

ETUDE DE L'INFLUENCE DES PRATIQUES VITICOLES SUR LA SENSIBILITE DE LA VIGNE AUX MALADIES - RAPPORT D'ANALYSE D'ENQUETES -

Projet encadré par :

Éric Schmidt (LBV)
Konrad Schreiber (LBV)
Xavier Sarda (LBV)

Avec l'aide de :

Bernard Nicolardot (AgroSup Dijon, tuteur de stage)
Laurence Dujourdy (AgroSup Dijon, statisticienne)
Olivier Husson (chercheur au Cirad)

Antoine Mathias
antoine.mathias@agrosupdijon.fr
06 11 38 35 30

Remerciement

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à Xavier Sarda, qui m'a épaulé jusqu'au bout pour finir ce travail. Merci pour ton accueil chaleureux malgré ces temps de distance, tes conseils avisés et ta grande bienveillance. Ton expérience et tes méthodes de travail m'auront beaucoup appris en plus de ces nombreuses conversations que nous avons pu partager.

Je tiens également à remercier vivement Konrad Schreiber pour sa confiance envers mon travail et sa bienveillance malgré les moments de doute. Pourvoir rencontrer une personne inspirante pleinement engagée dans cette transition était une expérience riche. Merci encore pour le partage de tes connaissances et de la vision fine de l'innovation agronomique que tu m'as apportée.

Un grand merci à Éric Schmidt pour son regard extérieur et ses sages conseils sur les méthodes de travail. Je tiens également à remercier Angela Sidler et sa famille pour son accueil dans leur magnifique ferme en Normandie, un exemple à suivre.

Je remercie tous les viticulteurs que j'ai pu avoir aux téléphones pour leur temps passer à partager les pratiques innovantes qu'ils mettent en place. Bien plus que de simples réponses à un questionnaire, vous m'avez transmis votre passion et votre engouement vers cette transition.

Je souhaite également adresser des sincères remerciements à Laurence Dujourdy et à Olivier Husson pour m'avoir accordé du temps pour vérifier mon travail malgré les nombreux travaux qu'ils mènent en parallèle. Leurs expertises ont été un point-clé à la réussite de ce travail. Pour finir, je remercie Bernard Nicolardot pour son aide apportée et ses conseils.

Résumé

Ce rapport présente une étude par voie d'enquête sur 47 adhérents de **La Belle Vigne** et 34 non adhérents (grand public). Elle a pour objectif d'identifier les pratiques viticoles qui ont un impact sur les principales maladies de la vigne (le Mildiou, l'Oïdium, le Black rot et le Botrytis) dans une stratégie de développement d'une lutte *Bio-Logique* et intégrée.

L'Analyse des Correspondances Multiples, qui est un outil d'analyse de statistique exploratoire, nous a montré les types de pratiques favorisant des fortes pressions à certains ravageurs. La typologie des groupes et leur environnement a pu être bien défini et explicité. Les corrélations entre les pratiques viticoles et la présence de fortes pressions ont pu être démontrées grâce à un test statistique (Khi-2).

Cette étude met en lumière tout le potentiel des pratiques agroécologiques dans l'établissement d'une viticulture résiliente face aux risques de ravageurs. Elle nous aura permis de formuler des hypothèses fortes sur les effets positifs qu'amenèrent certaines pratiques culturales et des mises en gardent sur la qualité de la fertilisation, l'utilisation d'herbicide et la gestion des enherbements.

TABLE DES MATIERES

Tables des illustrations.....	4
Introduction	5
I. Présentation de l'enquête	6
A. Caractéristiques de l'enquête.....	6
B. Traitement des données de l'enquête	6
C. Représentation graphique des classes par question de l'enquête	7
1. Descriptions des profils des enquêtés.....	7
2. Descriptions des pratiques des enquêtés	9
3. Descriptions des rendements et des pressions maladies des enquêtés	12
II. Présentation du sondage	13
A. Caractéristiques du sondage	13
B. Représentation graphique des classes par question du sondage	13
1. Descriptions des profils des sondés	13
2. Descriptions des pratiques des sondés	15
3. Descriptions des pressions maladies des sondés	17
III. Matériels et méthodes d'analyse de donnée.....	18
A. Caractéristiques des bases de données (Enquête et Sondage)	18
1. Caractéristiques des données d'une enquête.....	18
2. Conversion des variables quantitatives en variables qualitatives	18
B. Présentation de l'ACM – Analyse des Correspondances Multiples	19
1. Description de la méthode.....	19
2. Construction et clés d'interprétations de l'ACM	19
3. Cas des variables actives et supplémentaires	21
4. Les précautions et vérifications à réaliser	21
C. Présentation de la méthode du Khi-2	22
1. Méthode et condition d'utilisation.....	22
2. Exemple de test du Khi-2 sous le logiciel R.....	23
IV. Résultats des données de l'enquête	23
A. Interprétation de l'ACM	23
1. Variables utilisées pour l'ACM	23
2. Description des axes 1 et 2.....	24
3. Description des axes 3 et 4	28
B. Vérifications des interprétations par le Khi-2	29
1. Présentation du tableau des tests statistiques.....	29
2. Tests du Khi-2 avec la Pression Black Rot.....	30
3. Tests du Khi-2 avec la Pression Mildiou.....	30
4. Test du Khi-2 avec la pression Oïdium	31
C. Synthèses de l'analyse des données de l'enquête	32
V. Résultats des données du sondage.....	33
A. Interprétation des premiers axes de l'ACM	33
1. Variables utilisées pour l'ACM	33
2. Descriptions des axes 1 et 2	33
3. Descriptions des axes 3 et 4.....	34
B. Vérifications des interprétations par le Khi-2	35
1. Tests du Khi-2 avec la Pression Black Rot	35
2. Tests du Khi-2 avec la Pression Mildiou	36
3. Tests du Khi-2 avec la Pression Oïdium	36
C. Synthèses de l'analyse des données du sondage	37
VI. Synthèses des résultats de l'enquête et du sondage	38
VII. Discussions.....	39
A. Discussion au sujet de la méthode et des données.....	39
B. Discussions des résultats avec l'indicateur Eh-pH	40
Conclusion.....	41
Bibliographie.....	42
Annexes	43

Tables des illustrations

Table des tableaux :

Tableau 1 : Tests des khi-2 avec la variable Pression Black Rot – Enquête	30
Tableau 2 : Tests des khi-2 avec la variable Pression Mildiou - Enquête.....	30
Tableau 3 : Tests des Khi-2 avec la variable Pression Oïdium - Enquête.....	31
Tableau 4 : Tests des khi-2 avec la variable Pression Black Rot - Sondage.....	35
Tableau 5 : Tests des khi-2 avec la variable Pression Mildiou - Sondage	36
Tableau 6 : Tests des khi-2 avec la variable Pression Oïdium - Sondage	36

Table des figures :

Figure 1 : Exemple d'ACM.....	20
Figure 2 : Exemple de test Khi-2	23
Figure 3 : ACM de l'enquête axe 1 et 2 - vue d'ensemble	24
Figure 4 : ACM de l'enquête axe 1 et 2 - quart supérieur droit	25
Figure 5 : ACM de l'enquête axe 1 et 2 - quart inférieur gauche	26
Figure 6 : ACM de l'enquête axe 1 et 2 - quart supérieur gauche	26
Figure 7 : ACM de l'enquête axe 1 et 2 - quart inférieur droit.....	27
Figure 8 : ACM de l'enquête axe 3 et 4 – vue d'ensemble.....	28
Figure 9 : ACM du sondage axe 1 et 2 - vue d'ensemble.....	33
Figure 10 : ACM du sondage axe 3 et 4 - vue d'ensemble	34

Table des annexes :

Annexe 1 : ACM de l'enquête axe 3 et 4 – quart supérieur droit	43
Annexe 2 : ACM de l'enquête axe 3 et 4 – quart inférieur droit	43
Annexe 3 : ACM de l'enquête axe 3 et 4 – quart supérieur gauche	44
Annexe 4 : ACM de l'enquête axe 3 et 4 – quart inférieur droit	44
Annexe 5 : ACM du sondage axe 1 et 2 – quart supérieur gauche	45
Annexe 6 : ACM du sondage axe 1 et 2 – quart inférieur droit.....	45
Annexe 7 : ACM du sondage axe 3 et 4 – quart inférieur gauche.....	46
Annexe 8 : ACM du sondage axe 3 et 4 – quart supérieur droit	46
Annexe 9 : ACM du sondage axe 3 et 4 – quart inférieur droit	47
Annexe 10 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Black Rot et Utilisation d'herbicide - Enquête	47
Annexe 11 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Black Rot et Fréquence des apports en matière carbonée - Enquête	48
Annexe 12 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Oïdium et Fréquence des apports en matière carbonée -Enquête	48
Annexe 13 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Oïdium et Enherbement du cavaillon - Enquête	48
Annexe 14 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Mildiou et Utilisation d'herbicide - Enquête	49
Annexe 15 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Black Rot et Type de fertilisation - Sondage	49
Annexe 16 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Black Rot et Type de désherbage du cavaillon - Sondage.....	49
Annexe 17 : Comparaison des effectifs pour les variables Production de biomasse et Pression Mildiou - Sondage	50
Annexe 18 : Comparaison des effectifs pour les variables Pression Mildiou et Type d'enherbement - Sondage	50

Introduction

Dans le cadre du développement des pratiques agroécologiques en viticulture, *La Belle Vigne* poursuit ses travaux dans la recherche de pratiques respectueuses des sols et de leur biologie et plus résilientes face au réchauffement climatique. Ces pratiques viticoles tendent également à limiter les besoins d'intrants dans l'itinéraire cultural en apportant des solutions portées sur un système diversifié et des connaissances sur le génie végétal.

Certaines pratiques viticoles sont soupçonnées au contraire d'augmenter la pression des maladies. Cette vision de l'agroécologie met en lumière l'hypothèse qu'une forte pression d'un ravageur n'est pas simplement le résultat de facteurs climatiques favorables à sa présence par exemple, mais la conséquence de plusieurs facteurs augmentant l'appétence de ce dernier envers la plante cible (ou réduisant les défenses de celle-ci). Ces facteurs, en plus du facteur climatique indéniable, concerneraient également les utilisations de produits phytosanitaires ou les pratiques culturales de travail du sol par exemple.

En réponse à l'utilisation des produits phytosanitaires (synthétiques ou naturels) une lutte biologique et intégrée performante semble être un levier important pour limiter l'utilisation de ces produits, voire de s'en passer. La création d'un écosystème équilibré, avec notamment le développement d'habitat pour les auxiliaires, est un exemple de pratique qui se place parfaitement dans cette stratégie pour atteindre cette lutte *Bio-Logique*.

Afin de comprendre comment les pratiques culturales peuvent influencer l'état de santé globale de la plante et du sol, un nouvel indicateur a été mis en place grâce aux travaux d'Olivier Husson sur la relation entre le potentiel d'oxydo-réduction et le pH en agriculture (Eh-pH) (Husson et *al.*, 2018^a). Les variations de l'indicateur Eh-pH, mesure combinant le pH et le potentiel Redox de la plante ou du sol, pourraient expliquer les états où la plante serait plus sensible (conditions oxydée et alcaline, oxydée et acide ou réduite et alcaline) ou plus résistante et en bonne santé (condition réduite et acide).

D'après ces études récentes, certaines pratiques pourraient influencer le potentiel du sol et de la plante et donc faire varier la sensibilité des plantes aux maladies et par conséquent la productivité (Cottes et *al.*, 2020). Ces pratiques ont été identifiées comme responsables de la dégradation de ce potentiel redox (liste non exhaustive et en cours de recherche) : le travail du sol intensif (remuer la terre l'oxyde), l'utilisation de désherbants chimique et certains produits phytosanitaires de synthèse (molécules au pouvoir oxydant) ou encore des pratiques de taille trop agressives.

En outre, à cause de l'absence d'une protection végétale vivante ou morte, un sol nu est exposé au rayonnement UV du soleil qui interagisse avec le fer pour produire des éléments fortement oxydants (Espèces Réactives à l'Oxygène (ERO) ; réaction de Fenton ; (Georgiou et *al.*, 2015).

Au contraire, la séquestration de carbone dans les sols est une stratégie permettant de créer des environnements plus équilibrés (effet tampon) face à ces variations de potentiel redox et donc plus stable (Syncla, 2018).

C'est dans ce contexte que *La Belle Vigne* a souhaité poursuivre ces recherches en tentant d'identifier un fil rouge des pratiques nuisant potentiellement à la santé des vignobles. Pour ce faire, nous avons lancé en novembre 2020 un **sondage national** en ligne et ouvert à tous afin de récolter des données sur les pratiques culturales et les pressions aux maladies des vignobles. En parallèle, nous avons réalisé une **enquête téléphonique** plus approfondie auprès de nos adhérents pour avoir une vision plus fine de leur pratique s'inscrivant dans cette démarche agroécologique.

Nous vous présenterons dans ce rapport la réalisation du sondage et de l'enquête dans les deux premières parties. Nous expliquerons les méthodes d'analyse des données avec notamment l'Analyses des Correspondances Multiples (ACM) et la méthode du Khi-2 (test statistique) avec les clés d'interprétations. Puis dans les parties suivantes, nous vous présenterons les résultats de l'enquête et du sondage et leur synthèse. Enfin, nous terminerons par une discussion générale sur cette étude.

I. Présentation de l'enquête

A. Caractéristiques de l'enquête

L'enquête téléphonique réalisé auprès des adhérents de *La Belle Vigne* concerne au total 47 individus. Le questionnaire comprenait 107 questions différentes permettant d'avoir un grand nombre d'informations précises sur leur profil et leur pratique viticole. Ces enquêtes ont débuté fin octobre 2020 et ont duré un mois et demi. Toutes les questions en rapport aux pratiques culturelles et aux pressions se référaient à la campagne viticole 2019-2020.

Par exemple, sur le thème des couverts végétaux en inter-rang, nous demandions la date de commencement de cette pratique, les espèces implantées, le nombre de rangs concernés, les méthodes d'entretien ou de destruction, le stade du couvert avant destruction ou encore la quantité de biomasse produite.

Les questions posées portent sur la majorité des pratiques réalisées et des pressions constatées sur le domaine. Dans le cas de pratique et de pression très différentes entre des lots de parcelle ne pouvant pas être généralisées, nous prenions une parcelle spécifique (la plus représentative) par souci de cohérence.

B. Traitement des données de l'enquête

La base de données ne contient pas de valeur vide (important pour l'analyse de données) étant donné qu'au téléphone les questions pouvait être reformulées et les réponses vérifiées.

Certaines questions apportaient un grand nombre d'informations difficiles à traiter, notamment les questions à choix multiples, comme les cépages utilisés par exemple ou encore les produits phytosanitaires utilisés. Certaines questions sont imprécises car les viticulteurs ne se rappelaient pas toujours bien des données comme les IFT ou les noms des produits avec les doses.

Afin de simplifier l'analyse et de lisser certaines réponses imprécises, nous avons créé pour des cas particuliers de nouvelles variables plus synthétiques regroupant plusieurs questions. Par exemple, pour la variable « Fréquence d'apport azoté » nous prenons en compte les quantités en fertilisants organiques et minéraux avec leur proportion NPK pour juger s'il y avait un faible, moyen ou fort apport. La variable « Fréquence d'apport azoté » est donc le regroupement de 3 questions.

Autre exemple, pour évaluer l'utilisation de produit phytosanitaire, nous prenions en compte les noms des produits, les quantités, l'IFT et les commentaires écrits lors de l'entretien. En croisant les informations, nous pouvons résumer ces données en concluant s'il y a une forte, une moyenne ou une faible utilisation. Nous obtenons ainsi une nouvelle variable créée plus fiable et synthétique, donc plus facile à utiliser par la suite.

Ces questions regroupées de cette manière seront indiquées par un astérisque (*) dans les graphiques des classes présentées ci-dessous. Des informations seront précisées quant à la méthode d'évaluation sur les graphiques indiqués avec deux astérisques (**).

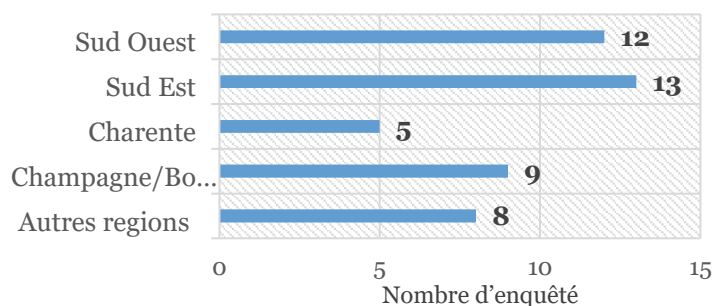
C. Représentation graphique des classes par question de l'enquête

Il est important de préciser qu'en termes statistiques une question est appelée variable, et une réponse modalité

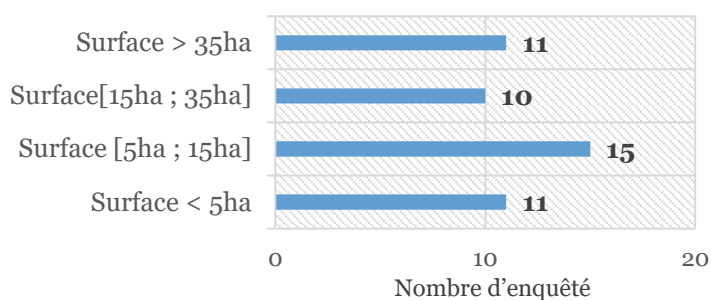
Nous présenterons ici les statistiques descriptives de l'échantillon étudié. Autrement dit, nous allons présenter les graphiques par question de manière à voir quelles sont les répartitions des 47 individus entre les réponses de chaque question. Pour être plus synthétique, seulement les questions utilisées pour l'analyse (dont les variables créées) et les questions les plus intéressantes sont décrites ici.

1. Descriptions des profils des enquêtés

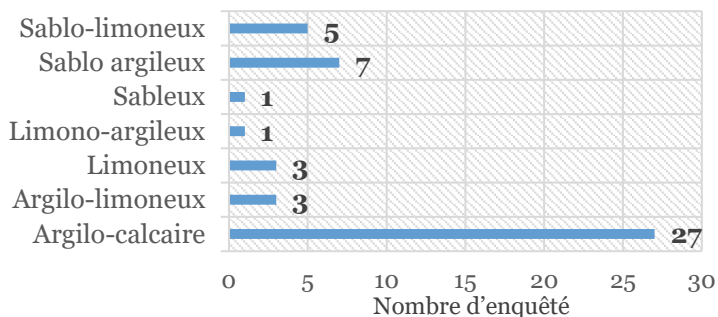
Répartition géographique des viticulteurs



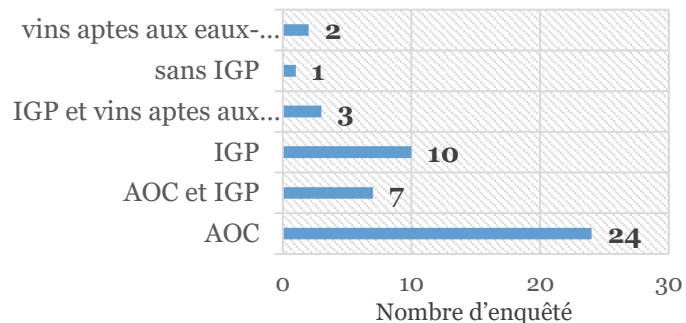
Superficie des domaines viticoles



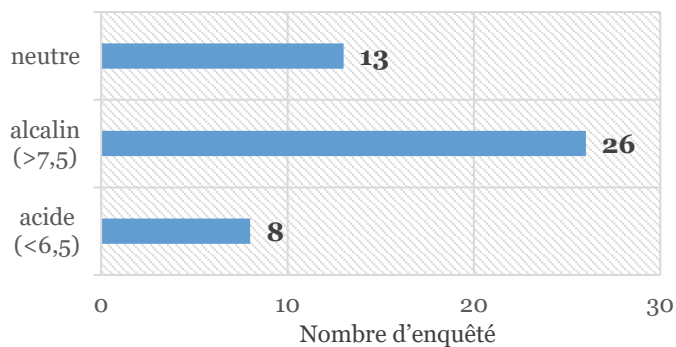
Répartition des types de sols majoritaires



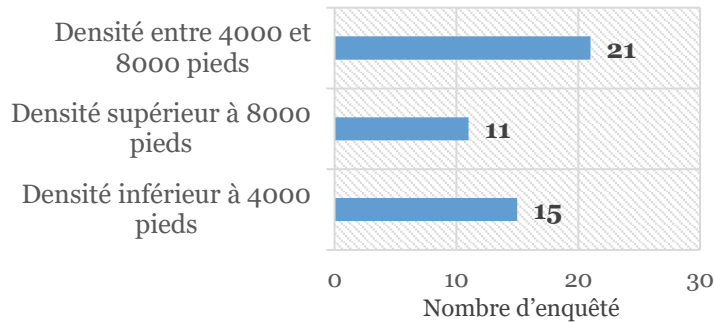
Répartition des types de vins produits



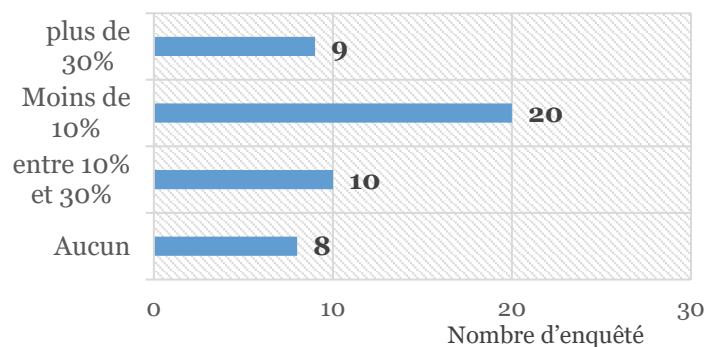
Moyenne du pH des sols viticoles



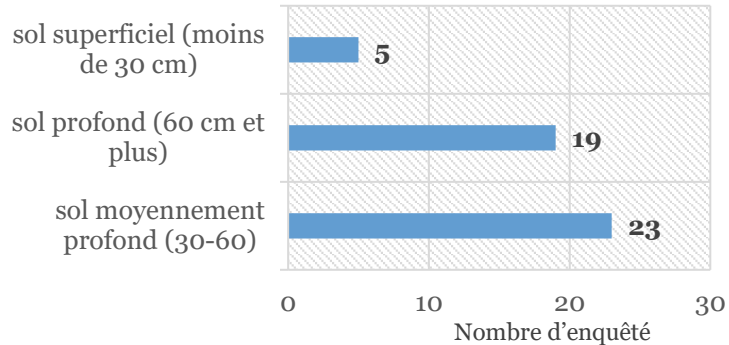
Densité de plantation des vignobles



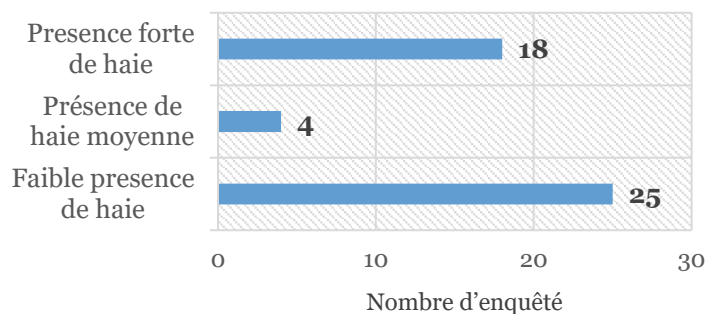
Pourcentage moyen de piérosité



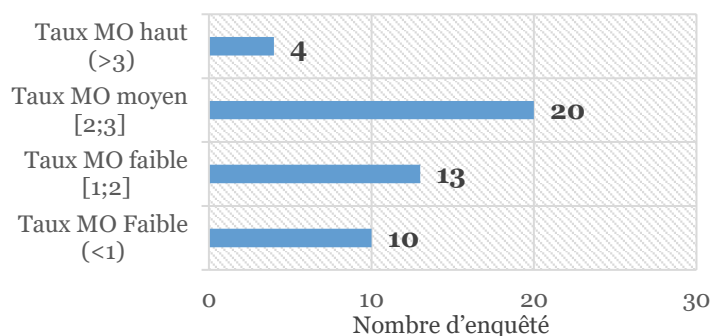
Profondeur moyenne des sols



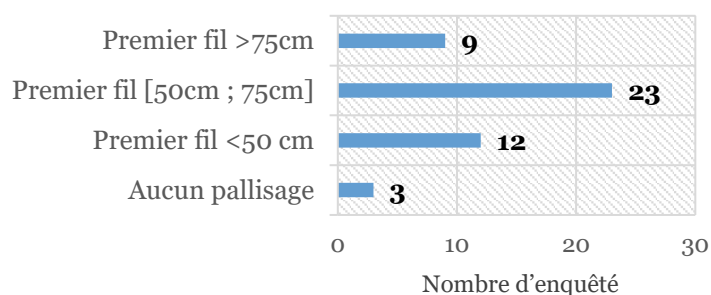
Proportion du vignoble bordé par des haies



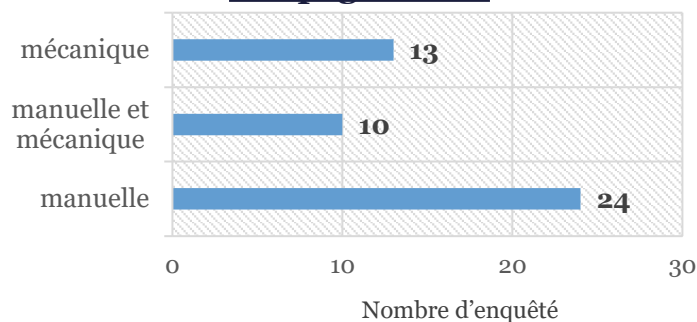
Taux moyen de MO dans les sols



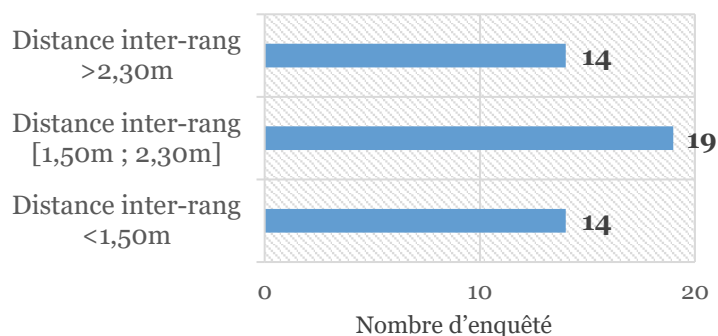
Hauteur des premiers fils dans les pallsages



Mode de récolte lors de la campagne 2020

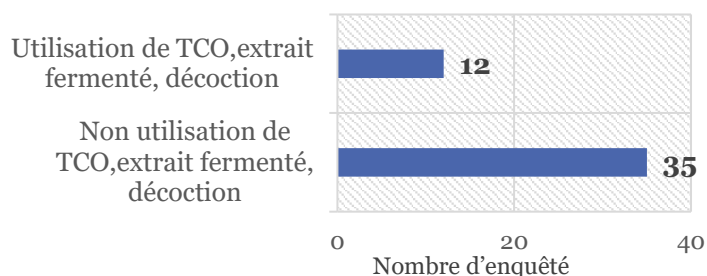


Distance de l'inter-rang moyenne

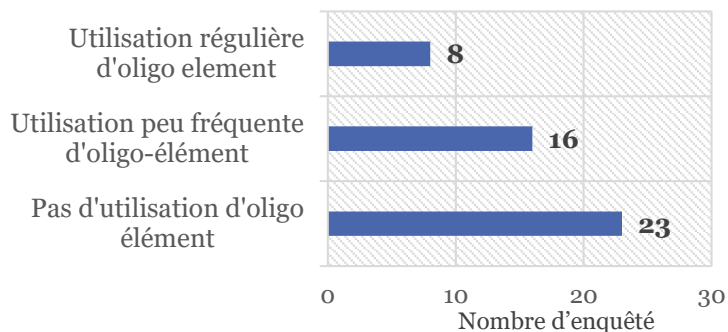


2. Descriptions des pratiques des enquêtés

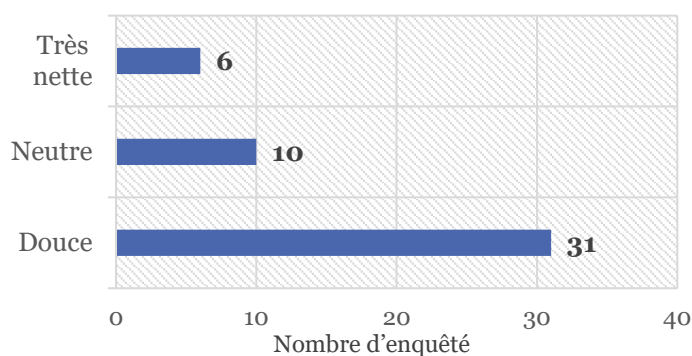
Utilisation de préparation alternative (TCO, extrait fermenté, etc)*



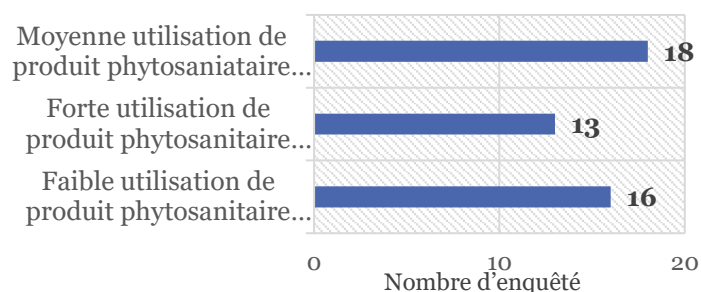
Fréquence d'utilisation d'oligo-élément*



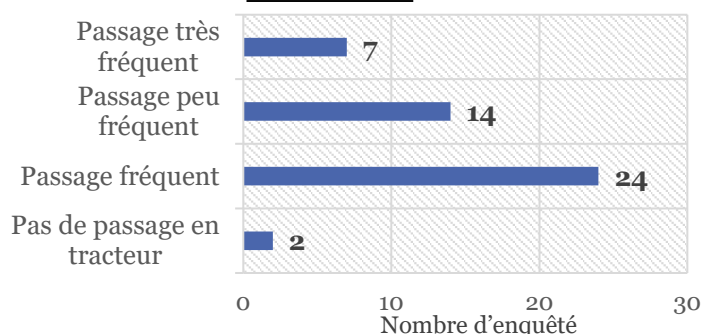
Typologie des pratiques de taille**



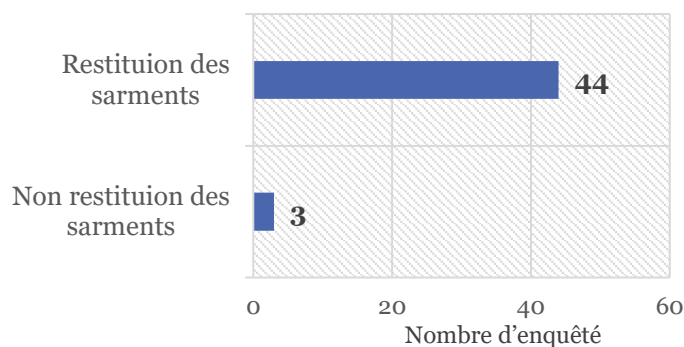
Fréquence d'utilisation de produit phytosanitaire de synthèse*



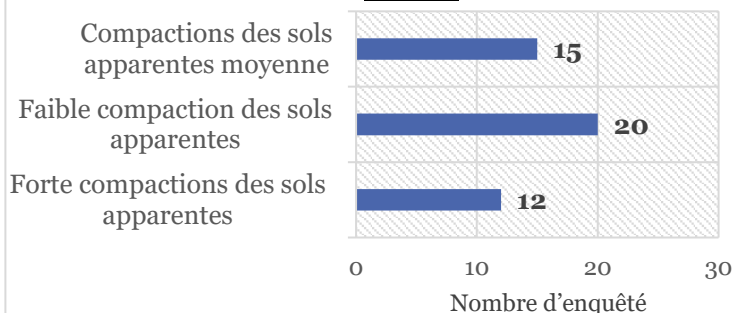
Fréquence de passage en tracteurs*



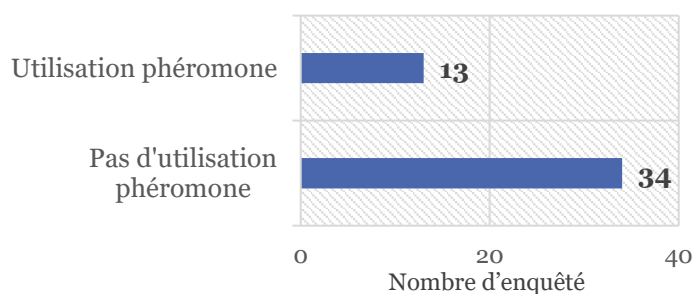
Devenir des sarments



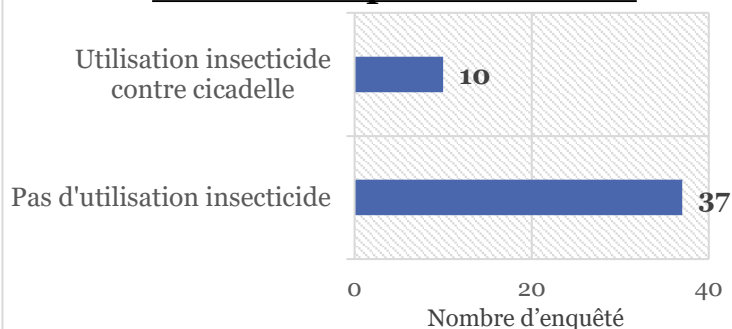
Evaluation de la compaction des sols**



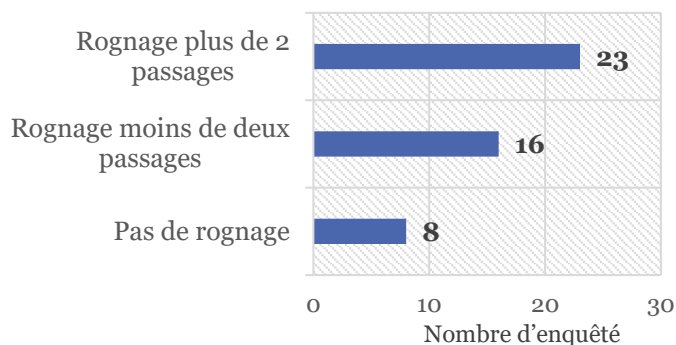
Utilisation de phéromone pour lutter contre la tordeuse



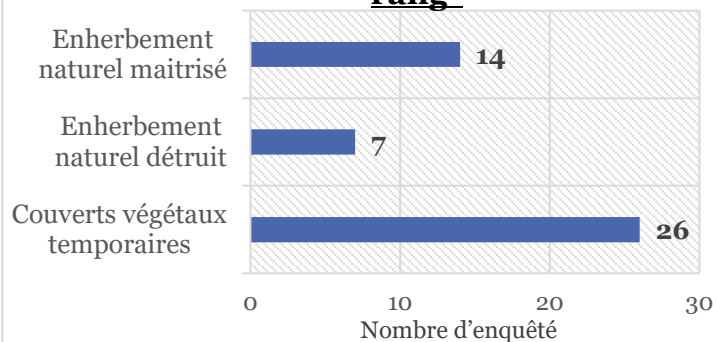
Répartition de l'utilisation d'insecticide pour la cicadelle



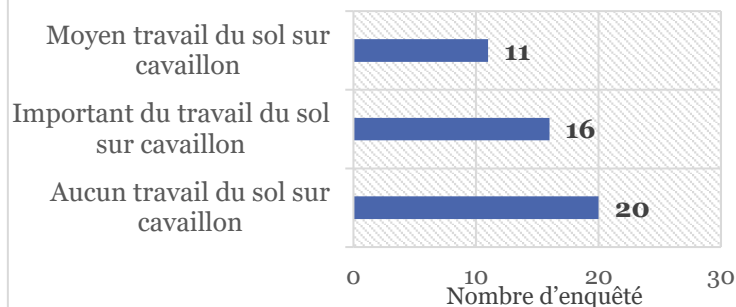
Fréquence de passage pour rogner



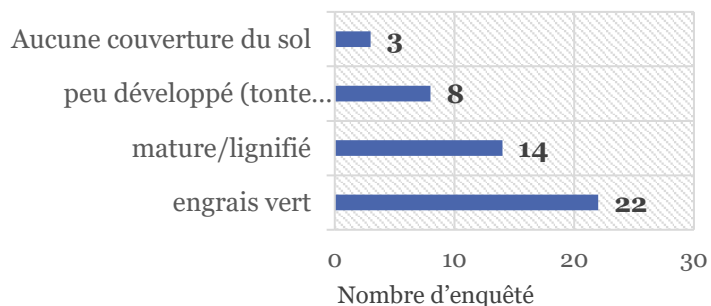
Type d'enherbement de l'inter rang*



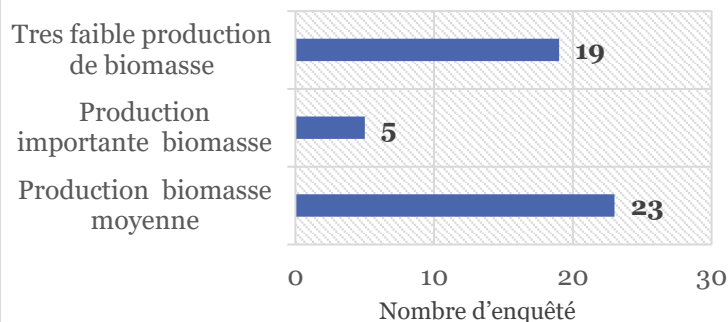
Evaluation du travail du sol dans le cavaillon*



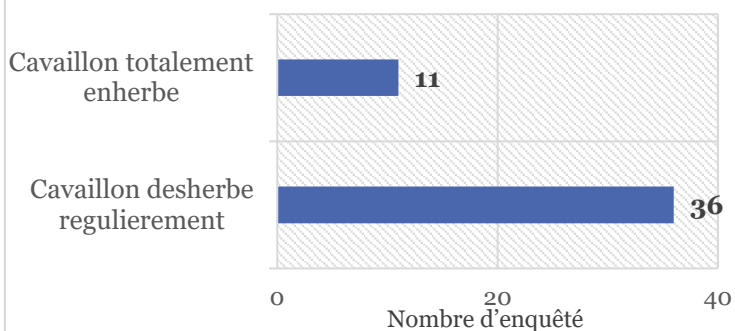
Stade de la végétation de couverture lors de la destruction



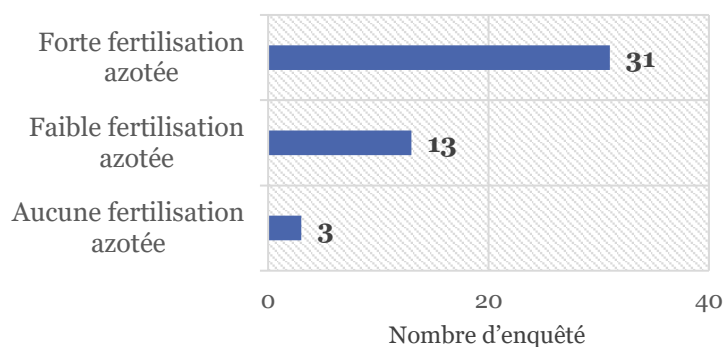
Evaluation de la production de biomasse dans l'inter-rang**



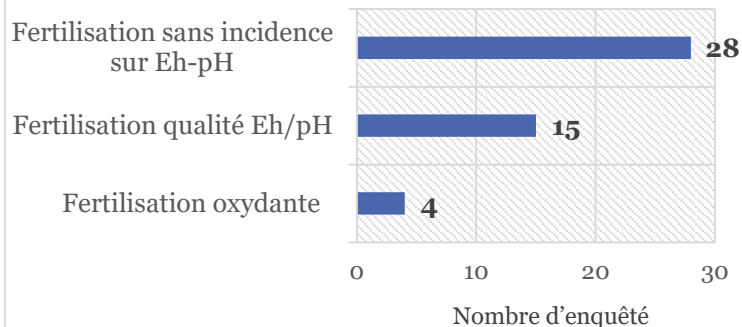
Evaluation de l'enherbement du cavaillon*



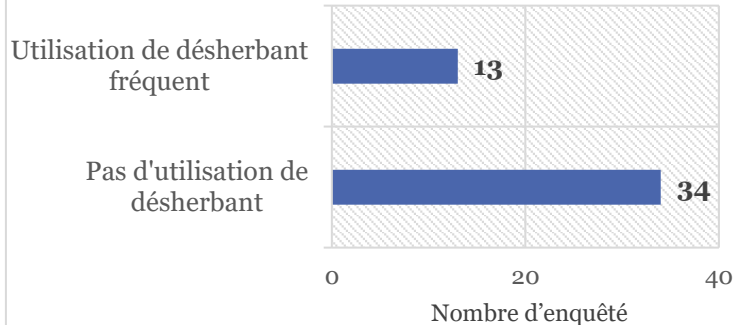
Fréquence des apports azotés**



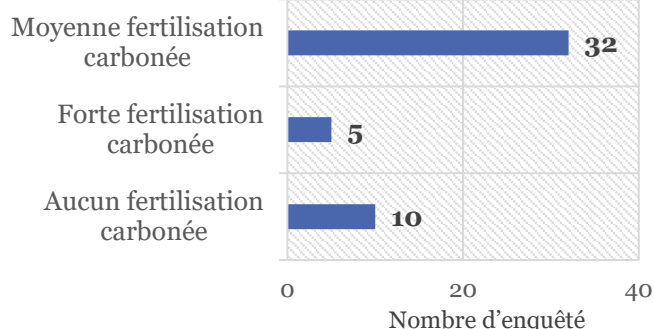
Evaluation de la qualité de la fertilisation selon Eh-pH**



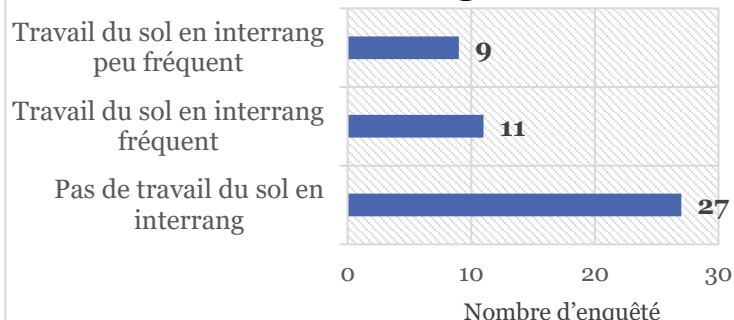
Utilisation de désherbant chimique*



Fréquence d'apport en matière organique et carbonée**



Evaluation du travail du sol en inter-rang*



****Typologie des pratiques de taille :** question demandée directement aux vignerons, l'objectif est d'avoir un ordre d'idée. Nous ne l'interprétons pas dans les résultats finaux car cette variable n'est pas assez précise.

****Evaluation de la compaction des sols :** catégorisation en fonction du type de sol, nombre de passage en tracteur, auto-évaluation et densité. C'était une tentative, mais cette variable est également peu précise.

****Evaluation de la production de biomasse en inter-rang :** Evaluation en fonction des quantités de biomasse produite, des espèces implantées, du nombre de rangs concernés et de la date du début de la pratique (si pratique récente ou expérimentée avec des systèmes bien mis en place).

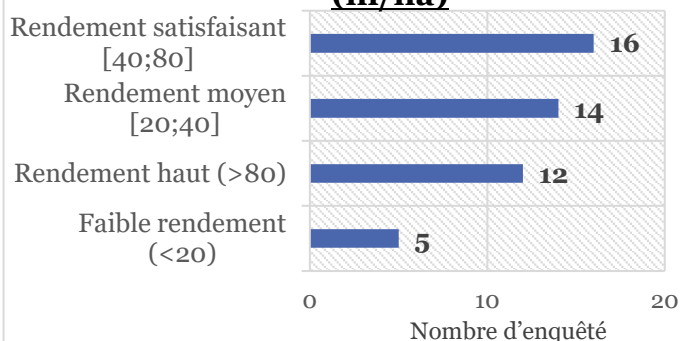
****Fréquence des apports azotés :** catégorisation en fonction des apports en unité d'azote (<10 unités N « Aucune fertilisation » ; [10 ; 40] unités N « Faible fertilisation » ; >40 unités N « Forte fertilisation »)

****Evaluation de la qualité de la fertilisation selon Eh-pH :** en fonction de l'utilisation d'engrais riche en matière organique et carboné et de la nature de l'engrais minérale (ammonitrate (nature oxydée) ou au contraire urée (nature réduite)). Si aucune fertilisation, la modalité Fertilisation sans incidence était sélectionnée.

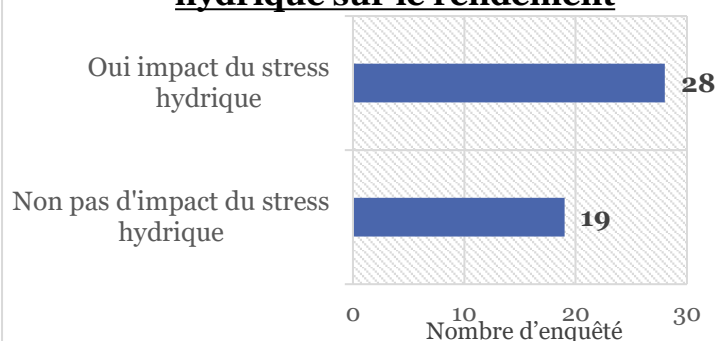
****Fréquence d'apport en matière organique et carbonée :** catégorisation en fonction des volumes des apports et de leur nature par rapport à leur rapport C/N (BRF, compost avec broyat de déchet vert ou au contraire fiente de volaille).

3. Descriptions des rendements et des pressions maladies des enquêtés

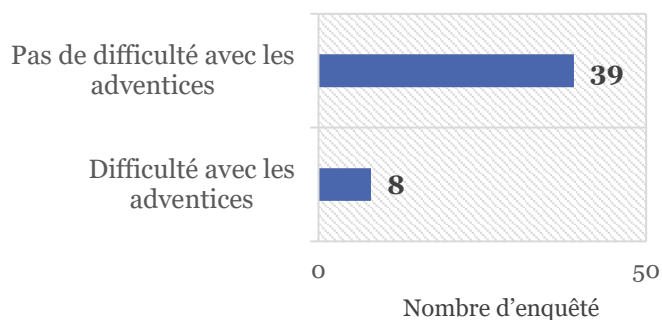
Répartition des rendements (hl/ha)



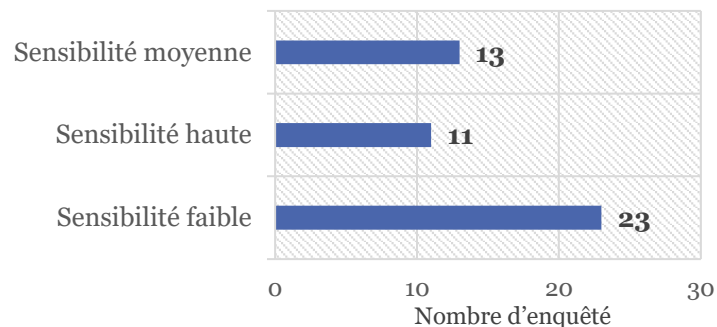
Evaluation de l'impact stress hydrique sur le rendement



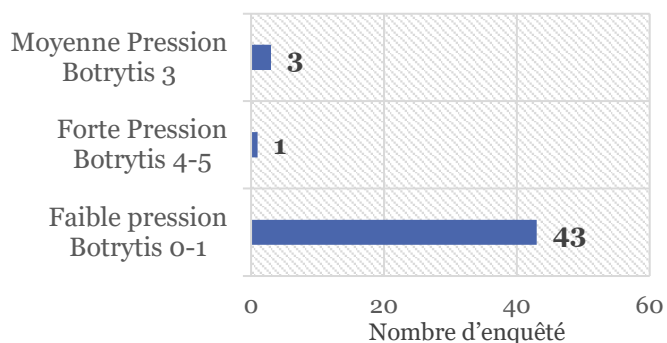
Evaluation de la difficulté avec les adventices (inter-rang et cavaillon)



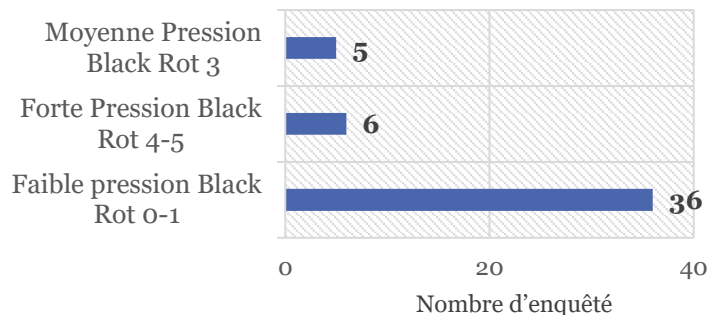
Evaluation de la sensibilité aux maladies



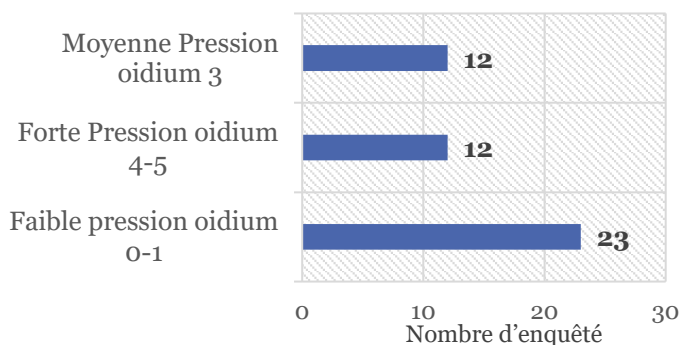
Répartition de la pression Botrytis



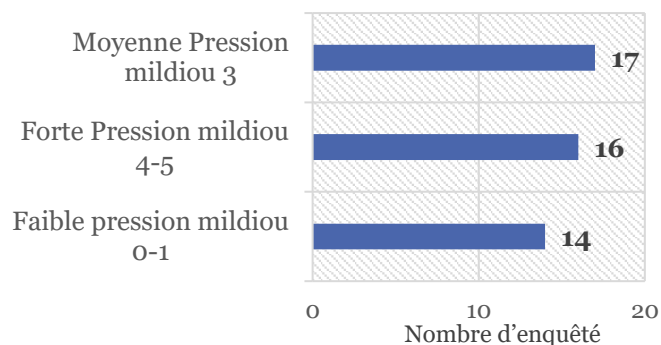
Répartition de la pression Black Rot



Répartition de la pression Oïdium



Répartition de la pression Mildiou



II. Présentation du sondage

A. Caractéristiques du sondage

Le sondage a été réalisé en même temps que l'enquête avec un questionnaire en ligne, 81 personnes ont répondu à ce sondage comportant 70 questions. Parmi ces personnes, 47 font parties des enquêtés précédent (abonnés LBV) et 34 sont donc des non adhérents à LBV.

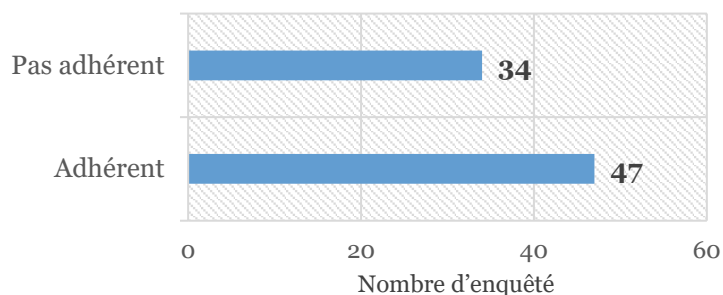
La totalité des questions étant incluse dans l'enquête nous avons moins d'informations avec le sondage. Par exemple, nous n'avons pas les données sur les rendements, les noms des produits phytosanitaires et les quantités, les quantités exacts des amendements ou des fertilisants ou encore le nombre de passage pour chaque opération. Néanmoins, nous avons un échantillon plus grand ce qui est plus satisfaisant pour l'analyse.

Comme l'enquête, nous avons créé des variables simplifiées en fonction de plusieurs questions, ils seront également indiqués avec un astérisque (*).

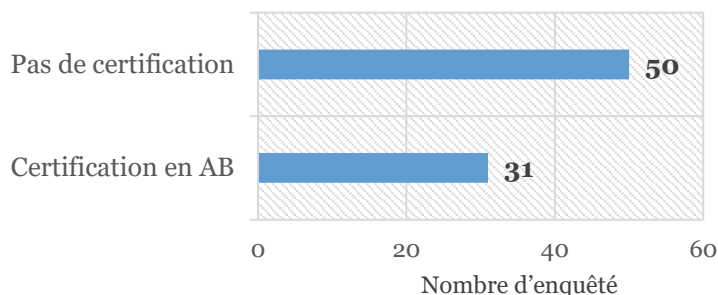
B. Représentation graphique des classes par question du sondage

1. Descriptions des profils des sondés

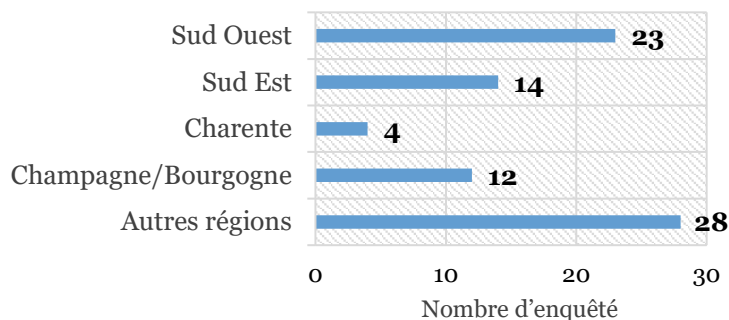
Proportion des adhérents participant au sondage



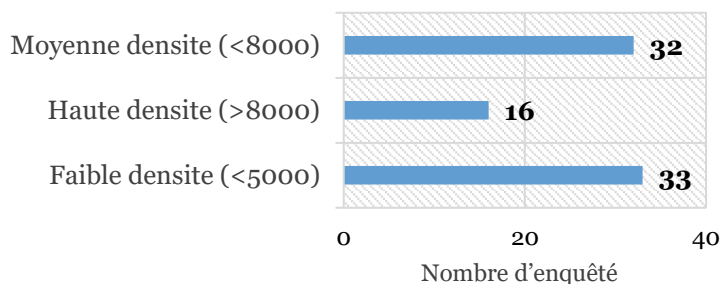
Proportion des certifications en AB



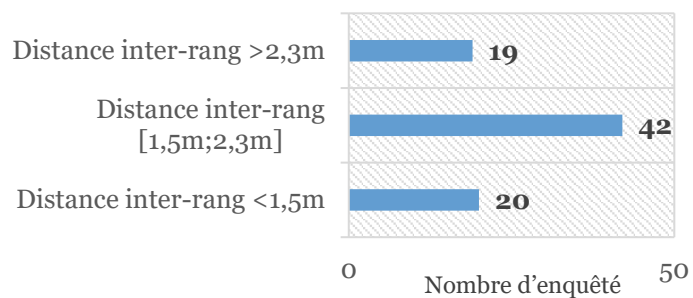
Répartition géographique



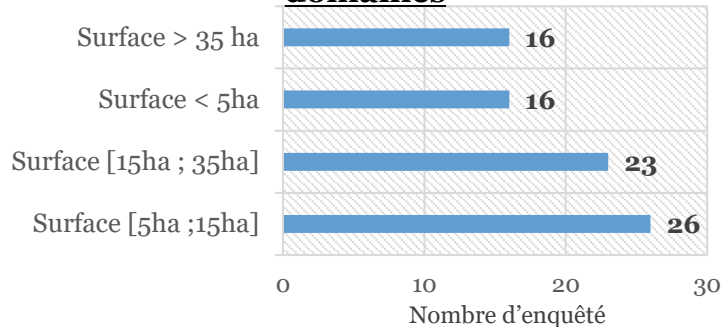
Répartition de la densité de plantation



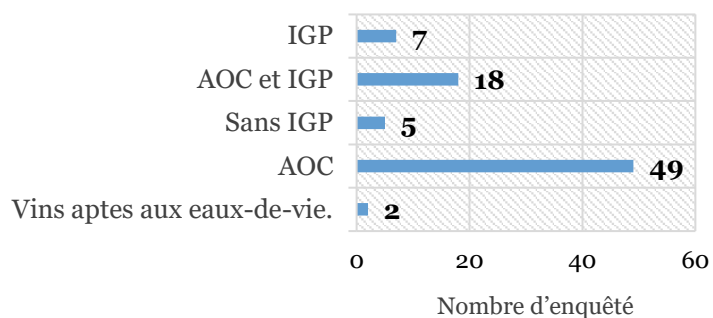
Répartition de la distance inter-rang



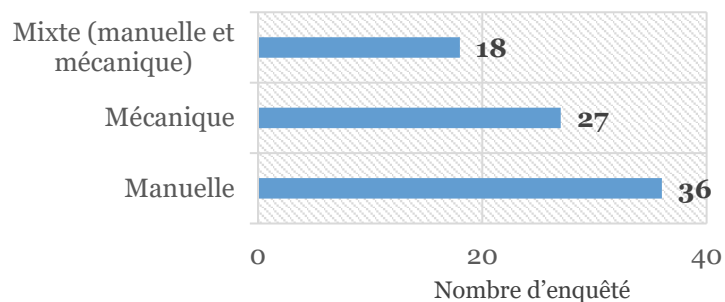
Répartition de la surface des domaines



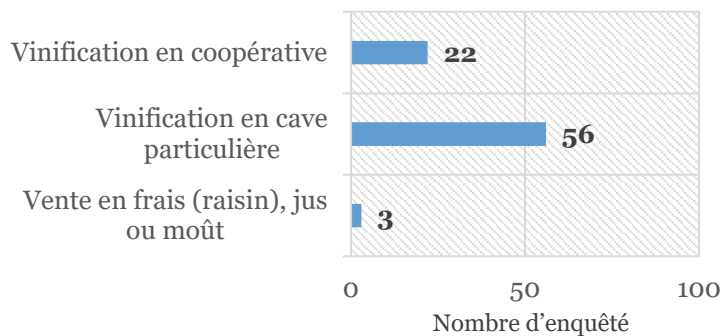
Répartition du type de vin produit



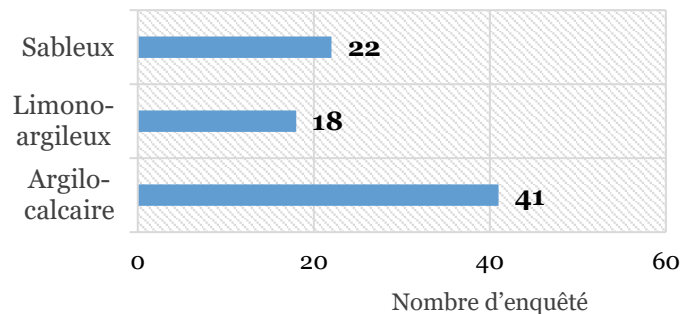
Répartition du mode de récolte de la vendange 2020



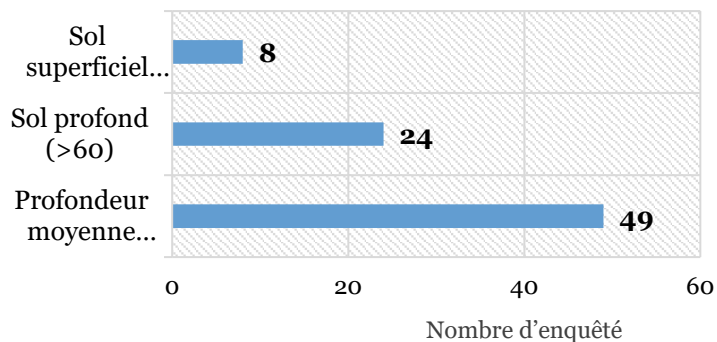
Devenir de la récolte 2020



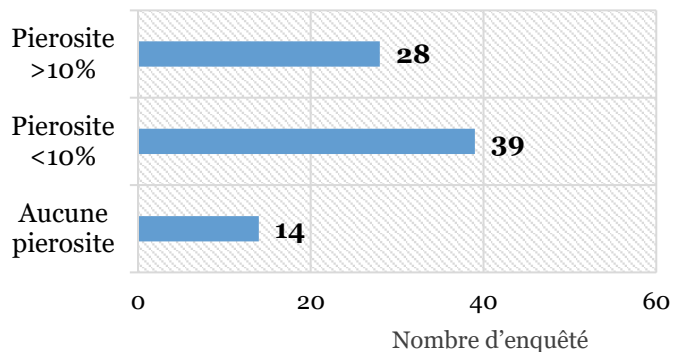
Répartition du type de sol



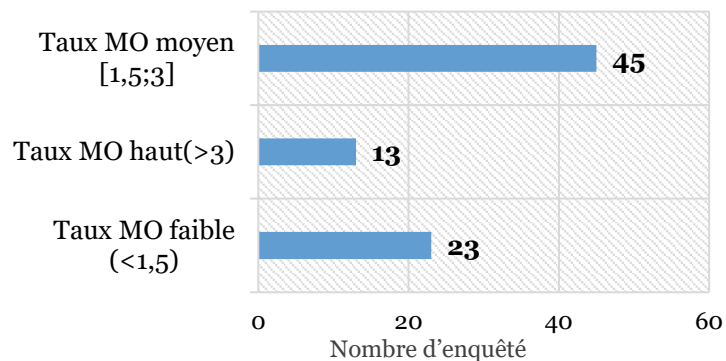
Profondeur de sol moyen



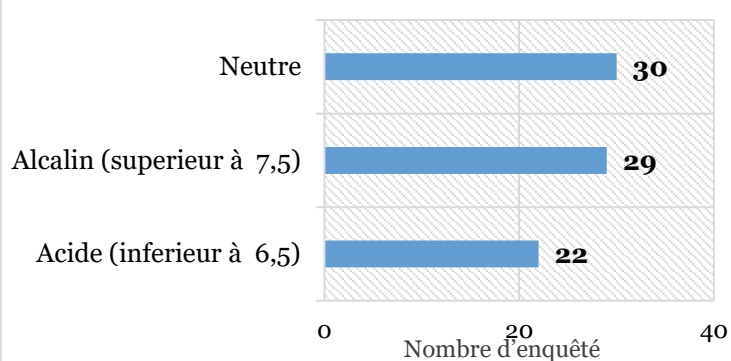
Pourcentage de piérosité



Taux moyen de MO dans les sols

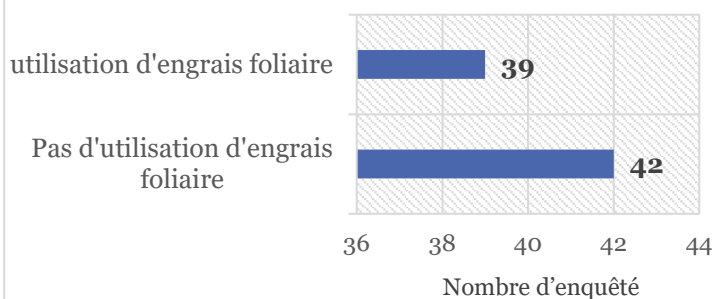


pH moyen des sols

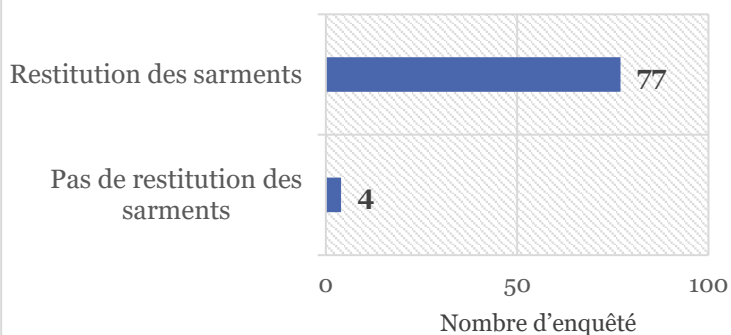


2. Descriptions des pratiques des sondés

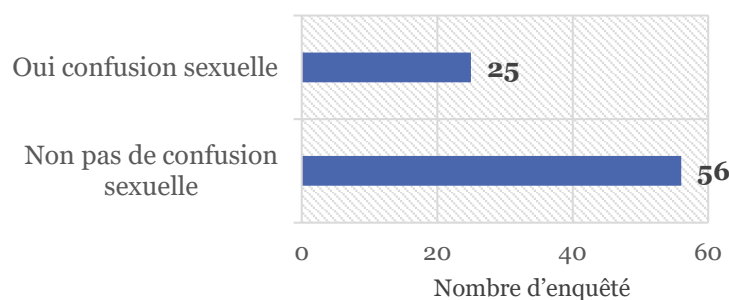
Evaluation de l'utilisation d'engrais foliaire



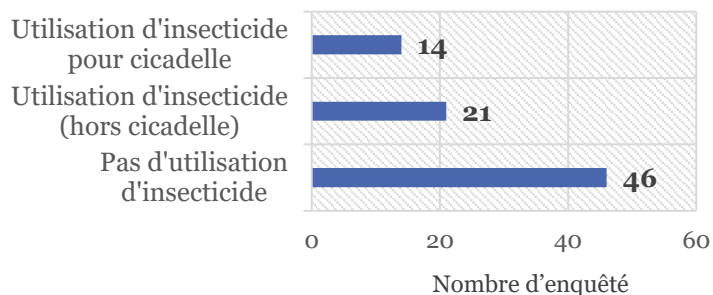
Devenir des sarments



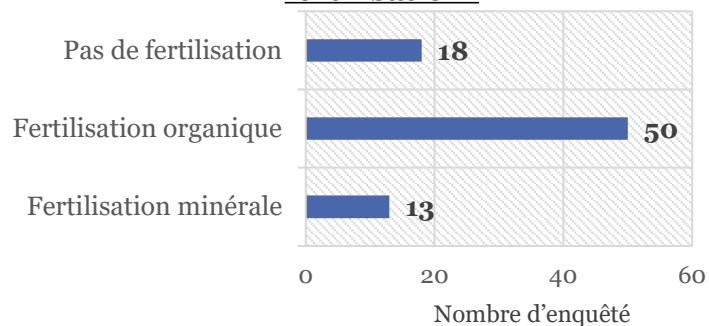
Evaluation de l'utilisation de confusion sexuelle



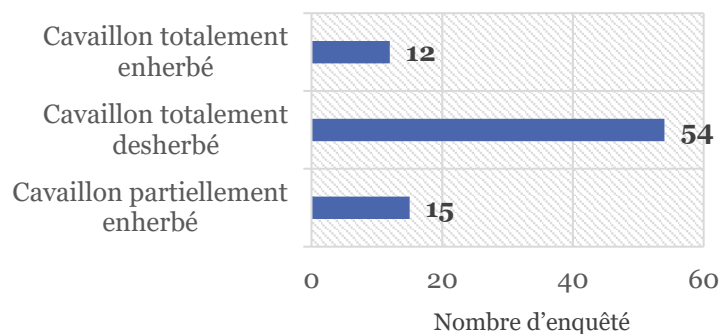
Evaluation de l'utilisation d'insecticide



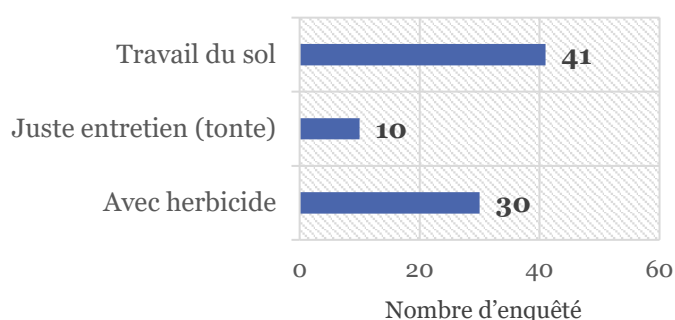
Evaluation de la pratique de fertilisation*



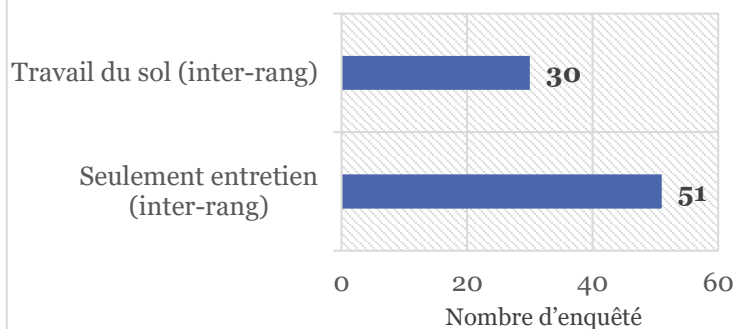
Enherbement du cavaillon*



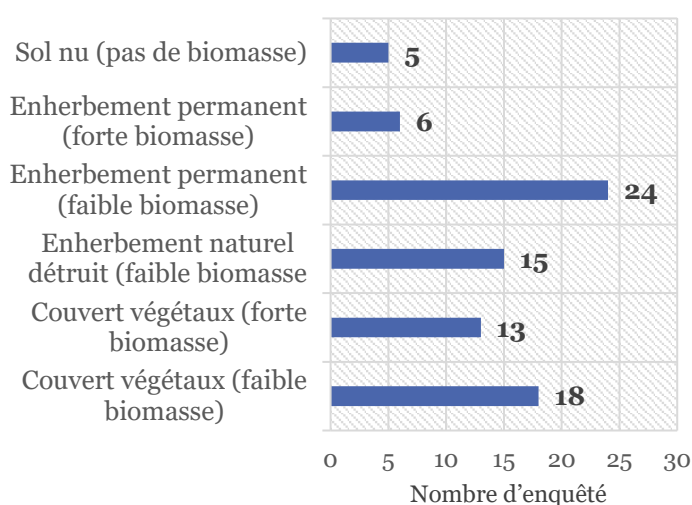
Type de désherbage du cavaillon*



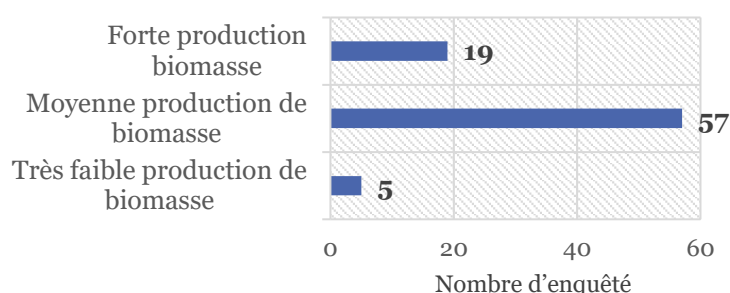
Type de désherbage de l'inter-rang*



Répartition du type d'enherbement de l'inter-rang**



Evaluation de la production de biomasse dans l'inter-rang**

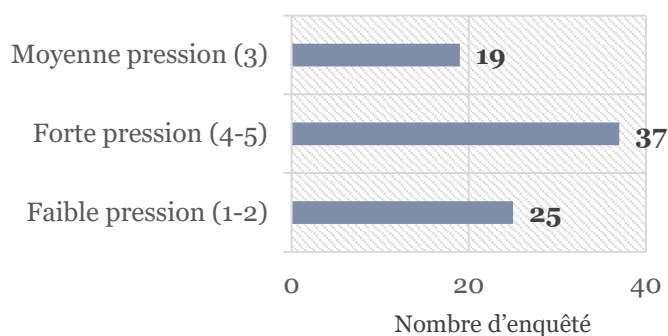


****Répartition du type d'enherbement inter-rang :** Premier classement réalisé, vu le nombre important de modalité nous avons séparé en deux répartitions pour l'utilisation : Evaluation de la production de biomasse inter-rang et Typologies des enherbements.

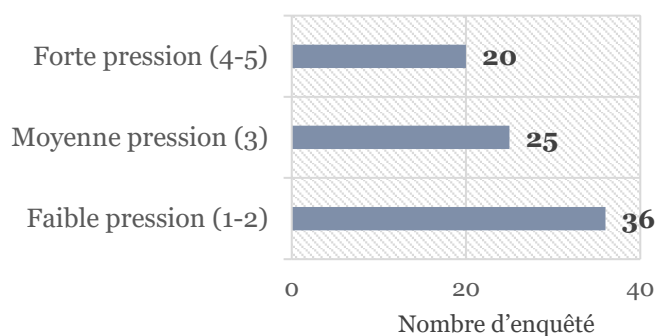
****Evaluation de la production de biomasse dans l'inter-rang :** catégorisation en fonction des biomasses produites lors de la campagne 2020 seulement (nous prenons en compte moins de données que dans l'enquête, cette variable est moins précise).

3. Descriptions des pressions maladies des sondés

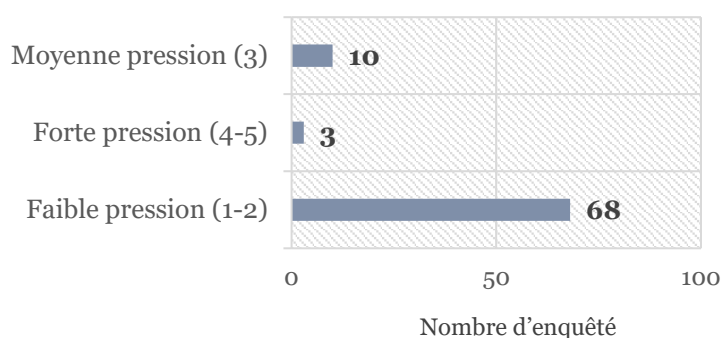
Répartition de la pression Mildiou



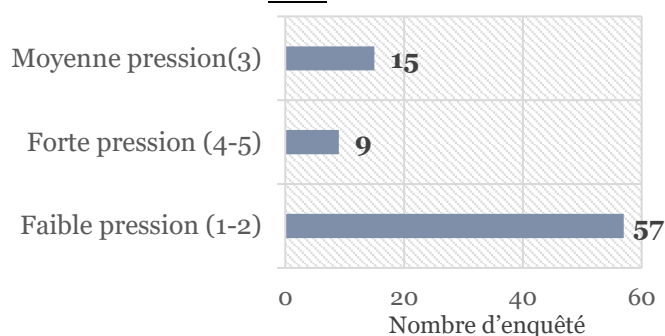
Répartition de la pression Oïdium



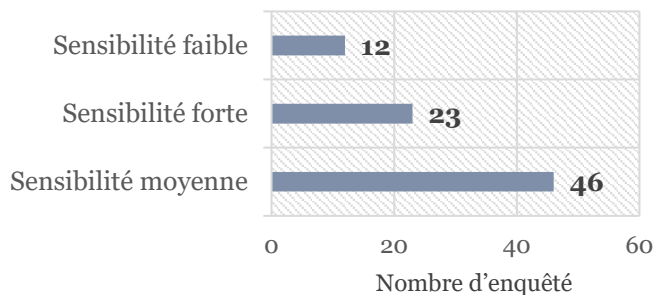
Répartition de la pression Botrytis



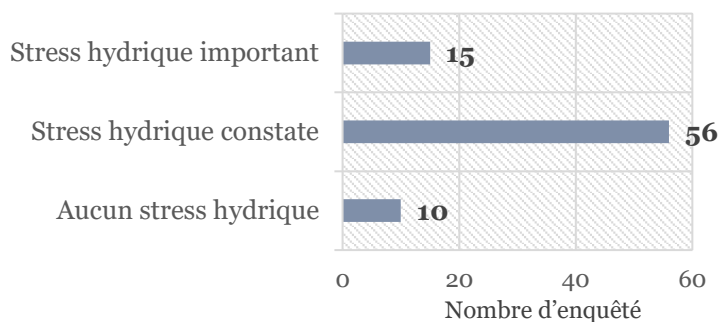
Répartition de la pression Black Rot



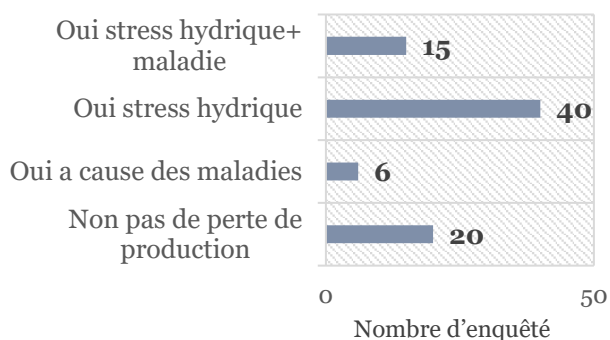
Evaluation de la sensibilité aux maladies



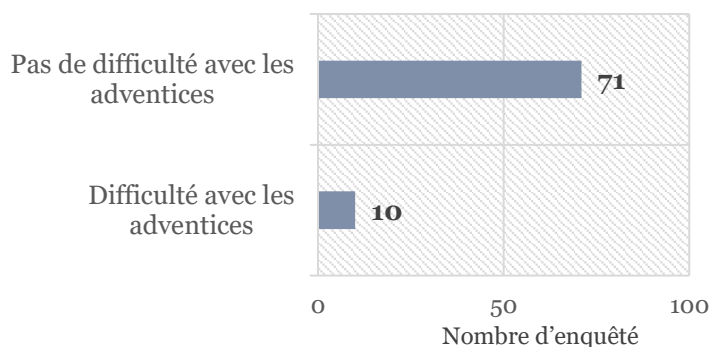
Evaluation de l'impact du stress hydrique



Evaluation des causes des pertes de production



Evaluation de la difficulté avec les adventices



III. Matériels et méthodes d'analyse de donnée

A. Caractéristiques des bases de données (Enquête et Sondage)

1. Caractéristiques des données d'une enquête

La base de données que nous avons acquise par l'enquête et le sondage contient un nombre très important de variables (questions) qui rend l'analyse plus complexe.

Effectivement, nous pourrions comparer les variables deux à deux (test du khi-2) pour voir par exemple si la pression au Mildiou dépendrait du taux de matière organique, puis de la couverture du sol, puis de la localisation, etc... Cependant, le travail est très vite fastidieux, si nous comparons nos quatre pressions avec une vingtaine de variable.

De plus, nous allons manquer cruellement de visibilité en réalisant ces comparaisons vu le nombre de variable. Effectivement, nous aimerions par exemple voir si les personnes avec de faible pression Mildiou et une forte couverture du sol sont les mêmes que ceux qui ont une faible pression Oïdium ou ceux qui apporte des amendements riches en matière organique, etc... Nous voulons voir des groupes de ressemblance.

Avec une comparaison deux à deux, on ne voit jamais si les individus possédant deux caractéristiques sont les mêmes pour les autres caractéristiques. Nous aimerions en réalité visualiser avec une vue d'ensemble les groupes d'individus qui ont les mêmes caractéristiques. Nous devons donc réaliser une analyse multivariée classique pour ce genre de donnée : cette méthode d'analyse est nommée l'Analyse des Correspondances Multiples (ou ACM). Or ce type d'analyse statistique n'est possible qu'avec des variables qualitatives.

2. Conversion des variables quantitatives en variables qualitatives

Une partie des variables présentées en partie I et II sont de nature qualitative, c'est-à-dire des variables qui prennent pour valeur des tranches (faible, moyenne, forte pression) ou des réponses (enherbement totale, détruit, temporaire). A l'inverse, nous avons les variables quantitatives qui prennent en valeur seulement des quantités chiffrées.

Pour réaliser l'ACM, nous avons pris soin de convertir toutes les variables quantitatives en variables qualitatives. Nous pouvons prendre l'exemple des taux de matière organique : les données de cette variable sont les différents taux de matière organique allant de 0,5 à 3%. Nous avons donc ici des données quantitatives avec une moyenne calculable. Pour traiter ces données, nous allons créer des tranches de taux de matière organique avec par exemple les individus possédant moins de 1,5%, entre 1,5% et 3% et plus que 3%. Nous créons ainsi trois tranches et nous obtenons une variable qualitative.

Nous convertissons ces données quantitatives en données qualitatives car nous devons avoir des natures de données homogènes pour réaliser l'ACM.

B. Présentation de l'ACM – Analyse des Correspondances Multiples

1. Description de la méthode

L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) est une analyse multifactorielle adaptée aux variables qualitatives (l'équivalent d'un ACP avec des valeurs quantitatives). Cette méthode d'analyse est utilisée couramment dans les travaux d'enquête et permet de visualiser facilement à l'aide d'un graphique les corrélations les plus importants entre individus.

L'ACM est un outil puissant qui permet de convertir un espace multidimensionnel (autant de dimension que de question) en espace à double dimension. Autrement dit, nous allons pouvoir observer toutes les corrélations entre les modalités sur un plan à deux axes.

Deux individus se ressemblent s'ils possèdent les mêmes modalités (les mêmes réponses aux questions), et avec le même raisonnement, deux modalités sont corrélées si elles sont représentées par un même groupe d'individu distinct. Autrement dit, nous allons pouvoir visualiser les individus qui ont des caractéristiques communes ou des modalités qui ont des individus en commun.

Cette méthode est un outil d'analyse complexe, sans rentrer dans les détails de calcul et des explications lourdes, il est nécessaire de retenir simplement que cette méthode crée un plan où nous verrons les liens des caractéristiques les plus importantes entre des groupes d'individus (par exemple entre les bio et non bio, nous verrons que le premier utilise plus d'amendement organique, travail plus le sol, etc... alors que le second sera plus proche de l'utilisation d'engrais minéraux, de produit phytosanitaire de synthèse, d'herbicide, etc...).

Cette méthode nous permettra de voir rapidement les liens multivariés les plus importants entre un groupe d'individu qui ont des variables et des modalités communes, ce qui nous fait gagner un temps considérable. Cette méthode ne permet pas d'affirmer si les corrélations observées sont statistiquement significatives : elle permet de bien visualiser ces corrélations et donner des hypothèses à étudier et à vérifier à l'aide d'un test statistique spécifique aux variables qualitatives.

2. Construction et clés d'interprétations de l'ACM

a) Outil d'analyse de l'ACM

Nous utilisons le logiciel R pour la construction et les calculs de l'ACM, logiciel de statistique libre. Nous avons utilisé pour le calcul le package *FactoMineR* et pour la représentation graphique le package *Explor*.

Ce logiciel est un logiciel de traitement de donnée statistique classique, les méthodes d'interprétation et les calculs ont été confirmé par une statisticienne à l'école AgroSup Dijon (Laurence Dujourdy ; laurence.dujourdy@agrosupdijon.fr).

b) Inerties des dimensions

L'ACM se construit à partir de la formation de nouvelles dimensions (ou axes) qui résument les différences et les corrélations entre variable sur une seule dimension. Sans rentrer dans les détails, les premières dimensions résument la majorité des corrélations visibles.

Nous appelons inertie le pourcentage de différence qu'une dimension exprime : si l'axe 1 à une inertie de 19,59% (voir Figure 1) alors il exprime à lui seul 19,59% de toutes les différences. Nous ne prendrons à chaque analyse que les quatre premiers axes pour être précis. Les deux premiers axes seront les plus « expressifs » et intéressants.

c) Présentation d'un exemple d'ACM et de son interprétation

Pour mieux comprendre, nous allons présenter un exemple avec une ACM sur quelques variables claires et facilement interprétables :

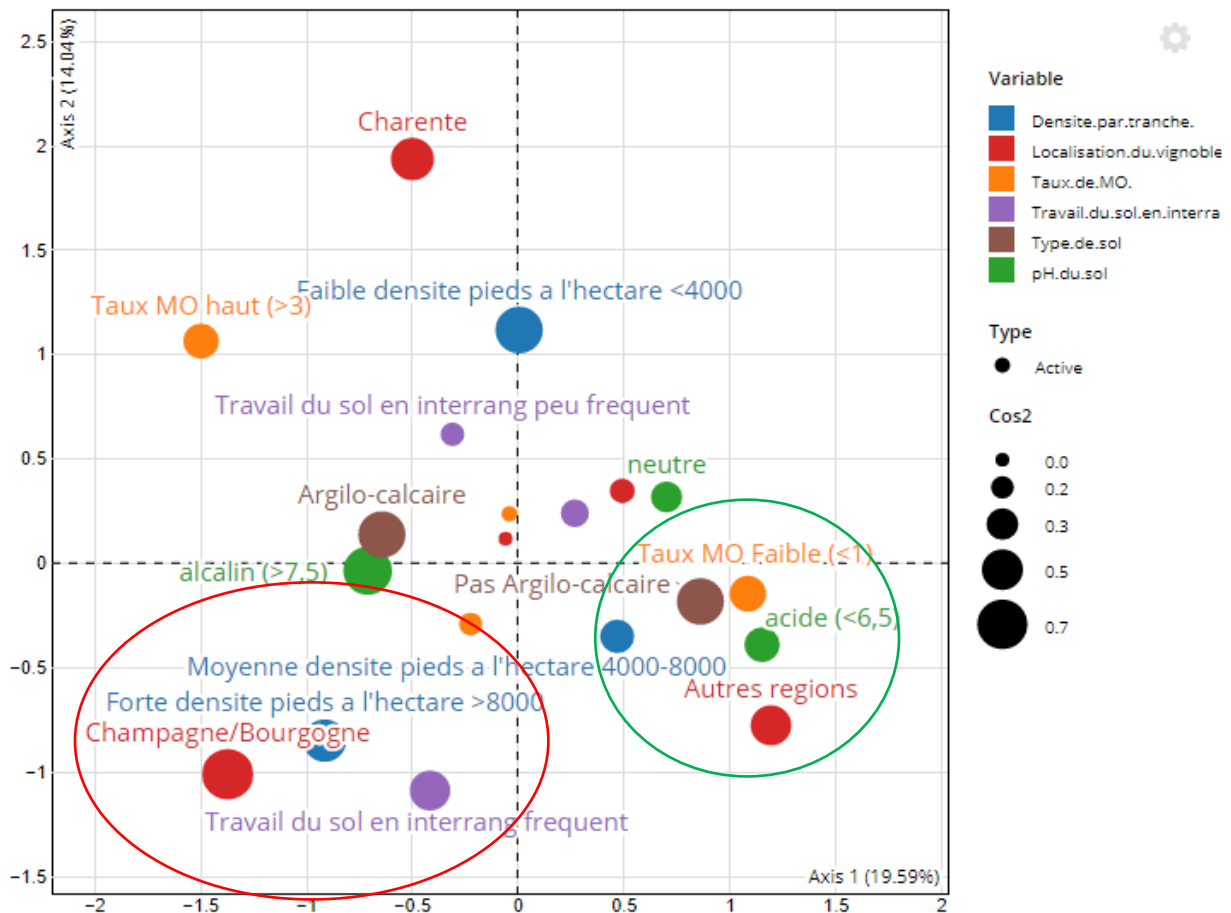


FIGURE 1 : EXEMPLE D'ACM

Les clés d'interprétation importantes à retenir :

- Les points représentent les modalités¹, les modalités de la même variable sont de même couleur (exemple la variable est localisation, les modalités Bourgogne, Charente, Autres régions).
- Plus les points sont proches et plus ces caractéristiques sont dépendantes entre elles. Au contraire, si les points sont à l'opposés par rapport à l'origine (prendre la bissectrice), alors les caractéristiques représentées par ces points ont aucun individu en commun et sont totalement antagoniques.
- Plus les points sont éloignés du centre plus ils sont marginaux, avec peu d'effectif mais très distinct par rapport aux autres. Les points proches du centre sont plus communs donc.
- La taille des points représente la qualité de projection de la modalité (cos²). Plus la taille est importante, plus les corrélations avec les autres points sont importantes. Et inversement, plus le point est petit, plus la corrélation est faible.

¹ Rappel : les différentes réponses à une même question sont appelées « modalité », une question est appelée « variable »

- Les points qui ne possèdent pas d'étiquette sont ceux qui n'ont pas assez contribué à la construction de l'analyse. C'est un filtrage pour écarter les variables peu représentatives

Interprétation rapide de la Figure 1 : Exemple d'ACM :

- Les individus situés en Champagne/Bourgogne ont une densité de plantation élevée et ont une forte tendance à travailler les sols en inter-rang (cercle rouge). Des sols plus calcaires et alcalins sont situés dans le même quart mais ils restent éloignés. C'est une caractéristique de ce groupe, à voir plus précisément les proportions.
- Les individus dans les autres régions ont plus des sols non argilo-calcaires, avec des sols acides et faible en MO (cercle vert), ce qui est cohérent.

Nous voyons donc bien ici les corrélations qui existent entre les individus qui forment des groupes par rapport à plusieurs modalités communes ce qui était l'objectif.

3. Cas des variables actives et supplémentaires

Nous faisons un aparté sur la manière de construire une ACM avec le choix des variables actives et supplémentaires. Nous devons sélectionner les variables les plus intéressantes par rapport au sujet, les plus fiables (certaines variables sont trop subjectives comme la typologie des tailles par exemple) et les plus synthétiques : ce sont les variables actives.

A l'inverse, nous avons les variables supplémentaires qui ne contribuent pas à la construction de l'ACM mais qui se placeront en fonction des autres. Elles sont loin d'être inutiles car elles apportent de l'information aux groupes qui se formeront (par exemple la localisation d'un groupe).

C'est un tri important, si nous prenons trop de variables la précision diminuerait significativement. De plus, nous ne voulons pas observer simplement les corrélations les plus évidentes comme avec la localisation et le type de sol. Si nous voulons voir d'autres corrélations nous devons écarter ces évidences qui ne nous intéressent peu.

Les variables supplémentaires vont apparaître sur le graphique en forme de croix tandis que les variables actives en rond. Le tri de ces variables sera indiqué avant chaque analyse.

4. Les précautions et vérifications à réaliser

Le plus important est d'avoir les clés d'interprétation de l'ACM en tête pour éviter toutes erreurs d'analyse. Effectivement, l'ACM est un outil puissant et visuel mais à utiliser avec précaution et qui demande de l'expérience et des vérifications.

Un des biais d'interprétation est les différences de contribution. Seules les modalités qui contribuent le plus aux dimensions présentes apparaissent bien (exemple, on ne voit pas les modalités Sud Est ou Sud-Ouest). Nous veillerons à bien regarder les autres dimensions (les autres axes) si c'est possible et la description des dimensions (faite en parallèle mais pas présentée) mais également à ne pas tout interpréter : si certaines modalités ne ressortent pas de l'analyse, c'est qu'elles ne sont pas corrélées avec d'autres modalités.

Un second biais peut être observé dû aux effets de projection. Les variables qui contribuent moins se placent plus en fonction de celles qui contribuent le plus, certaines se retrouvent projeter

sans forcément de corrélation avec celles proches. Même si un rapprochement entre le point signifie bien un lien, nous devons toujours vérifier la qualité de projection ($\cos^2$).

Si nous avons un doute, un moyen d'interpréter reste toujours la position par rapport aux autres modalités. Si deux modalités se trouvent dans le même quart, même distantes, elles peuvent avoir des corrélations plus ou moins fortes... mais dans tous les cas elles sont antagoniques aux modalités opposées.

Il est important de retenir que l'ACM n'est pas un moyen de démontrer significativement une corrélation entre plusieurs variables mais simplement d'observer avec une vue d'ensemble des corrélations entre elles. C'est une méthode exploratoire qui nous donne des pressentiments sur les corrélations les plus fortes mais qui ne constitue pas une preuve : il faut toujours vérifier avec un test statistique pour confirmer (et donc écarter aussi les erreurs d'interprétation). Pour se faire nous utiliserons le test du Khi-2.

C. Présentation de la méthode du Khi-2

1. Méthode et condition d'utilisation

Le test du Khi-2 est un test statistique permettant de démontrer s'il existe une corrélation statistiquement significative entre deux variables qualitatives.

Grâce à un tableau croisé (Figure 2) des deux variables, nous pouvons vérifier si les effectifs observés sont supérieurs ou inférieurs par rapport aux effectifs théoriques calculés. Par exemple, si nous avons dix personnes qui ont une forte couverture des sols et une faible pression maladie, nous pouvons nous demander si c'est l'effectif espéré (pas de corrélation significative entre la forte couverture des sols et la faible pression maladie pour ces dix personnes) ou si au contraire, cet effectif est anormalement élevé ou faible donc une possible corrélation entre ces deux variables.

Nous testerons l'existence d'une corrélation positive ou négative entre deux variables grâce à l'indicateur p-value. Si les effectifs observés sont supérieurs aux effectifs théoriques et si $p\text{-value} < 0,05$ (5 %), alors nous pouvons dire que la corrélation entre deux variables, que nous avons observées grâce à l'ACM, est statistiquement significative et positive avec une certitude de 95 % et donc un risque de 5 % de se tromper et inversement.

Le tableau ci-dessous résume ce qui vient d'être dit :

Si $\text{effectifs}_{\text{obs}} > \text{effectifs}_{\text{théo}}$ et Si $p\text{-value} < 0,05$	Corrélation significativement positive
Si $\text{effectifs}_{\text{obs}} < \text{effectifs}_{\text{théo}}$ et Si $p\text{-value} < 0,05$	Corrélation significativement négative
Si $\text{effectifs}_{\text{obs}} > \text{effectifs}_{\text{théo}}$ et Si $p\text{-value} > 0,05$	Corrélation positive non significative
Si $\text{effectifs}_{\text{obs}} < \text{effectifs}_{\text{théo}}$ et Si $p\text{-value} > 0,05$	Corrélation négative non significative

Pour réaliser un test du Khi-2 nous devons obligatoirement avoir un effectif total supérieur à 30 individus (ce qui est le cas de l'enquête et du sondage avec respectivement des effectifs de 47 et 81). Les effectifs théoriques doivent être également supérieurs à 5.

Les tests statistiques du Khi-2 sont réalisés avec le logiciel *R*, nous utilisons le package *Rcmdr* pour faciliter les calculs et la présentation des résultats.

2. Exemple de test du Khi-2 sous le logiciel R

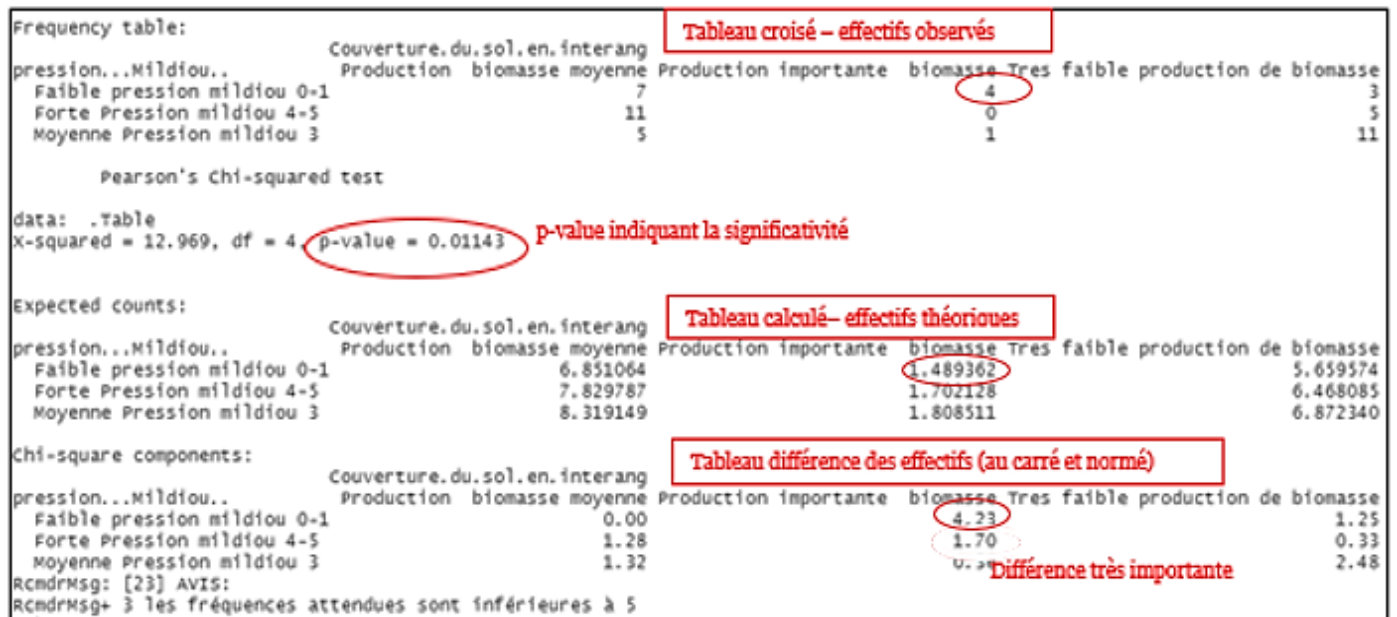


FIGURE 2 EXEMPLE DE TEST KHI-2

Nous pouvons observer dans un premier temps un p-value inférieur à 0,05 (Figure 2 ; p-value = 0,01143) : nos deux variables sont dépendantes et donc intéressantes. Nous regardons ensuite les différences entre les deux effectifs et nous remarquons un effectif observé largement supérieur à celui théorique pour les individus avec une faible pression Mildiou et une production importante de biomasse (respectivement 4 et 1,489).

Les productions de biomasse influeraient donc sur la sensibilité au Mildiou notamment des fortes productions. Cependant, certains effectifs théoriques sont inférieurs à 5 et faussent donc cette interprétation.

IV. Résultats des données de l'enquête

Nous allons présenter cette partie de manière méthodique avec en premier lieu l'interprétation de l'ACM pour avoir un visuel large des corrélations entre variables, puis vérifier une à une nos interprétations à l'aide d'un test du khi-2 et enfin synthétiser les résultats dans une dernière partie.

A. Interprétation de l'ACM

1. Variables utilisées pour l'ACM

Comme évoqué précédemment, nous n'utilisons pas l'intégralité des variables (ou questions) pour construire l'ACM. Les variables sélectionnées en tant que variables actives sont :

- **Pression « Mildiou »**
- **Pression « Black Rot »**
- **Pression « Oïdium »**
- **Evaluation des utilisations de désherbant chimique**
- **Fréquence des apports d'azote soluble (engrais organo-/minérale)**
- **Evaluation de la qualité de la fertilisation (Eh-pH)**
- **Evaluation de la couverture du sol en inter-rang**
- **Fréquence d'apport en amendement carboné**

- **Evaluation de l'enherbement du cavaillon**
- **Fréquence des passages pour rogner**
- **Evaluation du travail du sol en inter-rang**
- **Evaluation du travail du sol sur cavaillon**

2. Description des axes 1 et 2

Une fois ces variables entrées dans le logiciel, nous pouvons appliquer la méthode de l'ACM et nous obtenons le graphique suivant :

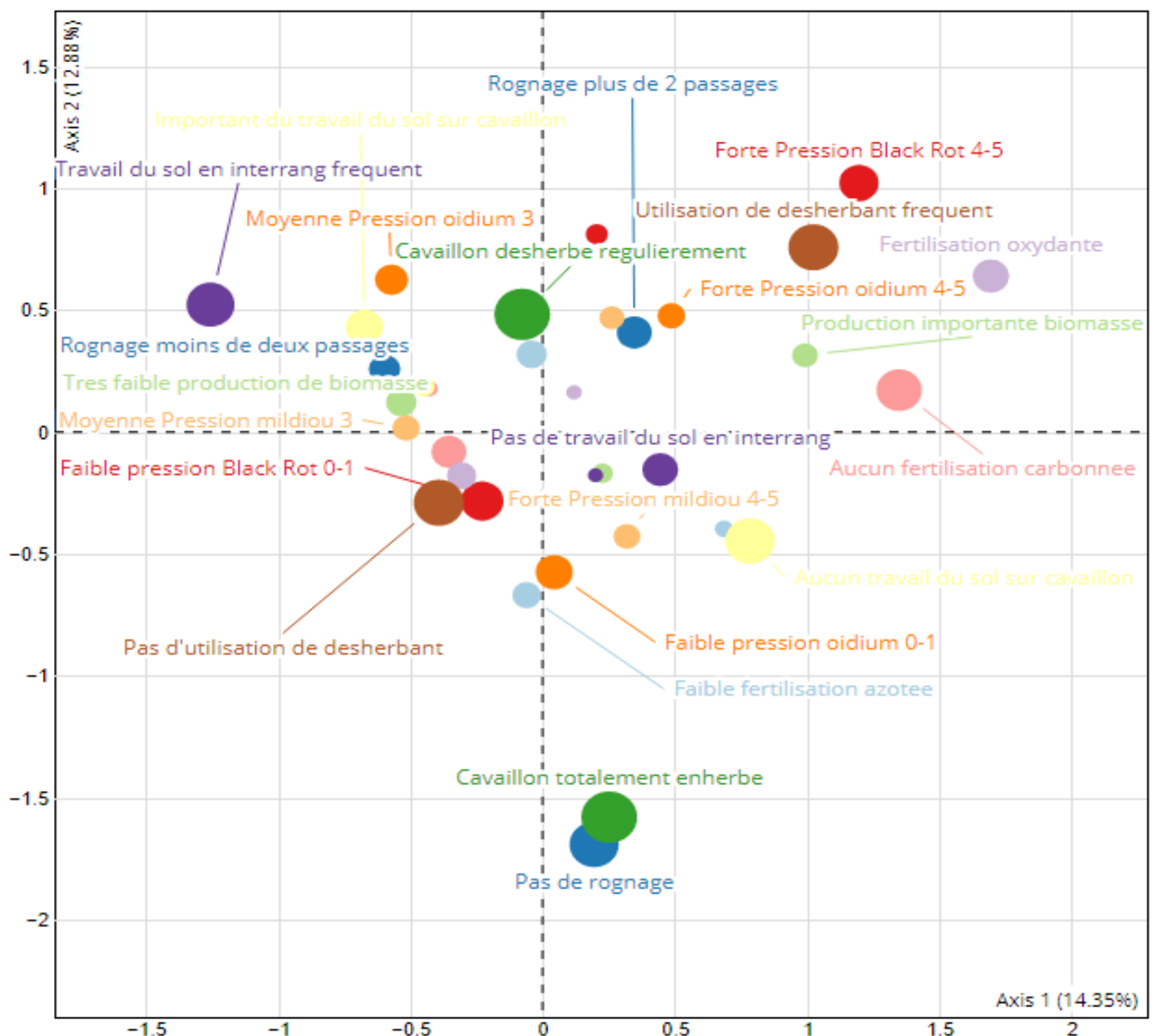


FIGURE 3 : ACM DE L'ENQUETE AXE 1 ET 2 - VUE D'ENSEMBLE

Afin de faciliter l'observation de l'ensemble des variables actives, nous avons volontairement masqué les variables supplémentaires (les croix que l'on verra par la suite). Nous allons désormais interpréter quart par quart l'ACM en zoomant pour rendre l'analyse plus facile.

a) Interprétation du quart supérieur droit :

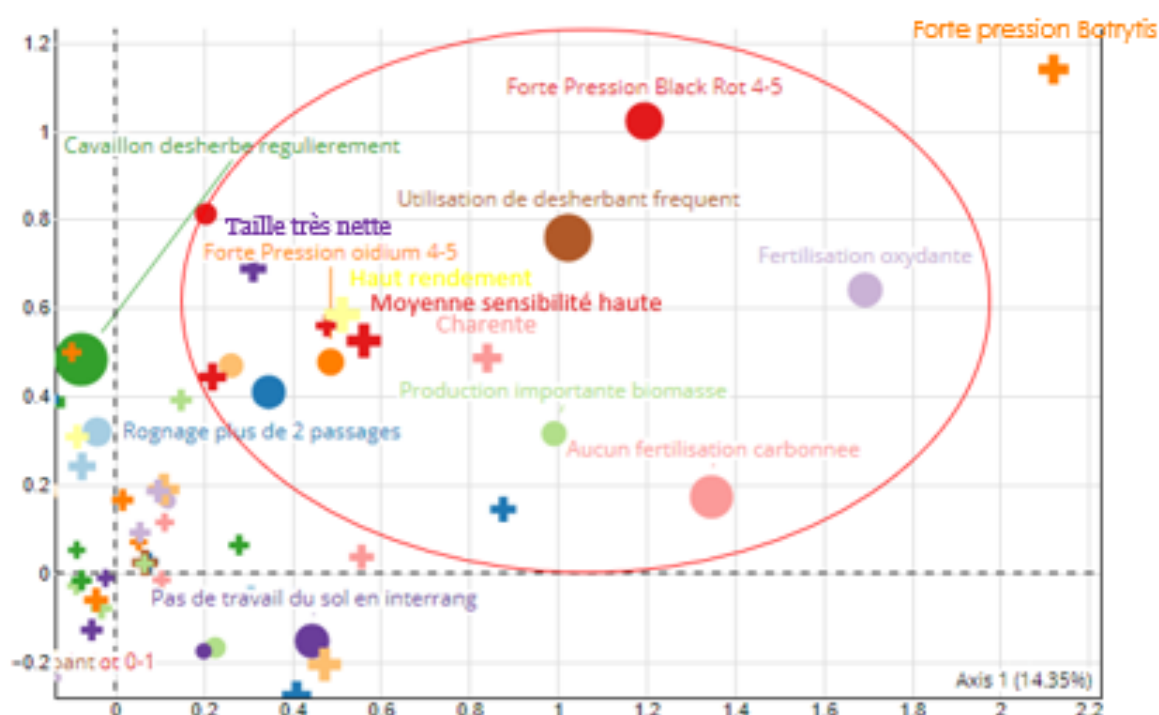


FIGURE 4 : ACM DE L'ENQUETE AXE 1 ET 2 - QUART SUPERIEUR DROIT

Nous pouvons observer que des individus possédant une **Forte pression Black Rot** ont des caractéristiques communes : **Fertilisation plus oxydante**, **Aucune fertilisation carbonnée** et une **Utilisation de désherbant chimique**. Les qualités de projection ($\cos^2$) sont excellentes pour ces quatre modalités.

Pour la **Forte pression à l'Oïdium**, il n'y a pas une qualité de projection très satisfaisante. Quelques individus ont cette caractéristique en commun mais cela ne constitue pas un caractère représentatif du groupe, nous pouvons noter tout de même ce point. Idem pour la **Production importante de biomasse** qui a également une faible qualité de projection.

⚠ La **Forte pression au Botrytis** se situe également dans ce quart mais un seul individu possède cette caractéristique (c'est pour cela qu'elle est en variable supplémentaire).

Pour finir, nous pouvons voir les modalités **Taille très nette** et **Rognage plus de 2 passages** sont dans ce quart de graphique. Ceci nous confirmant qu'on se trouve dans des pratiques plutôt conventionnelles.

Certains individus représentés ici sont situés en **Charente**, ce qui paraît logique avec les rendements élevés et les pratiques plus conventionnelles. Tous les individus de ce groupe ne viennent pas de cette région, mais c'est un caractère important à noter.

b) Interprétation du quart inférieur gauche

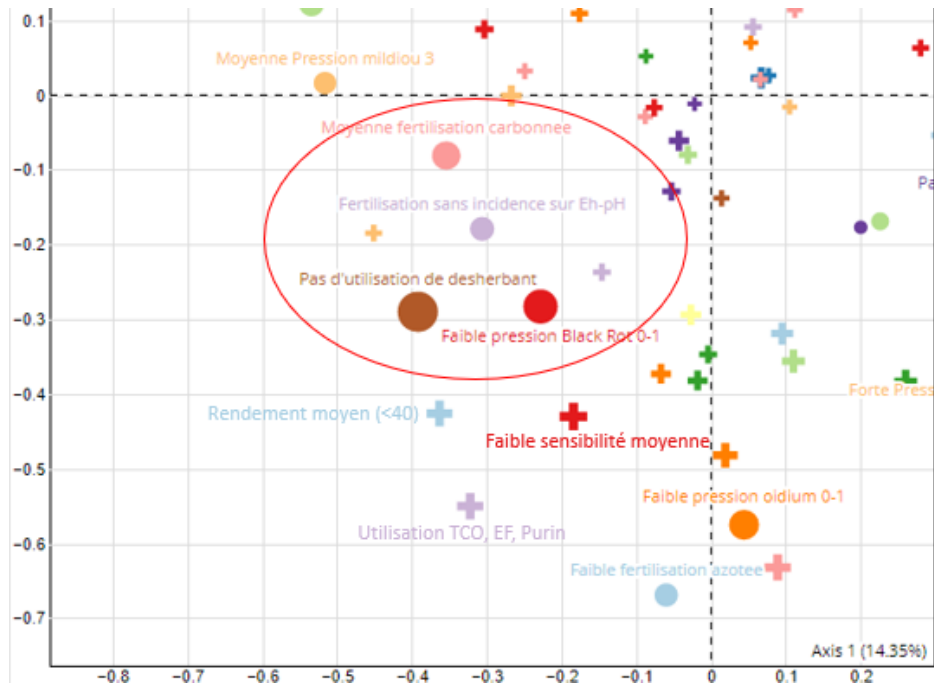


FIGURE 5 : ACM DE L'ENQUETE AXE 1 ET 2 - QUART INFERIEUR GAUCHE

Si nous observons à l'opposé par rapport à la bissectrice (quart inférieur gauche), nous retrouvons les modalités contraires avec notamment **Pas d'utilisation du desherbant** et **Faible pression Black Rot**. Ces deux modalités sont très proches du centre et concernent donc un grand nombre d'individu. La corrélation entre ces deux variables est très visible. Il pourrait y avoir également une corrélation (moins évidente) avec la nature de la fertilisation (Moyenne fertilisation carbonnée et Fertilisation sans incidence Eh-pH).

c) Interprétation du quart supérieur gauche

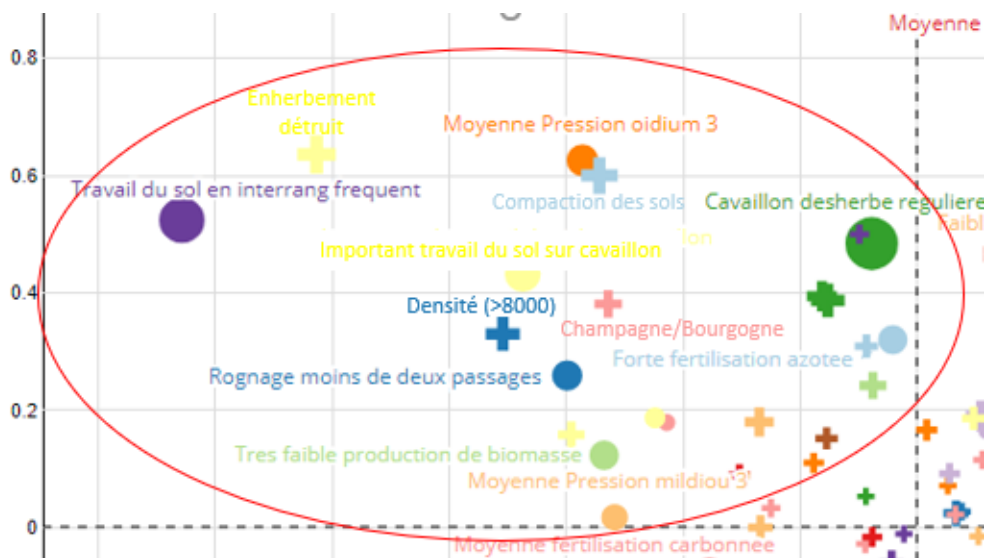


FIGURE 6 : ACM DE L'ENQUETE AXE 1 ET 2 - QUART SUPERIEUR GAUCHE

Nous remarquons ici les pratiques communes des vignobles à **forte densité** avec des **cavaillons désherbés régulièrement**, un **Important travail des sols sur cavaillon**, un **Travail du sol en inter-rang fréquent** et en générale **Très faible production de biomasse inter-rang**. Nous retrouvons un groupe situé majoritairement en **Champagne/Bourgogne**, ce qui correspond bien à leur pratique en générale.

Nous pouvons constater la **Moyenne pression Oïdium** bien projetée ($\cos^2$) et **Moyenne pression Mildiou** légèrement moins bien projetée parmi ce groupe.

d) Interprétation du quart inférieur droit

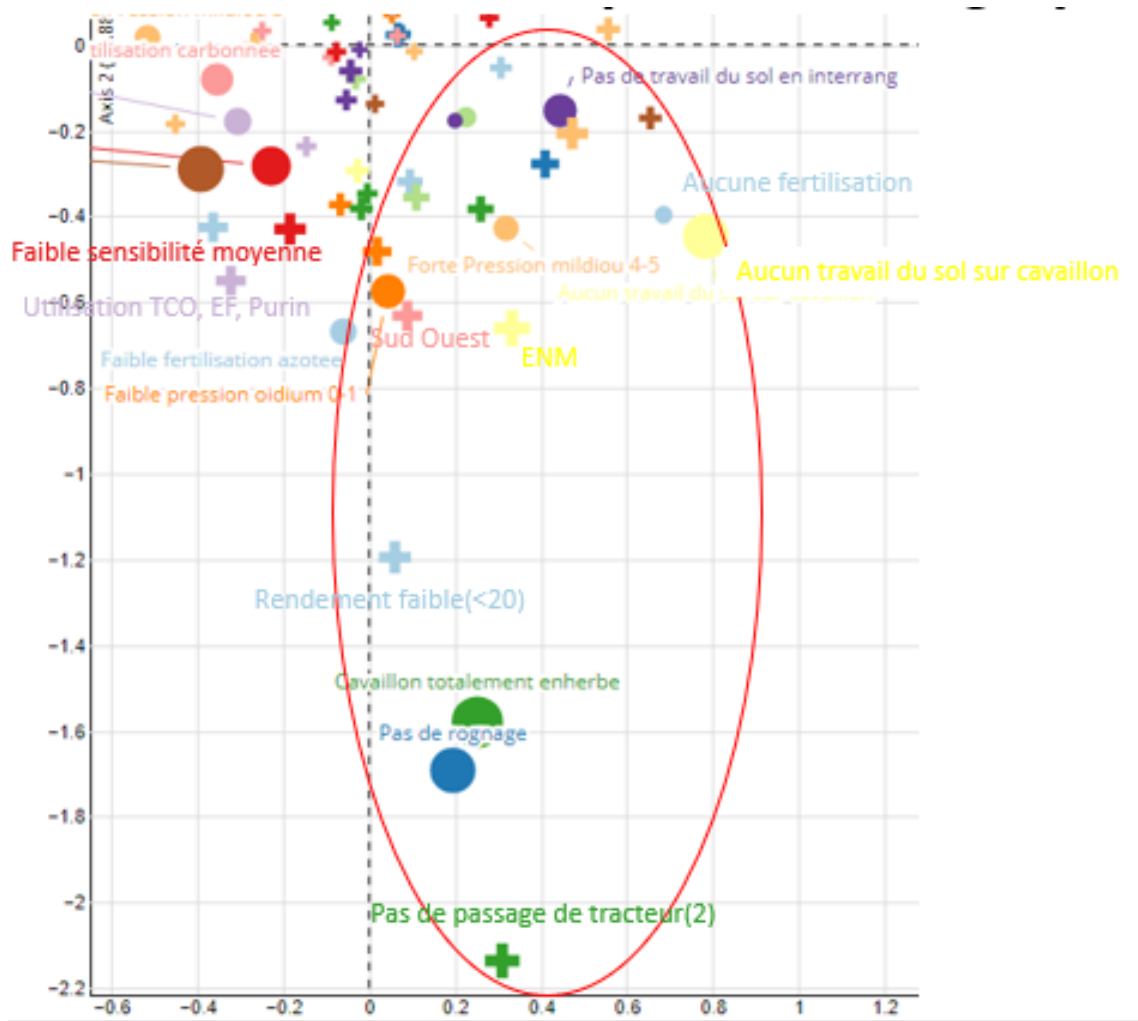


FIGURE 7 : ACM DE L'ENQUETE AXE 1 ET 2 - QUART INFERIEUR DROIT

Nous retrouvons ici une classe d'individu caractérisée par des faibles interventions dans les pratiques culturales. **Cavaillon totalement enherbé**, **enherbement permanent (ENM)**, **Pas de rognage**, **Aucun travail du sol sur cavaillon**, **Pas de travail du sol inter-rang** ou encore **Faible fertilisation**.

Malgré leur éloignement, **Pas de rognage** et **Cavaillon totalement enherbé** ont des effectifs conséquents avec respectivement 8 et 11. La **faible pression Oïdium** a de plus grand effectif expliquant son rapprochement avec une qualité projection représentative. Une forte corrélation entre ces trois modalités est à donc noter.

Ce groupe semble être caractérisé par des pratiques plutôt « douce » et très enherbées avec une plus faible pression à Oïdium. Nous ne pouvons pas nous avancer sur les variables les plus corrélées (à voir après). On notera qu'un des caractères du groupe est d'avoir des **Rendements faibles** avec moins de 20 hl/ha pour certains.

Nous noterons que les individus de ce groupe se trouvent plutôt dans la région **Sud-Ouest**. Nous pouvons également observer la modalité **Forte pression au Mildiou** ici, mais avec une faible qualité de projection. C'est cohérent avec la forte pression Mildiou observée l'année 2020 dans cette région. Nous pourrions voir par la suite si c'est autant corrélé.

3. Description des axes 3 et 4

Les axes 3 et 4 montrent par principe des corrélations moins marquantes entre facteurs mais restent interprétables (grâce à une inertie suffisante). Pour alléger, nous interprétons directement les axes (les zooms de chaque partie se trouvent en annexe).

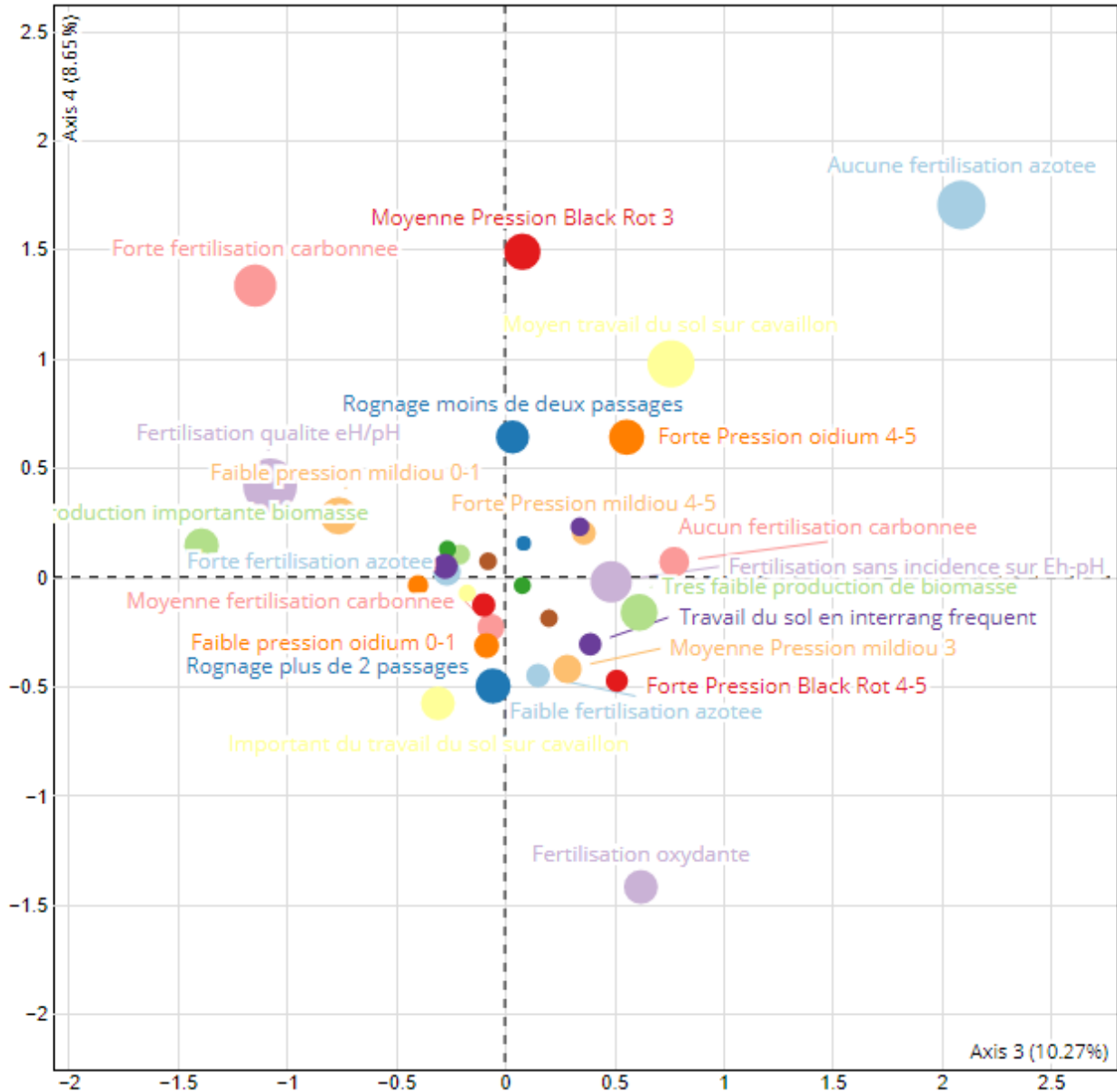


FIGURE 8 : ACM DE L'ENQUETE AXE 3 ET 4 – VUE D'ENSEMBLE

a) Interprétation du quart supérieur droit (Annexe 1)

Les pratiques sont moins caractéristiques sur ces axes, on identifie plus difficilement les groupes. On voit ici de nouveau une certaine corrélation avec des **Fortes pressions Oïdium**, un **Travail de sol sur cavaillon** et **Aucune fertilisation** (cela concerne 3 individus dont 2 avec une forte pression).

La qualité de projection de **Forte pression Mildiou** est trop faible pour être interprétée. On notera tout de même que la modalité **Aucune fertilisation carbonnée** se retrouvent de nouveau avec les fortes pressions aux maladies, nous devrons vérifier ce facteur par rapport aux maladies.

b) Interprétation du quart inférieur gauche (Annexe 2)

Ce quart de graphique nous apporte également peu. On remarquera néanmoins une légère contre-indication avec les propos précédents : on observe une **Faible pression Oïdium** et **un important travail du sol en cavaillon**. Les qualités de projection restent faibles, cette ambiguïté pourra être vérifiée avec un test du Khi-2.

c) Interprétation du quart supérieur gauche (Annexe 3)

On voit ici un rapprochement plutôt intéressant entre la **Qualité de la fertilisation**, **Forte fertilisation carbonée**, la **Faible pression Mildiou** et la **Production importance de biomasse**. L'effectif de cette dernière est très faible mais bien corrélé avec des qualités de projection satisfaisantes. C'est un point intéressant à noter et à vérifier.

d) Interprétation du quart inférieur droit (Annexe 4)

Les faibles qualités de projection des pressions maladies apportent peu d'informations sur ce dernier quart. On trouve **Une forte pression Black Rot** avec **Très faible production de biomasse** alors que c'était le contraire dans les premières dimensions : c'est une représentation d'un autre sous-groupe moins représentatif vu la qualité de représentation.

B. Vérifications des interprétations par le Khi-2

1. Présentation du tableau des tests statistiques

Nous devons désormais vérifier les corrélations que nous avons visualisées lors de l'interprétation des différents axes de l'ACM. Après avoir observé les groupes avec des caractéristiques communes intéressantes, nous devons vérifier la significativité de ces corrélations grâce au test du khi-2.

Pour ce faire, nous allons présenter un tableau récapitulant les tests de khi-2 réalisés entre les variables deux à deux. Ce tableau permettra d'avoir une vue synthétique des corrélations que nous avons interprétées et nous permettra également de voir quelles variables sont corrélées significativement entre elles ou non.

Nous pouvons nous permettre de regarder attentivement les tests statistiques avec une p-value allant jusqu'à 0,30 (30 %) démontrant bien une possible corrélation entre deux variables mais pas significative.

Pour les variables corrélées, nous allons indiquer quel couple de modalités (les réponses d'une question) a des effectifs observés les plus différents des effectifs théoriques. Dans notre cas par exemple, les individus possédant le couple de modalités Forte pression Black Rot avec Utilisation fréquente d'herbicide sont au nombre de 5. Cet effectif observé est bien supérieur à l'effectif théorique, calculé à 1,5 (voir Annexe 10), la présentation des effectifs sera faite dans les annexes pour les couples les plus pertinents). La p-value est inférieur à 0,05 : il y a donc une corrélation significative.

Ainsi, cela nous montre que l'utilisation d'herbicide influe à la hausse la pression Black Rot. Autrement dit, le fait d'utiliser le l'herbicide augmente significativement les chances d'avoir une forte pression Black Rot.

2. Tests du Khi-2 avec la Pression Black Rot

<u>Variables Pressions maladies</u>	<u>Autres variables</u>	<u>p-value (<0,05)</u>	<u>Interprétation</u>	<u>Couples de modalités les plus pertinents</u>
P r e s s i o n B l a c k R o t	Qualité de la fertilisation	0,214	Variables potentiellement dépendantes	Fertilisation oxydante avec Forte pression BR - corrélation positive
	Fréquence des apports en matière carbonée	0,181	Variables potentiellement dépendantes	Aucun apport de matière carbonée avec Forte pression BR - corrélation positive
	Fréquence d'utilisation d'herbicide	0,002	Variables significativement dépendantes	Utilisation d'herbicide avec Forte pression BR - corrélation significative positive
	Fréquence passage pour rogner	0,226	Variables potentiellement dépendantes	Plus de 2 passages avec Forte pression BR - corrélation positive
	Pratique de taille	0,886	Variables indépendantes	-
	Production de biomasse en inter-rang	0,803	Variables indépendantes	-
	Rendement	0,279	Variables potentiellement dépendantes	Haut rendement avec Moyenne pression BR - corrélation positive
	Localisation	0,195	Variables potentiellement dépendantes	Charente avec Forte pression BR - corrélation positive

TABLEAU 1 : TESTS DES KHI-2 AVEC LA VARIABLE PRESSION BLACK ROT – ENQUETE

3. Tests du Khi-2 avec la Pression Mildiou

<u>Variables Pressions maladies</u>	<u>Autres variables</u>	<u>p-value (<0,05)</u>	<u>Interprétation</u>	<u>Couples de modalités les plus pertinents</u>
P r e s s i o n M i l d i o u	Qualité de la fertilisation	0,153	Variables potentiellement dépendantes	Fertilisation qualité Eh-pH avec Faible pression Mildiou - corrélation positive
	Fréquence des apports en matière carboné	0,682	Variables indépendantes	-
	Fréquence des fertilisations azotées	0,668	Variables indépendantes	-
	Production de biomasse en inter-rang	0,011	Variables significativement dépendantes	Production importante de biomasse avec Faible pression Mildiou - corrélation significative positive
	Fréquence d'utilisation d'herbicide	0,302	Variables indépendantes	-
	Evaluation de l'enherbement du cavaillon	0,254	Variables potentiellement dépendantes	Cavaillon totalement enherbé avec Forte pression Mildiou - corrélation positive
	Localisation	0,008	Variables significativement dépendantes	Sud-Ouest avec Forte Pression Mildiou - corrélation significative positive

TABLEAU 2 : TESTS DES KHI-2 AVEC LA VARIABLE PRESSION MILDIOU - ENQUETE

4. Test du Khi-2 avec la pression Oïdium

<u>Variables Pressions maladies</u>	<u>Autres variables</u>	<u>p-value (<0,05)</u>	<u>Interprétation</u>	<u>Couples de modalités les plus pertinents</u>
P r e s s i o n O ï d i u m	Qualité de la fertilisation	0,932	Variables indépendantes	-
	Fréquence des apports en matière carbonée	0,106	Variables potentiellement dépendantes	Aucune fertilisation carbonée avec Forte pression Oïdium - corrélation positive
	Production de biomasse inter-rang	0,926	Variables indépendantes	-
	Fréquence d'utilisation d'herbicide	0,127	Variables potentiellement dépendantes	Utilisation fréquente d'herbicide avec Forte pression Oïdium - corrélation positive
	Fréquence passage pour rogner	0,343	Variables indépendantes	-
	Evaluation du travail du sol en inter-rang	0,085	Variables potentiellement dépendantes	Travail du sol inter-rang important avec Moyenne pression Oïdium - corrélation positive
	Evaluation du travail du sol sur cavaillon	0,141	Variables potentiellement dépendantes	Travail du sol cavaillon important avec Moyenne pression Oïdium - corrélation positive
	Evaluation de l'enherbement du cavaillon	0,044	Variables significativement dépendantes	Cavaillon totalement enherbé avec Faible pression Oïdium - corrélation significative positive
	Fréquence des fertilisations azotées	0,390	Variables indépendantes	-
	Rendement	0,173	Variables potentiellement dépendantes	Haut rendement avec Forte pression - corrélation positive
	Localisation	0,005	Variables significativement dépendantes	Sud-Ouest avec Faible pression Oïdium - corrélation significative positive

TABLEAU 3 : TESTS DES KHI-2 AVEC LA VARIABLE PRESSION OÏDIUM - ENQUETE

C. Synthèses de l'analyse des données de l'enquête

La méthode de l'ACM nous a permis d'identifier clairement des groupes singuliers avec par exemple : des pratiques plus conventionnelles avec l'utilisation de fertilisants minéraux ou d'herbicide, des pratiques propres à des densités de plantation élevées avec le travail du sol ou encore des pratiques plus alternatives avec peu d'interventions.

Parmi ces groupes bien distincts en termes de pratique agricole, nous retrouvons les différentes pressions aux maladies qui se placent en lien avec des qualités de projection satisfaisantes : cette configuration nous donne une vue idéale des sensibilités aux maladies en fonction des pratiques viticoles.

Nous avons pu observer la forte corrélation de la localisation avec l'ensemble des pressions aux maladies : nous retrouvons un fait connu que l'on retrouve bien. Ce lien fort était prévisible mais nous avons pu observer d'autres variables qui étaient corrélées aux différentes pressions maladies.

Ainsi, nous avons pu constater **une corrélation forte et significative entre l'utilisation d'herbicide chimique et la forte pression au Black Rot** (Annexe 10). Cette sensibilité au Black Rot est également plus élevée avec des passages pour rogner plus fréquent, une utilisation de fertilisants minéraux au pouvoir oxydant et de très faible amendement en matière organique (Annexe 11) mais ces tendances nécessitent d'autres études pour être confirmées.

Nous retrouvons ces tendances avec de l'utilisation d'herbicide et de très faible apport en amendement organique avec des fortes pressions à Oïdium (Annexe 12), nous confortant dans notre analyse et dans la capacité de ces facteurs à influencer la sensibilité des maladies. Nous avons également pu observer **une corrélation significative entre les pratiques d'enherbement total du cavaillon et une faible pression sanitaire à l'Oïdium** (Annexe 13).

Nous retrouvons aussi une corrélation non significative entre un enherbement total du cavaillon avec une forte pression au Mildiou.

Par ailleurs, nous pouvons voir une tendance entre une faible pression au Mildiou et une fertilisation de qualité (non oxydante ; l'indicateur Eh-pH).

Enfin, il y a **une corrélation significative entre une faible pression au Mildiou et des couvertures de sol avec des fortes productions de biomasse inter-rang et bien mis en place (couverts végétaux)** (Annexe 14).

V. Résultats des données du sondage

De la même manière que la partie précédente, nous allons interpréter l'ACM avec les données du sondage pour avoir un visuel large des corrélations entre variables. Nous allons vérifier ensuite une à une nos interprétations et synthétiser les résultats dans une dernière partie.

A. Interprétation des premiers axes de l'ACM

1. Variables utilisées pour l'ACM

Le sondage comporte moins de variables que l'enquête (car moins de questions) et les données sont moins précises. Nous avons moins de variables intéressantes et utilisables pour notre enquête, les taux d'inertie des axes sont plus faibles et donc nous apportent moins de certitude.

Les variables sélectionnées en tant que variables actives sont :

- **Pression « Black Rot »**
- **Pression « Mildiou »**
- **Pression « Oïdium »**
- **Pression « Botrytis »**
- **Type de fertilisation**
- **Moyen entretien inter rang**
- **Production de biomasse**
- **Moyen désherbage cavaillon**
- **Type enherbement inter rang**

2. Descriptions des axes 1 et 2

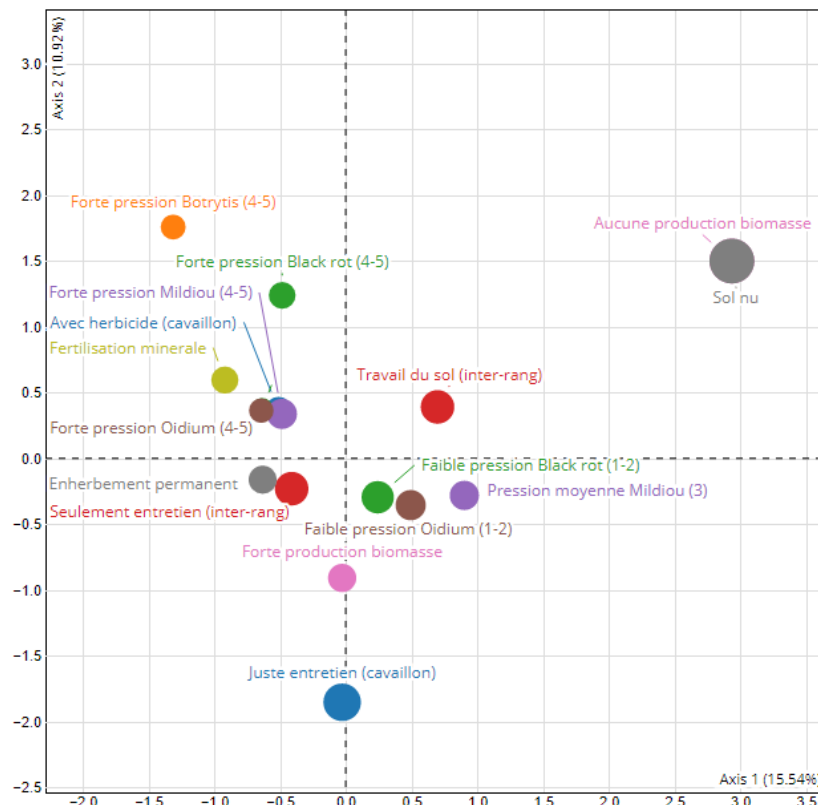


FIGURE 9 : ACM DU SONDAGE AXE 1 ET 2 - VUE D'ENSEMBLE

a) Interprétation du quart gauche supérieur (Annexe 5)

Nous observons le premier quart qui regroupe l'ensemble des fortes pressions aux maladies (Black Rot, Mildiou, Oïdium et Botrytis). Nous ne pouvons pas dire quelles variables influent le plus sur ces maladies évidemment, mais des variables sont communes à plusieurs et à des degrés différents : une **Fertilisation minérale** et un **désherbage avec herbicide du cavaillon**. Nous pouvons également observer le caractère **Faible production de biomasse** dans ce même quart avec une qualité de projection plus faible.

Quelques caractéristiques ressortent comme une localisation en **Charente**, des sols plutôt **Acide** ou encore l'**Utilisation d'insecticide**. On retrouve des pratiques plus conventionnelles mais contrairement à la première analyse, nous ne distinguons pas clairement des groupes de pratiques caractéristiques.

b) Interprétation du quart inférieur droit (Annexe 6)

On retrouve ici l'opposé des modalités précédentes, notamment avec les faibles pressions des maladies. Nous retrouvons également les modalités **Cavaillons enherbés** et **Forte production de biomasse** même si elles sont éloignées. La modalité **Faible pression Mildiou** a une qualité de projection très faible, elle n'est pas représentative ici.

Nous n'interpréterons pas les autres quarts puisqu'aucunes sensibilités aux maladies se placent dans ces quarts de graphique.

3. Descriptions des axes 3 et 4

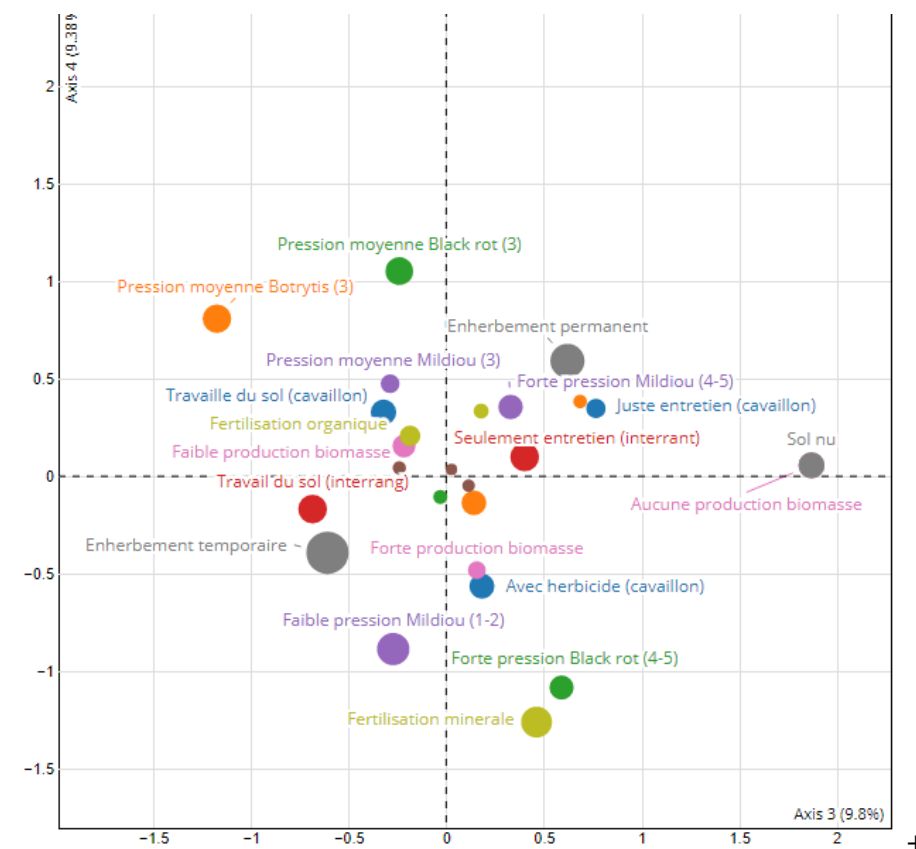


FIGURE 10 : ACM DU SONDAGE AXE 3 ET 4 - VUE D'ENSEMBLE

a) Interprétation du quart inférieur gauche (Annexe 7)

Dans un premier temps, nous observons la modalité **Faible pression Mildiou** corrélée à l'Enherbement temporaire et **Travail du sol en inter-rang** avec des qualités de projection satisfaisantes. Ce point se confirme en visualisant le quart opposé par rapport à la bissectrice.

b) Interprétation du quart supérieur droit (Annexe 8)

Nous pouvons retrouver à l'opposé les modalités antagoniques avec **Forte pression Mildiou** corrélée à l'Enherbement permanent, **Seulement l'entretien de l'inter-rang** et un **Entretien du cavaillon**.

c) Interprétation du quart inférieur droit (Annexe 9)

Nous retrouvons de nouveau **La forte pression au Black Rot** en lien avec l'**Utilisation d'herbicide (cavaillon)** et de **Fertilisation minérale**. **La forte production de biomasse** possède une faible qualité de projection. On notera que ces trois caractéristiques se situent proche de la modalité **Faible pression Mildiou** et donc à vérifier.

B. Vérifications des interprétations par le Khi-2

De la même manière que précédemment, nous allons vérifier les interprétations réalisées avec des tests statistiques récapitulés dans les tableaux suivants.

1. Tests du Khi-2 avec la Pression Black Rot

<u>Variables Pressions maladies</u>	<u>Autres variables</u>	<u>p-value (<0,05)</u>	<u>Interprétation</u>	<u>Couples de modalités les plus pertinents</u>
P r e s s i o n B l a c k R o t	Type de fertilisation	0,137	Variables potentiellement dépendantes	Fertilisation minérale avec Forte pression Black Rot - corrélation positive
	Moyen de désherbage du cavaillon	0,192	Variables potentiellement dépendantes	Avec herbicide (cavaillon) avec Forte pression Black Rot - corrélation positive
	Production de biomasse en inter-rang	0,683	Variables indépendantes	-
	Utilisation d'insecticide	0,017	Variables significativement dépendantes	Utilisation d'insecticide pour cicadelle avec Moyenne pression Black Rot - corrélation significative positive
	pH du sol	0,318	Variables indépendantes	-
	Localisation	0,000	Variables significativement dépendantes	Charente avec Forte pression Black Rot - corrélation significative positive

TABLEAU 4 : TESTS DES KHI-2 AVEC LA VARIABLE PRESSION BLACK ROT - SONDAGE

2. Tests du Khi-2 avec la Pression Mildiou

<u>Variables Pressions maladies</u>	<u>Autres variables</u>	<u>p-value (<0,05)</u>	<u>Interprétation</u>	<u>Couples de modalités les plus pertinents</u>
P r e s s i o n M i l d i o u	Type d'enherbement inter-rang	0,021	Variables significativement dépendantes	Enherbement permanent avec Forte pression Mildiou - corrélation significative positive
	Evaluation du travail du sol en inter-rang	0,019	Variables significativement dépendantes	Travail du sol de l'inter-rang avec Faible pression Mildiou - corrélation significative positive
	Production de biomasse inter-rang	0,146	Variables potentiellement dépendantes	Aucune production de biomasse avec Moyenne pression Mildiou - corrélation positive
	Type de fertilisation	0,307	Variables indépendantes	-
	Moyen de désherbage du cavaillon	0,322	Variables indépendantes	-
	pH du sol	0,318	Variables indépendantes	-
	Localisation	0,007	Variables significativement dépendantes	Sud-Ouest avec Forte pression Mildiou - corrélation positive

TABLEAU 5 : TESTS DES KHI-2 AVEC LA VARIABLE PRESSION MILDIOU – SONDAGE

3. Tests du Khi-2 avec la Pression Oïdium

<u>Variables Pressions maladies</u>	<u>Autres variables</u>	<u>p-value (<0,05)</u>	<u>Interprétation</u>	<u>Couples de modalités les plus pertinents</u>
P r O ï s i u m n	Type de fertilisation	0,431	Variables indépendantes	-
	Moyen de désherbage du cavaillon	0,469	Variables indépendantes	-
	Production de biomasse	0,333	Variables indépendantes	-
	Utilisation d'insecticide	0,531	Variables indépendantes	-
	pH du sol	0,263	Variables potentiellement dépendantes	Alcalin (>7,5) avec Forte pression Oïdium - corrélation positive
	Localisation	0,071	Variables potentiellement dépendantes	Sud-Ouest et Forte pression Oïdium - corrélation négative

TABLEAU 6 : TESTS DES KHI-2 AVEC LA VARIABLE PRESSION OÏDIUM - SONDAGE

C. Synthèses de l'analyse des données du sondage

L'analyse réalisée par l'ACM nous a montré un regroupement clair entre les différentes pressions aux maladies et des pratiques culturelles. Néanmoins, nous n'avons pas pu distinguer des typologies d'individus marquées en fonction des pratiques comme nous avons pu le faire lors de la première analyse, l'analyse sur l'enquête.

Les données étant moins précises, il est plus difficile d'identifier et de catégoriser les individus en fonction de leur pratique. Les fortes pressions étant toutes regroupées, cela nous a tout de même facilité l'interprétation car seulement deux quarts étaient vraiment intéressants pour l'axe 1 et 2.

Dans un premier temps, nous avons pu observer une affinité entre l'ensemble des modalités Forte Pression aux maladies et des pratiques de Fertilisation minérale ou de Désherbage chimique du cavaillon. D'après les tests statistiques, **seulement la Forte Pression Black Rot est en réalité corrélée à ces deux modalités (Fertilisation minérale (Annexe 15) et Désherbage chimique du cavaillon (Annexe 16))**. Cependant, cette corrélation reste une tendance car le test n'est pas significatif mais nous conforte dans nos résultats précédents.

Aucunes autres variables semblent faire varier la sensibilité à l'Oïdium contrairement à la sensibilité au Mildiou. Effectivement, nous avons pu constater une corrélation significative entre les variables Pression Mildiou, le Type d'enherbement et le Travail du sol en inter-rang. Nous avons pu constater que la pratique **d'Enherbements permanents favorise significativement une Forte pression Mildiou** (Annexe 18).

Dans la même logique, **la modalité Travail du sol pour désherber l'inter-rang favorise significativement une Faible pression Mildiou**. Cette corrélation ne nous indique pas pour autant si c'est un travail du sol important ou superficiel. Pour résumer, le fait d'avoir un enherbement permanent et seulement entretenu est une condition favorisant une forte pression Mildiou.

Cette corrélation pourrait être contradictoire avec nos résultats de l'enquête suggérant une forte biomasse favorisant une faible pression Mildiou. Cependant, en regardant la variable Production Biomasse, nous pouvons observer que ce sont des individus avec de très faible production de biomasse qui ont une forte pression Mildiou (Annexe 17). Autrement dit, les enherbements permanents avec de faible production de biomasse (tondu régulièrement par exemple) pourrait amener à une plus forte présence de Mildiou.

VI. Synthèses des résultats de l'enquête et du sondage

Pour reprendre l'ensemble des résultats obtenues, nous avons pu observer des pratiques viticoles corrélées à des variations de sensibilités aux maladies (en plus de la localisation). Certaines pratiques atténuent la présence de fortes pressions à une maladie alors que d'autres l'augmentent à des degrés différents.

Nous avons pu notamment observer les effets suivants :

ENQUETE (107 questions ; 47 individus)			
Maladies	Pression maladie	Corrélations significatives (p-values < 0,05)	Corrélations non significatives (tendances) (0,05 < p-values < 0,3)
Mildiou	Faible (-)	✓ Production importante de biomasse dans l'inter-rang (couverts végétaux)	✓ Utilisation d'engrais non oxydants
	Forte (+)	-	✓ Cavaillon totalement enherbé
Oïdium	Faible (-)	✓ Cavaillon totalement enherbé	-
	Forte (+)	-	✓ Aucun apport de matière organique ✓ Utilisation fréquente de désherbant
Black rot	Faible (-)	-	✓ Faible apport en matière organique ✓ Utilisation d'engrais minéraux oxydants
	Forte (+)	✓ Utilisation fréquente d'herbicide	✓ Rognage avec plus de deux passages
SONDAGE (70 questions ; 81 individus)			
Mildiou	Faible (-)	✓ Travail du sol dans l'inter-rang pour désherber	-
	Forte (+)	✓ Enherbement permanent de l'inter-rang (enherbement naturel et tonte régulière)	-
Black rot	Faible (-)	-	✓ Utilisation d'herbicide pour désherber le cavaillon
	Forte (+)	-	✓ Utilisation d'une fertilisation minérale

Pour rappel, ces corrélations ne sont pas proportionnelles (plus il y a d'herbicides, plus nous avons de Black Rot), elles sont factuelles (ceux qui utilisent de l'herbicide ont plus de forte pression Black Rot).

En outre, nous avons distingué des groupes d'individus avec des caractéristiques communes qui se différencient de la moyenne. Autrement dit, ces individus ont des pratiques propres avec des pressions différentes de la normale : c'est ainsi que nous remarquons des corrélations.

VII. Discussions

A. Discussion au sujet de la méthode et des données

La manière dont nous avons pris en compte les pressions des maladies est un biais conséquent. Effectivement, le fait de demander l'auto-évaluation de la pression des maladies sur l'ensemble du domaine est subjective et imprécise. Cependant, nous avons pris dans notre analyse seulement les données les plus extrêmes (forte pression ou faible pression), ceci permet de bien différencier les cas et donner avec plus de certitude une tendance. La meilleure manière est de quantifier les maladies par des notations (par exemple fréquence et intensité du Mildiou à différents stades phénologiques).

Un point d'imprécision a pu également avoir lieu avec l'échelle géographique sur laquelle portait les questions : à l'échelle d'une parcelle ou du domaine viticole. En effet, certains domaines ont des conditions très différentes entre certaines parcelles créant de l'imprécision (même si on demandait les parcelles les plus représentatives). Néanmoins, cette manière nous permet d'avoir les tendances générales et de ne pas tomber dans des cas très particuliers favorisant un type de maladie (parcelle très humide par exemple).

De plus, nous n'avons pas pris en compte de données climatologies et nous avons vu que la localisation était également très fortement corrélée à la variation des sensibilités aux maladies. Nous n'écartons pas le fait que c'est une variable influençant fortement ces variations.

Les effectifs de l'enquête et du sondage sont relativement faibles. Lors des tests statistiques du Khi-2, nous avons pu constater des effectifs théoriques inférieurs à 5 pour la majorité des tests apportant un biais à notre analyse.

Néanmoins, nous avons des échantillons d'individus avec des pratiques diversifiées et réparties de manière satisfaisantes. Par exemple, nous avons une dizaine individus avec un cavaillon enherbé en permanence alors que cette pratique est plutôt rare à l'échelle nationale. La diversité de l'échantillon étudiée est une force pour cette étude : nous avons des pratiques agroécologiques très bien représentées.

Les données que nous avons utilisées peuvent manquer de précision au premier abord. Cependant, nous avons pu faire ressortir les tendances générales des pratiques viticoles et des pressions sanitaires présentes avec des écarts conséquents. **Cette étude nous permet de mettre en lumière les influences probables des pratiques viticoles sur la sensibilité aux maladies.** Nous avons vu clairement certaines pratiques se distinguer et c'est un résultat satisfaisant.

B. Discussions des résultats avec l'indicateur Eh-pH

Pour reprendre notre fil conducteur avec l'indicateur Eh-pH, il semblerait que les pressions au Mildiou, à l'Oïdium et au Black Rot soient sensibles à la qualité des intrants. L'utilisation de produit au pouvoir oxydant (herbicides) augmente ces pressions, spécifiquement celle du Black Rot.

Nous expliquons ce résultat par le dérèglement de l'équilibre Eh-pH suite à l'application de produit avec un fort potentiel oxydant. Les désherbants chimiques ont des pouvoirs oxydants extrêmes (c'est ce qui fait leur efficacité) et certains engrais minéraux, comme les nitrates, sont sous formes oxydées également (Syncla, 2018).

L'utilisation de ces produits peut avoir de lourde conséquence sur l'écosystème du sol et de la plante. Effectivement, pour conserver son équilibre Eh-pH propre à la plante et sa rhizosphère, la plante va « réduire » son milieu pour rééquilibrer (Cottes et *al.*, 2020). Ce besoin de rééquilibrer vient notamment du fait de rendre les nutriments sous une forme assimilable par la plante. Cette réduction consomme de l'énergie et des protons, ce qui a pour conséquence de diminuer les résistances de la plante ou d'augmenter l'appétence des ravageurs (Husson, 2020).

La sensibilité au Mildiou est plus complexe à visualiser, notamment par rapport à cet indicateur. Néanmoins, nous avons pu voir que des pratiques favorisant des apports de matière organique avec des fortes productions de biomasse atténuent cette pression.

Nous pouvons interpréter ce résultat de la même manière. Effectivement, des pratiques de séquestration du carbone vont au contraire augmenter l'équilibre Eh-pH des sols. Ces sources riches en proton, qui stimulent également la vie biologique des sols vont avoir un effet « tampon » sur l'équilibre Eh-pH : le milieu est plus stable et la plante dépense moins d'énergie pour l'équilibrer (Syncla, 2018). Ce mécanisme pourrait expliquer nos résultats sur les faibles pressions Mildiou.

Pour finir, le travail du sol ne semble pas rentrer dans les critères favorisant des fortes pressions aux maladies. Néanmoins, nous avons pu noter que des pratiques plus douces et intégrées avec un enherbement totale du cavaillon (donc non travaillé) semble convenir à des faibles pressions à l'Oïdium.

Ce résultat pourrait être expliqué par l'étude portant sur l'équilibre Eh-pH dans des systèmes en agriculture de conservation (Husson, et *al.*, 2018^b). Ces systèmes pourraient permettre aux cultures d'avoir des conditions plus favorables à leur développement et la résistance aux maladies avec un équilibre Eh-pH plus stable et non perturbé par le travail du sol.

Les plus faibles pressions à l'Oïdium avec des pratiques d'enherbement du cavaillon peuvent aller dans ce sens. Le lien est moins évident que les résultats précédents car les systèmes avec travail du sol ne montrent pas des tendances à de forte pressions. De plus, les pratiques de travail du sol sont de nature moins intensives en viticulture qu'en grande culture (dont se réfère (Husson, et *al.*, 2018^b)).

Conclusion

Cette étude par voie d'enquête a pour vocation à explorer le potentiel des nouvelles pratiques agroécologiques comme garante d'un écosystème équilibré et diversifié visant à diminuer la sensibilité des vignobles aux quatre principales maladies de la vigne. Des pratiques viticoles portées sur cet aspect se sont clairement distinguées du lot par leur capacité à atténuer ou augmenter la sensibilité à des maladies.

Grâce à un échantillon de viticulteur précurseur dans ces pratiques, nous avons vu que la nature des intrants et la gestion de l'enherbement pourraient être un levier majeur dans le développement d'une lutte *Bio-Logique* et intégrée. Ces résultats pourraient notamment être expliqués par l'indicateur Eh-pH développé par Olivier Husson, chercheur au Cirad.

Selon l'Agreste, avec un Indice de Fréquence de Traitement (IFT) en moyenne supérieur à 15 (Lafargue, 2019), la viticulture en France est la première consommatrice d'intrant phytosanitaire ramenée à l'hectare dans le domaine agricole. Outre l'aspect économique et écologique de l'utilisation de ces produits, il est primordial d'apporter à notre système viticole des éléments de résiliences et d'indépendances.

Par leur accessibilité et leur logique, les pratiques agroécologiques se placent parfaitement dans cette stratégie. Elles visent à amener l'agriculteur vers des systèmes plus autonomes et diversifiés construits sur le génie végétal, l'agronomie et la biologie. Même si de nombreux points restent à approfondir, notamment dans les aspects techniques, nous avons pu constater que cette étude montre tout le potentiel que peuvent avoir ces pratiques. Nos résultats ouvrent la voie à de nouvelles prospections plus précises et complètes sur les bénéfices multiples des pratiques agroécologiques dans les systèmes de cultures.

Bibliographie

Cottes, J., Saquet, A., Palayret, L., Husson, O., Beghin, R., Allen, D., ... & Guiresse, M. (2020). Effects of soil redox potential (Eh) and pH on growth of sunflower and wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(4), 473-487.

Georgiou, C. D., Sun, H. J., McKay, C. P., Grintzalis, K., Papapostolou, I., Zisimopoulos, D., ... & Margiolaki, I. (2015). Evidence for photochemical production of reactive oxygen species in desert soils. *Nature communications*, 6(1), 1-11.

Husson, O. (2020). Comprendre les interactions maladies-nutrition des plantes grâce au “re-dox” [Youtube]. <https://www.youtube.com/watch?v=zoebq6uOW9U>

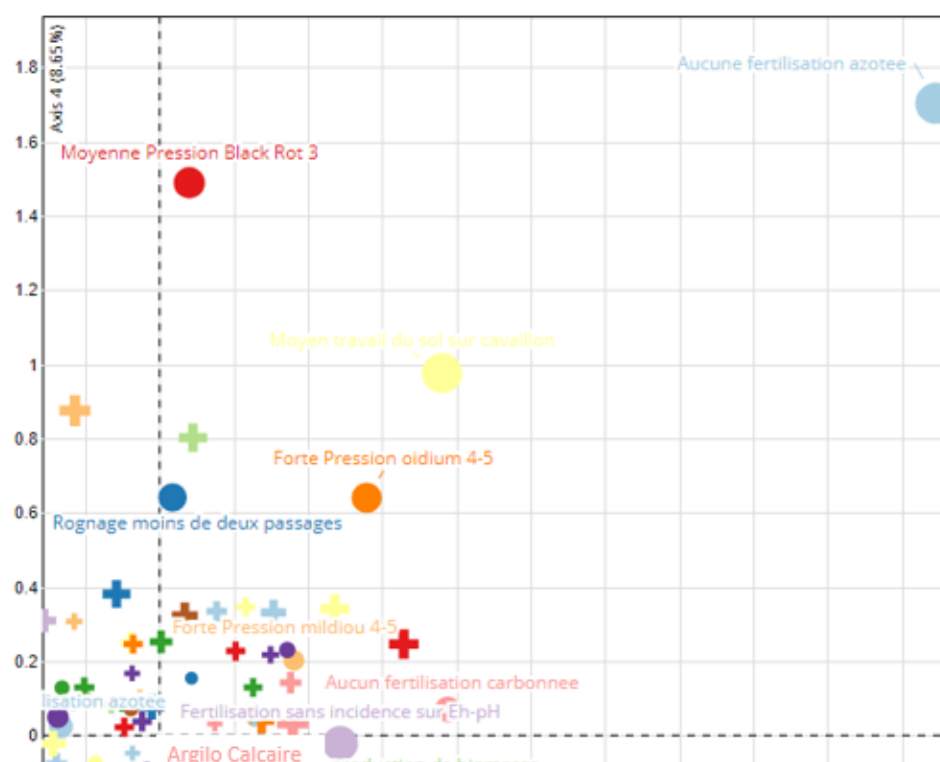
Husson, O., Audebert, A., Benada, J., Soglonou, B., Tano, F., Dieng, I., ... & Futakuchi, K. (2018^a). Leaf Eh and pH: a novel indicator of plant stress. Spatial, temporal and genotypic variability in rice (*Oryza sativa* L.). *Agronomy*, 8(10), 209.

Husson, O., Brunet, A., Babre, D., Charpentier, H., Durand, M., & Sarthou, J. P. (2018^b). Conservation agriculture systems alter the electrical characteristics (Eh, pH and EC) of four soil types in France. *Soil and Tillage Research*, 176, 57-68.

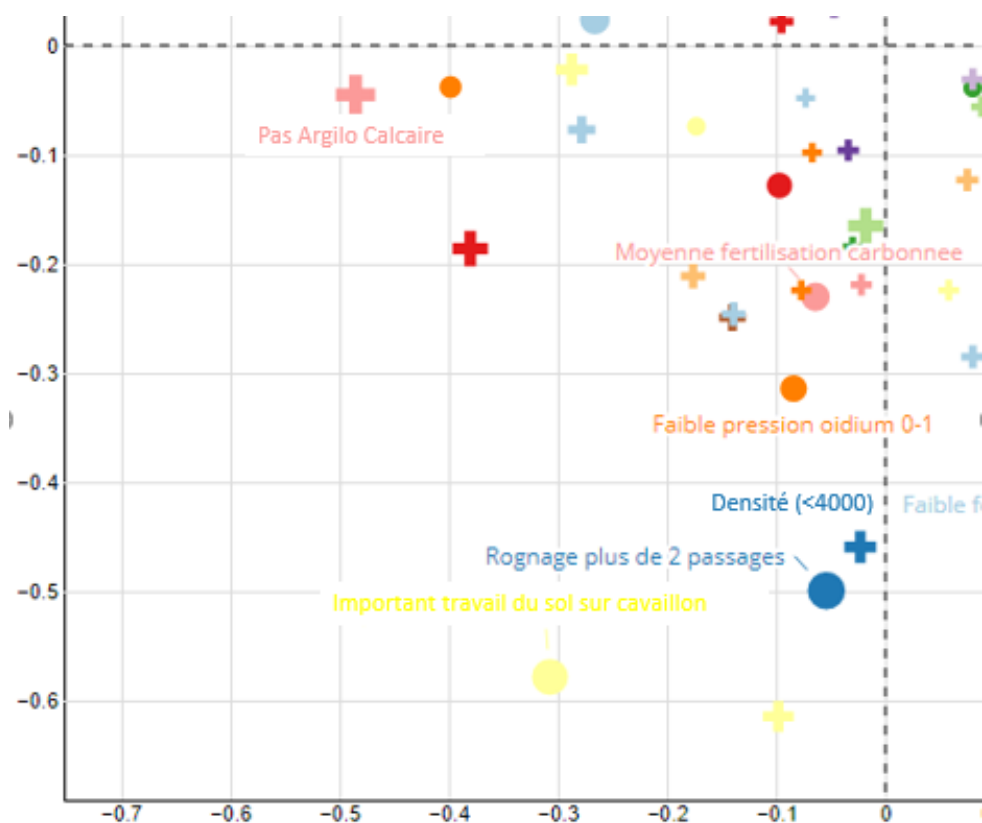
Lafargue, I. (2019). Les pratiques phytosanitaires en viticulture en Nouvelle-Aquitaine en 2016.

Syncla, S. (2018). Le potentiel redox «La vie est un petit courant électrique alimenté par le soleil». TCS.https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/pdfsam_potentiel_redoxtcs99_light.pdf

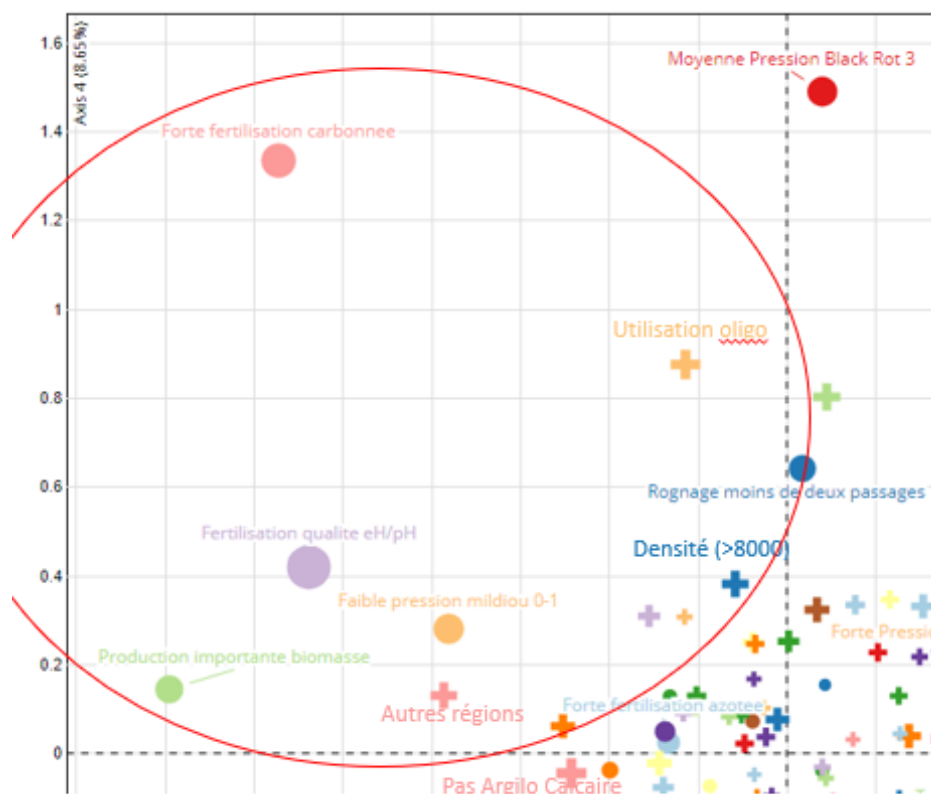
Annexes



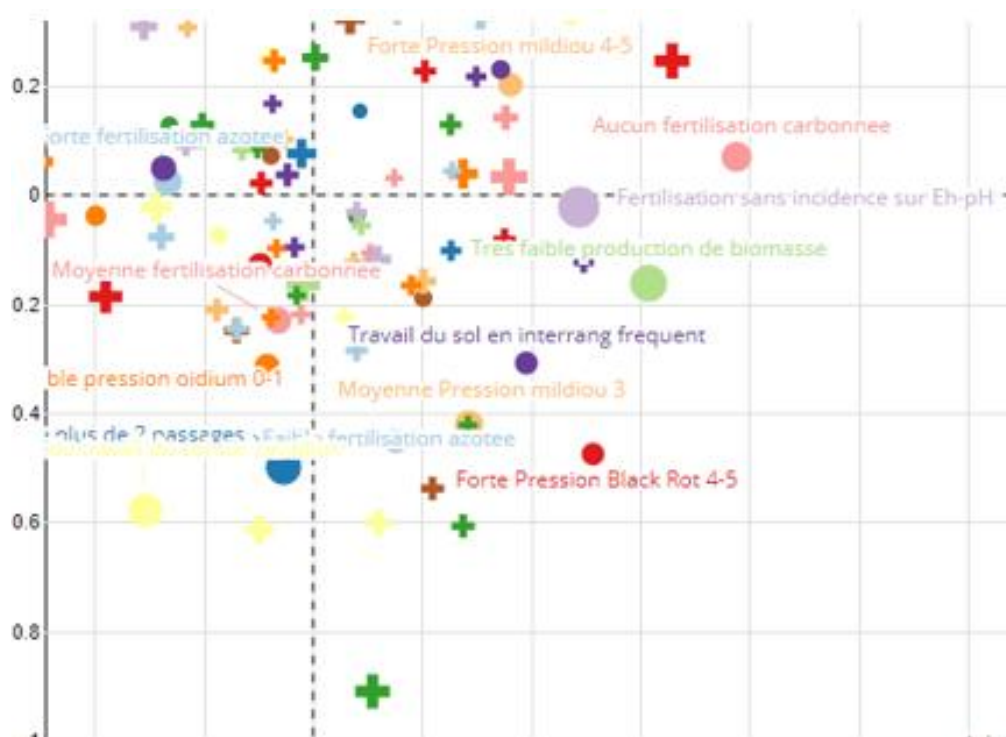
ANNEXE 1 : ACM DE L'ENQUETE AXE 3 ET 4 – QUART SUPERIEUR DROIT



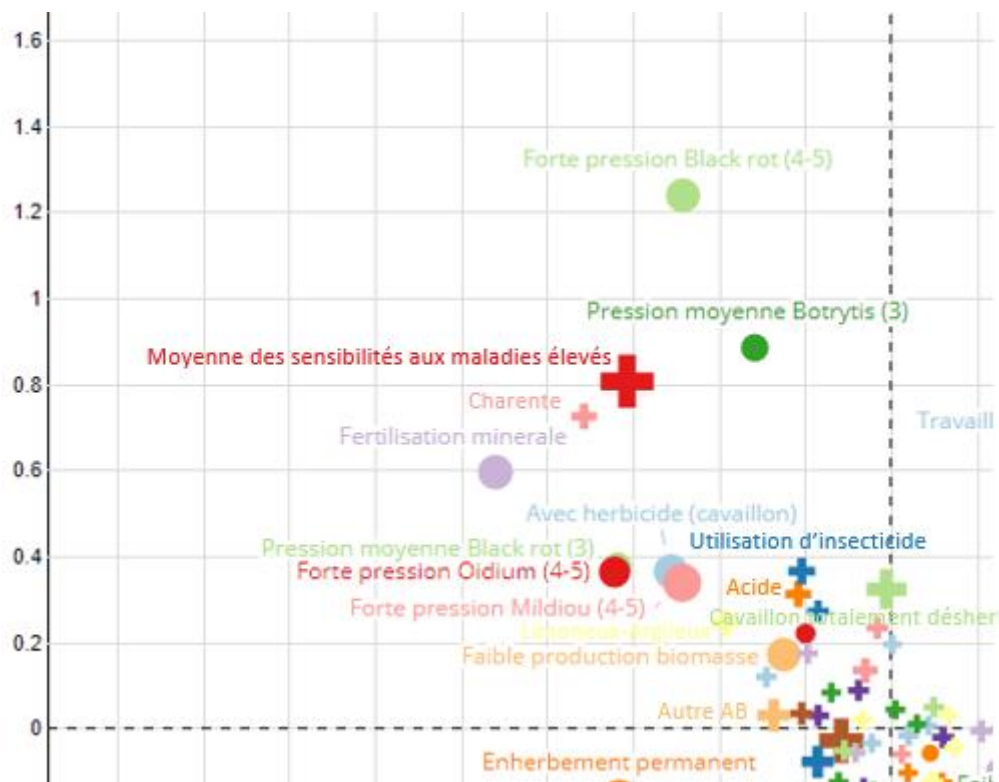
ANNEXE 2 : ACM DE L'ENQUETE AXE 3 ET 4 – QUART INFERIEUR DROIT



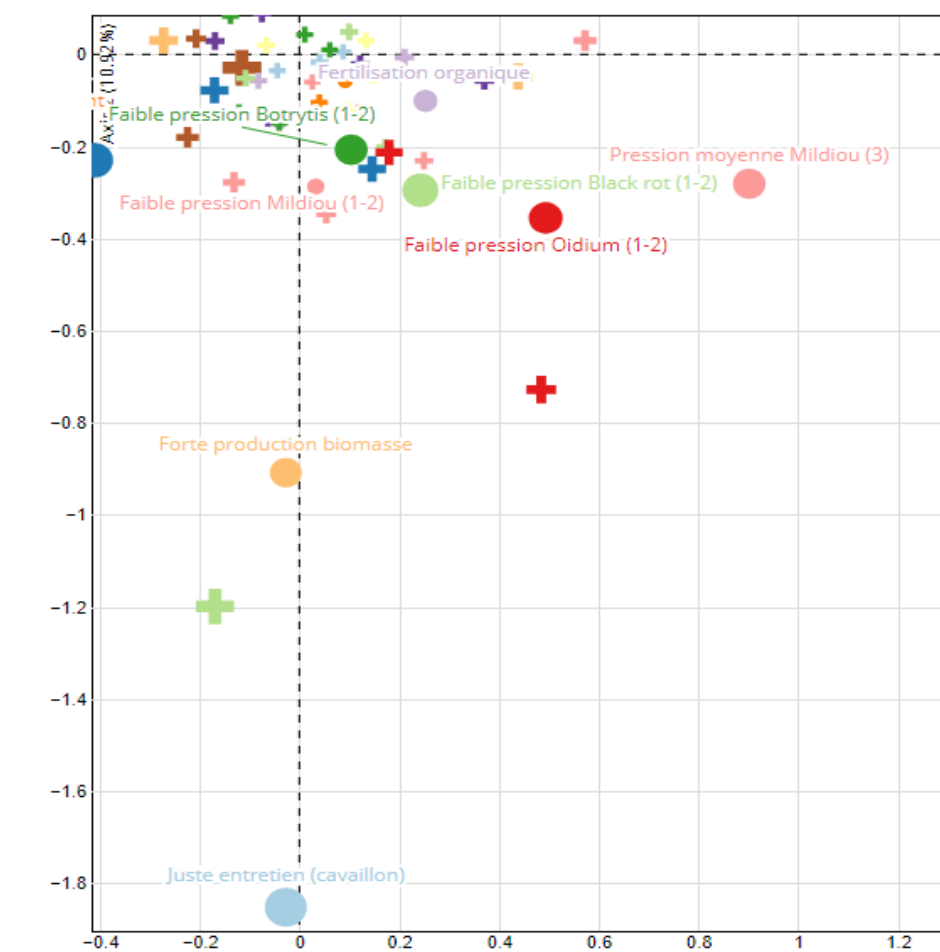
ANNEXE 3 : ACM DE L'ENQUETE AXE 3 ET 4 – QUART SUPERIEUR GAUCHE



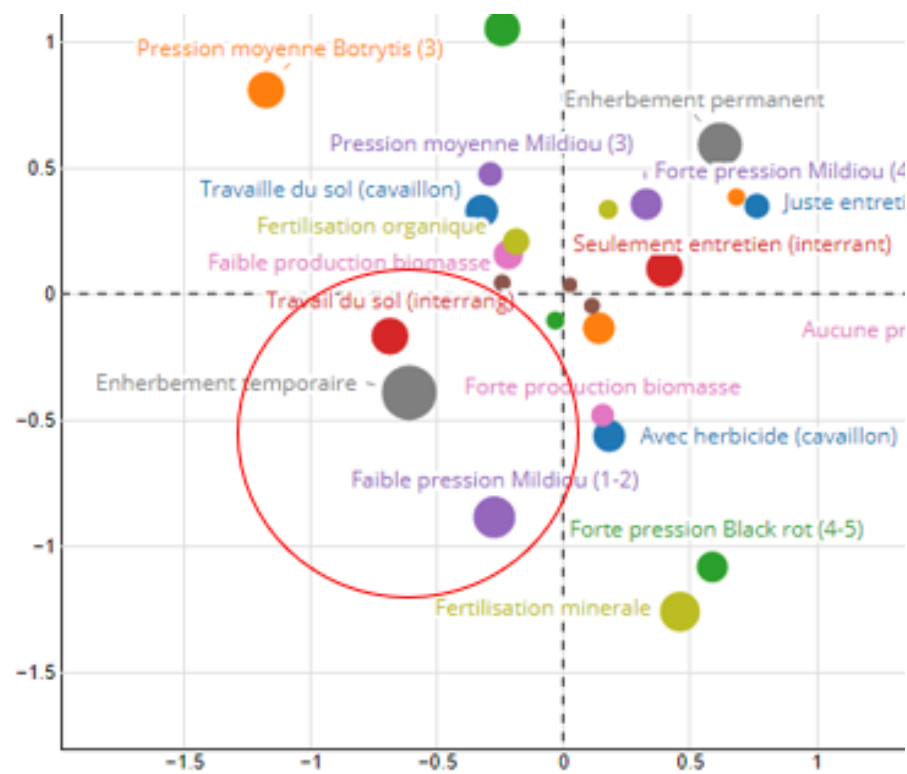
ANNEXE 4 : ACM DE L'ENQUETE AXE 3 ET 4 – QUART INFERIEUR DROIT



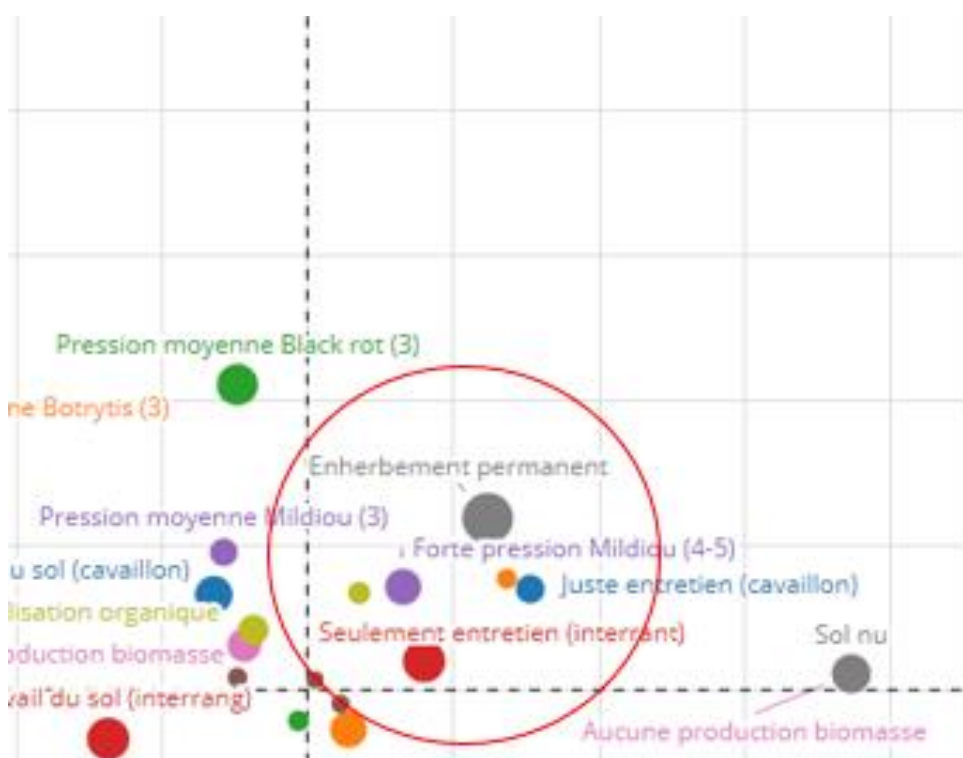
ANNEXE 5 : ACM DU SONDAGE AXE 1 ET 2 – QUART SUPERIEUR GAUCHE



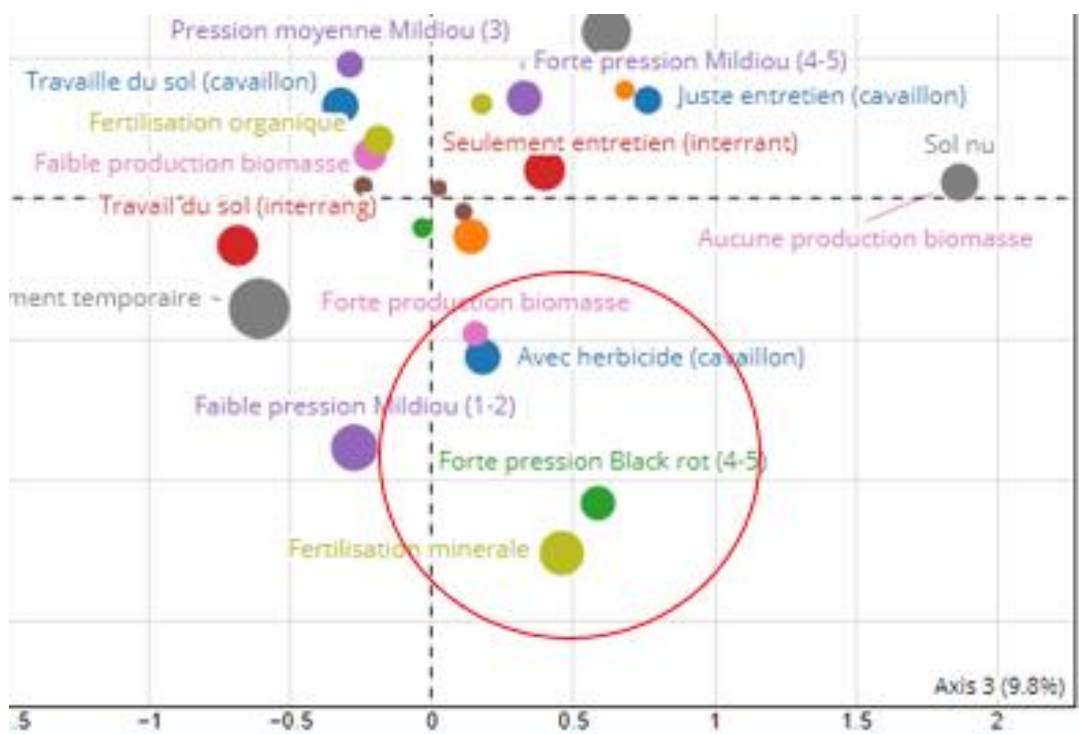
ANNEXE 6 : ACM DU SONDAGE AXE 1 ET 2 – QUART INFERIEUR DROIT



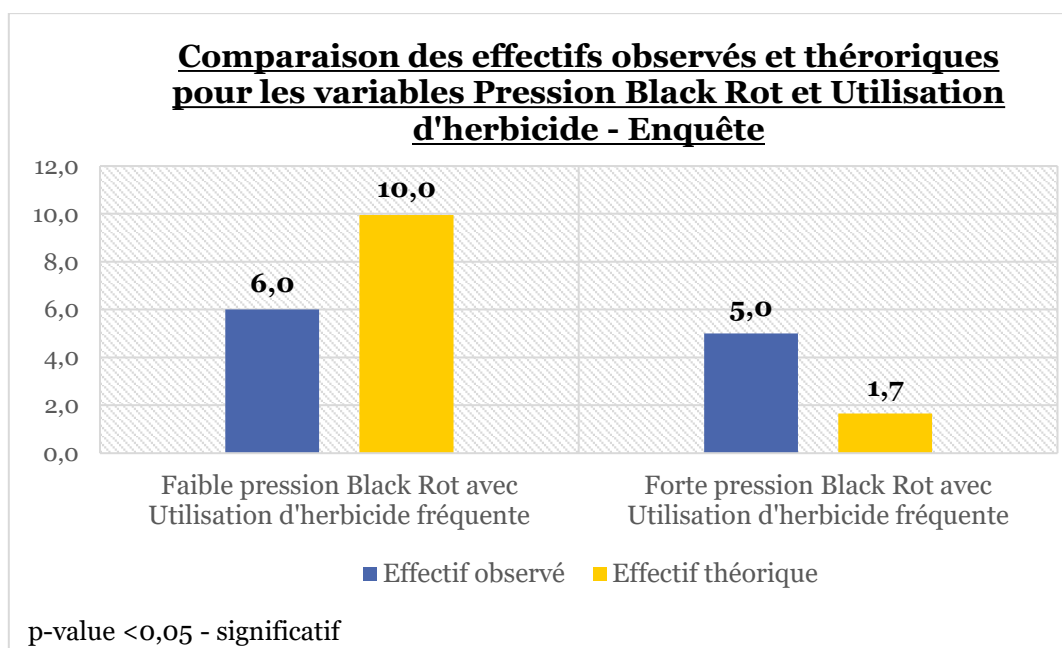
ANNEXE 7 : ACM DU SONDAGE AXE 3 ET 4 – QUART INFÉRIEUR GAUCHE



ANNEXE 8 : ACM DU SONDAGE AXE 3 ET 4 – QUART SUPÉRIEUR DROIT

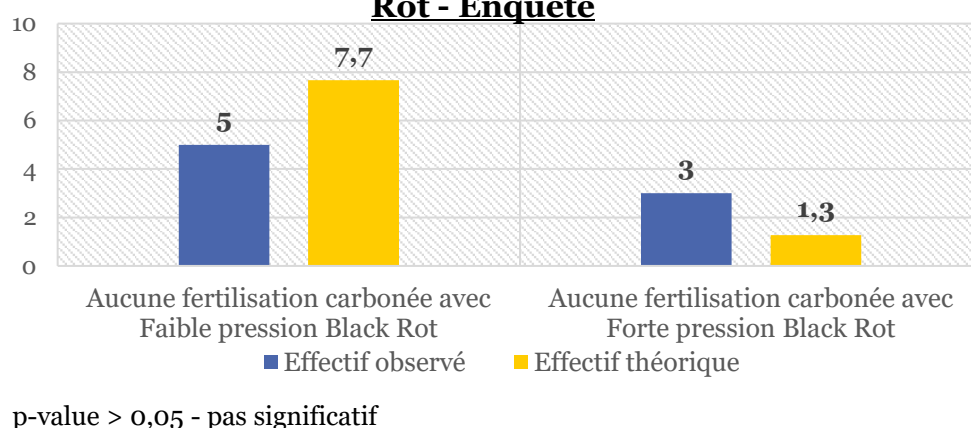


ANNEXE 9 : ACM DU SONDAGE AXE 3 ET 4 – QUART INFERIEUR DROIT



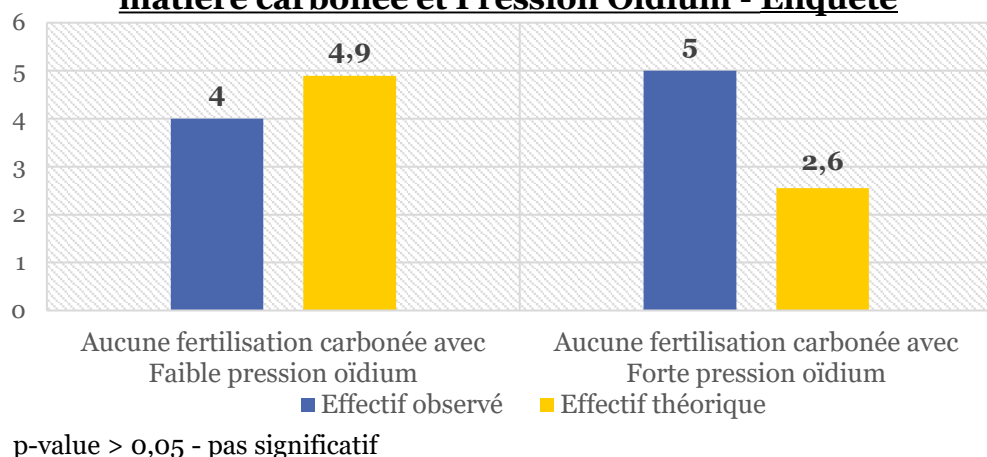
ANNEXE 10 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION BLACK ROT ET UTILISATION D'HERBICIDE -ENQUETE

Comparaison des effectifs observés et théoriques pour les variables Fréquence des apports en matière carbonée et Pression Black Rot - Enquête



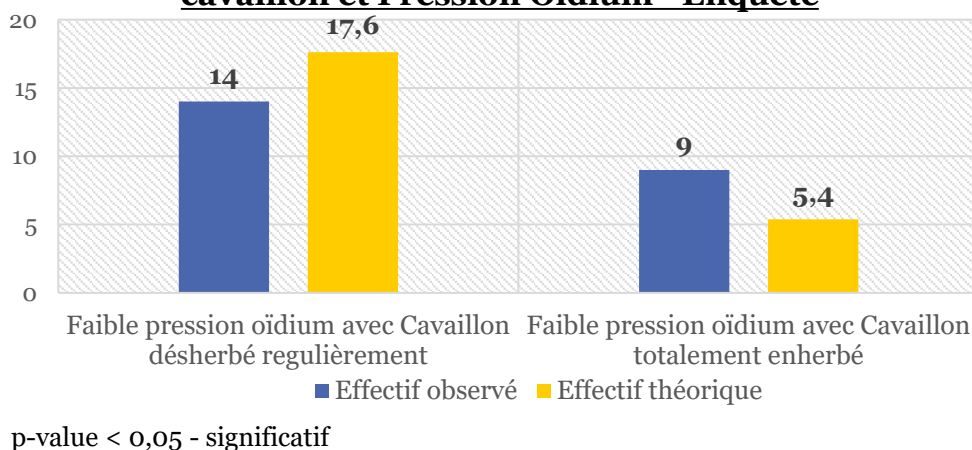
ANNEXE 11 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION BLACK ROT ET FREQUENCE DES APPORTS EN MATIERE CARBONEE - ENQUETE

Comparaison des effectifs observés et théoriques pour les variables Fréquence des apports en matière carbonée et Pression Oïdium - Enquête



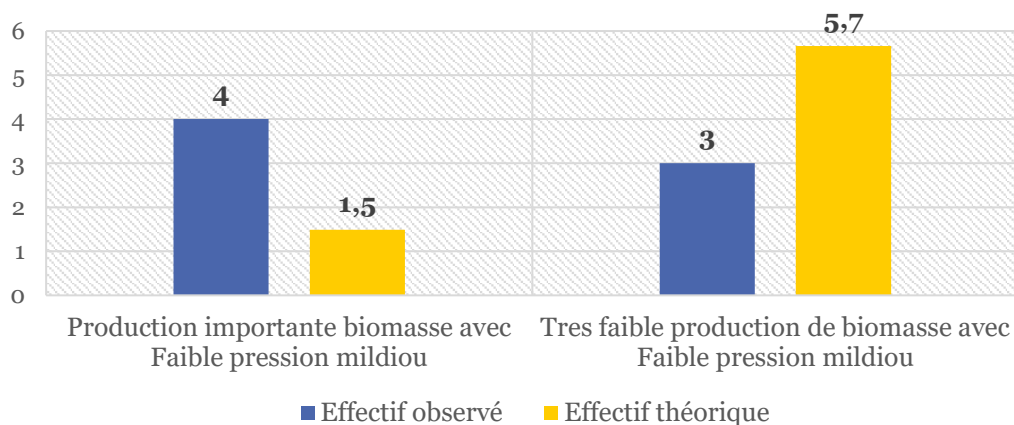
ANNEXE 12 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION OÏDIUM ET FREQUENCE DES APPORTS EN MATIERE CARBONEE -ENQUETE

Comparaison des effectifs observés et théoriques pour les variables Enherbement du cavaillon et Pression Oïdium - Enquête



ANNEXE 13 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION OÏDIUM ET ENHERBEMENT DU CAVAILLON -ENQUETE

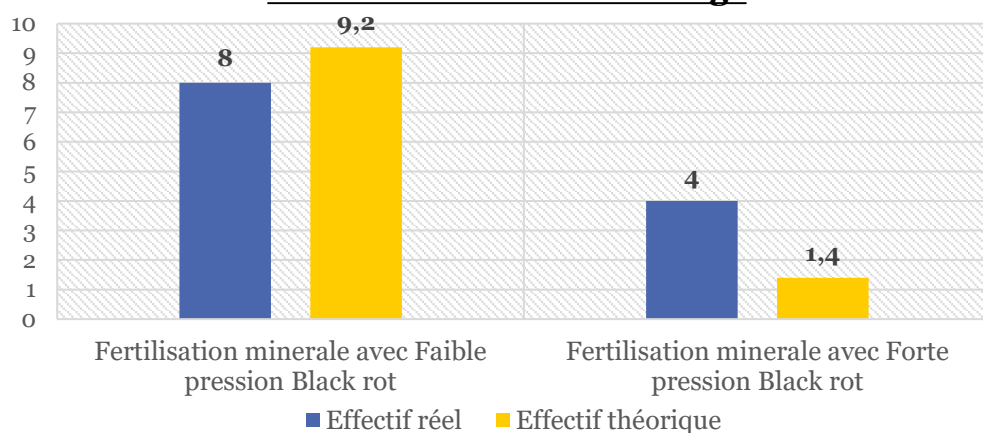
**Comparaison des effectifs observés et théoriques
pour les variables Production de biomasse et
Pression Mildiou - Enquête**



p-value < 0,05 - significatif

ANNEXE 14 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION MILDIOU ET UTILISATION D'HERBICIDE -ENQUETE

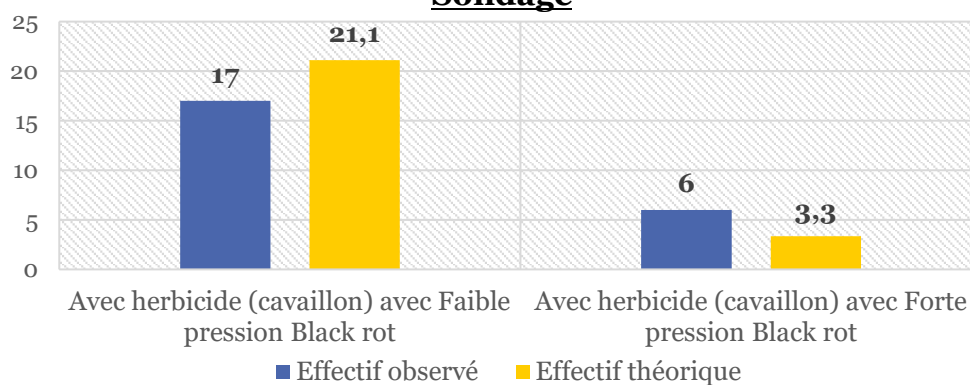
**Comparaison des effectifs observés et théoriques
pour les variables Type de fertilisation et
Pression Black Rot - Sondage**



p-value > 0,05 - pas significatif

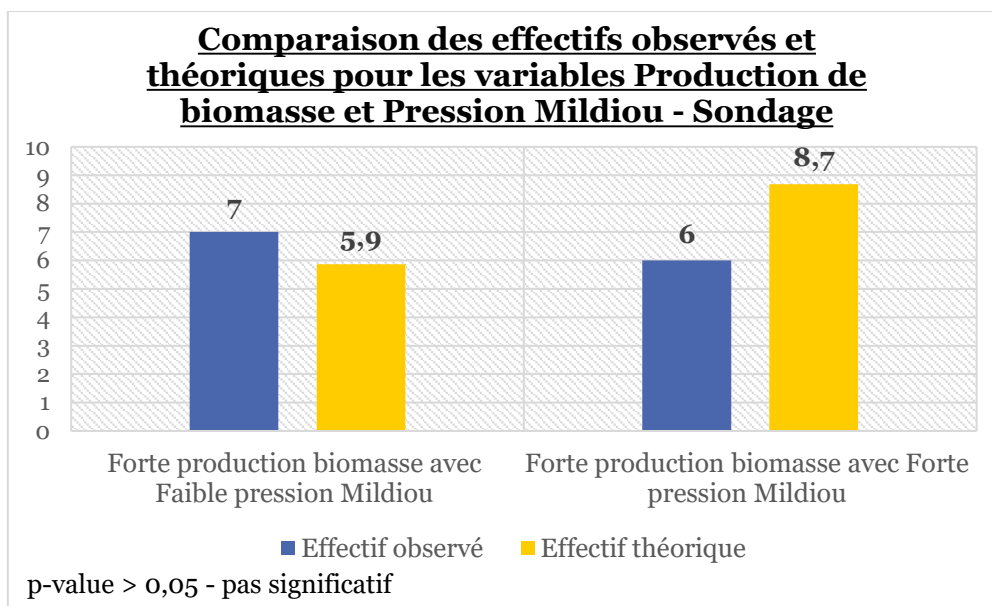
ANNEXE 15 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION BLACK ROT ET TYPE DE FERTILISATION - SONDAGE

**Comparaison des effectifs observés et
théoriques pour les variables Type de de
désherbage du cavaillon et Pression Black Rot -
Sondage**

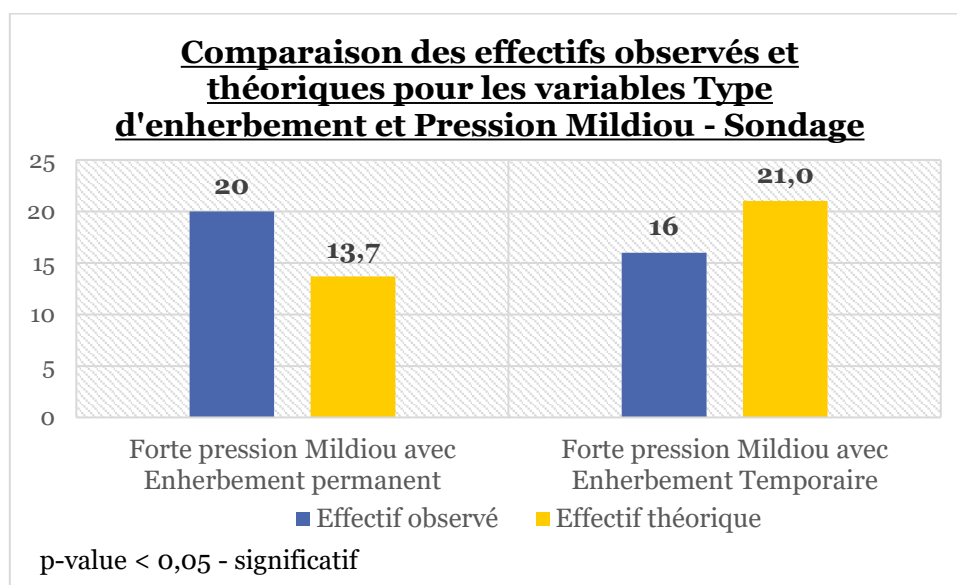


p-value > 0,05 - pas significatif

ANNEXE 16 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION BLACK ROT ET TYPE DE DESHERBAGE DU CAVAILLON - SONDAGE



ANNEXE 17 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRODUCTION DE BIOMASSE ET PRESSION MILDIOU - SONDAGE



ANNEXE 18 : COMPARAISON DES EFFECTIFS POUR LES VARIABLES PRESSION MILDIOU ET TYPE D'ENHERBEMENT - SONDAGE