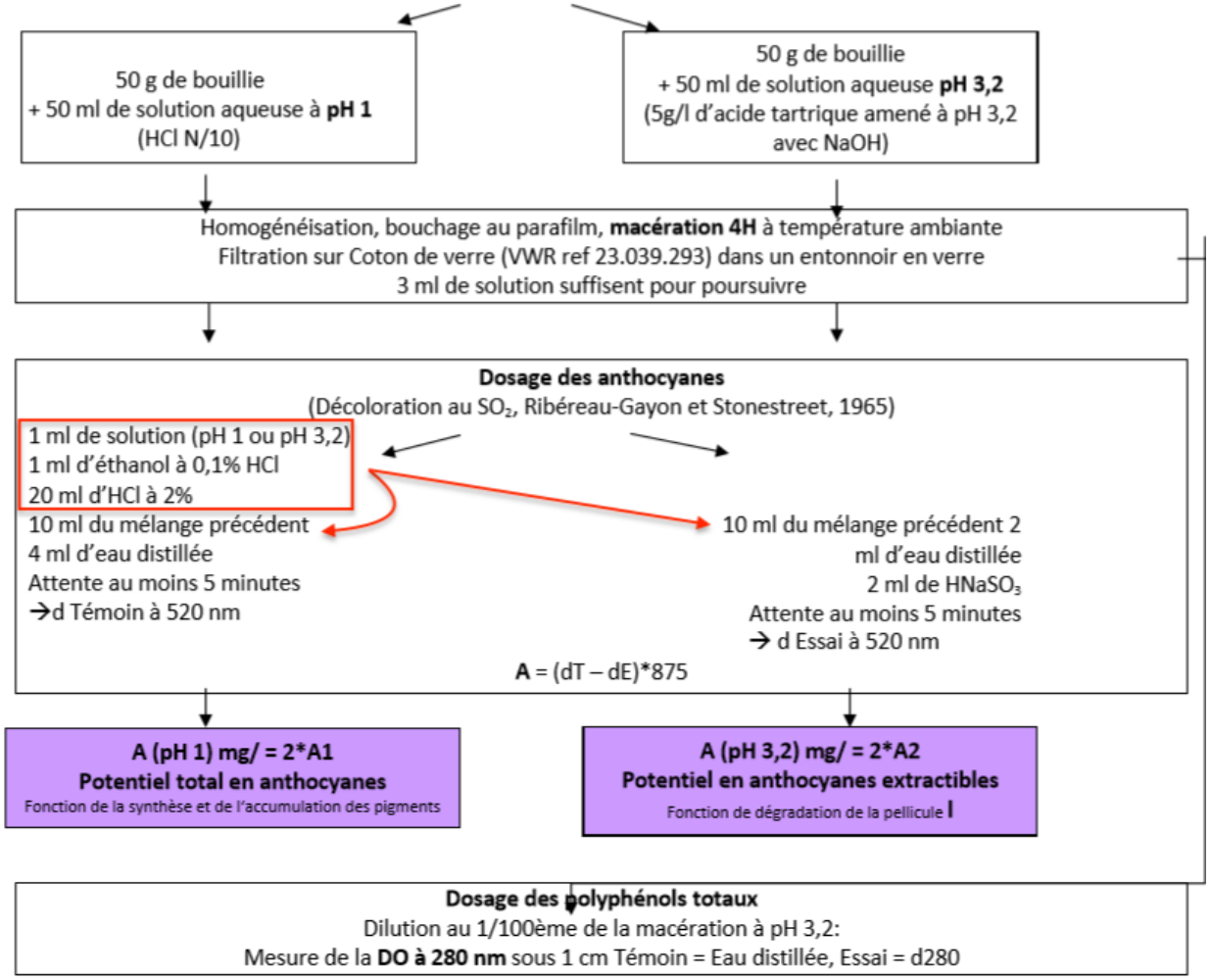
Les prélèvements peuvent être réalisés à partir du stade fin véraison toutes les semaines jusqu'à la vendange si on souhaite faire une suivi ou au moment de la vendage pour une évaluation finale.

3- Méthode et protocole

Principe : détermination des anthocyanes et de RPT par méthode Glories

Préparation des échantillons, mode opératoire et Calculs

A partir d'un lot de 200 baies ou 500 gr, broyer les baies environ 1 minute à l'aide d'un broyeur à fruit et prélever deux lots de bouillie de 50 ml bien homogène et peser.



Richesse Polyphénolique Totale : RPT = 2*d280*100

Pourcentage d'Anthocyanes Extractibles : PAE% = [A (pH 3,2)/A (pH 1)]*100

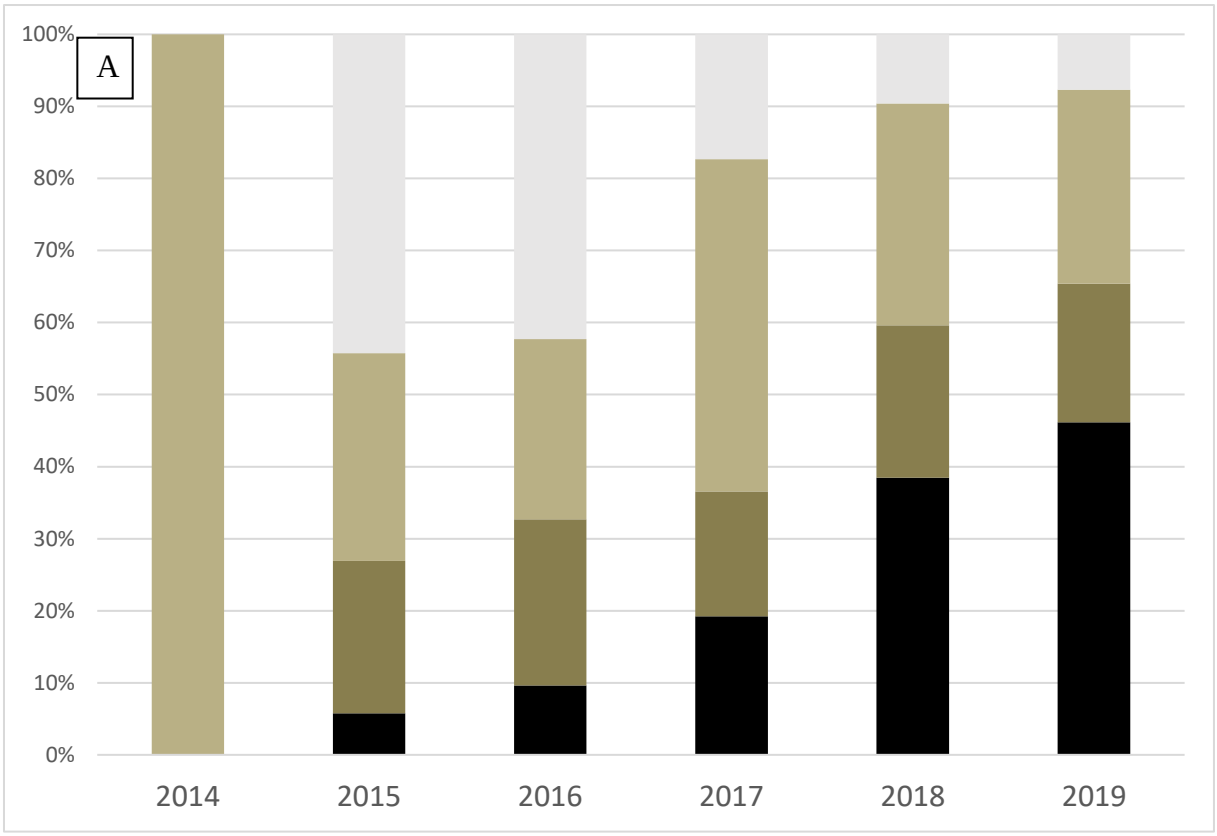
Reflet de l'extractibilité des pigments

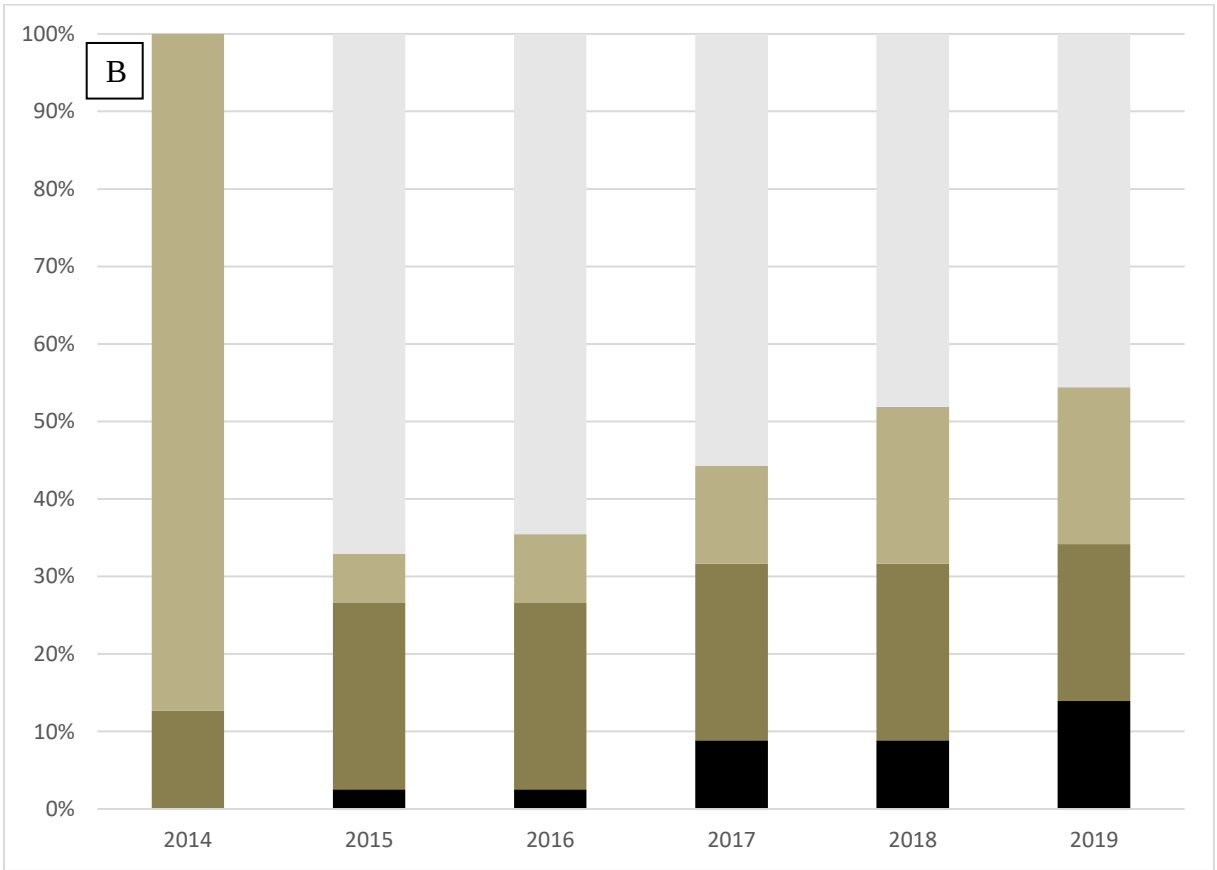
RPT = d pell + dT pep [avec ***d pell*** = dA pell + dT pell = ***A (pH 3,2)*40/1000*** où A (pH 3,2) est exprimé en mg/l]

Tanins des pépins = dT pep = RPT – d pell

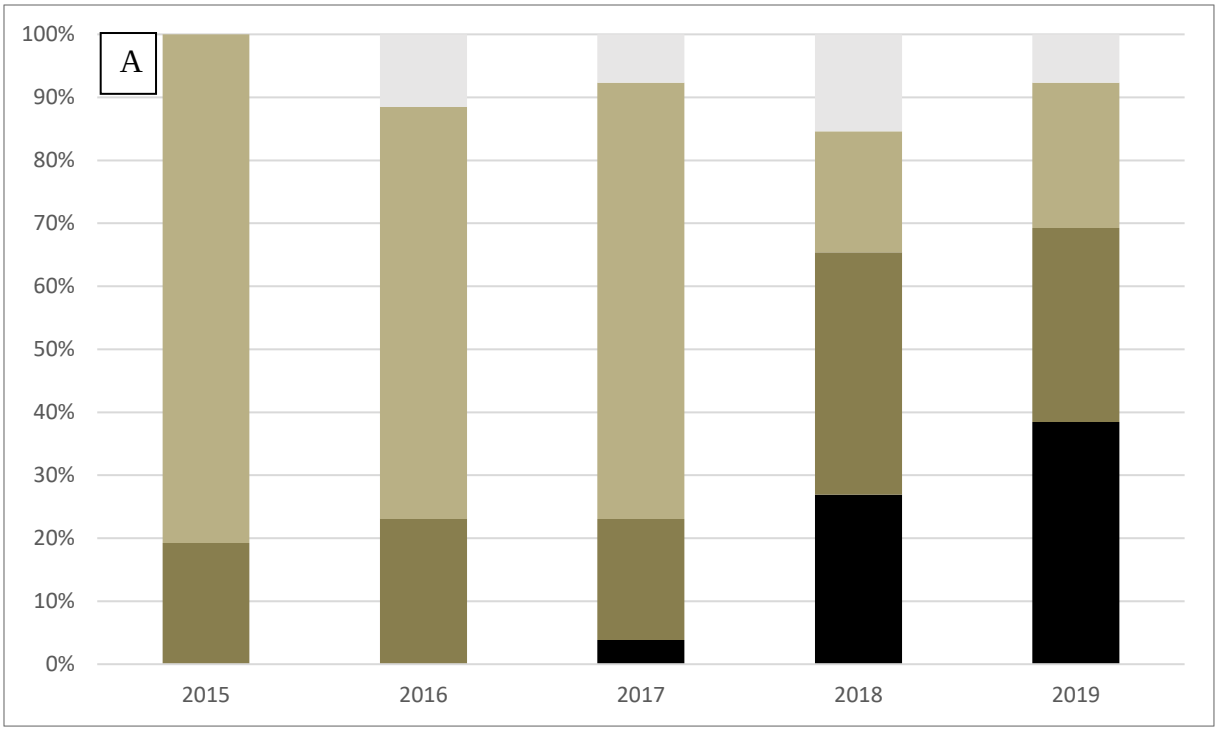
Maturité des pépins : Mp = [(d-dpell)/RPT]*100 = (dTpep/RPT)*100

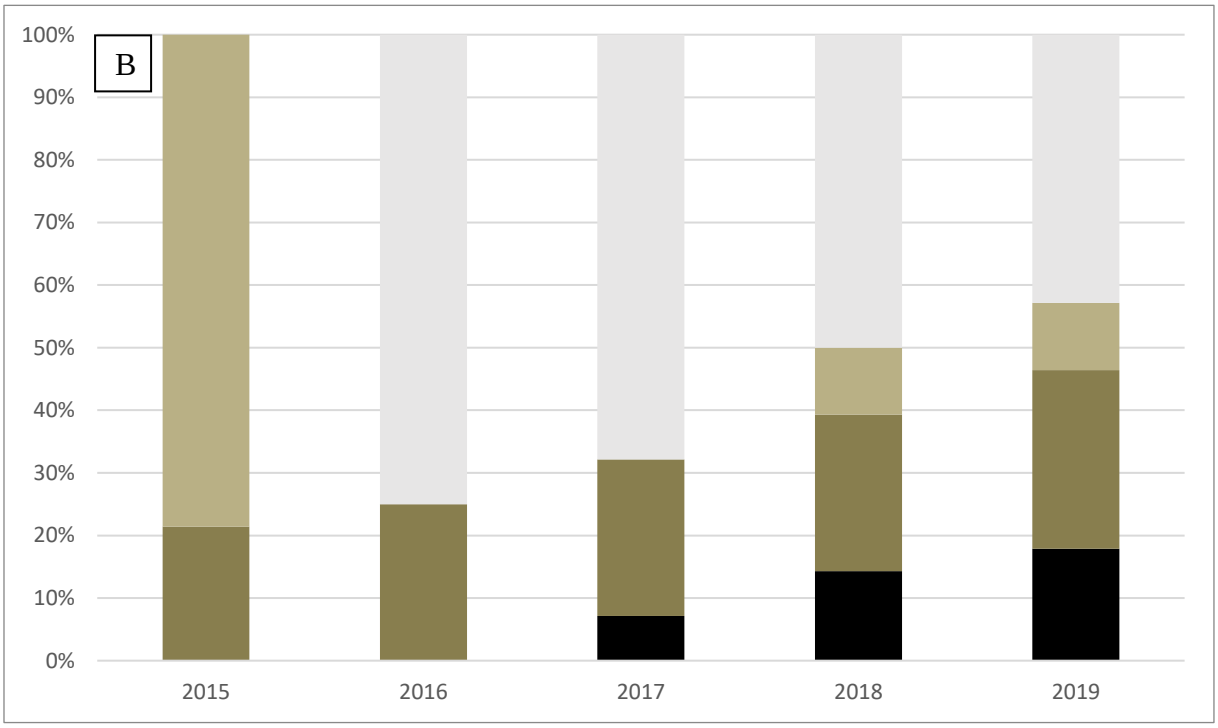
ANNEXE 4. Protocole de prélèvement et mesure de maturité phénolique Glories ; rédigé par Pr. Laurence Geny-Denis



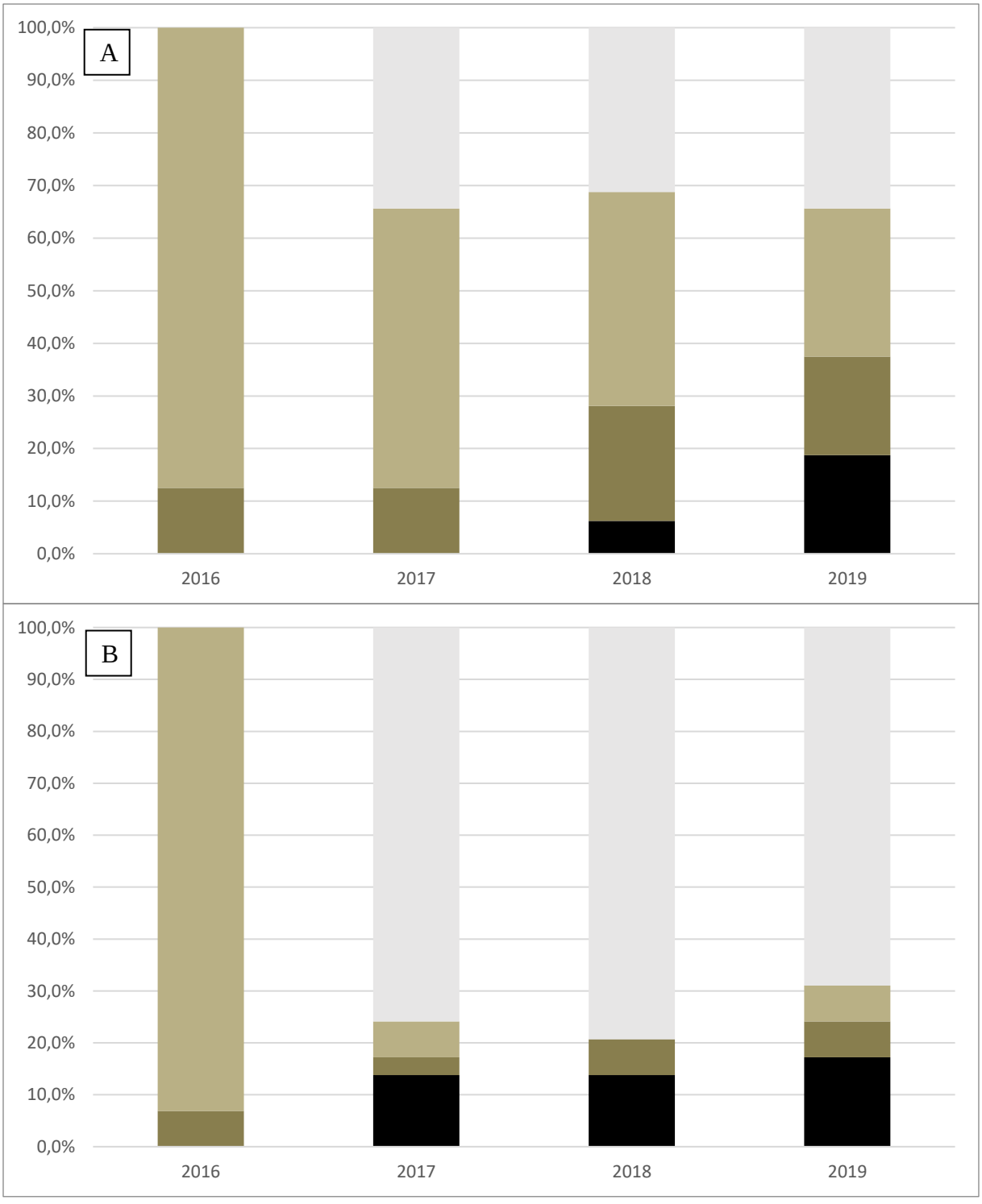


ANNEXE 5. Evolution des pieds malades (A) et curetés (B) en 2014 ; Parcelle de Sauvignon blanc « Cyprés Est » au Château Reynon ; n_{malade} = 52 ; $n_{cureté}$ = 79 ; Noir, cep mort ; Marron, bras mort ; Brun, symptomatique ; Beige, asymptomatique





ANNEXE 6. Evolution des pieds malades (A) et curetés (B) en 2015 ; Parcelle de Sauvignon blanc « Cyprés Est » au Château Reynon ; n_{malade} = 26 ; $n_{cureté}$ = 28 ; Noir, cep mort ; Marron, bras mort ; Brun, symptomatique ; Beige, asymptomatique



ANNEXE 7. Evolution des pieds malades (A) et curetés (B) en 2014 ; Parcelle de Sauvignon blanc « Cyprés Est » au Château Reynon ; n_{malade} = 32 ; $n_{cureté}$ = 29 ; Noir, cep mort ; Marron, bras mort ; Brun, symptomatique ; Beige, asymptomatique

Etude de l'efficacité qualitative et quantitative du curetage à court et moyen terme

Résumé :

Les maladies cryptogamiques du bois la vigne, dont notamment l'Esca, entraînent la mort des ceps. Elles sont en recrudescence en France depuis l'interdiction de l'arsénite de sodium en 2001. Depuis, aucun moyen de lutte efficace n'a été proposé aux viticulteurs pour répondre à cette crise sanitaire entrainant de fortes conséquences économiques.

Une technique curative est réapparue pour lutter contre l'Esca : le curetage. Elle consiste à enlever les parties du tronc infectées par la maladie. L'étude s'efforce donc à quantifier l'efficacité à court et moyen terme de cette opération.

En comparaison avec des ceps sains et des ceps malades, le curetage se stabilise l'état des ceps opérés. À moyen terme, ils retrouvent le même comportement qu'un cep sain en terme de physiologie et de qualité de baie. Ils sont donc bien résilients.

Pour une parcelle subissant de forte pression d'Esca, au bout de cinq ans, la moitié des ceps opérés seraient résilients et seulement 13 % d'entre eux seraient morts.

Mots-clés :

Maladie du bois, Esca, Curetage, Résilience, Physiologie, Maturité

Qualitative and quantitative effectiveness of grapevine surgery at short and medium term

Abstract :

Grapevine trunk diseases, including Esca, cause the death of vines. They have been on rise in France since the ban on sodium arsenite in 2001. Since then, none effective solution has been proposed to winegrowers for this crisis which cause serious economic consequences.

Grapevine surgery is a curative technique against Esca. It consists in removing infected parts of the trunk. The study seeks to quantify at short and medium term effectiveness of this operation.

In comparison with healthy and diseased vines, grapevine surgery stabilizes the condition of operated vines. At medium term, they regain the same behaviour as healthy vine in terms of physiology and berry quality. They are therefore resilient.

For a plot under high pressure from Esca, half of the vines operated on would be resilient and only 13% of them would have died after five years.

Keywords :

Grapevine trunk disease, Esca, Grapevine surgery, Resilience, Physiology, Maturity

Montpellier SupAgro

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