

Evaluation des performances agronomiques de huit variétés de houblon selon différents itinéraires techniques dans un contexte pédoclimatique provençal



Année scolaire 2021 - 2022

Mémoire écrit et soutenu par Nathan Boiron-Albrespy,
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome
Spécialisation « Agroécologie : du système de production au territoire »

Tuteurs Agribio 04 : Victor Frichot et Mégane Véchambre

Tutrice ENSAT : Magali Willaume

Seconde correctrice : Juliette Grimaldi

Résumé

La culture du houblon en agriculture biologique est dynamisée sur le territoire français par un contexte favorable. La filière houblon se développe actuellement au sein de plusieurs régions à l'image d'un groupement de néo-houblonniers réparti sur 5 départements de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Les associations La Bière de Provence et Agribio 04 ont décidé d'accompagner le développement de cette filière en comblant le manque de références techniques dans le sud-est. Dans cet objectif les performances agronomiques de huit variétés de houblon ont été évaluées selon différents itinéraires techniques dans un contexte pédoclimatique provençal. Tout au long de la saison des relevés bi mensuels ont été réalisés dans chacune des parcelles partenaires, suivis par l'analyse de leurs résultats. Les différents niveaux d'implication des houblonniers au cours de la saison 2021 ainsi que l'hétérogénéité de la gestion au sein d'une même parcelle ont montré que rendements des plants de houblon sont plus fonction de la parcelle sur laquelle ils se trouvent que de la variété à laquelle ils appartiennent. En revanche, malgré les spécificités climatiques de la région telles que les fortes chaleurs et le manque de précipitations en été, des résultats encourageants ont été obtenus dans certaines houblonnières. La maîtrise des dates des opérations culturales les plus sensibles et la bonne gestion sanitaire sont les facteurs principaux ayant conduit à l'obtention de rendements comparables aux références techniques du nord-est de la France.

Abstract

Hop cultivation in organic agriculture has recently been boosted in France by a favorable context. Several local networks are currently developing, such as a group of new hop growers spread over 5 departments in the Provence-Alpes-Côte-d'Azur region. The associations La Bière de Provence and Agribio 04 have decided to support the development of this sector by filling the lack of technical references in the southeast. To this end, the agronomic performance of eight hop varieties was evaluated according to different technical itineraries in a Provençal pedoclimatic context. Throughout the season, bi-monthly surveys were carried out in each of the partner plots, followed by an analysis of their results. The different levels of involvement of the hop growers during the 2021 season as well as the heterogeneity of the management within the same plot showed that hop plant yields are more a function of the plot on which they are located than the variety to which they belong.. On the other hand, despite the specific climatic conditions of the region, such as high heat and lack of rainfall in summer, encouraging results were obtained in some hop fields. The mastery of the dates of the technical itinerary and the good sanitary management are the main factors which led to the obtaining of yields comparable to the technical references in the North-East of France.

Remerciements

C'est avec un brin d'émotion que je conclus l'écriture de ce rapport, mettant un terme à six mois de futurs excellents souvenirs.

En premier lieu j'adresse un énorme merci à Victor Frichot, co-tuteur de ce stage, pour son temps passé avec moi comme formateur et sa motivation contagieuse pour travailler sur ce projet. Du terrain jusqu'au bureau j'ai trouvé très agréable de travailler avec lui et c'est avec un très grand plaisir que je suivrai son parcours, et qu'un jour, peut-être, entre deux rangées de houblons, nous nous recroiserons.

Je remercie tout autant Mégane Vechambre, co-tutrice de ce stage. J'ai grandement apprécié l'autonomie et la confiance qu'elle a pu m'accorder pendant cette période. C'est toujours avec beaucoup de plaisir que j'ai pu échanger avec elle, et grâce à sa gestion très humaine de l'association que ce stage a été aussi agréable.

Un très grand merci au reste de l'équipe d'Agribio, avec qui même si je n'ai pas beaucoup travaillé, la présence a participé à rendre ce stage inoubliable. Je remercie donc Gwladys Fontanieu pour ses conseils en statistiques, mais aussi pour sa franchise, qualité humaine très importante. Merci aussi à Carole Danfossy, en m'excusant pour ma piètre gestion de mon document « temps de travail »... J'ai réellement apprécié sa patience, son humour et sa bonne humeur, participant à la très bonne ambiance régnant au sein de l'équipe.

Comme je ne pouvais pas ne pas les citer ici, je remercie chaleureusement Thibaut Lardenois, Louis Catusse, Pimprenelle Calemard et Anna Faisandier, membres plus éphémères dans l'équipe mais pas dans mon cœur...

A l'occasion de ce stage j'ai aussi pu faire la connaissance de personnes que j'ai grandement appréciées telles que Thomas Narcy, et toutes les personnes que le houblon a mis sur ma route : Ghislain Sevnier, Karl Gobyn, Gregori Simon, Cindy Combes, Nicolas Garcin, Florian Mongin, Simon Delvoye, René, Aurélien Proneur, Jordi Sanchez, Valérie Sevenier... (Et tous ceux que j'oublie ici, et qui je l'espère ne m'en tiendront pas rigueur).

Enfin je remercie mes relecteurs Victor Frichot, Mégane Vechambre, Sophie-Joy Ondet, mais aussi Adèle Duvert et Isabelle Albrespy (mon institutrice de mère), qui ont rendu lisible ce rapport (pour toutes fautes persistantes je vous prierais d'adresser vos réclamations à ces personnes).

Pour finir je remercie Mme Willaume et Mme Grimaldi pour la correction de ce rapport, ainsi que d'avoir accepté d'être jury de ma soutenance.

Table des matières

Introduction	1
I. Contextualisation de l'étude.....	2
A. Etat des lieux sur la production de houblon biologique	2
1. Une filière biologique française quasi inexistante	2
2. Un contexte favorable	2
3. Des références techniques attendues en PACA.....	3
B. Le projet FEADER houblon biologique en PACA	4
1. Le projet et ses acteurs.....	4
2. Les missions du stage : volet technique et expérimental	4
A. Le houblon, une culture à différentes échelles	6
1. Aspects botaniques d'une liane pérenne	6
2. Le houblon dans sa houblonnière.....	6
a) <i>Le tipi à petite échelle</i>	6
b) <i>Le treillis, adapté à grande échelle</i>	6
3. Les étapes de l'itinéraire technique	7
a) <i>Mise en place de la houblonnière</i>	7
b) <i>Etapas annuelles</i>	7
4. Mais pourquoi autant de variétés cultivées ?.....	8
B. Présentation de l'expérimentation.....	10
1. Des expérimentations en milieu paysan.....	10
2. Les variétés sélectionnées	33
3. Caractéristiques des houblonnières et houblonniers.....	10
4. Des contextes pédoclimatiques provençaux variés.....	10
3. Caractéristiques des houblonnières et houblonniers.....	10
4. Des contextes pédoclimatiques provençaux variés.....	10
C. Variables mesurées et protocoles.....	13
1. Stades phénologiques.....	13
2. Mesures tensiométriques.....	13
3. Hauteur des plants	14
4. Mesures de sensibilité aux bioagresseurs	39

a)	<i>Incidence (pourcentage de plants touchés)</i>	14
b)	<i>Sévérité</i>	14
5.	Les mesures à la récolte	14
6.	Itinéraires techniques	14
D.	Méthode d'analyse des données	15
a)	<i>Analyse descriptive des données</i>	15
b)	<i>Analyses statistiques</i>	15
III.	Résultats	17
A.	Mesures des indicateurs.....	17
1.	Stade de développement	17
2.	Suivi de croissance	18
3.	Gestion sanitaire.....	18
a)	<i>Présence du mildiou <i>Pseudoperonospora humuli</i></i>	18
b)	<i>Présence du puceron <i>Phorodon Humuli</i></i>	20
c)	<i>Présence de l'acarien <i>Tetranychus urticae</i></i>	21
4.	Les profils hydriques	23
5.	Itinéraires techniques	23
a)	<i>La taille</i>	24
b)	<i>Le tuteurage</i>	24
c)	<i>Gestion sanitaire de la parcelle</i>	24
d)	<i>Gestion des adventices</i>	25
e)	<i>Gestion de l'irrigation</i>	25
f)	<i>Logistique des récoltes</i>	26
B.	Statistique des résultats à la récolte	28
1.	Les différences de rendement inter et intra parcelles.	28
a)	<i>Comparaison intra-variétale</i>	28
b)	<i>Comparaison intra parcelle</i>	29
2.	Lien entre biomasse et rendement	31
3.	Lien entre rendement et hauteur	33
IV.	Analyse des résultats	34
A.	Gestion sanitaire : une prophylaxie nécessaire	34
1.	Le mildiou, ennemi numéro 1.....	34

2.	Pucerons et acariens.....	35
B.	Itinéraire technique : que faire et que faut-il éviter ?	36
1.	Gestion de l'enherbement.....	36
2.	Gestion de L'irrigation	37
3.	La taille, une étape précise parmi d'autres	37
C.	Comportements particuliers du houblon en Paca	38
1.	Un environnement particulier ; un itinéraire à adapter	38
2.	Réaction de la culture du houblon à son environnement	39
3.	Réponse variétale à l'environnement et plus particulièrement au mildiou	41
V.	Discussion.....	42
A.	Des limites de l'étude intrinsèques à l'expérimentation paysanne.....	42
B.	A quand la filière « Houblon de Provence » ?	43
C.	Houblon, PACA et changement climatique	44
	Conclusion.....	46

Table des illustrations – Photographies et figures

Figure 1 - Localisation des houblonnières partenaires du projet	9
Figure 2 - Surface des houblonnières suivies	11
Figure 3 - Hauteur des structures de houblonnières suivies	11
Figure 4 - Diagramme ombrothermique de la station de Hyères pour la saison 2021.....	11
Figure 5 - Diagramme ombrothermique de la station de Fréjus pour la saison 2021	11
Figure 6 - Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Cabrière.....	16
Figure 7 - Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Callian.....	16
Figure 8 - Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Gardanne	16
Figure 9 - Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Chorges .	19
Figure 10 - Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle d'Entraigues	19
Figure 11 - Apex principal atteint par le mildiou sur la parcelle d'Entraigues.....	19
Figure 12 - Evolution de la situation hydrique des parcelles à 20 cm de profondeur	22
Figure 13 - Itinéraires techniques suivis par les houblonniers pour la saison 2021	22
Figure 14 - Comparaison des rendements frais pour la variété Cascade	27
Figure 15 - Comparaison des rendements frais pour la variété Centennial	27
Figure 16 - Comparaison des rendements frais pour la variété Chinook	27
Figure 17 - Rendements comparés des variétés présentes sur la parcelle d'Entraigues	30
Figure 18 - Rendement frais en fonction de la biomasse foliaire	30
Figure 19 - Rendement frais en fonction de la hauteur de l'installation.....	32
Figure 20 - Rendement frais en fonction de la longueur productive	32

Table des illustrations – Tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques des variétés suivies	9
Tableau 2 - Variétés suivies par houblonnière	9
Tableau 3 - Interaction entre le rendement et l'impact du mildiou	40

Index des Annexes

Annexe I : Protocole de suivi parcellaire

Annexe II : Protocole de récolte

Annexe III : Echelle BBCH

Annexe IV : Maladies et ravageurs

Annexe V : Evolution des stades phénologiques en fonction des parcelles

Annexe VI : Evolution des stades phénologiques en fonction des variétés

Annexe VII : Evolution de la croissance en fonction des parcelles

Annexe VIII : Evolution de la croissance en fonction des variétés

Annexe IX : Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou en fonction des parcelles

Annexe X : Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou en fonction des variétés

Annexe XI : Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons en fonction des parcelles

Annexe XII : Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons en fonction des variétés

Annexe XIII : Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens en fonction des parcelles

Annexe XIV : Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens en fonction des variétés

Annexe XV : Evolution de la situation hydrique des parcelles

Annexe XVI : Comparaison des rendements frais par parcelle

Annexe XVII : Comparaison des rendements frais par variété

Annexe XVIII : Présentation des différents itinéraires techniques

Annexe XIX : Présentation des fiches houblonnières

Annexe XX : Diagrammes ombrothermiques

Annexe XXI : Analyse de l'expérience

Liste des abréviations

AB : Agriculture biologique

AG : Assemblée générale

AGPH : Association générale des producteurs de houblon de France

BBCH : “Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie”. En français « Centre fédéral de recherche biologique, Office fédéral des variétés végétales et Industrie chimique ».

Cbars : Centibars (10^{-2} bars)

Cm : Centimètres

EMP : Etude en milieu paysan

FEADER : Fonds européen agricole pour le développement rural

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GRAB : Groupe de recherche en agriculture biologique

GREC : Groupe d'études pour l'environnement et le climat

Ha : Hectare

HL : Hectolitres

IHGC : International Hop Growers' Convention. *En français* : convention internationale des cultivateurs de houblon.

MAF : Mise au fil

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

RU : Réserve utile

RFU : Réserve facilement utile

Glossaire :

Acides α et β : Composés chimiques dérivés de la lupuline (voir « Lupuline »).

Ancre à visser : Une ancre à visser est constituée d'une tige et d'une hélice. Lorsque l'effort est exercé sur l'ancre, le sol au-dessus de l'hélice se compacte et offre la résistance à la traction.

Adhumulone, Cohumulone, Humulone : Ce sont les trois principaux acides (voir « acides α et β »).

Apex : L'apex végétal est, chez un végétal, l'extrémité d'une tige, d'une racine, d'une feuille ou d'un thalle. Les cellules s'y divisent, s'allongent et assurent la croissance en longueur des tiges aériennes et souterraines.

Dioïque : Un organisme est dioïque lorsque les organes mâles et les organes femelles sont portés par des individus séparés, ainsi, les organismes dioïques sont dits unisexués.

Fâitage: Haut de la structure sur laquelle sont tuteurés les plants de houblon.

Fumagine : La fumagine est une maladie causée par différentes espèces de champignons qui se développent en voile sur le miellat (voir « miellat ») excrété par les insectes suceurs et/ou piqueurs.

Lupuline : La lupuline est une substance jaunâtre produite par les plants femelles du houblon et utilisée en brasserie pour donner à la bière arômes et amertume.

Miellat : Le miellat est un liquide visqueux excrété par certains insectes parasites, comme le puceron, le psylle, la cochenille ou l'aleurode. Ces insectes piquent les parties tendres des végétaux pour se nourrir de la sève.

Mise au fil : Installation des lianes autour du support tuteur dans la conduite culturale du houblon.

Oomycète : Les oomycètes sont placés parmi les Stramenopiles. Ces microorganismes ont un mycélium non cloisonné dont la paroi cellulaire contient des glucanes et de la cellulose, ce qui les distingue des champignons vrais.

Palmatilobé : Se dit d'une feuille palmée formée de lobes peu découpés.

Pardalera : La Pardalera ou « noueur de corde » permet de nouer le fil tuteur sur le câble de la houblonnière au moyen d'une perche.

Pelletisation : Le principe de pelletisation (également appelé granulation) est en opposition à la technologie de broyage : il consiste à assembler ou agglomérer de fines particules solides afin de former des éléments de plus grandes dimensions (sphères, briquettes ou encore pellets cylindriques).

Prophylaxie : Appliquée aux productions végétales et animales, la prophylaxie consiste à développer et utiliser un ensemble de pratiques pour prévenir l'apparition de problèmes sanitaires, souvent d'origine multifactorielle.

Trellis : Barres verticales, horizontales et diagonales formant des triangles, de sorte que chaque barre subisse un effort acceptable, et que la déformation de l'ensemble soit modérée

Introduction

Organisation, cohérence, technique, unité, gouvernance... Le chemin menant à la création d'une filière agricole est pavé d'autant de problématiques que d'opportunités. C'est en tout cas ce que constatent aujourd'hui les métiers gravitant autour de la culture du houblon en France, secteur agricole en pleine mutation. La culture de cette liane pérenne est aujourd'hui dynamisée par un contexte favorable, à l'origine d'un grand nombre de projets sur le territoire. Cette dynamique n'a pas échappé aux structures associatives Agribio 04 et La Bière de Provence, toutes deux implantées dans la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA). Un fonds européen destiné à l'expérimentation et l'évaluation participatives de cultures de houblons en climat méditerranéen à destination des brasseries artisanales de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur a été obtenu par la structure La Bière de Provence. Cette association rassemble plus d'un tiers des brasseurs de la région PACA. L'organisme professionnel agricole Agribio 04, regroupant les agriculteurs installés en agriculture biologique dans les Alpes-de-Haute-Provence, est un partenaire technique du projet. Ces deux partenaires en lien avec le Groupement de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB) œuvrent pour un projet commun visant à structurer une filière provençale de houblon en évaluant ses potentialités. Ce stage de fin d'étude s'est donc déroulé dans le cadre de ce projet multi partenarial, sur la période de mars à octobre 2021 dans la structure Agribio 04.

Le rapport qui suit est principalement axé sur la partie technique du projet. Les résultats ont été obtenus en se basant sur l'observation de sept houblonnières installées dans cinq départements de la région. La gestion de leur conduite culturale, l'observation des maladies et ravageurs, le développement physiologique des plants ou encore les variabilités climatiques sont autant de paramètres faisant partie des éléments étudiés pour comparer les différents systèmes suivis. Une importante veille bibliographique s'est révélée nécessaire en début de stage pour comprendre le contexte particulier de cette culture, mais aussi pour préparer les outils utilisés durant la partie terrain. Ainsi, la co-construction des protocoles, la rédaction des fiches de suivi et la préparation des feuilles de données Excel comprenant une importante partie de codage VBA ont précédé la période de mesure effectuée entre mars et septembre. Cette période s'est soldée par les récoltes, et enfin l'analyse des résultats.

Est-il possible de cultiver le houblon en Provence de manière pérenne en s'affranchissant des spécificités climatiques propres à la région PACA ? Nous répondrons à cette question en évaluant les performances agronomiques de huit variétés de houblon selon différents itinéraires techniques dans un contexte pédoclimatique provençal.

La nature des problématiques ayant mené au développement d'une culture locale de houblon tout comme les missions des partenaires du projet pour y répondre seront présentées dans une première partie. Les résultats obtenus tout au long de la saison seront présentés dans la seconde partie. L'analyse de ces résultats sera effectuée dans une troisième partie, où les tendances observées seront expliquées. Enfin, la quatrième partie comportera plusieurs thèmes de discussions, inhérents au développement d'une filière de houblon biologique en PACA.

I. Contextualisation de l'étude

A. Etat des lieux sur la production de houblon biologique

1. Une filière biologique française quasi inexistante

La production mondiale de houblon est aujourd'hui extrêmement polarisée entre les géants américains qui représentent 24 200 hectares pour 51 650 tonnes produites par an et les allemands produisant 47 000 tonnes de houblon par an sur 20 600 hectares (rendements « en sec » de 2020 d'après les estimations du International Hop Growers' Convention IHGC)¹. En possédant respectivement 39% et 38% des terres mondiales cultivées en houblon, ces deux pays se placent loin devant le reste des pays producteurs (Chine 6%, République Tchèque 5%, Royaume Uni 1%...)². La France, loin derrière, se place en 10ème position avec une surface de 505 hectares pour une production de 822 tonnes en 2020. Par ailleurs, la production mondiale de houblon conventionnelle écrase actuellement la production en agriculture biologique. En 2018, l'immense majorité des surfaces était menées en agriculture conventionnelle (99,4%), laissant 0.6% de surfaces produisant du houblon biologique³.

Une concentration des zones productives existe aussi en France. Pour des raisons historiques, la surface nationale cultivée en houblon a été divisée par 10 en 100 ans (4500 hectares cultivés à l'orée de la Première Guerre mondiale)⁴, et s'est maintenue en vie dans le Nord-Est de la France. Antoine Wuchner, secrétaire général de l'Association générale des producteurs de houblon de France (AGPH), le constate dans une interview accordée à la Tribune Verte : « *Au sein de l'AGPH, nous recensons 465 ha de production en Alsace, exploités par 45 houblonniers, 35 ha dans le Nord, et de l'ordre de 20 ha dans le reste du pays.* » En 2020, l'Alsace concentrait 96% de la production française⁵.

Enfin, il est clair qu'avec ses 50 hectares productifs, le marché du houblon biologique français reste à ce jour un marché de niche en comparaison aux mastodontes américains de la vallée de Yakima, première zone productive américaine⁶. Pourtant, bien que largement minoritaire face à son homologue conventionnel, le houblon certifié en agriculture biologique est en nette progression sur le territoire français. Entre 2015 et 2019, la surface labellisée en Agriculture Biologique (AB) et en conversion a quintuplé pour passer de 21 à 110 hectares (avec environ 60 hectares en conversion)⁷.

2. Un contexte favorable

Entre 2012 et 2018, le nombre de microbrasseurs a plus que triplé en France pour passer de 433 à 1500⁸. Cette hausse s'est logiquement accompagnée d'une augmentation de la demande pour les produits liés à la fabrication de la bière, dont le houblon. En 2019, 30% des brasseurs français étaient installés avec le label Agriculture Biologique (AB)⁹, représentant 285 brasseries, 560 bières, et 100 000 hectolitres annuels de bières certifiées en AB. La mise en place d'aides couplées à la production de houblon en 2015¹⁰ explique aussi l'augmentation du nombre de porteurs de projets néo-houblonniers. Ces nouvelles exploitations cultivent en général moins de 4 ha et la grande majorité est en AB¹¹. Un changement de réglementation dans le cahier des charges brassicole en AB participe aussi à cette dynamique d'installation et de passage en bio.

Cependant l'offre en houblon biologique reste nettement plus faible que la demande, et pousse actuellement les brasseurs en AB à utiliser du houblon conventionnel. Cette pratique, historiquement règlementée par une dérogation d'un an renouvelable trois fois (c'est-à-dire trois ans au total) à demander au ministère de l'agriculture, a été modifiée le 1^{er} janvier 2021¹². Cette modification a entraîné une réduction de la durée de validité de la dérogation à six mois renouvelable deux fois. L'agrandissement des surfaces productives françaises en houblon biologique est donc nécessaire sous peine de voir se développer les marchés étrangers au détriment de la filière française.

Enfin, l'engouement pour les filières locales des consommateurs et des acteurs de la filière tend à favoriser l'approvisionnement en circuits courts des petits brasseurs. Certains systèmes de contractualisation apparaissent entre brasseries et houblonnières, afin de gérer le problème de l'approvisionnement très imparfait et non sécurisant pour les brasseurs de taille modeste aujourd'hui¹³. En effet un grand nombre d'entre eux se fournit via des réseaux de distribution de houblon internationaux, les mêmes utilisés par des brasseurs beaucoup plus importants. En cas de manque à la production les commandes prioritaires sont les plus importantes (plus grande quantité de houblon), au détriment des commandes plus ponctuelles faites par les microbrasseries.

L'augmentation de la demande en houblon biologique et local est donc observable sur le territoire français. Qu'en est-il dans la région PACA ?

3. Des références techniques attendues en PACA

Dans la région PACA, il n'existe en 2021 aucune filière ou coopérative à proprement parler. Une enquête¹⁴ a toutefois été réalisée par Agribio 04 et l'association Bière de Provence pour évaluer les besoins des brasseurs de la région PACA. Un échantillon de 18 brasseries locales a participé à l'étude de marché afin de qualifier et quantifier leur besoin en houblon biologique issu de région PACA. En mettant de côté les variétés brevetées et non libres de droit, une demande de 2 tonnes a été évaluée pour des productions allant de 20 à 2000 hectolitres (hl) par an. Selon les données de la Bière de Provence, en 2021 environs 116 brasseries sont en fonctionnement dans la région pour 55000 hl produits. Nous pouvons donc estimer que la demande réelle en houblon est beaucoup plus importante que les deux tonnes annoncées.

Pourtant cette demande est loin d'être comblée par l'offre très faible émanant des quelques houblonnières de la région. En outre, s'additionnent à cela une faible surface et un manque de références propres à cette culture dans un environnement provençal. La très grande majorité des documents technico-économiques existants est dirigée vers la zone de production majoritaire française (Alsace et Hauts-de-France), mais peu pour le reste du territoire.

Ce déséquilibre offre-demande devient donc un réel enjeu localement compte tenu du contexte décrit plus haut. La nécessité d'une relocalisation de la production pousse aujourd'hui plusieurs organismes à structurer une filière cohérente, au sein du projet Houblon.

B. Le projet FEADER houblon biologique en PACA

1. Le projet et ses acteurs

Ce stage s'insère dans le cadre d'un projet de développement d'une filière locale et biologique de houblon en PACA. Il est financé par le fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER) pour une durée de 3 ans.

Le porteur de ce projet est La Bière de Provence¹⁵, l'association régionale des professionnels de la filière brassicole en région Sud Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Fondée en 2012, cette association s'intéresse aux différentes problématiques rencontrées en micro-brasserie en facilitant les échanges des brasseurs mis en réseau. Son grand axe de travail actuel est le développement des filières locales pour l'approvisionnement en matières premières (orge et houblon). Pour le houblon, un partenariat a été créé avec l'organisme Agribio 04 qui se charge de l'accompagnement technique et du suivi variétal des parcelles cultivées.

Agribio 04¹⁶, structure d'accueil de ce stage, est l'association qui regroupe les producteurs biologiques des Alpes de Haute-Provence. Elle a pour objectifs de défendre, promouvoir et développer l'agriculture biologique sur le territoire. Pour mener à bien ces objectifs, l'équipe d'Agribio met en œuvre des actions d'accompagnement technique des agriculteurs et porteurs de projet en AB, des actions de développement des marchés ainsi que des actions de promotion de l'agriculture biologique.

Le GRAB¹⁷, groupe de recherche en agriculture biologique, est partenaire du projet principalement pour l'écriture des démarches scientifiques et des protocoles de terrain. Pour la saison 2021, le GRAB s'est positionné sur l'étude des maladies et des ravageurs du houblon.

Sept houblonnières présentes dans la région PACA sont aussi partenaires de ce projet, en alimentant les références techniques par les résultats obtenus dans leur système d'exploitation. Il en est de même pour une parcelle expérimentale de houblon située à Gardanne dans le lycée agricole de Valabre, lui-même partenaire du projet.

Jordi Sanchez est installé en Catalogne dans la houblonnière Lupulina. Depuis 2013, date de création de son exploitation agricole, il étudie l'effet d'un environnement chaud et sec sur ses trois hectares de culture. Il est rapidement devenu une référence pour les houblonnières s'installant dans les régions du sud de la France en demande d'informations techniques. Il est sollicité dans ce projet comme intervenant auprès des houblonniers lors de journées techniques, et plus largement comme source ponctuelle d'informations. Un voyage d'étude a été organisé fin août 2021 dans sa houblonnière lors des récoltes.

Enfin la jeune entreprise HOPEN, structure d'accompagnement technique et fournisseur de houblon a pu faire bénéficier le projet par des conseils techniques ponctuels.

2. Les missions du stage : volet technique et expérimental

Le but du projet est la création d'un guide final regroupant l'ensemble des données collectées et analysées. Ce dernier sera réalisé dans une logique de transmission d'informations aux porteurs de projet, aux houblonnières installées, et aux partenaires du projet.

Dans ce projet, Agribio 04 s'investit – notamment via le stage – dans la création de références techniques pour accompagner l'installation de néo-houblonniers en région provençale. En effet les conditions pédoclimatiques propres à la région PACA nécessitent d'adapter les techniques culturales et les variétés en comparaison aux références alsaciennes, notamment vis-à-vis du vent et de la sécheresse estivale.

Au sein de ce rapport nous allons comparer huit variétés de houblon cultivées sur sept sites, afin d'évaluer la réponse de la culture au contexte environnemental provençal.

II. Matériels et méthodes

Une première partie relative à la culture du houblon précèdera les détails sur la présentation de l'expérimentation mise en place pour la saison 2021.

A. Le houblon, une culture à différentes échelles

Nous verrons dans cette partie les caractéristiques botaniques du houblon, ainsi que les différents types d'installation en houblonnière. Les différentes étapes « classiques » de l'itinéraire technique seront présentées, afin de comparer par la suite les pratiques adoptées par les houblonniers suivis durant cette étude.

1. Aspects botaniques d'une liane pérenne

Le Houblon (*Humulus lupulus*) est une plante herbacée vivace grimpante de la famille des Cannabaceae. Elle est dioïque (strictement monosexuée) et reconnaissable à partir du début de la floraison (juin-septembre). Les feuilles du houblon sont palmatilobées en cœur avec 3 ou 5 lobes et sont disposées de manière opposée sur la tige. Le houblon est une plante vivace qui possède un rhizome d'où partent les lianes se desséchant chaque année après la fructification (octobre-novembre), pour repartir de la souche en mars. Cette racine en pivot peut aller chercher de l'eau en profondeur pour répondre à ses besoins hydriques. La liane est annuelle et peut grimper jusqu'à 10 mètres¹⁸ sur un support vertical en s'enroulant autour dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans un environnement naturel, ce sont les bords de rivières et plus généralement les zones humides à sol drainant qui accueillent les pieds de houblon sauvage. Les graines sont portées par les cônes des plants femelles fécondées, succédant aux fleurs dans les étapes de développement.

2. Le houblon dans sa houblonnière

Différentes structures de houblonnière existent, ayant toutes comme point commun la recherche de verticalité pour faire grimper le houblon. La surface, l'environnement de la parcelle et le coût initial (pour ne nommer qu'eux) sont autant de paramètres qui rentrent en jeu dans le choix d'installation de l'un des systèmes suivants.

a) *Le tipi à petite échelle*

La structure en tipi consiste à l'installation d'un poteau central, stabilisé par des fils en acier reliés de la cime à un ancrage au sol. Les plants de houblon sont séparés d'un mètre entre eux et installés en cercle avec comme centre le pied du poteau. Ce type de structure est rarement utilisé dans des houblonnières professionnelles car il n'est très peu, voire pas mécanisable. De plus, le coût d'installation à l'hectare est beaucoup plus élevé qu'un système de treillis (décrit plus bas) notamment à cause du prix des poteaux. Néanmoins, dans le cadre d'une installation modeste pour une petite production non mécanisée ce type d'installation est adapté.

b) *Le treillis, adapté à grande échelle*

La structure en treillis est conçue dans une logique d'exploitation à grande échelle car la mécanisation y est possible, et le coût des matériaux est le plus faible relativement à la surface. Un maillage de câbles aérien est soutenu par deux types de poteau. Les premiers

d'entre eux : les « médians », sont plantés à la verticale et enfoncés d'un mètre ou plus en fonction de leur taille. Les seconds, en bord de parcelle : les « bordiers », sont inclinés d'un angle variable (de 30° à 45°) et reliés au sol par des fils d'aciers. L'ancrage au sol des fils en aciers se fait par l'utilisation d'ancres à visser installées préalablement. Ces types de structure sont très largement utilisés dans le milieu professionnel.

3. Les étapes de l'itinéraire technique

a) *Mise en place de la houblonnière*

L'installation des poteaux est la première étape de la mise en place d'une houblonnière. Enfoncés à plus d'un mètre dans le sol, ils sont reliés entre eux par des câbles en aciers ancrés au sol aux deux extrémités. Le coût en matières brutes pour une structure en treillis est évalué à 16.000€ l'hectare (poteaux, câbles, quincaillerie)¹⁹.

Une étape de préparation du sol est alors réalisée. Plusieurs techniques peuvent être employées : Chisel, Rotovator, Herse... Le but étant de décompacter un sol qui ne sera plus travaillé en profondeur au niveau des rangs du fait de la pérennité de la culture.

Un système d'irrigation peut être installé sur le rang si les précipitations sont faibles ou trop hétérogènes (risque de sécheresse en été). Pour une installation « classique » dans la région provençale où la pluviométrie est très faible en été, l'installation d'un système d'irrigation est nécessaire.

Enfin, la plantation peut être réalisée dans des tranchées préalablement ouvertes et fertilisées (besoins à estimer en fonction de la qualité de la parcelle). L'espacement des rangs varie entre trois et cinq mètres en fonction de la taille des machines agricoles, pour un espacement sur le rang d'un mètre entre les plants.

b) *Etapes annuelles*

Comme présenté dans la description botanique, un cycle annuel régit la croissance du houblon. Le rythme des saisons impose donc successivement le développement des lianes (mars – juin), des inflorescences (juin – septembre), leur sénescence, puis la survie du plant sous forme de rhizome (octobre – mars). Le houblonnier va donc adapter son itinéraire technique aux différentes étapes de la croissance.

La fertilité peut être gérée de plusieurs manières. Du compost ou un autre type de matière organique peut être apporté une à deux fois par an. Par exemple 15 à 20 tonnes/hectare de fumier peuvent être apportées à la fin de l'hiver²⁰, auxquelles s'ajoute un complément organique azoté au mois de mai (période d'élongation des lianes). L'agriculteur peut aussi avoir recours à l'utilisation d'engrais verts dans l'inter rang pendant la période non productive (octobre – mars).

La taille des plants a normalement lieu au mois de mai, et se justifie pour plusieurs raisons. Les premiers jets sortant au mois de mars sont en général issus du reste des lianes souterraines de l'année passée mais pas du rhizome. Ce sont dans ces lianes que les spores du mildiou (*Pseudoperonospora humuli*) passent l'hiver, susceptibles de contaminer les jeunes plants au moment de la repousse. Aussi, un départ des jets dès le mois de mars impliquerait

une croissance trop rapide des lianes, qui atteindraient le faitage (haut de la structure) trop tôt. Enfin, un arrachage des jets se développant horizontalement permet de contrôler une culture pouvant se révéler très envahissante en dehors du rang. La taille consiste donc à couper la zone située entre le rhizome principal et les départs de jets de l'année passée.

Après la taille il faut installer les fils tuteurs sur lesquels le houblon va venir s'enrouler. La mise au fil s'effectue en avril – mai et consiste à sélectionner les lianes les plus productives pour les enrouler autour du fil dans le sens horaire²¹. Le nombre de jets à sélectionner va varier selon la littérature choisie entre 4 pour certains²² 6 pour d'autres²³. Cette étape peut s'effectuer à l'aide d'une nacelle, d'un échafaudage ou encore d'une Pardalera²⁴, instrument spécialement conçu pour effectuer des nœuds en hauteur. Les plants de houblon vont ensuite croître pour atteindre le haut de la structure au mieux le 21 juin, date à laquelle la durée de l'ensoleillement diminue. Cette réduction du temps d'ensoleillement entraînerait un développement plus rapide des organes reproductifs (fleurs puis cônes).

Une fois la mise au fil effectuée, ce sont les étapes de contrôle de l'enherbement et des bioagresseurs qui vont se succéder jusqu'à la récolte. Les ravageurs et maladies sont présentés dans l'annexe IV, et le protocole de surveillance de l'état sanitaire du houblon dans l'annexe I.

En France la récolte des cônes s'effectue entre début août et fin septembre, et consiste au ramassage des lianes puis à la séparation des cônes de la liane. Cette étape peut être manuelle ou mécanisée en fonction de la taille de la parcelle. En effet « on compte généralement 30 minutes par liane en récolte manuelle, et 10 secondes à 1 minute de manière mécanisée »²⁵. Les cônes sont ensuite séchés jusqu'à atteindre 10% à 12% d'humidité, la majorité d'entre eux sont transformés en pellets et mis sous vide. Cette dernière transformation favorise la conservation et facilite le stockage du houblon.

Enfin, une particularité de la production de houblon est que celle-ci est soumise à des analyses en laboratoire avant commercialisation. Cette réglementation s'applique dans le cadre d'une vente professionnelle sous la forme d'un certificat émis par FranceAgriMer ou par une structure juridique agréementée²⁶. Ce contrôle évalue la proportion de feuilles, de tiges et de graines dans un échantillon représentatif de la récolte²⁷. Un contrôle du respect des exigences minimales de commercialisation concernant le taux d'humidité est aussi réalisé.

4. Mais pourquoi autant de variétés cultivées ?

Le nombre impressionnant de variétés cultivées s'explique par l'intérêt des brasseurs à donner une identité à leur produit. Les 200 variétés cultivées aujourd'hui dans le monde²⁸ sont des combinaisons différentes des 400 substances identifiées dans l'huile essentielle de houblon²⁹ apportant le côté aromatique. A cela s'ajoutent des variations de taux en acides α et β (alphas et bétas) contenus dans les résines de la lupuline^{30,31}. C'est l'isomérisation des trois molécules principales des acides α (humulone, cohumulone et adhumulone) lors de la phase d'ébullition qui va donner l'amertume de la bière. Les pouvoirs amérisants (beaucoup plus modestes que ceux de l'acide α) et antibactériens des acides β vont se développer lors de la fermentation.

Pour faciliter la classification des houblons, trois catégories ont été créées. Les houblons « amérisants » sont caractérisés par des taux en acide alphas plus élevés que les taux en huiles

Type	Nom variété	Taux d'acide α dont Cohumulone (%)	Total des huiles (ml/100g)	Profil
Aromatique	Cascade	4,5 - 8,9 dont 33 - 40	0,8 - 1,5	Floral, Agrume
	Fuggle	4 - 5,5 dont 27 - 33	0,44 - 0,83	Floral, Herbeux
	Glacier	5,5 - 6,7 dont 11 - 13	0,7 - 1,6	Agrumes et terreux
	Willamette	4 - 6 dont 30 - 35	1 - 1,5	Agrume, Epicé
Amérisant	Chinook	12 - 14 dont 29 - 34	1,5 - 2,7	Agrume, Pin, Pimenté
	Magnum	12 - 14 dont 24 - 25	1,9 - 2,3	Fruité
	Nugget	9,5 - 14 dont 22 - 30	1,5 - 3	Floral, Résineux, Epicé, Pimenté
Double	Centennial	9,5 - 11,5 dont 38 - 45	1,6 - 2,5	Floral, Agrume

Tableau 1 – Caractéristiques des variétés suivies

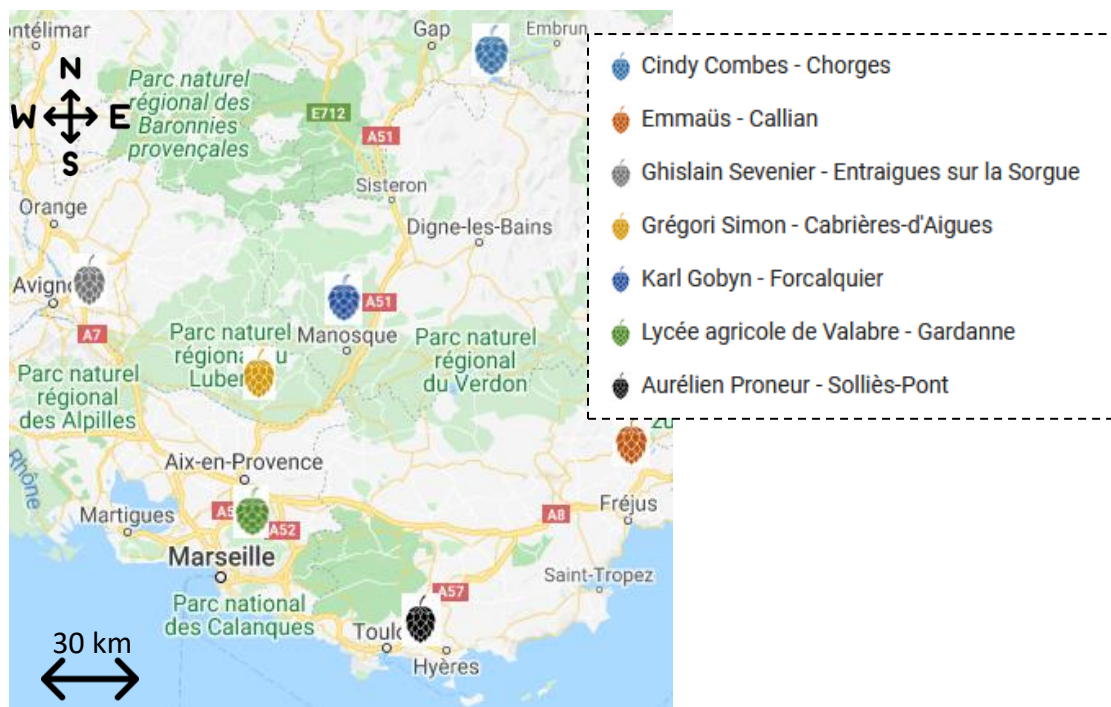


Figure 1 – Localisation des houblonnières partenaires du projet

	Cabrière	Callian	Chorges	Entraigues	Forcalquier	Gardanne	Solliès-Pont
Variétés Cultivées	Cascade Centennial Chinook Fuggle Glacier Magnum Willamette	Cascade Centennial Glacier Chinook	Cascade Chinook Magnum Saaz	Cascade, Centennial Chinook Fuggle Glacier Nugget Willamette	Cascade Centennial Chinook Glacier Magnum Nugget	Cascade Centennial Chinook Fuggle Glacier Nugget Willamette	Cascade

Tableau 2 – Variétés suivies par houblonnière

essentielles. Les houblons « aromatiques » ont des taux plus élevés en huiles essentielles, tandis que les « doubles » possèdent les deux caractéristiques en même temps.

B. Présentation de l'expérimentation

Des échantillons de huit plants représentatifs de chaque variété ont été sélectionnés par parcelle afin de réaliser une analyse à deux niveaux ; intra et inter parcellaire. Les mesures décrites dans cette partie sont effectuées pour chacun des pieds sélectionnés. Elles ont été réalisées toutes les deux semaines, de la mise au fil jusqu'à la récolte. Les protocoles suivis pour l'obtention de ces données sont placés en annexe I. La structure Agribio 04 est chargée de la partie technique du projet. C'est donc elle qui a effectué les visites bimensuelles chez les houblonniers afin d'effectuer les mesures. Un travail de préparation à la saisie des mesures a précédé la période de visite des parcelles. Cette étape a permis d'automatiser la création des différents graphes présentés dans ce rapport grâce au langage VBA sur Excel. De même, la conception des supports de notation et des protocoles utilisés pendant les visites a été effectuée pendant cette période.

1. Des expérimentations en milieu paysan

Les données sont mesurées directement dans le système productif des houblonniers, se rapprochant de ce que l'on appelle l'Expérimentation en Milieu Paysan (EMP). Cette approche caractérise « l'expérimentation dans des conditions de la pratique paysanne, des améliorations possibles des modes et conditions d'exploitation agricole³² ». Cette démarche invite à « mettre en valeur le milieu afin d'en évaluer les effets techniques économiques et sociaux sur le fonctionnement des exploitations ». Dans l'écriture du rapport l'accent est mis principalement sur la partie technique, différenciant la méthode d'une EMP classique. Les intérêts et limites de cette approche seront discutés dans la dernière partie.

2. Les variétés sélectionnées

Huit variétés de houblon ont été choisies lors d'une réunion organisée par l'association porteuse du projet en 2018. Les variétés sont décrites succinctement dans le tableau 1. Il est à noter que le pourcentage en Cohumulone des acides alphas est renseigné car la présence de cette molécule donne une amertume plus franche à la bière³³. Les données sont tirées du catalogue de Brouwland³⁴ et de la base de données collaboratives Univers Bière³⁵.

3. Caractéristiques des houblonnières et houblonniers

Sept parcelles sont suivies sur la saison 2021, six houblonnières et une parcelle expérimentale située dans le lycée agricole de Valabre à Gardanne. La figure 1 indique la localisation des parcelles en PACA. Le tableau 2 fait référence aux variétés cultivées sur ces parcelles et suivies dans le cadre du projet pour la saison 2021.

Il est à noter qu'aucun des houblonniers partenaire du projet n'exerce cette fonction en tant qu'activité principale sur la saison 2021. Cindy Combe installée à Chorges et Aurélien Proneur installé à Solliès-Pont sont tous les deux chefs d'exploitation maraichère et cultivent le houblon sur une partie de leur terrain. Grégori Simon est vidéaste, il a installé sa parcelle sur une parcelle à Cabrière proche de son domicile. Ghislain Sevenier, installé à Entraigues sur la Sorgue, travaille à l'INRA et possède le statut agricole de conjoint collaborateur sur l'exploitation de poules pondeuses de sa compagne. Ayant démarré la production de bières

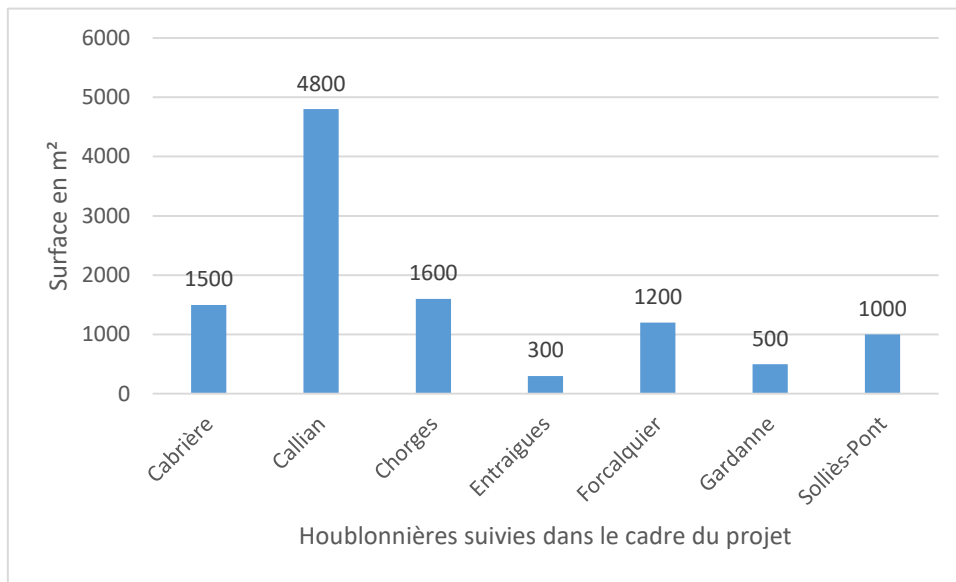


Figure 2 – Surface des houblonnières suivies

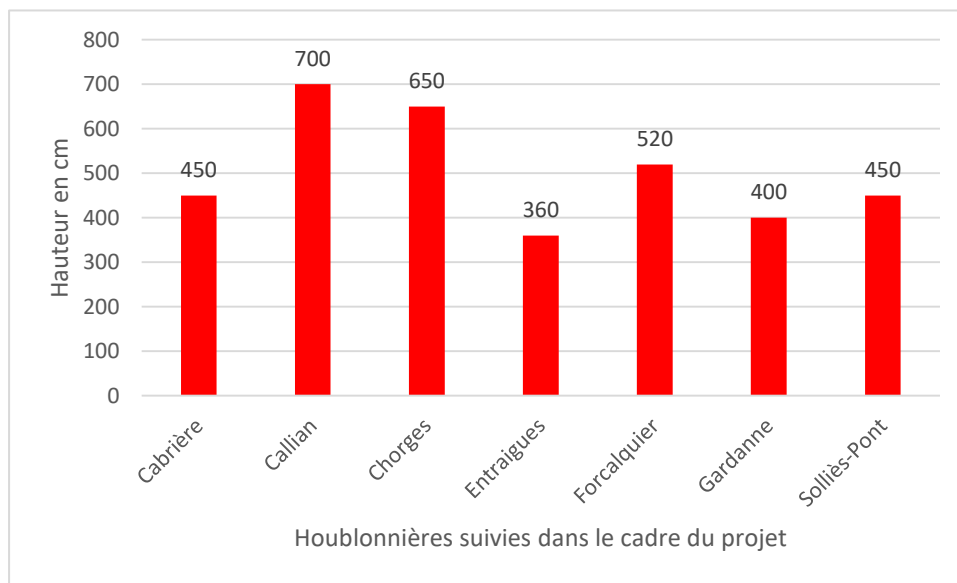


Figure 3 – Hauteur des structures de houblonnières suivies

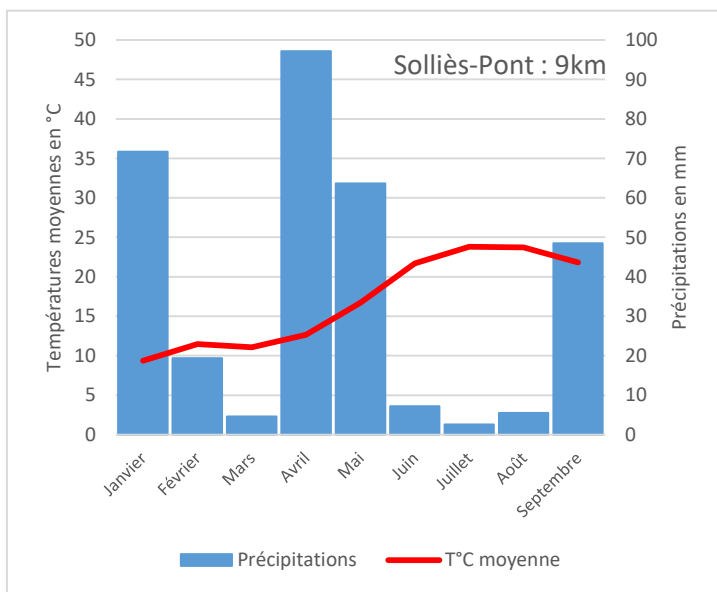


Figure 4 – Diagramme ombrothermique de la station de Hyères pour la saison 2021

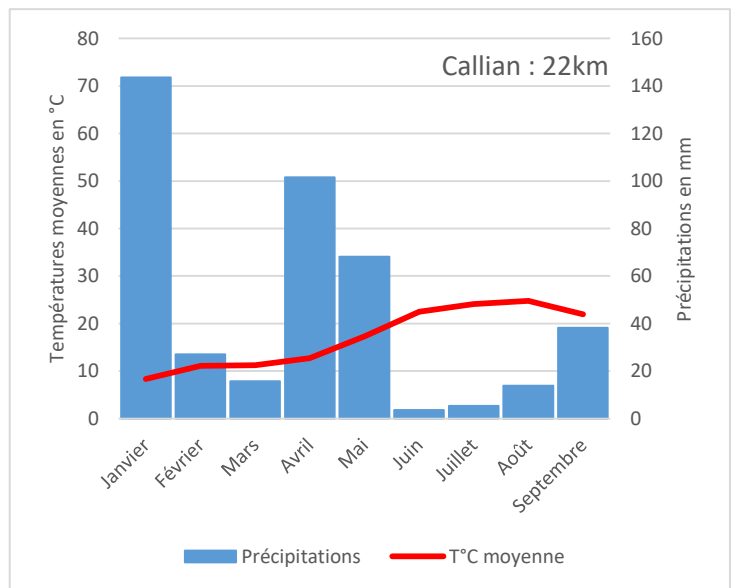


Figure 5 – Diagramme ombrothermique de la station de Fréjus pour la saison 2021

artisanales sur la ferme, il a profité du lancement du projet porté par la Bière de Provence pour installer une parcelle de houblon proche de la brasserie. Karl Gobyn est houblonnier en activité principale à Forcalquier. La parcelle suivie pour la saison 2021 est son ancienne parcelle test, à laquelle va succéder la nouvelle houblonnière qui entrera en production en 2022. Emmaüs Var s'est implanté dans une ferme agricole située à Callian en 2001. Depuis 2020, les personnes hébergées sur place y ont débuté une activité de production de houblon sur une parcelle à proximité. Les sept parcelles suivies pour l'année 2021 sont présentées en annexe XIX. Chacun des systèmes est décrit par une fiche relative aux caractéristiques techniques et environnementales de ces dernières (altitude, hauteur au faitage, surfaces, diagramme ombrothermique...).

La date de plantation a un effet important sur le rendement en début de plantation. Selon l'entreprise Hopen, 20% des rendements sont atteints en première année, 50 en deuxième, 80% en troisième, et 100% quatrième³⁶. Dans le projet les plantations les plus récentes ont été faites à Callian (juillet 2020), Cabrière (avril 2020), Gardanne (mars 2020) et Chorges (novembre 2019). Ces parcelles étaient donc en deuxième année de production pour la saison 2021. Les houblonnières d'Entraigues, Forcalquier et Solliès-Pont étaient en quatrième année de production car plantées en 2018.

La hauteur des structures ainsi que la taille des parcelles diffère grandement en fonction de la houblonnière (figures 2 et 3). Ces données auront un impact sur l'itinéraire technique choisi par les houblonniers.

4. Des contextes pédoclimatiques provençaux variés

Les houblonnières participant au projet sont toutes situées en région PACA mais bénéficient de contextes pédoclimatiques différents. En effet dans cette étude tous les départements sont représentés à l'exception des Alpes Maritimes. Pour cette partie et la suite du rapport nous rappelons qu'1 mm de précipitation correspond à 10m³/ha.

Comme l'explique le Groupement d'expert sur le Climat, « le climat méditerranéen est avant tout caractérisé par une sécheresse et une chaleur estivales, et secondairement par la relative douceur des températures hivernales. Les précipitations en Provence-Alpes-Côte d'Azur dépassent 500 mm par an en moyenne, mais varient fortement d'une année ou d'un mois sur l'autre. A de longues périodes sèches peuvent succéder des averses d'une intensité remarquable³⁷ ». Des vents importants sont aussi caractéristiques de la région comme le Mistral (vent Nord-Sud descendant de la vallée du Rhône), mais aussi la Lombarde, le Grec, le Levant, le Sirocco³⁸...

Concernant les caractéristiques pédologiques de la région, une forte variabilité des types de sols ne permet pas une approche globale. Les caractéristiques pédologiques propres à chaque parcelle sont explicitées dans les fiches de présentation des parcelles suivies (annexe XIX). On y trouvera également un diagramme ombrothermique présentant les températures et précipitations pour chaque parcelle suivie pour la saison 2021 (annexe XX). Il est à noter que les relevés importants sont ceux effectués entre avril et septembre correspondant à la période de développement du plant. L'étude des figures 4 et 5 nous indique que les parcelles de

Solliès-Pont ainsi que celle de Callian sont celles qui ont le plus souffert de la sécheresse pour la période juin, juillet, août de l'année 2021. Les stations d'Avignon et Dauphin, proches de la parcelle d'Entraigues et de Forcalquier, témoignent d'un mois de juin très sec suivi de deux mois plus humides.

A Cabrière et Gardanne c'est à l'inverse le mois de juin qui totalise environ 10 mm de précipitation en plus que les mois de juillet et août. C'est la parcelle de Chorges qui a le moins subi la sécheresse estivale, atteignant même les 80 mm de pluie au mois de juillet. Enfin, toutes les parcelles ont bénéficié de précipitations importantes aux mois d'avril et mai 2021, quand les plants de houblon ont commencé à se développer.

C. Variables mesurées et protocoles

Plusieurs indicateurs ont été sélectionnés afin d'évaluer puis comparer les résultats des variétés et des différents itinéraires techniques. Ces indicateurs ont été choisis dans une réflexion commune entre Agribio 04, le Grab et Jordi Sanchez. L'entreprise Hopen (structure d'accompagnement technique et fournisseur de houblon) a aussi accompagné le choix des variables mesurées. Les protocoles ont évolué pendant le stage grâce aux échanges avec les houblonniers, aux réflexions et aux observations sur les parcelles.

1. Stades phénologiques

Les stades phénologiques du houblon sont expliqués et illustrés dans l'annexe III. Le code BBCH utilisé lors de l'étude emploie un système de code universel décimal subdivisé en stades de croissance principaux et secondaires³⁹. Dans cette étude le premier stade est le numéro 30 et correspond à l'élongation du plant sur son support. Il est à noter qu'il n'existe pas de stade 40 à 49 dans ce système de suivi. Viennent ensuite la phase d'élongation des ramifications secondaires (50 à 59), la floraison (60 à 69) et la formation de cônes (70 à 89).

2. Mesures tensiométriques

La disponibilité hydrique est une contrainte à évaluer dans un système agricole en environnement méditerranéen, d'autant plus pour une culture gourmande en eau comme le houblon. Pour évaluer cette disponibilité tout au long de la saison, des tensiomètres ont été installés sur les parcelles afin de tracer le profil hydrique des sols cultivés. La particularité des sondes tensiométrique est qu'elles ne mesurent pas directement la quantité d'eau disponible pour les racines, mais la force que ces dernières doivent déployer pour extraire l'eau du sol⁴⁰. La tension mesurée représente donc la force de liaison entre l'eau et le sol. Plus les valeurs sont élevées, plus l'eau est difficile à extraire pour la plante. Les données sont exprimées en centibars (cbars), et varient entre 0 et 200 cbars. Les valeurs allant de 0 à 10 cbars sont caractéristiques d'un sol saturé en eau, de 10 à 20 cbars pour un sol ressuyé, de 50 à 80 cbars pour atteindre les seuils de la réserve facilement utilisable (RFU) et au-delà pour un sol desséché. Pour notre étude, nous utiliserons comme zone de confort hydrique les valeurs comprises entre 10 et 60 cbars d'après les conseils de la structure Challenge Agriculture⁴¹. D'après leurs conseils également, nous suivrons la dynamique de l'eau grâce aux pentes observées sur les graphes. Sur chaque parcelle trois répétitions de sondes ont été installées à deux profondeurs (20 et 40 centimètres) et à trois profondeurs au lycée agricole (20, 40 et 60 centimètres). Un prélèvement manuel bimensuel est effectué au moment des visites, à l'aide

d'un boîtier Watermark⁴². Il est cependant à noter que les mesures sont ponctuelles, il ne sera donc pas possible d'effectuer un véritable suivi hydrique. Un enregistrement de la tensiométrie en continue permettrait de connaître l'évolution de l'humidité dans le sol au cours d'une même journée et les tendances hydrique plus générales.

3. Hauteur des plants

La hauteur des plants est mesurée toutes les deux semaines jusqu'à ce qu'ils atteignent le faitage. Après cette étape la croissance s'arrête car il n'y a plus de support disponible. Afin d'avoir une idée exacte de la hauteur du plant, la deuxième liane la plus haute est mesurée. En effet il peut arriver qu'une liane charpentière appelée communément « Bull Shoot » grimpe beaucoup plus vite que les autres, ce qui n'est pas représentatif de la croissance du plant dans son ensemble. Les hauteurs mesurées successivement nous renseignent sur l'état du plant par rapport aux dates de référence attendues (date d'arrivée au faitage, date de taille, date de mise au fil...). Un mètre ruban est utilisé pour effectuer la mesure.

4. Mesures de sensibilité aux bioagresseurs

Les différents bioagresseurs du houblon sont présentés en annexe IV. Pour la saison 2021 le mildiou, le puceron et l'acarien ont été suivis car ce sont les trois bioagresseurs majoritairement présents sur les houblonnières provençales. Afin de quantifier les dégâts observés sur les plantes et les rendre comparables, des mesures portant sur l'incidence et la sévérité de chacun des bioagresseurs ont été réalisées sur les plants sélectionnés.

a) Incidence (pourcentage de plants touchés)

L'incidence représente la proportion de plantes malades ou atteintes par un bioagresseur au sein d'une unité expérimentale⁴³. Cette variable sera calculée en divisant le nombre de plants touchés par le nombre de plants totaux au sein d'une population. Elle sera évaluée sur une échelle variant de 0 (aucun plant touché) à 1.

b) Sévérité

La sévérité représente la quantité de maladie ou de bioagresseur observée sur un plant. Elle sera évaluée sur une échelle variant de 0 (absence de symptômes) à 1. Chaque dixième correspond au pourcentage du plant touché (0,1 : 10% des organes du plant sont touchés).

5. Les mesures à la récolte

Des mesures sont effectuées lors des récoltes afin d'obtenir le rendement moyen par variété et par parcelle (en gramme de cônes frais par plant). La mesure du poids total aérien des plants (feuilles, cônes et tiges) sera réalisée afin d'observer un lien possible entre couverture foliaire et rendement. Sur chaque plant les hauteurs de floraison et de côneaison les plus basses sont notées, pour être analysées dans la partie statistique.

6. Itinéraires techniques

Les opérations réalisées par les houblonniers sur leur parcelle sont annotées par ces derniers, sur un livret qui leur a été transmis en début de saison. Ce document regroupe les différentes étapes réalisées sur la parcelle pendant l'année, la date, le temps passé à les effectuer ainsi que les doses ou quantités liées à l'opération culturale (quantité de compost par plant, litre d'eau...). Les données des itinéraires techniques seront mises en relation avec les différents

résultats afin d'expliquer les différences observées entre les parcelles (gestion des maladies, date de mise au fil...).

D. Méthode d'analyse des données

a) *Analyse descriptive des données*

Les données mesurées lors des suivis parcellaires seront traitées dans un premier temps par des graphiques retraçant l'historique de l'état de la parcelle pour la saison 2021. Une première analyse sera effectuée en décrivant les observations relevées lors des visites bimensuelles.

b) *Analyses statistiques*

Différentes analyses statistiques seront effectuées grâce au logiciel R. Ces analyses porteront sur les rendements obtenus dans les houblonnières pour chaque variété étudiées. Les tests porteront sur les mesures de biomasse et de hauteur productive par rapport aux rendements obtenus.

Des tests portant sur l'égalité des variances seront effectués afin d'évaluer si les différences au sein des échantillons sélectionnés sont significatives. Pour cela deux options de test sont possibles et dépendent de la vérification des conditions préalables : les populations étudiées suivent une distribution normale, l'homoscedasticité des résidus est respectée, les échantillons de tailles sont prélevés aléatoirement et indépendamment dans les populations. Afin d'évaluer la normalité des distributions au sein de chacune des populations, le test de Shapiro-Wilk est effectué. L'absence de significativité au sein de chacune de ces populations (p -value supérieure à 0.05) nous indique que la répartition des variances est normale chez ces populations. Pour vérifier l'homoscedasticité des résidus nous utiliserons le test de Bartlett. Une p -value supérieur à 0,05 nous indique que cette condition est respectée.

Si ces 3 conditions sont respectées une ANOVA sera réalisée sur les échantillons. Cependant si l'une de ces conditions n'est pas vérifiée un test de Kruskal Wallis, non paramétrique, sera effectué. Ensuite, dans le cas où au moins un des échantillons est différent d'un autre, deux méthodes pourront être utilisées dans le but de les identifier. Ces tests permettront d'identifier les populations significativement différentes l'une de l'autre, en comparant deux à deux chacune des populations. La méthode de Dunn sera utilisée à la suite du test de Kruskal Wallis. Si l'ANOVA a pu être effectuée, le test de Tukey sera utilisé.

D'autres tests de régressions linéaires et non linéaires seront utilisés par la suite. Les hypothèses portant sur la validité des résidus seront vérifiées graphiquement et à l'aide de la fonction RLS. Des fonctions d'estimation seront réalisées grâce à la régression Loess, permettant de créer des courbes de tendance en utilisant les données du graphe. La pondération des points permet d'ajuster localement des données de cette fonction non paramétrique.

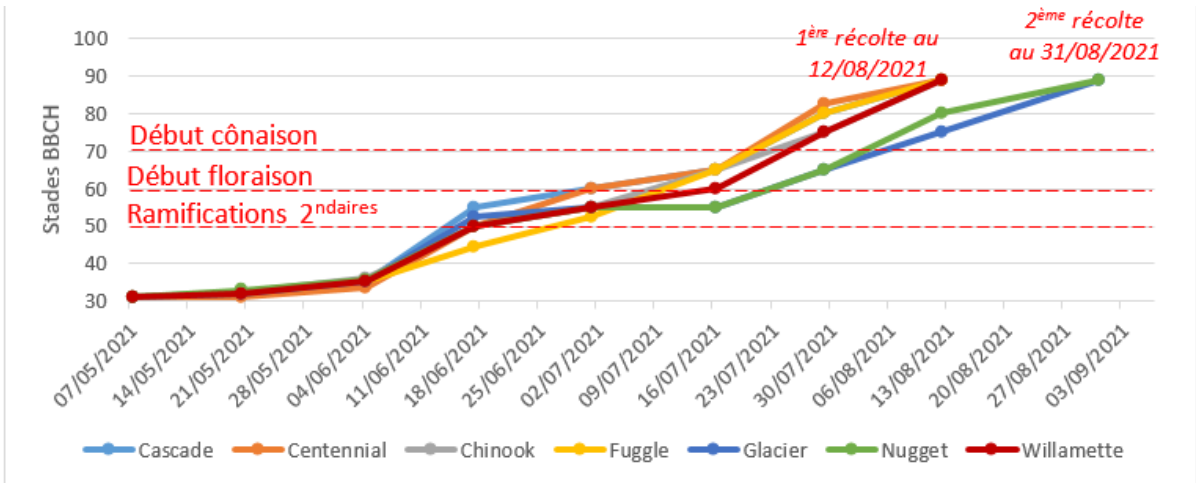


Figure 6 – Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Cabrière

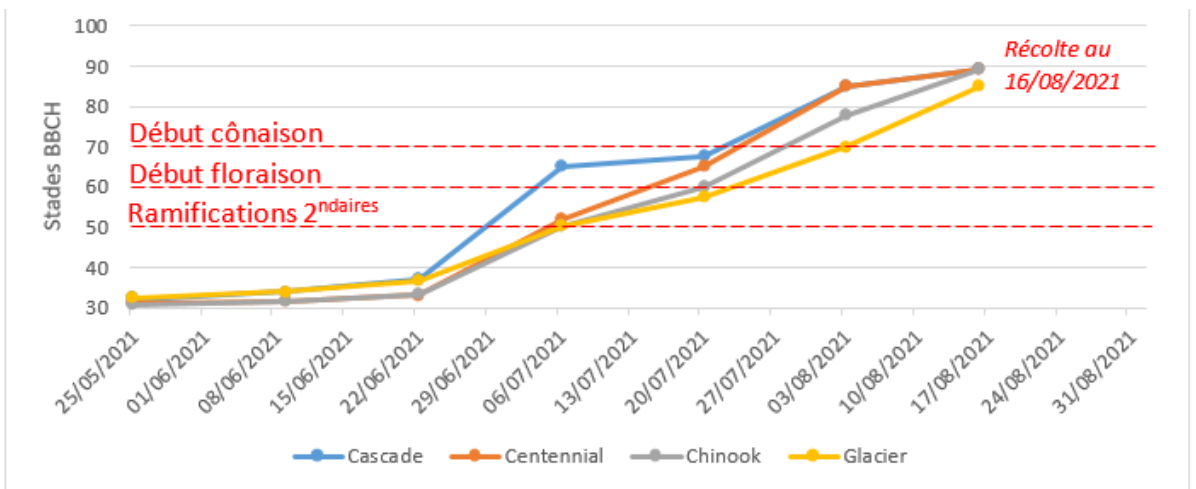


Figure 7 – Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Callian

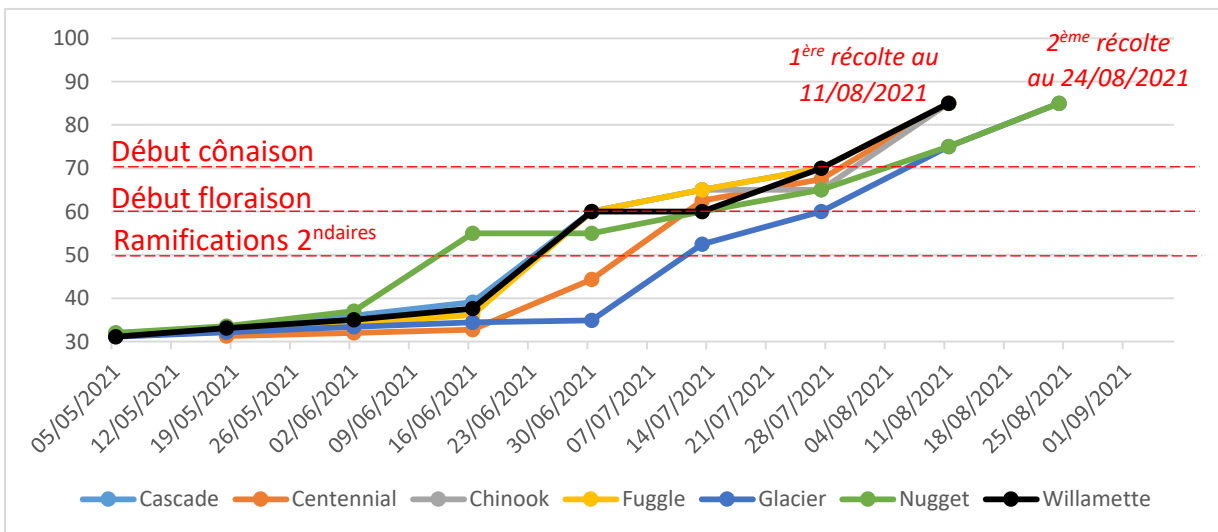


Figure 8 – Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Gardanne

III. Résultats

Les variables mesurées au cours de la saison sont retranscrites sous la forme de graphes et de tableaux commentés. Puis certains résultats relatifs aux rendements seront soumis à une analyse statistique afin d'identifier les différences significatives en fonction des variétés, environnements et itinéraires techniques. La saison commence le 05 mai 2021 et correspond à la date des premières mesures, pour se terminer le 06 septembre 2021 avec la récolte de la parcelle de Chorges.

A. Mesures des indicateurs

Les données représentées sur les graphes sont les résultats médians des données collectées lors des visites des parcelles. Les 8 plants sélectionnés pour chaque variété de chaque parcelle sont un échantillon représentatif de l'ensemble de la population étudiée.

1. Stade de développement

Plusieurs tendances générales de développement sont identifiables en fonction des parcelles. Il est possible d'identifier les différents profils de développement par les dates remarquables, et notamment celle à laquelle est atteint le stade « 50 : développement des ramifications secondaires ». Les graphes relatifs au développement phénologique sont en annexe V et VI.

Les départs de croissance les plus précoces sont situés à Cabrière (figure 6), où le développement des ramifications secondaires commence dès la mi-juin. Le stade 50 est ensuite atteint début juillet pour la majorité des variétés présentes à Forcalquier, Entraigues et Gardanne. A Callian (figure 7) et Chorges le stade est atteint autour de la deuxième semaine de juillet. Enfin, ce n'est qu'après le 20 juillet, soit plus d'un mois après Cabrière, que les ramifications apparaissent sur les plants de Solliès-Pont.

Les différentes récoltes ont été effectuées en fonction des stades de développement des cônes et des disponibilités des houblonniers. Elles ont commencé le 11 août 2021 à Gardanne pour se terminer le 06 septembre à Chorges. La parcelle de Solliès-Pont n'a pas été récoltée en raison d'un problème dans l'itinéraire technique (voir partie IV.B.3). On peut aussi souligner qu'à Chorges les stades optimaux de récolte (entre 85 et 89) étaient dépassés au moment de la récolte.

Les temporalités de développement sont différentes au sein des variétés. Les variétés Glacier et Nugget terminent leur développement plus tard que les autres sur les parcelles de Cabrière, Callian, Entraigues et Gardanne. Leur stade de début de cône est en moyenne atteint autour du 4 août, c'est-à-dire plus tard que les autres variétés. Cet écart de développement a espacé les récoltes de deux semaines à Gardanne (figure 8) et de trois semaines à Cabrière et Entraigues. Presque toutes les variétés sont arrivées au terme de leur développement, à l'exception de la variété Centennial sur la parcelle de Forcalquier. Il est à noter que le stade « 40 : arrivée au faitage » n'est pas inscrit comme indicateur sur les graphes de développement (pointillés en rouge) car de nombreuses variétés n'ont pas atteint le haut

du fil (se référer au suivi de croissance) avant de développer les ramifications secondaires (stade suivant).

Les stades de développement des plants n'ont pas été **atteints simultanément sur les parcelles**. Les variétés **Glacier et Nugget** ont été récoltées généralement plus tardivement que les autres en raison **d'un développement plus lent** de ces variétés.

2. Suivi de croissance

Le suivi de la croissance des lianes démarre lors de la mise au fil (sélection des jets puis installation sur les fils tuteurs). Comme cela a été mentionné sur les « fiches houblonnière », les hauteurs de poteaux diffèrent en fonction des houblonnières et sont indiquées sur les figures en pointillés rouges. Les graphes relatifs au développement phénologique sont en annexe VII et VIII.

On peut remarquer qu'un grand nombre de plants n'a pas atteint le faitage. C'est le cas pour toutes les variétés présentes à Forcalquier et à Chorges. A Solliès-Pont les pieds de Cascade n'atteignent que 60 cm pour 4m50 possiblement atteignables. Au lycée agricole de Gardanne ce sont les variétés Fuggle, Glacier et Centennial qui ne sont pas arrivées en haut. De même pour Cascade et Willamette à Entraigues ainsi que Cascade, Centennial et Chinook à Callian. La parcelle de Cabrière est la seule où l'intégralité des variétés est arrivée en haut de la structure.

Plusieurs profils de croissance sont identifiables au sein des parcelles. Les houblonnières de Cabrière et d'Entraigues sont les premières à voir leurs lianes atteindre le haut du faitage durant la deuxième partie du mois de juin. Ensuite, la première partie du mois de juillet est le moment où les plants ont atteint le haut de la structure sur les parcelles de Callian, Forcalquier, Gardanne et Solliès-Pont. Enfin, il faut attendre la deuxième partie du mois de juillet pour que les pieds de houblons de Chorges cessent de croître, soit un mois et demi après ceux de Cabrière et Entraigues.

En comparant les variétés entre elles, il est possible de remarquer une croissance plus tardive pour la variété Centennial sur les parcelles de Cabrière, Callian, Entraigues et Forcalquier. On peut remarquer que la variété Fuggle se place dans les premières à atteindre le haut du fil sur les parcelles où elle est cultivée (Entraigues, Cabrière et Gardanne).

La majorité des **plants atteignent le haut du faitage** sur les parcelles de **Cabrière et Entraigues**. Les périodes de **fin de croissance** s'échelonnent **entre mi-juin et fin juillet** en fonction des parcelles. La variété **Centennial** semble avoir une **croissance plus lente** que les autres variétés, et **Fuggle plus rapide**.

3. Gestion sanitaire

Les graphiques portant sur l'incidence et la sévérité ont été réalisés pour chacun des bioagresseurs étudiés du houblon (annexes XI à XIV).

a) *Présence du mildiou *Pseudoperonospora humuli**

L'intégralité des parcelles a été touchée par le mildiou. Cependant, l'intensité des attaques est très différente en fonction des parcelles. La baisse de l'incidence ainsi que de la sévérité au

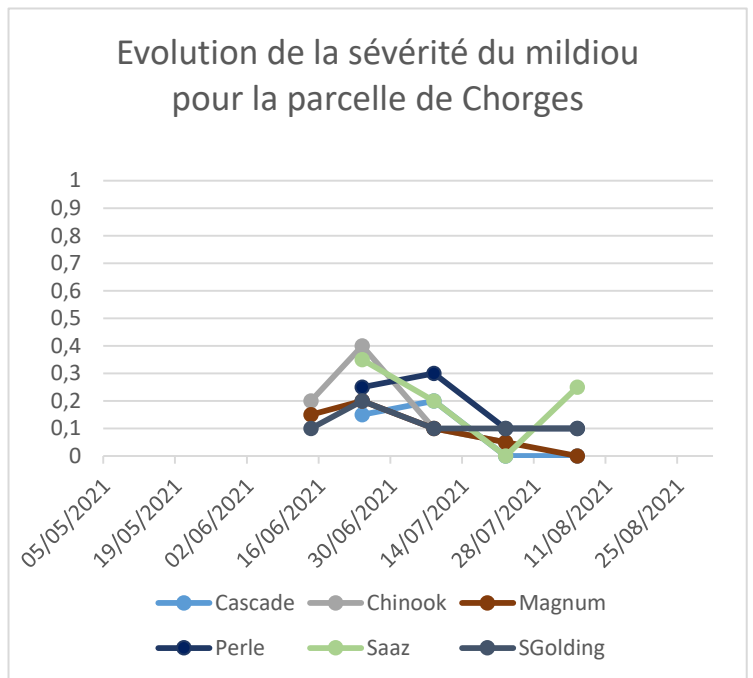
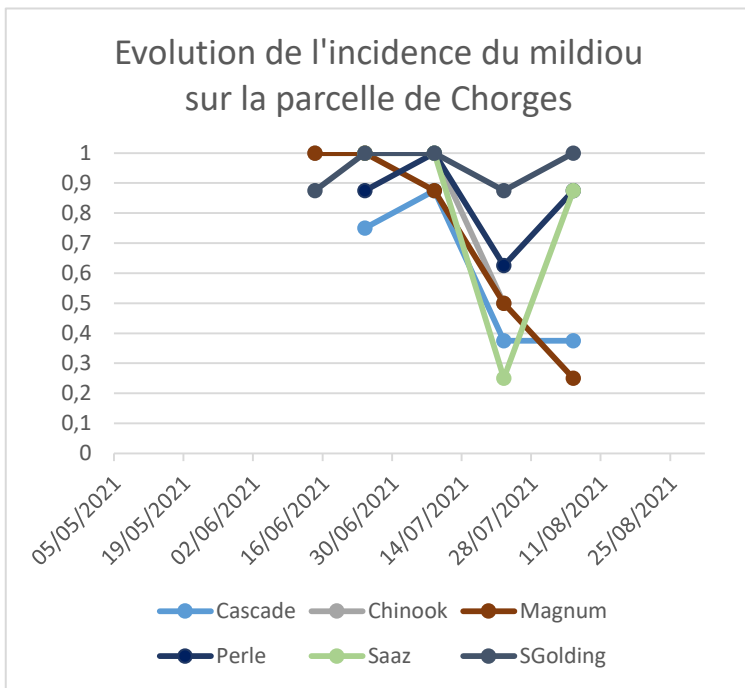


Figure 9 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Chorges

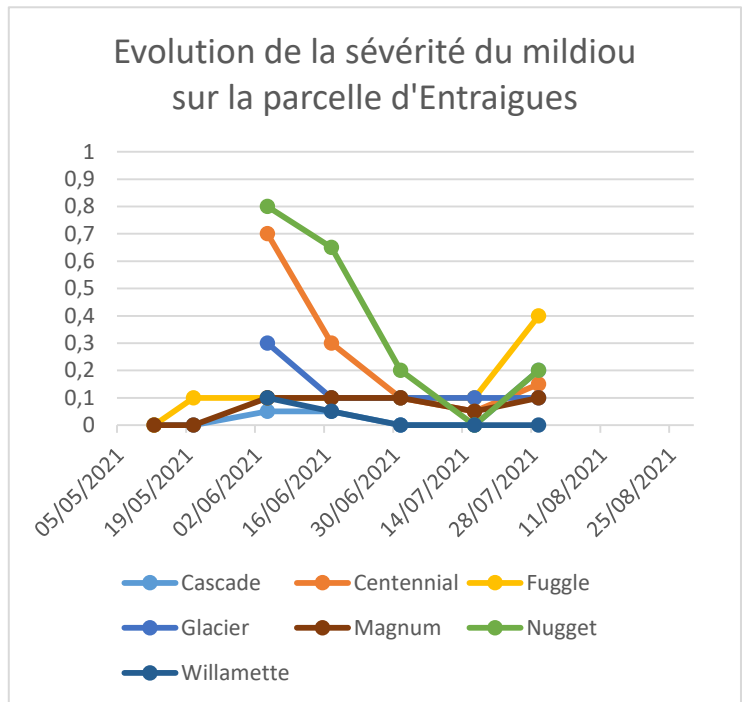
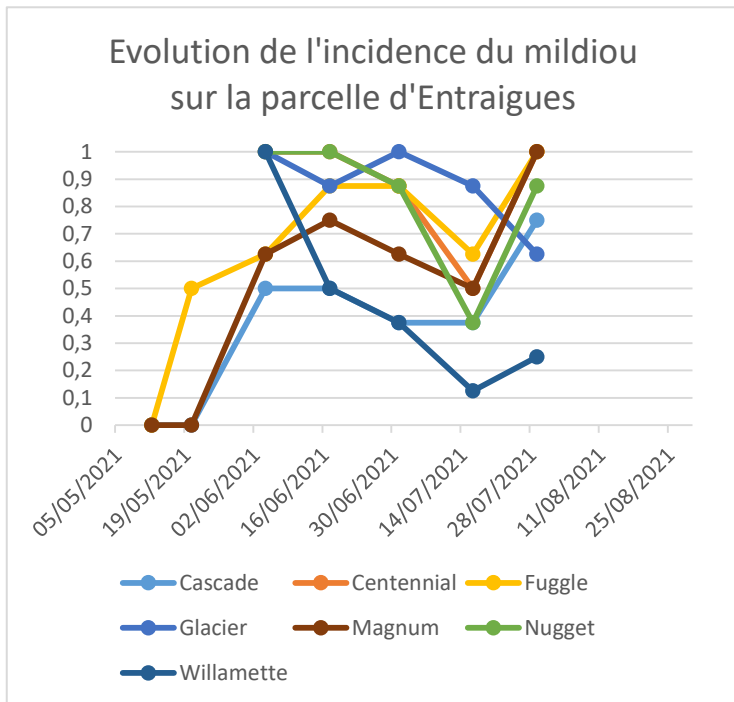


Figure 10 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle d'Entraigues



Figure 11 – Apex principal atteint par le mildiou sur la parcelle d'Entraigues

cours de la saison correspond à la chute des organes touchés (feuilles, apex) et à la repousse de nouveaux organes sains.

Les parcelles de Cabrière, Forcalquier et Solliès-Pont ont été très peu touchées par le mildiou. Bien que l'oomyète soit présent sur les houblonnières, il s'est très peu développé et n'a pas causé de dégât majeur sur les plants. A Cabrière, deux attaques successives ont eu lieu aux alentours des 18 juin et 16 juillet avec une faible sévérité. Le résultat est le même à Forcalquier pour deux pics : le 9 juin et le 10 juillet. A Solliès-Pont une attaque d'une faible sévérité a eu lieu sur l'intégralité des pieds de Cascade entre le 6 et le 20 juillet.

Sur la parcelle du lycée agricole une première attaque s'est déclarée aux alentours du 19 mai. Une seconde a eu lieu aux alentours du 16 juin et s'est caractérisée par une intensité plus élevée (sévérité de 0,3 pour Centennial et 0,15 pour Chinook). Une brève baisse de la sévérité générale s'en est suivie jusqu'au 28 juillet, pour ré-augmenter le 11 août (sévérité de 0,3 pour Fuggle et 0,25 pour Nugget et Centennial).

A Callian, c'est autour du 9 juin que l'attaque s'est observée sur la quasi-intégralité des pieds suivis. Le pic de sévérité a été observé dès le 9 juin avec des valeurs de 0,3 pour Centennial et de 0,2 pour Cascade et Glacier. Une baisse du nombre de pieds atteints ainsi que de la sévérité a suivi, avec un légère ré-augmentation de ces paramètres pour Glacier en fin de saison.

Les parcelles de Chorges et d'Entraigues sont les deux parcelles qui ont été le plus touchées par le mildiou durant la saison 2021 (figures 9 et 10). La Houblonnière de Chorges a été attaquée par le mildiou sur quasiment l'intégralité des pieds entre le 16 juin et le 8 juillet. Toutes les variétés ont subi une infection d'une sévérité d'au moins 0,2 et atteignant 0,4 pour les plants de Chinook au 24 juin. Une baisse générale des contaminations a suivi jusqu'à la fin de la saison, sauf pour la variété Saaz dont la sévérité des contaminations a augmenté jusqu'à atteindre 0,25 le 5 août. C'est à Entraigues et plus précisément sur les variétés installées tardivement au fil (Centennial, Nugget, Glacier, Willamette) que le mildiou a été ressenti le plus fortement aux alentours du 4 juin. Les données d'incidence et de sévérité antérieures à cette date n'ont pas été récoltées pour ces 4 variétés par manque de visibilité due à l'enherbement. Des sévérités recensées à 0,7 pour Centennial ou encore à 0,8 pour Nugget indiquent un état très critique de la plante et la mort d'un grand nombre d'éléments foliaires comme on peut le voir sur la figure 11. Une baisse du nombre de pieds atteints ainsi que de la sévérité a été observée jusqu'au 16 juillet. Puis, le nombre de cas ainsi que l'intensité de l'attaque a augmenté le 28 juillet pour l'intégralité des variétés présentes sur la parcelle.

*b) Présence du puceron *Phorodon Humuli**

Les pucerons ont été observés sur toutes les parcelles et à des périodes relativement similaires, à l'exception de Solliès-Pont où la présence de l'insecte n'a pas été recensée. C'est le 2 juin sur les parcelles de Cabrière et d'Entraigues que les premières observations ont été faites. Puis, le 24 juin sur la parcelle de Chorges, des pucerons ont été observés pour la dernière fois de la saison, soit trois semaines après leur première apparition.

Bien que les périodes de présence soient relativement similaires, les profils d'incidence et de sévérité diffèrent en fonction des parcelles. Pour les houblonnières d'Entraigues, Forcalquier et Gardanne, on observe une forte augmentation de l'incidence à une période précise suivie

d'une décroissance. Le temps de présence des pucerons y est donc inférieur à un mois. De plus, ces parcelles sont caractérisées par une sévérité faible ne dépassant pas 0,1. Les parcelles de Cabrière, Callian et Chorges sont caractérisées par au moins deux semaines de présence des pucerons. Les mesures de sévérité sont plus élevées que dans les autres houblonnières, pouvant atteindre 0,4 pour la variété Glacier situé à Callian. La parcelle de Cabrière est la seule où les insectes maintiennent une population relativement stable (bien qu'en légère décroissance) sur une durée de deux semaines.

L'observation des pucerons au sein d'une même parcelle ne permet pas de tirer des conclusions claires sur la préférence des insectes pour une variété, et inversement. Cependant quelques remarques peuvent être faites. A Chorges, les variétés Magnum, Cascade, Perle et Saaz ont été beaucoup moins impactées que les autres par la présence du puceron. A Entraigues c'est la variété Magnum qui a été la moins touchée par le puceron. Sur la houblonnière de Forcalquier, les variétés Cascade et Glacier ont été épargnées par le puceron. Enfin, à Gardanne la variété Willamette a été largement plus impactée par sa présence que les autres variétés.

c) *Présence de l'acarien Tetranychus urticae*

C'est au lycée agricole de Valabre à Gardanne que *Tetranychus urticae* a été observé pour la première fois de la saison. Puis, toutes les parcelles ont été touchées par le ravageur à différents niveaux d'incidence et de sévérité. La parcelle de Solliès-Pont est la seule ayant observé un retour à 0 de l'incidence après apparition de l'acarien.

A Cabrière, le pic de présence a été observé le 16 juillet, puis a légèrement baissé. La sévérité n'a pas dépassé les 0,2. Pour les autres parcelles, l'incidence est restée croissante depuis l'apparition de l'acarien sur la parcelle jusqu'à la fin des observations.

A Callian, la sévérité a tout de même stagné malgré une augmentation de la présence de l'acarien sur la variété Chinook en fin de saison. La tendance est la même pour la parcelle de Forcalquier avec des indicateurs plus élevés. C'est en effet sur cette parcelle qu'est observée la sévérité maximale de 0,8 sur la variété Centennial. L'intégralité des variétés est touchée par les acariens au 5 août, avec une légère augmentation de la sévérité par rapport à l'observation effectuée le 22 juillet. Enfin, les parcelles de Chorges, Entraigues et Gardanne sont caractérisées par une augmentation croissante de la sévérité depuis l'arrivée du ravageur sur la parcelle. Les niveaux d'incidence sont élevés pour ces parcelles, avec la moitié des plants observés touchés par l'acarien à l'exception de Cascade à Chorges et Nugget à Entraigues.

L'impact des acariens semble être relativement similaire au sein des parcelles à quelques détails près. Pour la variété Centennial malgré une incidence de *Tetranychus urticae* comparable aux autres variétés, l'indicateur de la sévérité reste en dessous de 0,2 pour l'ensemble des parcelles à l'exception de Forcalquier (où elle atteint un niveau record).

Le mildiou a été observé sur toutes les parcelles, mais son intensité a été ressentie plus fortement à Entraigues et Chorges que sur les autres parcelles, notamment sur les variétés mises au fil tardivement. La présence de pucerons a été observée sur toutes les parcelles. Les acariens se sont développés d'avantage à Chorges, Entraigues et Gardanne. Cependant, les tendances intra parcellaires ne sont pas les mêmes partout donc peu généralisables.

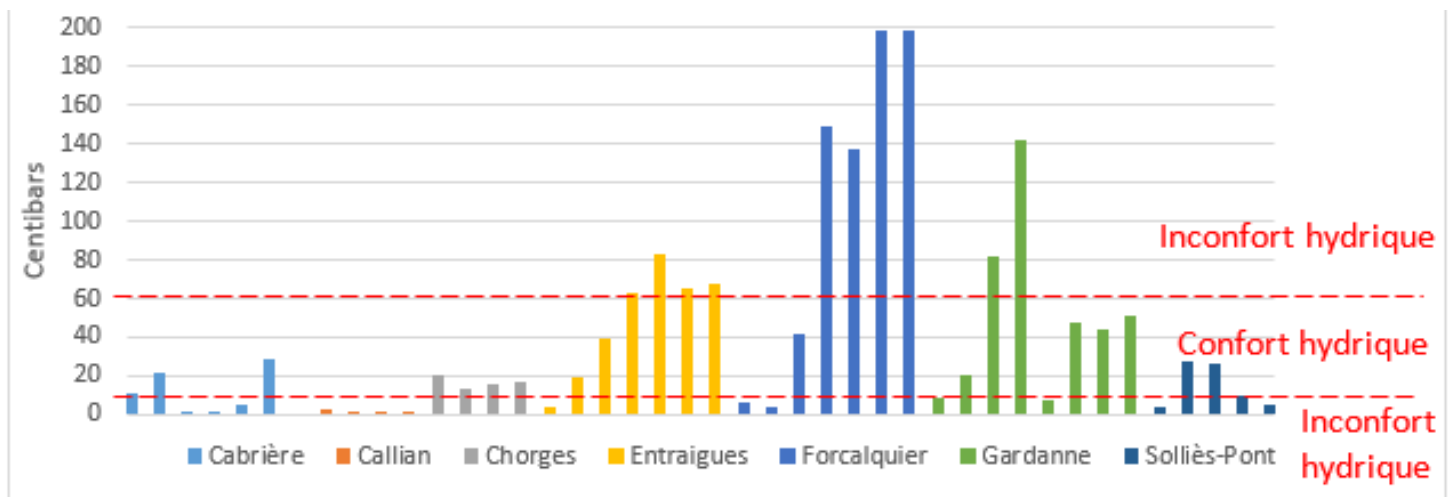


Figure 12 – Evolution de la situation hydrique des parcelles à 20 cm de profondeur

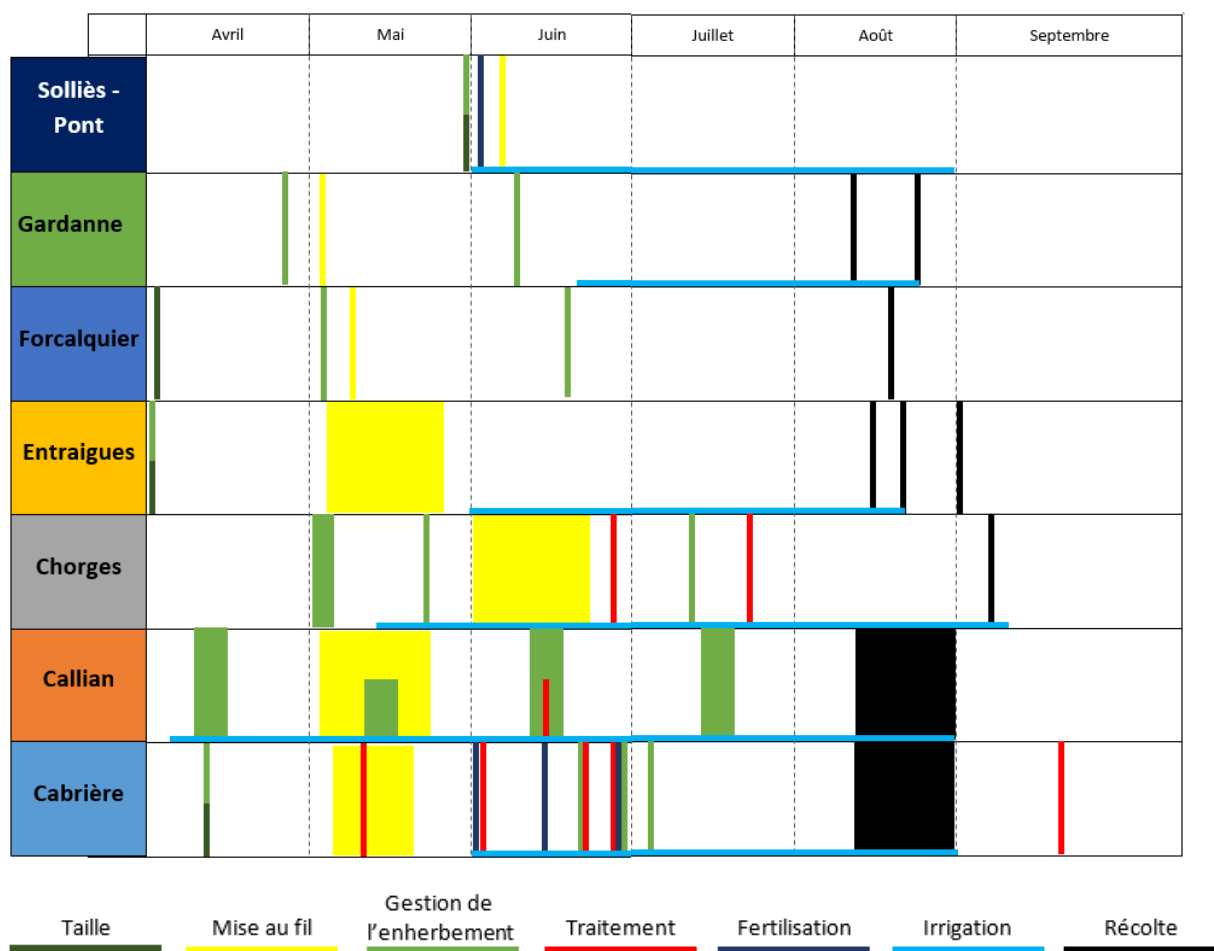


Figure 13 – Itinéraires techniques suivis par les houblonniers pour la saison 2021

4. Les profils hydriques

Les suivis bimensuels des différentes parcelles nous permettent d'en dresser un profil hydrique ponctuel. Des profils détaillés des différentes parcelles (annexe XV) ont été réalisés afin de comparer l'effet de l'irrigation sur le confort hydrique à 20 et 40 cm de profondeur, une troisième sonde à 60 centimètre est présente à Gardanne.

Il est possible de comparer l'ensemble des houblonnières suivies grâce aux graphiques de l'état hydrique des parcelles à 20 et 40 centimètres de profondeur. Sur ces graphiques trois parcelles se démarquent des autres en présentant des données caractéristiques d'un inconfort hydrique de manque d'eau : Gardanne, Forcalquier et plus modérément Entraigues pour les sondes à 20 cm (figure 12). On remarque que ces valeurs de tensions proches et supérieures à 60 cbars apparaissent dès le mois de juin. Les quatre autres parcelles maintiennent des valeurs en dessous de cette limite des 60 cbars pour les sondes à 20 et 40 cm.

Les profils sont relativement similaires pour les parcelles d'Entraigues et de Gardanne. Une augmentation de la tension mesurée par les sondes est observable sur ces deux parcelles. Le seuil limite d'inconfort hydrique est d'ailleurs dépassé dans les deux cas, aux alentours du 2 juin à Gardanne et du 17 juin à Entraigues. Puis, une baisse de la tension est observable entre le 16 et le 30 juin à Gardanne ainsi qu'entre le 1 et le 16 juillet à Entraigues. Les valeurs se stabilisent par la suite dans des valeurs relatives à un confort hydrique et légèrement supérieures à Entraigues pour les sondes à 20 centimètres de profondeur.

A Forcalquier une hausse croissante de la tension est observable tout au long de la saison. Le seuil d'inconfort hydrique est dépassé à la mi-juin. A partir de la deuxième moitié du mois de juillet les valeurs stagnent à 200 cbars, valeur maximale du tensiomètre indiquant l'absence quasi-totale d'humidité dans le sol accessible aux racines.

Sur les parcelles de Cabrière et Solliès-Pont les valeurs tensiométriques oscillent entre confort et inconfort à cause d'une trop grande quantité d'eau dans les sols. Il serait nécessaire d'augmenter la fréquence des mesures pour définir si les taux d'humidité sont trop élevés. Le suivi tensiométrique de la houblonnière de Chorges indique que les racines ont bénéficié d'un confort hydrique de début mai jusqu'à la fin juillet. Ces valeurs restent toutefois proches de 10 centibars et seraient à affiner par des mesures plus fréquentes pour vérifier si le profil reste dans l'intervalle de confort.

Le profil hydrique de Callian indique un inconfort dû à une quantité trop importante d'eau dans les sols. Cet inconfort est caractérisé par une tension stagnant à 0 cbars tout au long de la saison.

Les seuils d'**inconfort hydrique** ont été dépassés dans les sols de **Forcalquier, Gardanne** et plus modérément à **Entraigues** en raison d'un **manque d'eau disponible pour les plantes**. A l'inverse, le suivi tensiométrique à **Callian** indique un **inconfort dû à trop d'eau dans les sols**.

5. Itinéraires techniques

Les itinéraires techniques (figure 13) diffèrent fortement en fonction des parcelles. Les

opérations culturales ne sont pas toujours les mêmes et sont effectuées à des dates différentes. Le détail des itinéraires pour chaque parcelle est situé à l'annexe XVIII.

a) *La taille*

La taille est la première opération culturale réalisée à Entraigues le 2 avril, le 5 avril à Forcalquier, le 14 avril à Cabrière et enfin à Solliès-Pont le 30 mai. Deux mois séparent donc la première et la dernière taille. Pour effectuer la taille, les houblonniers ont opté pour différents outils. La débroussailleuse a été utilisée à Entraigues ainsi qu'à Solliès-Pont. A Forcalquier c'est à l'aide d'une binette que les plants ont été taillés. Enfin, une taille aux disques broyeur a été effectuée sur la parcelle de Cabrière.

Les plants de houblon des parcelles de Callian, Chorges et Gardanne n'ont pas été taillés en début de saison 2021.

b) *Le tuteurage*

L'installation du fil puis la mise au fil, étape de tuteurage obligatoire dans la culture du houblon, ont pris différentes formes en fonction des parcelles. Bien que les systèmes d'accroche des fils tuteurs soient différents, toutes les parcelles se sont équipées de fils en fibre de coco. Quelques tubes Fenox en plastique normalement destinés à la vigne ont été utilisés à Gardanne.

Sur les parcelles de Cabrière et Chorges c'est à l'aide de nacelles installées sur des tracteurs que les houblonniers ont installé les fils en haut des structures. Les jeunes lianes ont été enroulées autour des fils tuteurs dans un second temps. C'est au cours des deux dernières semaines de mai que l'intégralité des houblons de Cabrière a été tuteurée, en commençant par les variétés Cascade et Chinook. A Chorges, trois semaines ont été nécessaires à partir du 31 mai pour effectuer l'intégralité des mises au fil, avec deux semaines de décalage entre la mise au fil de Styrian Golding, Magnum, Chinook et le reste des variétés.

A Callian c'est en déplaçant manuellement un échafaudage que les fils ont été installés. Le tuteurage des plants s'est déroulé directement après. L'installation sur l'hectare cultivé s'est déroulée pendant les 2 semaines séparant le 4 et le 20 mai.

A Entraigues c'est à l'aide d'une échelle que les fils ont été installés à partir du 4 mai. Les plants de Cascade, Fuggle et Magnum ont été tuteurés directement, tandis que le reste des variétés a été installé aux alentours du 24 mai, soit trois semaines plus tard.

C'est à l'aide d'une Pardalera que les fils ont été installés sur la structure à Forcalquier, Gardanne et Solliès-Pont. Le 5 mai a suffi pour attacher les fils et tuteurer les plants à Gardanne. A Forcalquier, les plants ont été enroulés autour des fils coco 4 jours après leur installation le 1^{er} mai. Sur la houblonnière de Solliès-Pont, c'est au début du mois de juin que les plants ont été tuteurés autour des fils coco.

c) *Gestion sanitaire de la parcelle*

La gestion sanitaire a été effectuée de différentes manières selon les ravageurs et les parcelles. Les applications de produits spécifiques sont mentionnées dans cette partie, tandis que les principes de protection intégrée des cultures effectués sur les parcelles sont discutés dans la troisième partie.

Afin de lutter contre la présence du mildiou, les houblonniers de Cabrière et Chorges ont décidé d'utiliser un mélange à base de cuivre (bouillie bordelaise). Trois applications ont eu lieu à Cabrière ; le 10 mai, le 2 juin et le 23 juin à l'aide d'un pulvérisateur à dos. A chaque application la dose de cuivre a été augmentée de 200g/ha pour atteindre 600g/ha lors de la dernière application. Sur la parcelle de Chorges, deux passages de bouillie bordelaise dosée à 6kg/L ont été effectués le 28 juin ainsi que le 21 juillet. A Callian, le passage d'un produit chloré nommé Anabio a été effectué le 15 juin, dont il n'a pas été possible de retrouver le dosage.

Enfin, seule la parcelle de Cabrière a mis en place un moyen de lutter contre la présence de l'acarien *Tetranychus urticae*. Le produit Spidex⁴⁴ contenant le prédateur de l'acarien (*Phytoseiulus persimilis*) a été appliqué le 26 juin dans la houblonnière, accompagné d'un arrosage afin de favoriser la diffusion de l'auxiliaire. Cette méthode s'inscrit dans une logique de lutte biologique.

d) *Gestion des adventices*

Le manque de compétitivité racinaire du houblon rend importante la gestion des adventices tout au long de la saison. Sur la parcelle de Solliès-Pont, un débroussaillage a été effectué le 30 mai. Une bâche plastique a été tendue afin de gérer l'enherbement sur le rang de houblon.

Avant l'étape de tuteurage un désherbage manuel du rang a été effectué aux alentours du 1^{er} mai sur les parcelles de Chorges et Callian, et à la tondeuse sur la parcelle de Forcalquier. Les résidus du désherbage ont été utilisés comme paillage autour des pieds de houblon sur la parcelle de Forcalquier.

A Chorges l'inter rang a été broyé le 20 mai puis le 12 juillet à l'aide d'un broyeur. Une débroussailleuse a été utilisée proche du rang, là où le broyeur ne pouvait pas accéder. Un désherbage manuel mensuel a été effectué sur la parcelle de Callian tout au long de la saison.

A Entraigues, c'est le 2 avril qu'a été effectuée la première phase de désherbage à la débroussailleuse, en même temps que la taille. L'inter rang Vesce – Phacélie – Triticale a été broyé deux mois et demi plus tard, soit le 18 juin.

Enfin, deux phases de broyage de l'inter rang ont été réalisées sur la parcelle de Gardanne, le 25 avril et le 10 juin.

e) *Gestion de l'irrigation*

Seule la parcelle de Forcalquier n'a pas été irriguée pendant l'année. Pour les autres, l'intensité ainsi que les dates de lancement de l'irrigation diffèrent pour les systèmes de goutte-à-goutte installés. Afin d'homogénéiser la lecture des résultats les mesures sont basées sur une moyenne de 4000 plants par hectare et d'un goutteur par pied (voir annexe XV).

C'est à Callian que l'irrigation a été lancée le plus tôt soit le 4 avril. Le débit des goutteurs était de 4 litres par heure et l'irrigation lancée en moyenne 8 heures par jour : 4 le matin et 4 le soir soit un total de 32 litres donc 128 m³/ha/jour. La durée journalière de mise en service a été diminuée de 8 heures à 4 heures à partir du 20 juin, puis de 4 heures à 3 heures à partir du 10

juillet. Deux heures d'arrosage étaient effectuées le matin et une le soir pour un total de 12 litres par goutteur et par jour, soit 48 m³/ha/jour.

L'irrigation a démarré le 15 mai à Chorges. Tout au long de la saison l'irrigation a été effectuée de manière ponctuelle, nous amenant à approximer la quantité d'eau apportée à 20 litres par jour, soit 80 m³/ha/jour.

A Cabrière et Entraigues l'irrigation a été mise en route début juin. Pour Entraigues, deux arrosages de 40 minutes par jour ont été effectués du premier juin jusqu'au 15 juillet à l'aide de goutteurs d'un débit de 3 litres par heure (soit un total de 4,5 litres par jour par goutteur). Les quantités d'eau apportées ont ensuite été augmentées pour atteindre 9 litres par jour avec 3 heures d'irrigation, soit 36 m³/ha/jour. C'est ce système qui a aussi été mis en place sur la parcelle de Cabrière et de Solliès-Pont dès le 1^{er} juin.

Sur la houblonnière du lycée agricole il faut attendre le 20 juin pour que l'irrigation soit lancée sur la parcelle. Un débit de 12 litres par jour et par goutteur est atteint avec 4 heures d'irrigation journaliers, soit 48 m³/ha/jour.

f) *Logistique des récoltes*

L'intégralité des récoltes s'est effectuée manuellement à l'exception de la parcelle de Solliès-Pont qui n'a pas été récoltée. Sur toutes les parcelles, quatre plants représentatifs de chaque variété ont été récoltés par l'équipe d'Agribio 04. Le reste des plants de houblon a été récolté par les équipes recrutées par les houblonniers.

Le 11 août a été la première journée de récolte de la saison et s'est déroulée au lycée agricole de Gardanne par l'équipe d'Agribio 04. Les quatre plants représentatifs de chaque variété ont été récoltés à l'exception de Glacier et Nugget. Ces deux variétés ont été récoltées le 24 août soit trois semaines plus tard. Le séchage a eu lieu dans une pièce sombre et ventilée des locaux d'Agribio. Les cônes y ont été installés dans des sacs en toile de lin suspendus en hauteur, brassés plusieurs fois par jour jusqu'à atteindre environ 10% d'humidité.

A Cabrière les récoltes se sont étalées entre le 12 et le 31 août. La découpe des pieds s'est effectuée au taille-haie afin de ne pas ajouter du poids sur la structure au moment du décrochage. Les lianes ont ensuite été acheminées vers la zone de tri à l'aide d'une remorque. Enfin, les cagettes de houblons ont été emmenées jusqu'au séchoir installé à quelques minutes en voiture de la parcelle. Pour finir, les cônes ont été compressés dans des Big bags afin de les stocker en attendant la pelletisation.

La récolte d'Entraigues s'est déroulée en trois étapes ; le 17 août, le 20 août et le 1^{er} septembre. Les lianes ont été décrochées de la structure métallique à l'aide d'un sécateur et d'une échelle puis acheminées vers la zone de tri dans une remorque. Après un séchage effectué grâce au séchoir installé sur place, les cônes ont été directement mis sous vide.

A Callian les récoltes se sont déroulées du 17 août au 1^{er} septembre grâce à la main d'œuvre disponible sur place et dans le réseau d'Emmaüs Haut-Var. Les cônes ont ensuite été séchés puis transformés en pellets sur place.

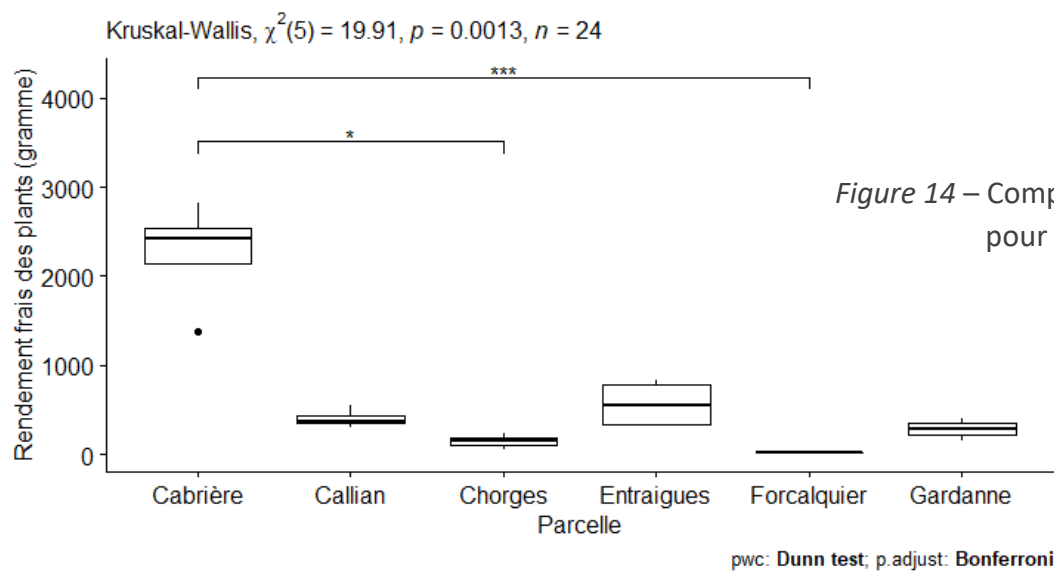


Figure 14 – Comparaison des rendements frais pour la variété Cascade

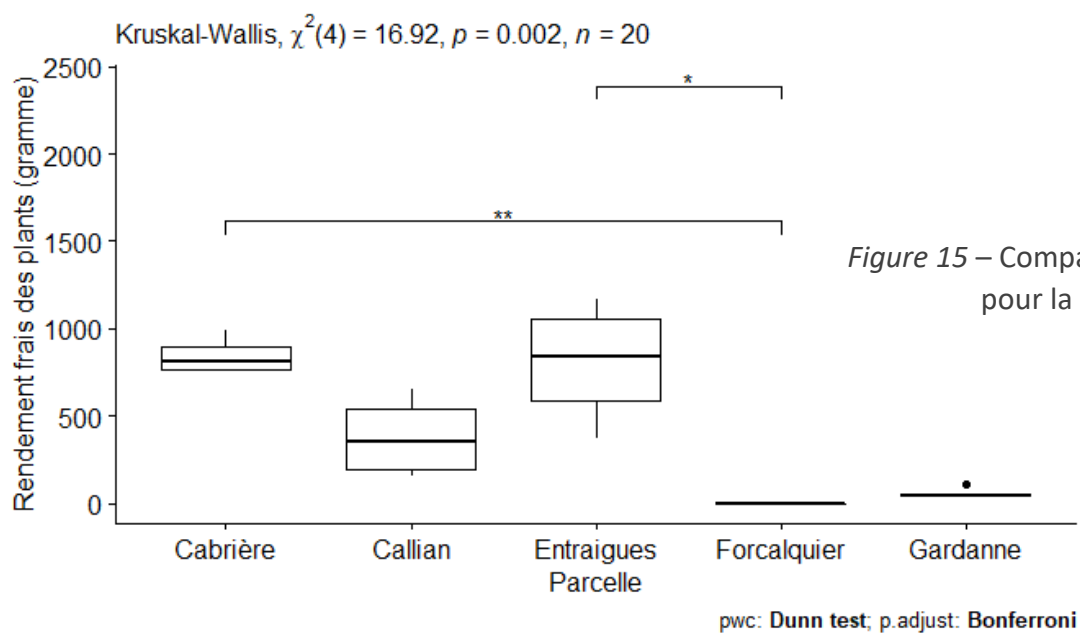


Figure 15 – Comparaison des rendements frais pour la variété Centennial

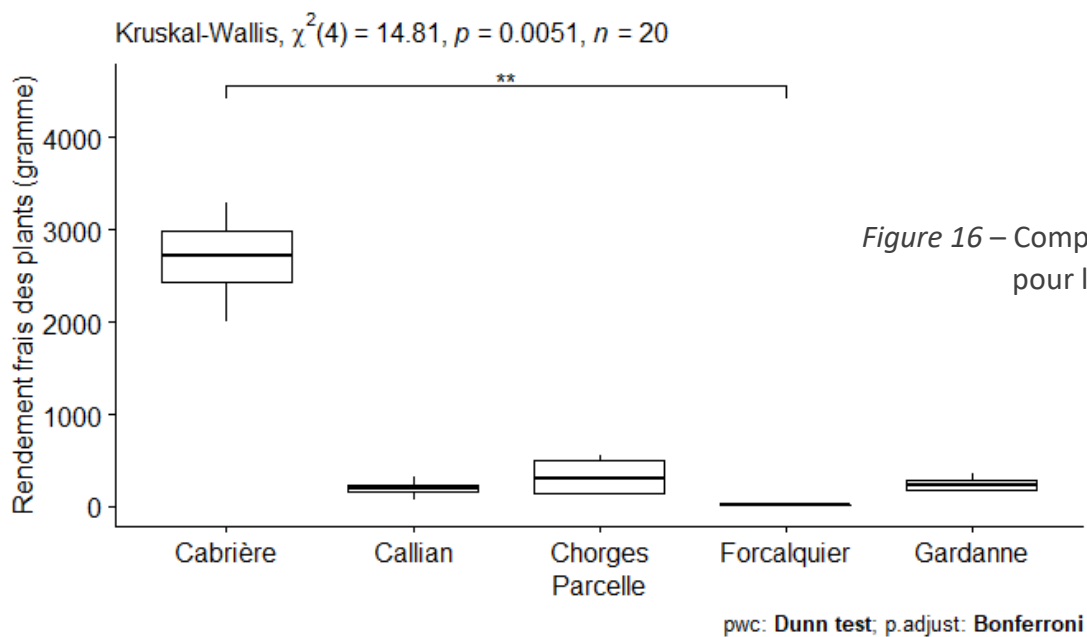


Figure 16 – Comparaison des rendements frais pour la variété Chinook

L'équipe d'Agribio s'est occupée de récolter l'intégralité des variétés de la parcelle de Forcalquier le 18 août.

Les récoltes se sont terminées la semaine du 6 septembre sur la parcelle de Chorges. L'équipe s'est occupée de récolter les variétés manuellement. Les cônes ont été stockés sans séchage avant d'être brassés « en frais », c'est-à-dire sans séchage.



On voit dans cette partie que la gestion de **l'itinéraire technique varie fortement en fonction des différentes parcelles**. En effet, **les opérations culturales ne sont pas toutes effectuées sur l'ensemble des houblonnières, ni aux mêmes dates**. Enfin, **l'impact des bioagresseurs est très hétérogène entre les parcelles**. Certaines ont été touchées de plein fouet quand d'autres semblent avoir été épargnées.

B. Statistique des résultats à la récolte

1. Les différences de rendement inter et intra parcellaires.

Un test portant sur la significativité des différences de moyenne a été effectué sur les poids frais des différents échantillons issus de chacune des parcelles.

Il est important de noter que les trop faibles répétitions ne permettent pas d'identifier finement les populations. Nous nous contenterons d'observer les différences les plus évidentes. Les graphes portant sur les rendements sont situés dans les annexes XVI et XVII.

a) *Comparaison intra-variétale*

Nous avons ici une variable quantitative (rendement) et une variable qualitative (variété) dont les modalités sont : Cascade, Centennial, ..., Willamette. Nous souhaitons comparer l'effet variétal sur le rendement entre les différentes parcelles.

Pour la variété Cascade (figure 14), la parcelle de Cabrière présente les rendements le plus hauts avec une moyenne de 2250 grammes par pied. Une significativité statistique nous permet de différencier ses niveaux de rendement avec les parcelles de Chorges (145g) et Forcalquier (16 g). Bien en dessous des rendements de Cabrière pour la variété Cascade, les parcelles de Callian, Entraigues, et Gardanne présentent des rendements moyens de respectivement 400g, 560g et 280g. L'évaluation statistique de ces résultats ne considère cependant pas ces rendements comme étant significativement différents de ceux observés à Cabrière.

Pour la variété Centennial (figure 15), seuls les plants de Cabrière (845 g en moyenne) et d'Entraigues (805 g en moyenne) ont des rendements significativement différents de Forcalquier où il n'y a eu aucune production de cône sur les lianes. Les rendements moyens à Callian et Gardanne se situent à 380g et 60 grammes.

C'est encore à Cabrière que les rendements sont les plus élevés, pour la variété Chinook (figure 16), atteignant les 2680 grammes en moyenne. Les valeurs les plus basses sont obtenues à Forcalquier pour 15 grammes en moyenne. Ces deux moyennes sont les seules jugées comme étant significativement différentes. Les autres rendements moyens sont de 195g à Callian, 325g à Chorges et 250g à Gardanne.

La houblonnière d'Entraigues a les rendements moyens les plus hauts (540g) pour la variété Fuggle. Ces rendements sont significativement différents de ceux observés à Gardanne (90g en moyenne). Les rendements de Cabrière sont de 435 grammes en moyenne.

Les rendements moyens de la variété Glacier sont encore une fois significativement différents à Cabrière (2131g) qu'à Forcalquier (5g). Les rendements moyens sur les autres parcelles sont dans l'ordre croissant : 250 grammes à Gardanne, 620 grammes à Entraigues et 730 grammes à Callian mais ne sont pas significativement différents.

La variété Magnum obtient ses meilleurs rendements moyens à Entraigues (770g), significativement différents de ceux de Forcalquier (15g). Les rendements de la parcelle de Chorges sont en moyenne de 350 grammes.

A Cabrière et Entraigues les rendements moyens obtenus pour la variété Nugget sont relativement proches et se situent respectivement à 1430g et 1280g. Ces deux parcelles sont d'ailleurs significativement différentes de Forcalquier où aucun cône n'a été produit. A Gardanne le rendement moyen est de 295 grammes.

Les rendements obtenus pour la variété Willamette sont significativement différents entre la houblonnière d'Entraigues (95g) et Cabrière (1032g). A Gardanne le rendement moyen est de 230 grammes.

Six des meilleurs rendements obtenus se situent **dans la houblonnière de Cabrière** (pour sept variétés cultivées sur la parcelle). C'est à **Entraigues** que les **deux autres rendements les plus élevés se situent**. A l'inverse, **à Forcalquier les rendements sont très bas** par rapport aux autres houblonnières.

b) *Comparaison intra parcellaire*

Nous avons ici une variable quantitative (rendement) et une variable qualitative (parcelle) dont les modalités sont : Cabrière, Chorges, ..., Gardanne. Nous souhaitons comparer l'effet des parcelles sur le rendement des différentes variétés. Les rendements moyens obtenus pour chacune des variétés sur les différentes parcelles ont été renseignés dans la partie « *Comparaison intra variétale* » et ne seront pas répétés ici.

Sur la parcelle de Cabrière trois tendances sont identifiables. Les variétés Centennial, Fuggle et Willamette sont celles qui ont le moins produit sur la saison. Nugget est à la limite entre ces variétés et les plus performantes : Cascade, Glacier et Chinook en tête.

A Callian c'est la variété Glacier qui a les meilleurs rendements, significativement plus hauts que ceux obtenus par la variété Chinook. Les variétés Cascade et Centennial se situent à des rendements intermédiaires entre les deux variétés.

L'ANOVA n'a pas été possible sur la parcelle de Chorges, c'est donc à l'aide d'un test Kruskal-Wallis que les variétés ont été comparées. Malgré une p-value proche de 0.05, aucune différence significative n'a été identifiée sur cette houblonnière. On remarque cependant que les variétés Magnum et Chinook ont des rendements moyens nettement plus élevés que ceux obtenus par la variété Saaz.

A Entraigues la variété Nugget a donné les rendements les plus élevés. Avec les variétés Centennial et Magnum, leurs rendements sont considérés comme significativement différents

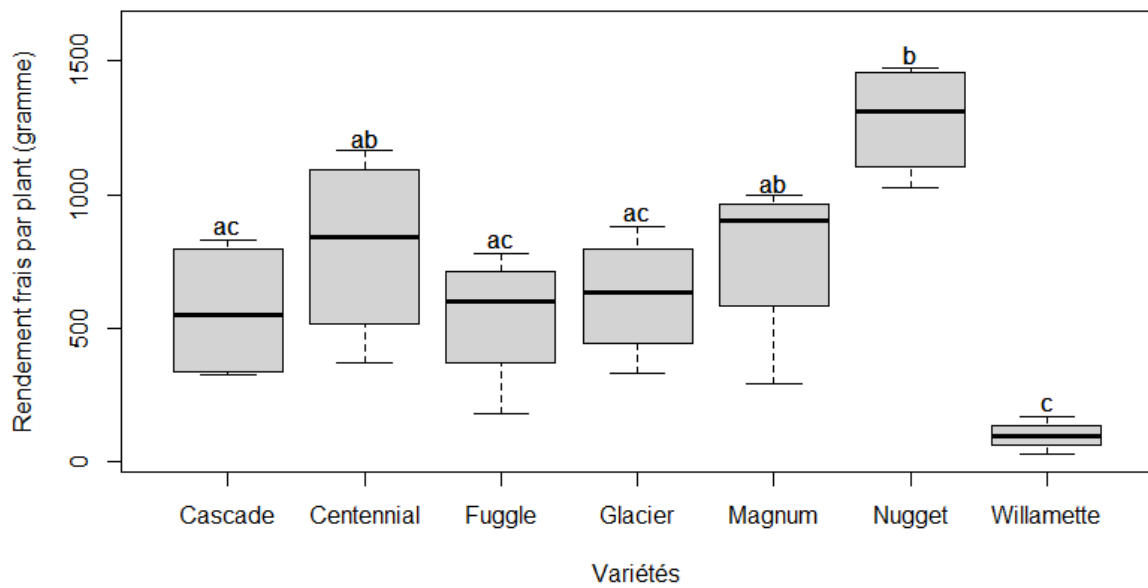


Figure 17 – Rendements comparés des variétés présentes sur la parcelle d'Entraigues

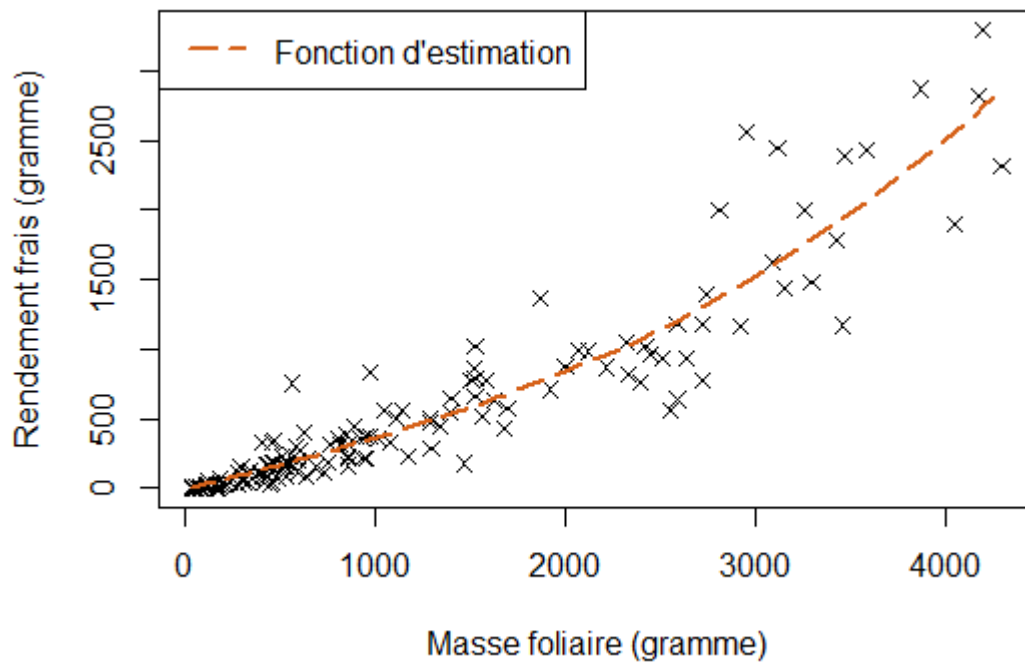


Figure 18 – Rendement frais en fonction de la biomasse foliaire

de ceux de Willamette obtenant les rendements les plus bas. Les variétés Cascade, Fuggle et Glacier ont des rendements équivalents entre eux, et significativement différents de ceux obtenus par la variété Nugget (figure 17).

Les variétés Cascade, Chinook et Magnum ont les rendements les plus élevés de la parcelle de Forcalquier. Ces derniers sont d'ailleurs significativement différents de ceux obtenus par Centennial et Nugget. La variété Cascade seule obtient des rendements statistiquement différents de Glacier, lui-même légèrement au-dessus de Centennial et Nugget qui n'ont pas produit de cônes.

Pour finir, malgré une p-value inférieure à 0.05 au test de Kruskal-Wallis, aucune des variétés n'est significativement différente des autres pour la houblonnière de Gardanne. Les variétés Centennial et Fuggle présentent toutefois des rendements en moyenne plus faibles que les autres variétés.

On n'observe **pas de tendance de variétés produisant plus que les autres et inversement**. Malgré le manque de répétitions, on observe que **les rendements** des plants de houblon sont **plus fonction de la parcelle sur laquelle ils se trouvent que de la variété à laquelle ils appartiennent**.

2. Lien entre biomasse et rendement

Serait-il possible de trouver un lien entre biomasse foliaire à la récolte et rendement ? Cette hypothèse émane d'un houblonnier se demandant si une surface foliaire plus élevée permet de mieux protéger le plan contre le dessèchement estival et donc *in fine* d'augmenter les rendements. Pour cela nous avons utilisé une régression linéaire simple afin d'établir un lien entre masse foliaire (sans le poids des cônes) et rendement. Cependant, la réalisation des tests évaluant les hypothèses de validité a indiqué le modèle comme présentant des résultats non valides. En effet ; les tests portant sur les résidus les ont présentés comme étant non indépendants et corrélés.

Une solution a été de créer une régression non paramétrique afin de construire le modèle à partir des données existantes (le modèle n'est donc pas lié à une équation). Dans une régression Loess⁴⁵, l'ajustement de la courbe se fait localement en fonction des points. Cet ajustement se fait avec pondération: les points les plus proches de X_i ont davantage de poids dans l'ajustement⁴⁶. Dans cette régression la totalité des points a été utilisée, chaque point impactant la courbe par son poids (figure 18).

La fonction d'estimation permet d'approximer de manière empirique le rendement en fonction de la masse foliaire. Sans pour autant extraire un coefficient de cette relation, on peut remarquer que l'augmentation de rendement s'accompagne d'une augmentation de la masse foliaire. Une production plus importante de cônes par rapport au reste du matériel végétal (feuilles, tiges, etc...) est visible pour des valeurs supérieures à 1500g par pied. Cette tendance serait à confirmer grâce à une meilleure répartition générale des données, et pourrait indiquer une valeur seuil de masse foliaire au-dessus de laquelle le développement des cônes est favorisé par la plante.

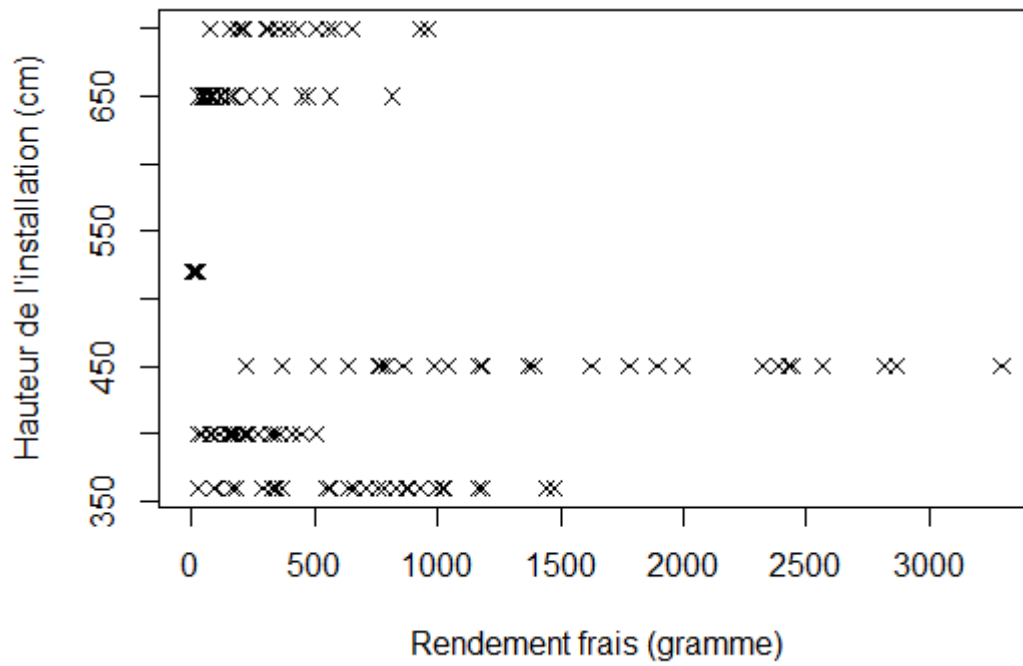


Figure 19 – Rendement frais en fonction de la hauteur de l’installation

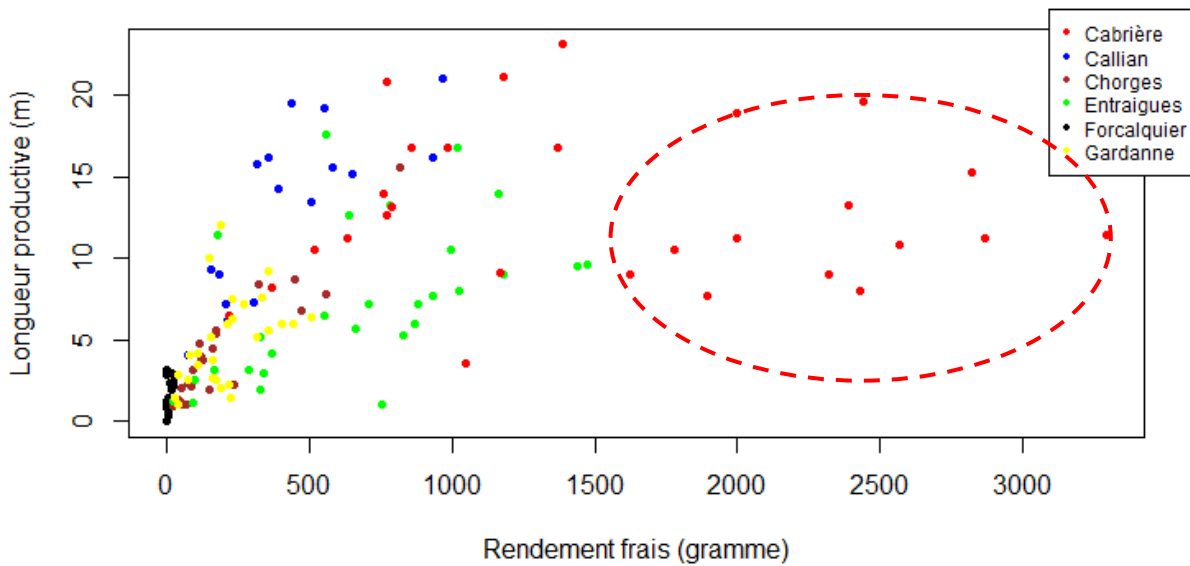


Figure 20 – Rendement frais en fonction de la longueur productive

3. Lien entre rendement et hauteur

Comme précédemment, il est ici question de trouver un lien entre la variable « rendement » et le facteur « hauteur de l'installation ». Cependant, le graphe présentant les rendements frais en fonction de la hauteur de l'installation ne permettent pas d'établir de telles relations, linéaires ou non (figure 19).

Afin de s'affranchir de la problématique de la hauteur de l'installation, une autre variable a été utilisée ; le nombre de mètres productifs par plant (figure 20). Fonction du nombre de jets et de la hauteur du plant, cette variable est plus représentative de la véritable croissance des plants plutôt que de la hauteur de l'installation. Un test portant sur la linéarité de la relation a été effectué afin d'apprécier le lien entre ces deux variables. Les tests portant sur les résidus les ont présentés comme étant non indépendants, ne permettant pas de valider les résultats obtenus. De même, l'utilisation de la fonction Loess ne permet pas d'identifier une tendance dans les valeurs présentées.

Malgré l'absence de résultats statistiques, il est tout de même possible d'observer que les plants les plus productifs (détourés de pointillés rouges) ne sont pas ceux possédant la longueur productive la plus importante. D'autres paramètres sont donc directement impliqués dans les écarts de rendement observés.



La houblonnière de **Cabrière** obtient des **rendements** en général **nettement plus élevés que les autres parcelles**, bien que ses plants n'aient **pas la longueur productive la plus importante**. A quelques exceptions près, **les écarts de rendement dans les parcelles sont du même ordre de grandeur**. On observe que les **rendements des plants de houblon sont plus fonction de la parcelle sur laquelle ils se trouvent que de la variété à laquelle ils appartiennent**.

IV. Analyse des résultats

Les résultats décrits dans la partie précédente seront analysés ici afin de dresser un portrait de l'état de la culture du houblon en PACA. Il est important de garder à l'esprit que toutes les parcelles n'ont pas été plantées en même temps, paramètre censé influencer les rendements.

A. Gestion sanitaire : une prophylaxie nécessaire

1. Le mildiou, ennemi numéro 1

La présence du mildiou est la plus grosse problématique sanitaire pour la saison 2021. Les parcelles d'Entraigues, Chorges, Gardanne et Callian ont été les plus impactées. Comment cette intensité s'explique-t-elle et quelles sont les possibilités de lutte ?

Plusieurs facteurs expliquent la présence du mildiou sur les parcelles. Il faut se rappeler que l'oomycète se développe dans un milieu favorable ; c'est-à-dire humide et relativement chaud. Ainsi plus le milieu est favorable, plus il se développe. Au niveau des parcelles, les départs de mildiou coïncident avec les précipitations printanières et la montée des températures des mois d'avril et mai. Cependant le comportement du bio agresseur va varier en fonction des parcelles.

C'est à Chorges et Entraigues que l'impact du mildiou a été le plus important pour les raisons suivantes. Lors de la mise au fil de ces deux parcelles, la végétation de l'inter rang était déjà développée. Le débroussaillage de l'inter rang à Chorges dix jours plus tôt n'a pas été suffisant pour maîtriser l'enherbement, tandis qu'un couvert vesce-phacélie-triticales était présent dans l'inter rang à Entraigues. Pour différentes raisons, les variétés n'ont pas toutes été tuteurées directement et se sont aventurées dans l'inter rang en quête d'un support sur lequel s'enrouler. Cette situation s'est prolongée pendant trois semaines durant lesquelles sont tombés 37mm de pluie à Chorges et 50mm à Entraigues. Ces précipitations ce sont accompagnées d'une élévation des températures moyennes journalières atteignant respectivement 21°C et 23°C. De plus, des fuites continues de goutte-à-goutte ont eu lieu sur la parcelle de Chorges pendant plusieurs semaines créant d'importants foyers d'infection. Cet environnement combinant des facteurs propices au développement du mildiou a engendré la situation décrite dans la partie résultat.

Les plants présents sur les parcelles de Callian, Gardanne et Chorges n'ont pas été taillés en début d'année. Cette première taille permet d'éliminer les résidus de mildiou présents dans les jets souterrains de l'année précédente desquels partent les premières lianes. Cette étape n'ayant pas été effectuée, les plants de houblons présents sur ces parcelles ont directement souffert de la présence du bio agresseur. En outre, un arrosage trop important a été pratiqué en début de saison sur la parcelle de Callian (128 m³/ha/jour, soit 32 L/plants/jour). Cet apport considérable d'eau combiné à une forte rétention dû au caractère argileux du sol de la parcelle a participé au développement de l'oomycète. Un problème de pression dans le système d'irrigation a conduit les houblonniers de Callian à arroser certaines zones à l'aide d'un tuyau. Les projections d'eau sur les feuilles du bas ont donc certainement favorisé le développement du mildiou.

Le mildiou est présent tout au long de la saison. Si aucun moyen de lutte n'est mis en place comme sur la houblonnière de Gardanne, on observe une intensité quasi croissante jusqu'à la récolte, avec un léger ralentissement entre juin et juillet. En effet les températures plus chaudes et les taux d'humidité plus faibles des mois d'été freinent le développement du mildiou. Ce coup d'arrêt ne se prolonge cependant pas car la présence de l'oomycète s'intensifie quasiment partout à partir de la deuxième partie du mois de juillet.

Différentes méthodes permettent de réduire la présence du mildiou sur la parcelle. Des mesures prophylactiques telles que le désherbage autour des pieds et le paillage peuvent être réalisées, comme à Forcalquier où la présence du bio agresseur est restée très faible. Un apport préventif de cuivre peut aussi être réalisé comme à Cabrière, deux semaines avant qu'un effet soit observable sur la parcelle. L'utilisation de cuivre est donc à anticiper. La bouillie bordelaise (mélange à base de sulfate de cuivre) utilisée sur la parcelle de Chorges a été utilisée trop tard par rapport à l'infection de mildiou qui s'était déjà propagée dans la houblonnière. Le bio agresseur avait déjà atteint les apex des lianes quand le produit a fait effet, provoquant la mort des jets. Il a fallu attendre le développement de nouvelles lianes pour que le plant reprenne sa croissance. Sur la parcelle de Callian, un produit riche en chlore a lui aussi été appliqué après la première infection du mildiou sur la parcelle. En revanche comme à Chorges, l'infection a diminué à la suite de l'application du produit.

Si l'on considère les résultats obtenus, **la présence et l'intensité du mildiou** sur les différentes parcelles semblent être **des problématiques d'itinéraire technique plutôt que de choix variétal**. L'intégration de **méthodes freinant le développement de l'oomycète** comme **la taille, la gestion de l'enherbement** ou encore **l'apport de cuivre** permettraient d'améliorer considérablement l'état sanitaire des parcelles.

2. Pucerons et acariens

La présence des pucerons n'a pas impacté la croissance des houblons, à l'exception de la variété Fuggle à Cabrière. Ses rendements sont significativement plus bas que certaines des variétés cultivées sur la parcelle et en moyenne plus bas que toutes les autres. Cette perte de rendement a été causée par la fumagine⁴⁷, engendrée par le miellat (les déjections sucrées) sécrété par les insectes. L'homogénéité de la présence des pucerons sur toutes les variétés indique qu'un facteur externe a favorisé le développement de cette maladie sur les plants de Fuggle. En effet, de l'ombre apportée par un arbre en bord de parcelle spécifiquement sur les 12 plants de cette variété semble avoir favorisé le développement du complexe de champignons. Sur l'ensemble des houblonnières il a fallu attendre l'arrivée d'auxiliaires et notamment le déroulement du cycle de vie des coccinelles pour venir à bout des insectes. En effet les pucerons ont disparu des parcelles avant la fin du mois d'août, période à laquelle les mâles retournent normalement sur les *Prunus* pour préparer l'hivernation⁴⁸.

A Entraigues et Forcalquier, les populations de coccinelles étaient déjà présentes avant l'arrivée des pucerons. Cette présence des auxiliaires et notamment de leurs larves ont permis d'endiguer le développement du ravageur en moins d'un mois. La biodiversité cultivée dans l'inter rang d'Entraigues ainsi que les bords de parcelle enherbés sont autant de niches écologiques permettant l'installation précoce des auxiliaires. La présence d'un inter rang sur

la parcelle de Cabrière parviendrait sans doute à accélérer la diffusion des coccinelles et autres syrphes dans la parcelle.

Le dernier ravageur notoire pour la culture du houblon en PACA est l'acarien *Tetranychus urticae*. Seule la parcelle de Cabrière emploie une méthode de lutte intégrée contre l'acarien qui paraît efficace. C'est dans cette houblonnière que l'on observe la seule baisse de son incidence et surtout de sa sévérité générale. Partout ailleurs le développement de la présence de l'acarien est croissant. La lutte contre ce ravageur est pour l'instant négligée car sa propagation ne se déclare qu'au moment des plus fortes chaleurs estivales soit environ un mois avant les récoltes. L'impact direct de l'acarien sur les rendements est moins évident à estimer que celui du mildiou car sa présence n'est pas aussi délétère visuellement. En revanche, si aucun moyen de lutte n'est mis en place pour les prochaines saisons, sa population pourrait se révéler bien plus néfaste qu'elle l'est aujourd'hui.



On voit dans cette partie que **les bioagresseurs** et notamment le mildiou ont **fortement impacté les parcelles n'ayant pas pris de mesures prophylactiques**. La présence et l'intensité de ces bioagresseurs sur les différentes parcelles semblent être des **problématiques d'itinéraire technique plutôt que de choix variétal**. **Aucune lutte contre les pucerons** n'a encore été mise en œuvre, et **seule la parcelle de Cabrière** emploie une **méthode de lutte intégrée contre l'acarien**.

B. Itinéraire technique : que faire et que faut-il éviter ?

1. Gestion de l'enherbement

La culture du houblon est impactée par un enherbement trop important. A Chorges et Forcalquier, le développement incontrôlé d'adventices sur l'inter rang et sur le rang s'est fait au détriment de celui du houblon qui n'a d'ailleurs généralement pas atteint le faitage. A Solliès-Pont seul l'enherbement spontané de l'inter rang s'est révélé problématique car le rang était contenu sous une bâche. Cet enherbement conjointement avec d'autres facteurs a nui au développement correct des plants cultivés (voir partie IV.B.3).

La gestion culturale de l'enherbement sur les parcelles d'Entraigues, Cabrière, Callian et Gardanne a bien fonctionné pour la saison. Cependant, les méthodes effectuées à Callian et Gardanne ne sont pas répliquables dans une houblonnière « classique ». A Gardanne, un broyage de l'inter rang le 10 juin et le manque d'irrigation ont suffi pour maîtriser le développement de l'enherbement. Cependant ce manque d'humidité dans les sols a gravement nui à la culture elle-même. A Callian, c'est grâce à un désherbage manuel minutieux que le personnel d'Emmaüs a pu gérer l'enherbement des 0,5 hectares de plantation. Le coût horaire de cette opération serait trop élevé en d'autres circonstances. La méthode utilisée à Entraigues a consisté à semer un couvert à l'automne pour le détruire à la mi-juin. Les résidus broyés ont été laissés dans l'inter rang en maîtrisant efficacement le développement de nouveaux adventices. Sur le rang, les nouvelles lianes non mises au fil ont participé à contenir son enherbement (bien que source d'humidité donc de mildiou). C'est une technique de buttage qui a été pratiquée à Cabrière pour contenir l'enherbement du rang. Les trois buttages successifs ont eu lieu de fin juin à début juillet. Sur cette parcelle l'enherbement s'est révélé quasiment inexistant sur et entre les rangs. La technique de

paillage des plants à Forcalquier s'est révélée efficace en début de saison mais serait à renouveler plusieurs fois pour contenir l'enherbement dans l'inter rang.

Les étapes de **désherbage, broyage, paillage et buttage** sont à effectuer à **des moments clefs** pour **endiguer le développement des adventices**. Les parcelles où **l'enherbement devient problématique** sont celles qui ne **maitrisent pas le développement spontané de l'inter rang**.

2. Gestion de L'irrigation

En région PACA l'irrigation de la parcelle est nécessaire pour cultiver le houblon. L'absence d'irrigation a directement impacté le développement des cônes à Forcalquier. On remarque que pour une même variété les rendements sont multipliés par 180 entre cette parcelle et Cabrière qui bénéficie pourtant du même climat. Sur cette parcelle les variétés Centennial et Nugget ont même arrêté leur développement avant la production des cônes. Un stress hydrique momentané, même s'il est corrigé par la suite peut avoir des conséquences réelles sur le développement du houblon et donc sur le rendement. A Gardanne, un manque d'eau croissant a sorti les racines du confort hydrique pendant que les lianes atteignaient les stades 50 et 60 propres au développement des inflorescences. Les rendements de cette parcelle, en dessous de la moyenne, portent donc les stigmates de ce manque d'eau. Ces deux parcelles marquées par un manque d'eau conséquent sont aussi celles où l'acarien s'est le plus développé. La prédilection du ravageur pour les zones sèches a rendu sa présence plus importante dans ces deux houblonnières.

Si l'irrigation représente un problème quand elle est trop faible, elle peut aussi le devenir quand elle est trop importante. A Callian, une irrigation de 32 litres par jour combinée à un sol très argileux a créé de fortes rétentions d'eau dans les sols saturant les sondes tensiométriques. Cette humidité trop importante n'a pas empêché le développement des plants de houblon, mais le jaunissement continu des feuilles du bas a souligné la présence d'un stress. Cette coloration des feuilles du bas a par la suite diminué grâce à la réduction de l'irrigation. A Chorges, d'importantes pluies et de forts apports hydriques ont été observables au cours de la saison. Un sol plus drainant que celui de Callian a empêché la rétention de cette importante quantité d'eau, cependant les adventices ont largement profité de cette sur-irrigation. L'enherbement de l'inter rang s'est considérablement développé malgré les débroussaillages et broyages effectués.

Les **quantités d'eau à apporter varient** en **fonction des conditions pédoclimatiques** de la parcelle. Une valeur moyenne de **9 à 12 litres par jour par plant** semble être une bonne quantité de départ, à **faire varier en fonction de son sol et des précipitations**. Les pluies importantes en avril et mai semblent indiquer **qu'un lancement de l'irrigation avant le mois de juin n'est pas nécessaire**, et serait à reporter à plus tard pour les parcelles de Callian et Chorges. Une **baisse de l'irrigation sur ces parcelles** ainsi que l'installation d'un système d'irrigation à Forcalquier sont nécessaires.

3. La taille, une étape précise parmi d'autres

La taille en début de saison paraît nécessaire pour des raisons sanitaires et productives. Une crainte ressentie par les houblonniers serait la non-reprise des pieds après cette étape.

Cependant, on remarque que la croissance la plus rapide est située à Cabrière, seul endroit avec Forcalquier où le houblon est taillé en profondeur (au niveau du rhizome). Ce dernier détail représente la grande différence avec les parcelles d'Entraigues et de Solliès-Pont, où les pieds sont taillés superficiellement à la débroussailleuse. Cette manière de tailler n'élimine pas les résidus des lianes de l'année passée, souvent porteuses de mildiou, et encore liées au rhizome principal.

L'exemple de Solliès-Pont nous indique qu'une taille trop tardive (30 mai) impacte lourdement les rendements. Sur cette parcelle les chaleurs propres à la région ont déclenché la floraison après seulement quelques dizaines de centimètres de croissance. Une fois l'apex changé en inflorescence la croissance s'est arrêté, formant des cônes qui ont rapidement séchés sur les jeunes plants de houblon. C'est pour cette raison que les plants n'ont pas été récoltés sur cette houblonnière pour la saison 2021.

Comme nous le prouve cet exemple, la gestion des dates et de l'ordre des étapes de l'itinéraire technique à respecter n'est pas simple pour la culture du houblon. Les moments d'intervention sur la parcelle nécessitent la disponibilité des houblonniers, sans quoi des baisses de rendement où l'augmentation du temps de travail seront la conséquence d'un retard ou d'une anticipation de ces étapes.



On voit dans cette partie que la **réussite** de la culture a été **fonction de la conduite culturale**. De nombreux **stress liés à la mauvaise gestion de l'irrigation et de l'enherbement** sont à l'origine des **baisses de rendement**. Un **itinéraire type à adapter serait celui de Cabrière**, où les rendements élevés traduisent une **bonne maîtrise des dates des opérations culturales** les plus sensibles ainsi que **des doses à apporter**.

C. Comportements particuliers du houblon en Paca

Les étapes de l'itinéraire technique sont semblables à celles pratiquées dans le nord de la France. En revanche, l'environnement semble avoir un effet sur la date de la réalisation de ces différentes étapes.

1. Un environnement particulier ; un itinéraire à adapter

La région PACA est marquée par des fortes chaleurs et peu de pluies aux mois de juillet et août. Les parcelles de Solliès-Pont et Callian sont celles qui souffrent le plus de ces conditions de sécheresse. Ces fortes chaleurs semblent en effet déclencher la floraison plus tôt que dans le nord de la France, impactant l'ensemble de l'itinéraire. Les cônes apparaissant pendant la deuxième partie du mois de juillet avancent la récolte à mi-août par rapport aux itinéraires menés en Alsace (récolte en septembre). Ce phénomène de floraison précoce peut être modéré par l'étape de la taille. En effet une taille trop tardive engendrera un manque à gagner correspondant à la hauteur sur le fil qu'il reste à parcourir par la liane. Ce phénomène est particulièrement visible sur la parcelle de Solliès-Pont. Le 15 avril, date de taille réalisée à Cabrière, semble convenir pour que les lianes atteignent le faitage aux alentours du 21 juin. La question actuelle est de savoir comment s'approcher encore plus précisément de cette date repère à partir de laquelle la durée des jours commence à diminuer. Une idée serait de retarder d'une semaine la date de la taille et de la réaliser aux alentours du 20 avril.

L'autre solution serait de sélectionner plus rigoureusement les lianes à installer au fil, en évitant les branches charpentières gagnant trop rapidement le haut de la structure.

La floraison est plus précoce en Provence que dans le nord-est de la France. La pratique de la **taille autour du 15 avril** et la **sélection des lianes les plus productives** sont nécessaires pour **optimiser le développement** des plants de houblon.

2. Réaction de la culture du houblon à son environnement

La culture du houblon fonctionne-t-elle en région PACA ? Les rendements obtenus sur la parcelle de Cabrière semblent indiquer que oui. Les rendements frais maximaux obtenus (aux alentours de 2,5 kg par plant pour Cascade et Chinook) se situent aux alentours des rendements annoncés par les houblonniers historiques du nord-est de la France. Cependant même si des rendements importants peuvent être atteints, la physiologie de la plante semble être impactée par le climat du sud-est.

Les hauteurs de floraison des houblons semblent élevées, notamment pour les plants ayant atteint le haut du faitage à Cabrière et Callian. Cette hauteur impliquant une longueur productive plus faible s'explique par un certain type de dégradations observé sur les lianes au cours de la saison. Ces dommages ont été observés sur l'ensemble des parcelles suivies, au niveau de la formation des ramifications secondaires. Ces pré-ramifications, futures porteuses des fleurs puis des cônes, ont commencé à se dessécher entre le stade 50 et le stade 60. Ces stades correspondent au moment où le plant de houblon développe ses ramifications tout en continuant sa croissance. Le dessèchement de ces organes est en fait une réponse du végétal à un stress extérieur, choisissant de remobiliser l'énergie de la plante vers l'apex plutôt que de favoriser le développement des organes reproducteurs. Est-ce que cette réponse est intrinsèque à la culture du houblon en PACA ou peut-elle être évitée ? Les stress sont nombreux en région PACA (hydriques, bio agresseurs) et ne sont pas tous complètement contrôlables (chaleurs estivales). Quelques années de recul sont nécessaires pour répondre à cette question.

La fonction d'estimation semble indiquer un lien entre les variables biomasse aérienne (sans les cônes) et rendement. Cependant cette fonction reste empirique et ne permet pas la conclusion d'un rapport entre les deux variables. Il est tout de même possible d'observer que la production de biomasse foliaire (tiges, feuilles) ne se fait pas au détriment de la production de cônes. En effet la fonction d'estimation augmente plus rapidement pour les valeurs hautes de rendement qu'en début de courbe. Cette relation serait à confirmer avec une plus grande représentativité des données entre 1000 et 2500 grammes par récolte. Si cette relation était confirmée, un travail autour de la surface foliaire développée en réponse à la sécheresse pourrait conduire à l'intégration de ce paramètre dans les choix variétaux.

A l'inverse aucune tendance ne semble se dégager de la relation « longueur productive » et « rendement ». Il est toutefois possible de noter que les rendements les plus élevés n'ont pas été réalisés sur les plants ayant la longueur productive la plus importante. Cette remarque reste toutefois nuancée par l'effet « itinéraire technique » qui semble impacter largement

	Cascade	Centennial	Chinook	Glacier	Fuggie	Magnum	Nugget	Willamette
Cabrière <i>Fumagine sur Fuggie</i>	-	-	-	-	-		-	-
	2250	845	2680	2131	435		1430	1032
Callian <i>Sol saturé en eau</i>	-	++	-	+				
	400	360	195	730				
Chorges <i>MAF tardive Enherbement</i>	+		++			+		
	145		325			350		
Entraigues <i>MAF tardive</i>	+	+++		++	++	-	+++	-
	560	805		620	540	770	1280	95
Forcalquier <i>Absence d'irrigation</i>	-	-	-	-			-	
	16	0	15	5		15	0	
Gardanne <i>Irrigation tardive</i>	+	++	-	+	++		+	-
	280	60	250	250	90		295	230
Solliès-Pont <i>Taille tardive</i>	-							
	0							

+++	Très important	[sévérité max > 0,5]
++	Important	[0,3 < sévérité max < 0,49]
+	Modéré	[0,2 < sévérité max < 0,29]
	Faible	[sévérité max < 0,19]

Impact du mildiou pour la saison 2021

Rendement Moyen	Très élevé] > 2500]
Rendement Moyen	Elevé	[1800 – 2500]
Rendement Moyen	Moyen	[800 – 1799]
Rendement Moyen	Faible	[300 – 799]
Rendement Moyen	Très faible	[0 – 299]

Rendement moyen pour la saison 2021

Tableau 3 – Interaction entre le rendement et l'impact du mildiou

plus les rendements que les différents paramètres parcelaires (hauteur du faitage, conditions pédoclimatiques...).

La **floraison** commence **haut sur les plants** car les différents **stress** engendrent un **séchage des ramifications secondaires les plus basses**. La production de **biomasse** ne se fait **pas au détriment de la production de cônes** et les **rendements les plus élevés n'ont pas été réalisés** sur les plants ayant la **longueur productive la plus importante**. Ces deux observations sont les seules à pouvoir être affirmées car **des études plus poussées sont nécessaires** pour identifier des relations entre ces variables.

3. Réponse variétale à l'environnement et plus particulièrement au mildiou

Généraliser le comportement des différentes variétés à l'environnement est un exercice complexe car les itinéraires techniques sont très différents. Quelques tendances sont tout de même observables.

Les variétés Nugget et Glacier sont récoltées plus tard que les autres variétés, ce qui indique une tendance de développement plus lente pour ces deux variétés. Cette caractéristique pourrait être utile à un houblonnier souhaitant échelonner ses récoltes.

Pour la saison 2021 le bioagresseur ayant impacté les plants de houblon de la manière la plus significative est le mildiou. Le tableau 3 résume l'interaction entre le rendement et l'impact du mildiou pour les variétés. Les itinéraires techniques de Solliès-Pont et Forcalquier ont impacté le développement des plants de manière trop significative. Le manque d'irrigation et la taille trop tardive ont été délétères pour l'ensemble des variétés, ne permettant pas d'intégrer ces parcelles dans l'analyse. Nous ne tiendrons pas non plus compte de la variété Fuggle à Cabrière car la fumagine a impacté trop sévèrement son développement.

Comme nous l'avons vu, la gestion intra parcelaire à Chorges et Entraigues est trop hétérogène pour conclure sur la sensibilité des variétés dans ces houblonnières. En revanche pour les parcelles de Cabrière, Callian et Gardanne, nous pouvons observer que les variétés Willamette, Chinook et Cascade ont été moins sensibles au mildiou que Glacier, Centennial et Fuggle.

Les rendements montrent des degrés de tolérance différents des variétés face à l'oomycète. Les rendements des variétés Nugget et Centennial semblent avoir été peu impactés par la présence (parfois très importante) du mildiou. A l'inverse, les rendements des variétés Magnum et Glacier diminuent avec l'augmentation de la sévérité de la maladie.



On voit dans cette partie que la **sécheresse estivale impacte le développement de la plante**. L'itinéraire technique et notamment la **taille** permet de **modérer** un phénomène de **floraison précoce**. **L'irrigation est un facteur crucial** dans la culture car un **manque d'irrigation** entraîne une **forte baisse de rendement**. **La maîtrise des opérations culturales pour réduire les stress** propres à la région PACA est nécessaire. Les variétés **Willamette, Chinook et Cascade** semblent être les **moins sensibles au mildiou**, tandis que **Nugget et Centennial** paraissent **tolérer la présence de l'oomycète**. La variété **Glacier** semble être la **plus affectée par la présence du mildiou**.

V. Discussion

A. Des limites de l'étude intrinsèques à l'expérimentation paysanne
Plusieurs facteurs sont à prendre en considération dans l'analyse des résultats. Comme il l'a été rappelé, la date de plantation des plants de houblon diffère entre les parcelles. Les plus jeunes plants datent du printemps 2020 tandis que les houblonnières les plus âgées ont été cultivées dès 2018, ce qui devrait entraîner une réelle différence au niveau des rendements. L'observation des résultats n'est cependant pas en cohérence avec ces dates car les rendements les plus élevés ont été obtenus à Cabrière, houblonnière âgée de seulement deux ans. Il est à ce stade difficile de quantifier l'implication du paramètre « date de plantation » sur les résultats obtenus dans le cadre du projet. L'implication des autres paramètres (hauteur de la structure, type de sol, apports...) s'est aussi révélée compliquée à prendre en compte tant la conduite de l'itinéraire technique a influencé le développement des houblons sur les différentes parcelles.

Cette différence dans la conduite de l'itinéraire technique s'explique avant tout par le temps alloué par les différents houblonniers à l'entretien de leur parcelle. On observe que l'implication des houblonniers pendant la saison, « quantifiable » par le nombre d'étapes réalisées, varie énormément. Les parcelles de Gardanne, Chorges, Solliès-Pont et Forcalquier ont été largement moins entretenues que les autres pour plusieurs raisons. A Gardanne, le lycée doit s'occuper de la conduite de la culture. Toutefois le peu de disponibilités du personnel sur place combiné à leur départ en vacances aux mois de juillet et août rend compliquée la gestion de la parcelle. De même, la nouveauté de la culture dans la région sud la relègue en générale au second plan derrière les cultures historiques.

A Chorges et Solliès-Pont, l'activité principale des deux exploitants, le maraichage, semble peu convenir à l'exigence de la culture du houblon. Comme on a pu le voir, les étapes à réaliser dans cette culture sont ponctuelles mais nécessaires. Un retard ou une anticipation de ces étapes peut avoir de lourdes conséquences sur le bon développement des plants et donc les rendements. Les emplois du temps de la maraichère de Chorges et du maraicher de Solliès-Pont sont trop contraignants pendant les mois de croissance du houblon (mai à août). Un changement devra être opéré dans ces systèmes pour parvenir à libérer plus de temps à la gestion du houblon.

Enfin, la parcelle de Forcalquier a fait office de parcelle témoin « sans intervention ». Le houblonnier en charge de la culture n'a pas pu s'occuper de la parcelle car son projet pour la saison 2021 était porté sur l'installation d'une nouvelle houblonnière de deux hectares à quelques kilomètres de l'ancienne. Cette houblonnière entrera en production pour la saison 2022, tout comme une autre parcelle nouvellement installée dans le secteur avec des dimensions équivalentes.

A Entraigues, le manque de temps du houblonnier travaillant principalement à l'INRAE d'Avignon et ayant une activité secondaire de brasseur a entraîné plusieurs manquements. Cette charge de travail a engendré une phase de taille trop précoce puis de la mise au fil trop tardive, à l'origine du développement majeur du mildiou sur la parcelle.

A Callian et Cabrière il n'y a pas réellement eu de manque de disponibilité des houblonniers. Le travail principal de l'exploitant de Cabrière lui permet de se libérer le temps nécessaire à la conduite de la culture. A Callian, la grande disponibilité de deux à trois membres de la fondation Emmaüs a permis un suivi régulier du développement du houblon. Ce système n'est en revanche pas généralisable à la gestion d'une houblonnière « professionnelle » car le temps passé sur la parcelle serait difficilement rémunéré.

Les différents niveaux d'engagement des houblonniers ont entraîné des différences largement plus notables entre les parcelles qu'entre les variétés. C'est aussi la gestion hétérogène au sein des houblonnières et les différences intra parcellaires qui ont mené à ces résultats. Des effets « bord de parcelle » sont notables sur les parcelles d'Entraigues, Callian et Cabrière. Ces effets sont en revanche difficilement quantifiables et non pris en compte dans l'analyse des résultats.

La grande variabilité des parcelles et des modes de gestion est inhérent à l'expérimentation en milieu paysan. C'est en effet les tendances qui sont cherchées, intégrant les différences propres à chaque parcelle, à chaque système. Une analyse plus fine pourra sûrement être réalisée dans quelques années, recul pouvant créer une meilleure homogénéité des conduites culturales au sein des houblonnières.

B. A quand la filière « Houblon de Provence » ?

Comme peuvent le montrer les différents résultats, la culture du houblon est lancée dans la région PACA et montre des résultats à la fois timides et prometteurs. L'organisation des houblonniers de la région Sud-est marquerait un tournant important pour des raisons techniques, mais aussi politiques.

Le lancement d'une production locale de houblon concorde avec la restructuration de la filière française par rapport à son organisation historique. Depuis plusieurs années l'AGPH (*Association Générale des Producteurs de Houblon de France*), historiquement centrée sur les principaux bassins de production en Alsace et dans le Nord, est sollicitée par de nombreux projets d'installation sur le territoire français. Face à cet enjeu, Bernard Ingwiller, président de l'AGPH, a présenté la nouvelle stratégie de l'organisation. C'est pour cela qu'en août 2019 se tenaient les premières assises du houblon, organisé par l'AGPH⁴⁹. Ces assises avaient pour vocation d'organiser la filière nationale autour de plusieurs entités :

- **France Houblon**, une nouvelle marque collective qui devrait voir le jour en 2022⁵⁰ pour rassembler l'ensemble de la production française.

- **l'Inter-Houblon**, l'interprofession pour le houblon. Cette structure née en février 2020⁵¹ a pour objectif de favoriser les échanges entre les acteurs de la filière (producteurs, négociants, transformateurs). Antoine Wuchner, secrétaire général de l'AGPH et directeur commercial du Comptoir agricole est le trésorier de l'Inter-Houblon⁵².

- **l'AFNH**, l'Association Française du Négoce de Houblon. Cette association regroupe les négociants en houblon. Aujourd'hui les principaux négociants sont : le comptoir agricole, Hop Store, Hopen, la Malterie de l'Ouest.

- *PITH*, Institut Technique du Houblon effectue les activités de recherche et d'accompagnement agronomique. C'est l'équivalent de l'ancienne branche technique de l'AGPH, dont l'Assemblée Générale (AG) a décidé de scinder les activités syndicales et représentatives de la recherche et de l'accompagnement agronomique⁵³.

Pour les houblonniers de la région PACA, un des intérêts de monter une filière locale serait une manière de pouvoir s'asseoir à la table des discussions de l'AGPH. C'est aujourd'hui l'association la Bière de Provence, cheffe de fil du projet, qui représente les houblonniers au sein de l'AGPH. Un regroupement des houblonniers pourrait former la filière « Houblon de Provence », exclusivement portée sur la question du houblon. Les agriculteurs de la région Sud-est pourraient alors participer aux projets de recherche sur le houblon menés par l'interprofession et ainsi faire avancer la question de la culture du houblon dans le Sud-est.

C. Houblon, PACA et changement climatique

Les derniers rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) sont clairs et notamment celui publié en août 2021. L'augmentation globale de la température sera plus rapide que les prévisions « optimistes ». De même, les événements climatologiques extrêmes « *comme les vagues de chaleur en juin 2019 en France vont se poursuivre au cours des prochaines décennies* »⁵⁴ précise Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue et membre du GIEC.

Nous l'avons vu, un confort hydrique engendré par une irrigation importante est une condition *sine qua non* de la réussite de la culture du houblon en PACA. Cependant comme l'explique le rapport du GREC-sud (groupe régional d'experts sur le climat en région sud), les ressources hydriques suivent une tendance d'amoindrissement depuis plusieurs années, tendance qui devrait se confirmer à l'avenir. Le groupe souligne d'ailleurs le fait que « *la diminution des précipitations et les sécheresses agricoles [...] semblent devoir s'aggraver d'ici le milieu du siècle sous l'effet de l'augmentation de l'évaporation liée à la hausse des températures* »⁵⁵.

A l'heure actuelle, les observations démontrent que la culture du houblon nécessite l'apport de plus d'une tonne d'eau par pied, avec en moyenne 12 litres par jour de juin à septembre. Ramené à l'hectare sur une base de 4000 plants cultivés, la quantité d'eau apportée équivaut à environ 450 mm d'eau (ou 4500 m³/ha) sur cette même période. En guise de comparaison, à Forcalquier (Alpes-de-Haute-Provence) le tournesol nécessite un apport variant entre 290 mm et 370 mm par saison pour respectivement 60 mm/m et 100 mm/m de réserve utile (RU)⁵⁶ pour les années sèches. Pour le blé dur ces valeurs varient entre 200 mm et 255 mm de RU, soit à peu près deux fois moins que les besoins du houblon. L'équivalent à l'hectare de l'irrigation effectuée actuellement en houblon serait le maïs en année sèche, cultivé sur un sol d'une RU de 100mm/m (entre 445 et 480 mm/m nécessaires).

Des températures plus élevées et une baisse de la disponibilité en eau pourraient entraver le travail des houblonniers tout comme celui des autres agriculteurs dépendants de la ressource en eau dans la région PACA. Cependant, d'après l'agence de l'eau, malgré « *une convergence des études vers une diminution de la ressource, de grande incertitudes persistent quant à son intensité et ses conséquences* »⁵⁷. Comme souvent dans les prévisions climatiques, les limites

portant sur l'intensité et la temporalité des effets restent logiquement floues car la totalité des paramètres est impossible à prendre en compte.

Pour continuer son développement dans la région PACA, la culture du houblon devra s'adapter aux changements qui affecteront son environnement. Des pratiques culturelles pourront être adoptées de manière à limiter les pertes en eau et diminuer la chaleur au sein des parcelles. Des expérimentations sur la comparaison d'itinéraires techniques pourront être effectuées d'ici quelques années, afin d'identifier les modalités les plus adaptées à un environnement provençal. Ce recul pourrait permettre d'appréhender les défis climatiques que devra affronter le groupement de producteurs de houblon de la région Provenances Alpes Côte d'Azur.

Conclusion

Est-il possible de cultiver le houblon en Provence ? Oui, d'après les résultats présentés puis analysés dans ce rapport. Malgré les spécificités climatiques de la région telles que les fortes chaleurs et le manque de précipitations en été, des résultats encourageants ont été obtenus dans certaines houblonnières. Les rendements atteints, notamment sur la parcelle de Cabrière sont à la hauteur des références techniques des zones de culture historiques que sont l'Alsace et le Nord. Cette réussite s'explique par l'adaptation de l'itinéraire technique aux conditions provençales. La bonne gestion des bioagresseurs est un second facteur de réussite, en particulier pour le mildiou pouvant se révéler très agressif. L'humidité du début de saison coïncidant avec la montée des températures développe un milieu souvent largement propice à son développement. En revanche, les différents niveaux d'implication des houblonniers au cours de la saison et la grande hétérogénéité de la gestion au sein d'une même parcelle ne rendent pas possible des comparaisons inter-variétales. Pour pouvoir dégager des tendances globales sur la réponse de chaque variété au contexte provençal, un recul de quelques années ainsi qu'une homogénéisation des conduites culturales seraient nécessaires.

La culture du houblon est donc possible en Paca. Cependant les données climatiques questionnent sur la durabilité de la culture du houblon dans le sud-est de la France. Les houblonniers s'installant dans la région doivent par exemple prendre en compte la pérennité de leur ressource en eau au moment de leur installation. Un travail important relatif à la gestion de l'irrigation dans la conduite culturale sera à effectuer. De même, une réflexion continue autour de l'adaptation temporelle des différentes étapes de l'itinéraire technique devra être menée, en fonction de la réponse de la culture à la sécheresse estivale.

L'intégration d'une filière provençale en agriculture biologique au sein de la structure historique qu'est l'AGPH pourrait être bénéfique aux houblonniers de la région. Un siège leur permettra de représenter la région du sud-est, en attirant l'attention de l'interprofession sur les problématiques spécifiques en Paca. La réflexion actuelle porterait sur la forme que prendrait l'organisation provençale, et sur la motivation des différents houblonniers à en faire partie. L'installation de deux nouvelles houblonnières représentant à elles seules quatre hectares (soit plus que la totalité des cultures de houblon recensées actuellement dans la région) devrait apporter une nouvelle dynamique à cette filière. De même, plusieurs porteurs de projets sont entrés en contact avec les structures Agribio 04 et La Bière de Provence durant la saison 2021. Ce dynamisme récent ainsi que la montée en compétence des houblonniers déjà installés est encourageant pour la suite du développement de la filière du houblon biologique.

Bibliographie

1. IHGC - Economic Committee, San Carlos de Bariloche, Argentina, Février 2020 [en ligne]. USA Hops, 18 janvier 2021. [Consulté le 20 mars 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.usahops.org/img/blog_pdf/293.pdf
2. Shahbandeh M. 2021. Global share hop production 2020, by major producer. Statista [en ligne]. 19 février 2021. [Consulté le 20 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.statista.com/statistics/757917/share-of-hop-production-worldwide-by-major-producer/>
3. HOPEN, 2020. Houblon Bio : une demande importante, peu d'offre [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.hopenhoublon.fr/blog/houblon-bio-n17>
4. Bompas O. 2020. Bière : le renouveau du houblon français. Le Point [en ligne]. 3 avril 2020. [Consulté le 22 mars 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lepoint.fr/vin/biere-le-renouveau-du-houblon-francais-04-03-2020-2365756_581.php.
5. HopFrance. Chiffres clefs 2020 [en ligne]. [Consulté le 28 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.comptoir-houblon.fr/content/221-chiffres-cles>
6. WashingtonBeer. The Hops [en ligne]. [Consulté le 20 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://washingtonbeer.com/washington-hops/>
7. Rose T. Filière houblon [en ligne]. [Consulté le 12 avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/137505/1/agr_GE_essentiel_2020_8.pdf
8. Gaudiot, T. Le boom des microbrasseries en France. Statista[en ligne]. 13 août 2021. [Consulté le 20 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://fr.statista.com/infographie/19362/evolution-du-nombre-de-brasseries-et-microbrasseries-en-france/>
9. SNBI, 2019. Le marché des brasseries indépendantes. Brasseurs indépendants [en ligne]. Juin 2019. [Consulté le 13 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.brassiers-independants.fr/wp-content/uploads/2019/06/Chiffres-du-marche%CC%81-des-Brasseries-Inde%CC%81pendantes.pdf>
10. Carpon A, 2016. Tous les montants définitifs des aides couplées végétales. Terre-net [en ligne]. 3 octobre 2016. [Consulté le 27 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturelle/reglementation-social->

[juridique-fiscal/article/tous-les-montants-definitifs-des-aides-couplees-vegetales-220-122612.html](https://www.juridique-fiscal.com/article/tous-les-montants-definitifs-des-aides-couplees-vegetales-220-122612.html)

11. Stassi, F. 2019. Les houblonniers parviendront-ils à répondre à la demande de bière artisanale bio ? L'Usine Nouvelle [en ligne]. 26 septembre 2019. [Consulté le 13 juillet 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.usinenouvelle.com/article/les-houblonniers-parviendront-ils-a-repondre-a-la-demande-de-biere-artisanale-bio.N887704>
12. DGCCRF, 2020. Brasseurs de bière, adoptez les bonnes pratiques ! [en ligne]. [Consulté le 12 juillet 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/brasseurs-biere-adoptez-bonnes-pratiques#HautDePage>
13. Stassi, F. 2018. Des brasseurs en quête de houblon... et des houblonniers en quête de connaissances. L'Usine Nouvelle [en ligne]. 3 février 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.usinenouvelle.com/article/des-brasseurs-en-quete-de-houblon-et-des-houblonniers-en-quete-de-connaissances.N647648>
14. Synthèse enquête filière houblon PACA 2020, Agribio 04 et La Bière de Provence
15. La Bière de Provence. Association [en ligne]. [Consulté le 4 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://labieredeprovence.fr/association>
16. Bio de provence, 2020. Agribio 04 [en ligne]. [Consulté le 4 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.bio-provence.org/Agribio-04>
17. GRAB, producteurs d'innovation bio [en ligne]. [Consulté le 4 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.grab.fr/>
18. Houblon (*Humulus lupulus*), un composant de la bière. Le Monde [en ligne]. [Consulté le 17 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-530-houblon-humulus-lupulus-origine-biere.html>
19. HOPEN, 2020. Planter sa houblonnière - Ce qu'il faut savoir [en ligne]. [Consulté le 20 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.hopenhoublon.fr/blog/planter-sa-houblonniere-information-n7>
20. BIOWALLONIE, 2017. La culture de houblon [en ligne]. [Consulté le 20 avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2017/08/Montage-Fiche-technique-houblon-HD_WEB.pdf

21. Frichot V, Boiron N, 2021. Houblon bio en PACA - Lancement de la saison 2021 avec la parcelle expérimentale du projet. Youtube [en ligne]. 10 mai 2021. [Consultée le 10 mai 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=6FsmF9eny5w&ab_channel=AGRIBIO04
22. BIOWALLONIE, 2017. La culture de houblon [en ligne]. [Consulté le 20 avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2017/08/Montage-Fiche-technique-houblon-HD_WEB.pdf
23. HOPEN, 2020. La rentabilité d'une houblonnière [en ligne]. [Consulté le 20 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.hopenhoublon.fr/blog/la-rentabilite-d-une-houblonniere-n12>
24. HOPSTOCK. Noueur de corde [en ligne]. [Consulté le 9 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://hopstock.fr/boutique/noueur-de-corde/>
25. Furet A, L'orphelin S, Peyrard X, Vidal R, 2018. La culture de houblon biologique : référentiel technico-économique en Auvergne-Rhône-Alpes. Lyon France. Guide Commandité et financé par l'association Biera.
26. FranceAgriMer. Obligation de certification du Houblon [en ligne]. [Consulté le 04 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.franceagrimer.fr/Autres-filieres/Houblon/Accompagner/Obligation-de-certification-du-Houblon>
27. FranceAgrimer. Protocole d'échantillonnage [en ligne]. [Consulté le 04 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/64853/document/3-ProtocoleEchantillonnage.pdf?version=8>
28. HOPEN. Comment choisir les variétés de houblon [en ligne]. [Consulté le 20 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.hopenhoublon.fr/actu-et-tutoriaux/comment-choisir-les-varietes-de-houblon>
29. Houblon De France. Le houblon en 8 chiffres [en ligne]. [Consulté le 20 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.houblonsdefrance.fr/le-houblon-en-8-chiffres/>
30. Fricoteaux P, 2019. Créez votre bière - De la compréhension à la réussite [en ligne]. 26.11.2019. [Consulté le 25 avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340069947_extrait.pdf
31. BtoBeer. Le choix du houblon pour la bière de la chimie aux saveurs [en ligne]. [Consulté le 27 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.btobeer.com/themes-conseils-techniques-bieres-brasseries/conseils-houblons-bieres/le-choix-du-houblon-de-la-chimie-aux-flaveurs>

32. Jouve P, 1990. L'expérimentation en milieu paysan : démarches et méthodes [en ligne]. Les Cahiers de la Recherche Développement no 27. Septembre 1990. [Consulté le 7 août 2021]. Disponible à l'adresse : https://agritrop.cirad.fr/428050/1/document_428050.pdf
33. RollingBeers. Liste complète des houblons du monde, substituts et propriétés [en ligne]. [Consulté le 06 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.rolling-beers.fr/fr/content/29-liste-complete-des-houblons>
34. Brouwland. Houblons [en ligne]. [Consulté le 29 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://brouwland.com/fr/1081-houblons?q=Segment-bi%C3%A8re>
35. Univers Bière. Base de données collaborative d'ingrédients [en ligne]. [Consulté le 29 mars 2021]. Disponible à l'adresse : http://univers-biere.net/bi_articlehoublons.php?id=32
36. HOPEN. Tout savoir sur le houblon en 30 mn [en ligne]. Chambre d'agriculture Nouvelle-Aquitain [Consulté le 14 avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://pa.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/106_Inst-Pyrenees-Atlantiques/Documents/Technique_et_innovation/agriculture_biologique/Evenements-JourneesTechniques/WEBINAIRE-HOPEN.pdf
37. GREC, 2016. Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur [en ligne]. Mai 2016. [Consulté le 06 juin 2021]. Disponible à l'adresse : www.grec-sud.fr/wp-content/uploads/2017/09/GREC-PACA-Publication-changement-climat-27Mo.pdf
38. Météo France. Les vents régionaux [en ligne]. [Consulté le 06 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-vents-regionaux>
39. Syngenta, 2015. BBCH : une échelle universelle pour identifier le stade des cultures [en ligne]. 3 janvier 2015. [Consulté le 06 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.syngenta.fr/agriculture-durable/reglementation/dossier-bbch/article/echelle-universelle-bbch>
40. Nedellec J, Gabriel H, 2020. Les outils d'aide au pilotage de l'irrigation : les sondes tensiométriques et capacitatives [en ligne]. Chambre d'Agriculture du Tarn, 2020. [Consulté le 06 juin 2021]. Disponible à l'adresse : https://tarn.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/074_Inst-Tarn/4-AGROENVIRONNEMENT/Eau_OU_Irrigation/sondes_tensio_cap.pdf

41. Challenge Agriculture : la tensiométrie [en ligne]. [Consulté le 09 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.challenge-agriculture.fr/>
42. Agroressources. Boitier de lecture Watermark [en ligne]. [Consulté le 12 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.agroressources.com/boutique/pilotage-irrigation/tensiometre-electrique/boitier-de-lecture-watermark/>
43. Neema C, 2017. Bases de l'épidémiologie végétale [en ligne]. [Consulté le 12 juin 2021]. Disponible à l'adresse https://www6.inrae.fr/e-space/content/download/3246/33428/version/2/file/1_Bases+de+l%27e%CC%81pid e%CC%81miologie+ve%CC%81ge%CC%81tale.+Formation+Epibio+Espace+Mai+2017_CNeemac%20.pdf
44. Koppert. Spidex [en ligne]. [Consulté le 31 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.koppert.fr/spidex/>
45. R-Statistics. Loess Regression with R [en ligne]. [Consulté le 31 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <http://r-statistics.co/Loess-Regression-With-R.html>.
46. Vaudor L, 2015. Régression loess [en ligne]. ENS-lyon, 22 juin 2015. [Consulté le 09 septembre 2021] . Disponible à l'adresse ; <http://perso.ens-lyon.fr/lise.vaudor/regression-loess/>
47. Turpeau E, Hullé M, Chaubet B, 2011. Fumagine [en ligne]. INRAE, 18 août 2011. [Consulté le 07 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Qu-est-ce-qu-un-puceron/Glossaire/Fumagine>
48. HOPEN. Les bioagresseurs du houblon [en ligne].[Consulté le 3 juillet 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.hopenhoublon.fr/blog/les-bioagresseurs-du-houblon-n8>
49. BtoBeer. Assises du houblon 2019 - Un nouvel écosystème pour la filière française [en ligne]. [Consulté le 07 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.btobeer.com/actualites/produits-industries/assises-du-houblon-2019-un-nouvel-ecosysteme-pour-la-filiere-francaise><https://www.btobeer.com/actualites/produits-industries/assises-du-houblon-2019-un-nouvel-ecosysteme-pour-la-filiere-francaise>
50. Stassi F, 2019. La filière houblon se structure [en ligne]. L'Usine Nouvelle, 03 septembre 2019. [Consulté le 07 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.usinenouvelle.com/article/la-filiere-houblon-se-structure.N879670>

51. Hop France, 2020. INTERPROFESSION HOUBLON - création de l'interprofession [en ligne]. 08 avril 2021. [Consulté le 07 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.comptoir-houblon.fr/blog/interprofession-houblon-creation-de-l-interprofession--n180>
52. Stassi F, 2020. La filière houblon se dote d'une interprofession [en ligne]. L'Usine Nouvelle, 02 mars 2020. [Consulté le 07 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.usinenouvelle.com/article/la-filiere-houblon-se-dote-d-une-interprofession.N935444>
53. France Houblon, 2019. Le houblon français à la conquête du monde [en ligne]. La gazette du houblon, 22 août 2019. [Consulté le 10 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : https://rd-agri.fr/external_data/acta/PNDAR-2019/AGPH_Assises%20du%20Houblon%207766%20Gazette%202019.pdf
54. Santacroce L, 2021. 6 choses à retenir du rapport 2021 du Giec sur la crise climatique [en ligne]. Geo, 9 août 2021. [Consulté le 20 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.geo.fr/environnement/5-choses-a-retenir-du-rapport-2021-du-giec-sur-la-crise-climatique-205817>
55. GREC, 2017. Les ressources en eau et le changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur [en ligne]. Juillet 2017. [Consulté le 20 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.grec-sud.fr/cahier-thematique/les-ressources-en-eau-et-le-changement-climatique-en-provence-alpes-cote-dazur/#art-309>
56. Chambre Régionale d'Agriculture PACA. Référentiel des besoins en eau d'irrigation des productions agricoles de Provence-Alpes-Côte d'Azur [en ligne]. [Consulté le 20 septembre]. Disponible à l'adresse : https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/referentiel_des_besoins_en_eau_d_irrigation_en_paca_2014.pdf
57. GREC, 2017. Le Changement climatique en région Sud et son impact sur la ressource en eau [en ligne]. 19 juin 2017. [Consulté le 20 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.grec-sud.fr/outils/le-changement-climatique-en-region-provence-alpes-cote-dazur-et-son-impact-sur-la-ressource-en-eau/>

Annexes

Annexe I : Protocole de suivi parcellaire

Annexe II : Protocole de récolte

Annexe III : Echelle BBCH

Annexe IV : Maladies et ravageurs

Annexe V : Evolution des stades phénologiques en fonction des parcelles

Annexe VI : Evolution des stades phénologiques en fonction des variétés

Annexe VII : Evolution de la croissance en fonction des parcelles

Annexe VIII : Evolution de la croissance en fonction des variétés

Annexe IX : Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou en fonction des parcelles

Annexe X : Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou en fonction des variétés

Annexe XI : Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons en fonction des parcelles

Annexe XII : Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons en fonction des variétés

Annexe XIII : Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens en fonction des parcelles

Annexe XIV : Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens en fonction des variétés

Annexe XV : Evolution de la situation hydrique des parcelles

Annexe XVI : Comparaison des rendements frais par parcelle

Annexe XVII : Comparaison des rendements frais par variété

Annexe XVIII : Présentation des différents itinéraires techniques

Annexe XIX : Présentation des fiches houblonnières

Annexe XX : Diagrammes ombrothermiques

Annexe XXI : Analyse de l'expérience

ADAPTATION DE L'ITINÉRAIRE TECHNIQUE DE LA CULTURE DU HOUBLON EN REGION PACA

- EVALUATION VARIETALE MULTISITE- 2021

Sophie-Joy ONDET, Mégane VECHAMBRE, Victor FRICHOT, Nathan BOIRON

Révision 11 06 21

1/ PROBLEMATIQUE

La filière houblon démarre en région PACA. Quelques personnes commencent à explorer cette voie avec comme références les techniques culturales de l'est de la France et d'un houblonnier de Gérone en Catalogne au nord-est de l'Espagne. Les conditions pédo-climatiques de PACA nécessitent d'adapter ces techniques culturales notamment vis-à-vis du vent et de la sécheresse estivale et d'y évaluer les variétés pour mieux cerner leur potentiel dans ce contexte.

Cette étude s'intègre dans le cadre du projet Feader (« projets expérimentaux et nouveaux produits dans les secteurs de l'agriculture et de l'alimentation », 2014-2020) « Expérimentation et évaluation participatives et multi-sites de culture de houblon en climat méditerranéen à destination des brasseries artisanales de la région PACA », porté par l'association Bière de Provence et Agribio 04.

2/ OBJECTIFS

Les objectifs visés sont d'évaluer le potentiel qualitatif et le comportement de plusieurs variétés de houblon sous nos conditions pédo-climatiques de PACA.

3/ MATÉRIEL et DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Ce protocole est à destination des 7 parcelles comprenant six houblonnières productives ainsi que la parcelle expérimentale du Lycée Agricole de Valabre.

4/ MESURES

- Agribio04 réalise des mesures chez les houblonniers toutes les 2 semaines.

4.1/ Itinéraire technique (ITK)

Pour chaque parcelle support, on préparera une fiche de notation « ITK » qui permettra au houblonnier ainsi qu'à Agribio04 de noter les informations relatives à l'itinéraire technique.

4.2/ Croissance et stade phénologique

Pour toutes les mesures suivantes, les notations sont à faire sur 5 plants par variété dont la croissance paraît homogène (éviter les plants de bordure). Ces plants sont choisis aléatoirement, par variété, et sont identifiés et numérotés. Ce sont ces plants qui serviront de base aux observations jusqu'à la récolte.

Par variété, mesurer pour chaque plant sélectionné :

- Stade phénologique (cf. Annexe 1) ; de la mise au fil à la récolte
- Elongation → Hauteur de la liane la seconde liane la plus haute ; de la mise au fil à la récolte
- Date d'arrivée de la plante en haut de l'échafaudage ; une seule fois
- Hauteur de floraison ; une seule fois à la récolte

Hauteur et stade phénologique - Fréquence et main d'œuvre :

- ❖ *Chaque visite de parcelle à partir de la mise au fil*
- ❖ *Réalisé par Agribio04*

4.3/ Suivi tensiométrique

Des sondes tensiométriques seront installées chez chaque producteur :

- 6 sondes par producteur : 3 sondes à 20 cm et 3 sondes à 40 cm
- Le relevé se fera à l'aide d'un boîtier manuel muni de pinces crocodiles, à brancher sur chaque sonde pour effectuer la mesure.

Aide à l'interprétation des valeurs : 0-10 cb = saturé, 10-20 cb = ressuyé, 20-60 cb = confort hydrique

Suivi tensiométrique – Fréquence et main d'œuvre :

- ❖ *Toutes les 2 semaines par Agribio à partir de la mise au fil*
- ❖ *Réalisé par Agribio04*

4.5/ Etat sanitaire

Pour chaque variété, faire le tour des plants et mesurer le **taux d'incidence** : compter les plants touchés par le bioagresseur.

Ensuite, pour chaque plant touché, observer la **sévérité** du bioagresseur en question :

- **Mildiou (*Pseudoperonospora humuli*)**
 - Observer l'ensemble du plant et compter le nombre de bourgeons/lianes infectés
 - Observer l'ensemble du plant et donner une estimation du pourcentage de feuilles portant au moins une tache de mildiou
- **Oïdium**
 - Observer l'ensemble du plant et compter le nombre de bourgeons/lianes infectés
 - Observer l'ensemble du plan et donner une estimation du pourcentage de feuilles touchées par l'oïdium
- **Tétranyques tisserands ou acarien jaune « *Tetranychus urticae* »**

- Observer l'ensemble du plant et compter le nombre de bourgeons/lianes présentant des dégâts liés aux attaques de cet acarien (décoloration par points, aspect moucheté)
- Observer l'arrière des feuilles et estimer le pourcentage du plant touché par l'acarien (de bas en haut)
- **Puceron vert « Phorodon humuli »**
 - Observer l'ensemble du plant et estimer le pourcentage de feuilles attaquées.

Etat sanitaire - Fréquence et main d'œuvre

- ❖ *1 fois toutes les deux semaines (en même temps que les notations du stade phénologique et de la croissance).*
- ❖ *réalisé par Agribio04*

PROTOCOLE DE RECOLTE HOUBLON

- EVALUATION VARIETALE MULTISITE- 2021

Nathan BOIRON, Mégane VECHAMBRE et Victor FRICHOT

Révision 11 08 21

1/ PROBLEMATIQUE

La filière houblon démarre en région PACA. Quelques personnes commencent à explorer cette voie avec comme références les techniques culturales de l'est de la France et d'un houblonnier de Gérone en Catalogne au nord-est de l'Espagne. Les conditions pédo-climatiques de PACA nécessitent d'adapter ces techniques culturales notamment vis-à-vis du vent et de la sécheresse estivale et d'y évaluer les variétés pour mieux cerner leur potentiel dans ce contexte.

Cette étude s'intègre dans le cadre du projet Feader (« projets expérimentaux et nouveaux produits dans les secteurs de l'agriculture et de l'alimentation », 2014-2020) « Expérimentation et évaluation participatives et multi-sites de culture de houblon en climat méditerranéen à destination des brasseries artisanales de la région PACA », porté par l'association Bière de Provence et Agribio 04.

2/ OBJECTIFS

Les objectifs visés sont d'évaluer le potentiel qualitatif et le comportement de plusieurs variétés de houblon sous nos conditions pédoclimatiques de PACA.

3/ MATÉRIEL et DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Les mesures décrites plus bas seront effectuées sur les 7 sites suivis dans le cadre du projet houblon.

Matériel nécessaire à la récolte du houblon :

- Balance précise (pèse-personne trop imprécis). Piles pour recharges.
- Contenant pour peser les cônes et les parties aériennes (grand saladier, boîte en plastique).
- Mètre ruban.
- Fiche notation résultats.
- Grandes bâches de tri
- Sacs plastiques ziplocs (1 par parcelle et par variété)
- Sécateurs
- Rubans
- Manches longues

- Cagette

4/ MESURES

Plusieurs mesures sont réalisées au stade récolte. Chaque plant suivi au cours de l'année est récolté (ou 5 si pas assez de temps).

- Poids des lianes (g/plant⁻¹)
- Rendement par plant (g/plant⁻¹)
- Longueur productive (cm)
- Nombre de jets installés au fil au total

5/ ORGANISATION DES RECOLTES

5.1/Mesures pré-récolte

(Pour Valabre) On vérifie le temps de séchage pour arriver à 0 d'humidité à chaque visite de la parcelle.

5.2/Récolte

Chaque mesure est réalisée sur l'ensemble des plants suivis au cours de l'année.

0. Si pas fait : on relève la hauteur de début de floraison - *Mètre rubana.*
Décrochage des lianes en coupant le plant à **20cm du sol**. Décrochage en haut en tirant - *Sécateur*
- b. Comptage du nombre de jets au fil à mi-hauteur du plant. Inscription sur la fiche de notation.
- c. Pesée du plant entier (cônes + corde + parties aériennes). - *Cagette / Balance*
Inscription sur la fiche de notation.
- d. Décrochage des cônes et pesée. Inscription sur la fiche de notation. - *Cagette / Balance*
- e. Echantillon - *Sac ziploc / Balance (ou pas si fait sur place)*
- f. Séchage des cônes échantillon pour humidité (Local Agribio) - *Micro-onde*

Annexe III : Echelle BBCH

Stade principal 0 : levée de la dormance, bourgeonnement

- . 00 : dormance : le plant est en période de dormance sans avoir été taillé
- . 01 : dormance : le plant est en période de dormance en ayant subi une taille
- . 07 : les bourgeons des pousses commencent à croître
- . 08 : levée de la dormance : les pousses des plants non taillés apparaissent
- . 09 : levée de la dormance : les pousses des plants taillés percent la surface du sol

Stade principal 1 : développement des feuilles

- . 11 : la première paire de feuilles est étalée
- . 12 : la deuxième paire de feuilles est étalée, début de la faculté de s'entortiller
- . 13 : la troisième paire de feuilles est étalée

Stade principal 2 : développement des pousses latérales

- . 21 : première paire de pousses latérales visible
- . 22 : deuxième paire de pousses latérales visible
- . 23 : troisième paire de pousses latérales visible
- . 29 : les pousses latérales de deuxième ordre se développent)

Stade principal 3 : élongation

- . 31 : 10% de la longueur maximale est atteinte (la longueur maximale étant la potentielle de développement du houblon c'est à dire la hauteur au faitage)
- . 32 : 20% de la longueur maximale est atteinte
- . 33 : 30% de la longueur maximale est atteinte
- . 39 : fin de l'élongation

Stade principal 5 : développement des inflorescences

- . 51 : les bourgeons des inflorescences sont visibles
- . 55 : les bourgeons des inflorescences sont développés pour 50% d'entre eux



Stade 39

Stade principal 6 : floraison

- . 61 : début de la floraison : environ 10% des fleurs sont ouvertes
- . 62 : environ 20% des fleurs sont ouvertes
- . 63 : environ 30% des fleurs sont ouvertes
- . 64 : environ 40% des fleurs sont ouvertes
- . 65 : pleine floraison : environ 50% des fleurs sont ouvertes
- . 66 : environ 60% des fleurs sont ouvertes
- . 67 : environ 70% des fleurs sont ouvertes
- . 68 : environ 80% des fleurs sont ouvertes
- . 69 : fin de la floraison



Stade 6

Stade principal 7 : développement du cône (inflorescence femelle)



Stade 71

.71 : début du développement des inflorescences femelles : 10% des cônes ou inflorescences femelles sont développés

.75 : avancement du développement des inflorescences : les cônes sont visibles sur toute la longueur de la pousse et ils sont tendres ; les stigmates sont encore apparents

.79 : les cônes sont pleinement développés : ils ont atteint la taille finale, les bractées sont étalées et vertes



Stade 75



Stade 79

Stade principal 8 : maturation du cône

- . 81 : début de la maturation : 10% des cônes sont fermés
- . 82 : 20% des cônes sont fermés
- . 83 : 30% des cônes sont fermés
- . 84 : 40% des cônes sont fermés
- . 85 : 50% des cônes sont fermés
- . 86 : 60% des cônes sont fermés
- . 87 : 70% des cônes sont fermés
- . 88 : 80% des cônes sont fermés
- . 89 : maturité idéale pour la récolte : les cônes sont fermés, la lupuline est de couleur jaune d'or, l'arôme est bien marqué

Stade principal 9 : début de la période de dormance

.92 : maturité trop avancée : les cônes sont jaune brun, les arômes ont diminué de qualité

.97 : période de dormance : les parties aériennes de la plante sont mortes

Annexe IV : Maladies et ravageurs

(Contient des extraits de « La culture de houblon bio » référentiel technico-économique en Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)

1. Mildiou

Il s'agit de la maladie la plus dévastatrice dans les houblonnières. La difficulté de gestion de cette maladie provient du fait que le champignon survit dans les souches de houblon durant l'hiver et qu'il contamine les nouvelles pousses chaque année.



Cette maladie se déclare (et est repérable) au printemps, alors que les jeunes lianes poussent et que les températures oscillent entre 15 et 22°C avec un temps humide. Les spores sont libérées à partir du milieu de la matinée jusqu'au début de l'après-midi et peuvent se propager à d'autres feuilles ou tissus de la

plante. Tant que l'humidité persiste, les zoospores de mildiou peuvent infecter les feuilles, les bourgeons, les cônes ou les tiges du houblon. Un temps humide juste avant la récolte peut provoquer une diffusion très rapide du champignon et rendre les plants de houblon complètement sans valeur.

Les ramifications secondaires se rabougrissent et s'éclaircissent (jaunissement). Les feuilles touchées se recourbent et jaunissent, avec présence d'un feutrage noir/gris sous les feuilles. Les entre-nœuds attaqués sont réduits. Les fleurs se dessèchent, brunissent et tombent conduisant à des pertes de qualité et de rendement pouvant compromettre l'ensemble de la récolte.

Il faut miser sur un traitement préventif systématique pour contenir son développement, que ce soit par la taille de la souche en début d'année ou l'application de produits de protection.

2. Oïdium

L'oïdium est une maladie fongique qui apparaît au début de la saison (vers mai-juin). Comme pour le mildiou, le champignon survit en hiver dans les résidus de culture. Les conditions favorables de développement sont des températures situées entre 20 et 25°C, en conditions humides. Les signes avant-coureurs sont des taches blanches poudreuses visibles à la surface des feuilles. Le vent associé au nombre de ces taches peut causer une infection rapide d'un grand nombre de plants. Les fleurs, très sensibles, deviennent petites, dures et blanches et ne peuvent pas donner de cônes. Les cônes peuvent aussi être déformés et devenir brun rougeâtre au moment de la récolte. La maladie conduit à des pertes de qualité et éventuellement de rendement.



La gestion de la maladie passe donc essentiellement par des gestes préventifs pour l'éliminer avant la floraison.

3. Verticilliose

La verticilliose est une maladie fongique qui affecte de nombreuses espèces et qui est causée par différents champignons. Cette maladie est parmi celles les plus craintes par les houblonniers car une fois sa présence établie sur une houblonnière, il est quasiment impossible de s'en débarrasser, et le pathogène peut résider jusqu'à 15 ans dans le sol²². Des sols lourds, argileux, mal aérés favorisent l'attaque.



Les symptômes varient selon l'agressivité de la souche et la résistance du plant : jaunissement, et flétrissement des feuilles apparaissent généralement en premier sur les feuilles les plus basses. Ces symptômes se produisent préférentiellement lorsque le plant approche de la floraison ou est en situation de stress hydrique. Par la suite, une, plusieurs ou toutes les lianes finissent par mourir, entraînant également la mort du plant.

Au-delà de 30°C, les conidies et mycélium meurent.

4. Puceron vert « *Phorodon humuli* »

Les pucerons, insectes piqueurs-suceurs, puisent leur nourriture dans les plantes en vidant le contenu cellulaire ; ils provoquent ainsi des déformations des feuilles, inhibent la croissance et sont vecteurs de maladies. Une fois les cônes infestés, il est difficile de contenir les populations.

Les pucerons ailés colonisent la houblonnière au printemps (mai) et s'installent sur le haut des plants. Plusieurs générations aptères se succèdent jusqu'au mois d'août où ils retournent sur les plantes hôte d'hiver.



Symptômes

- Jaunissement des feuilles qui deviennent cassantes et s'enroulent vers le bas jusqu'à faner ;
- Brunissement et atrophie des cônes ;
- Dépôt de miellat entraînant la prolifération de champignons microscopiques (fumagine) ;
- Baisse de vigueur de la plante ;
- Baisse du rendement en cônes pouvant atteindre 50% ;
- Qualité pouvant être affectée jusqu'à 100% de la récolte.

5. Tétranyques tisserands ou araignées rouges

Les tétranyques constituent plus fréquemment un problème dans les climats chauds et secs. Les femelles passent l'hiver dans le sol et émergent au printemps. On les retrouve sur l'arrière des feuilles du houblon où elles tissent de fines toiles blanches. Elles s'alimentent du houblon et se reproduisent durant toute la saison. Durant l'été, les tétranyques tisserands sont d'une couleur jaune-verte avec des points noirs sauf les femelles qui gardent leur couleur rouge. Au fur et à mesure que la plante grandit, les acariens grimpent et colonisent les parties les plus hautes de la plante et peuvent ensuite passer sur d'autres plants avec les mouvements d'air.



Cinq à sept générations peuvent se succéder sur la période de cultures à partir de la mi-mai. Leur développement est optimal au-dessus de 23°C et avec une humidité inférieure à 50%. Le développement des tétranyques dans le houblon est favorisé par la présence de poussière et les quantités excessives d'azote.

Les feuilles attaquées par les tétranyques prennent un aspect moucheté puis se dessèchent jusqu'à tomber. Les cônes attaqués deviennent rouge cuivré et se ferment mal. Les infestations entraînent pertes de rendements et de qualité.

6. Altises

Les altises sont de petits coléoptères de couleur vert-brun avec des reflets métalliques qui sautent lorsqu'ils sont dérangés.



Les insectes commencent à sortir à partir du mois de mars et à se nourrir des jeunes pousses. La reproduction en mai-juin va conduire à une succession de 3 stades larvaires dans l'été. A la fin de l'automne, les altises retournent dans le sol pour y passer l'hiver.



On reconnaît facilement les dommages que font les adultes par les feuilles criblées de petits trous plutôt ronds. Les altises endommagent surtout les plantules, tôt en saison de culture. Les cultures en sols légers par temps chaud et sec sont les plus touchées. Lorsque la tête des jeunes pousses est atteinte, ces dernières deviennent cassantes et peuvent dépérir. Au mois d'août, si les folioles du cône sont percées, les cônes ne se ferment pas, restent mous et légers, et dépérissent.

7. Othiorhynque de la livèche ou charançon

L'adulte mesure environ 10 à 14 mm de longueur, il est de forme très convexe, recouvert d'écaillés gris brunâtre et de soies claires à reflets métalliques. La larve apode, mesure de 10 à 12 mm de longueur, elle est de couleur blanchâtre, au corps légèrement incurvé avec une capsule céphalique marron.

Les adultes, formés en été sous terre y restent en diapause jusqu'au printemps suivant. Puis ils quittent leur abri souterrain en avril. Ils s'alimentent essentiellement la nuit. Les adultes se nourrissent sur le bord des feuilles, mais il n'a pas été rapporté de dommages importants à ce niveau. Les larves en revanche peuvent se nourrir des racines et creusent des galeries en forme de rainures et des trous, la plante est alors affaiblie, les dommages peuvent aller jusqu'à la mort du plant.



8. Larve de taupin ou « vers fil de fer »)

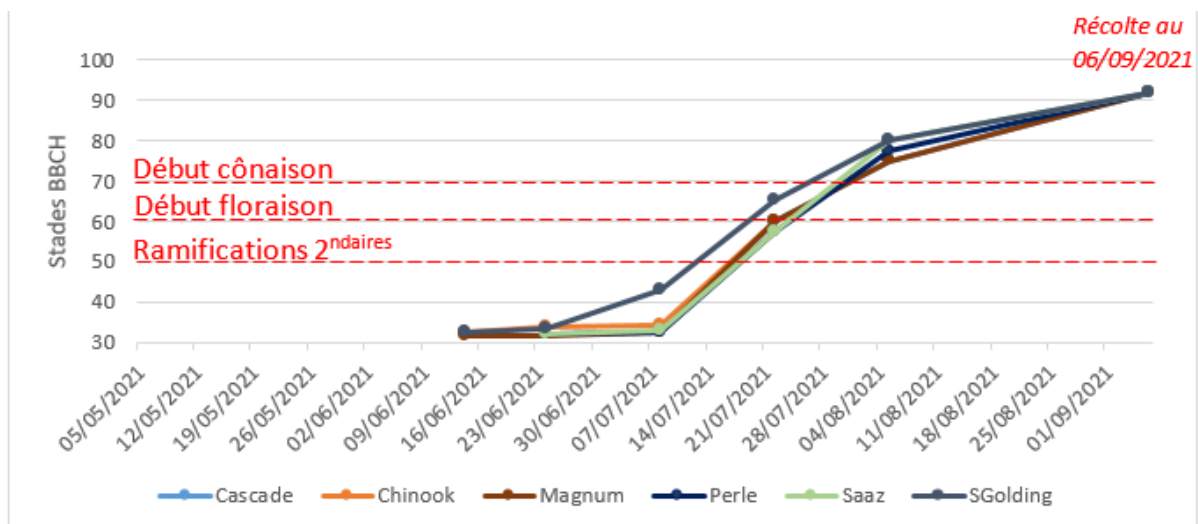
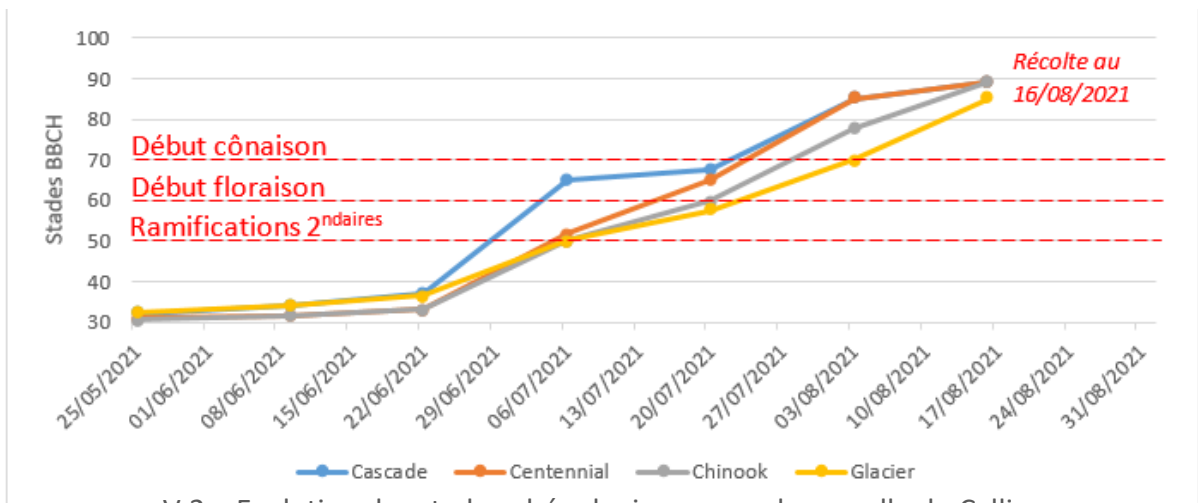
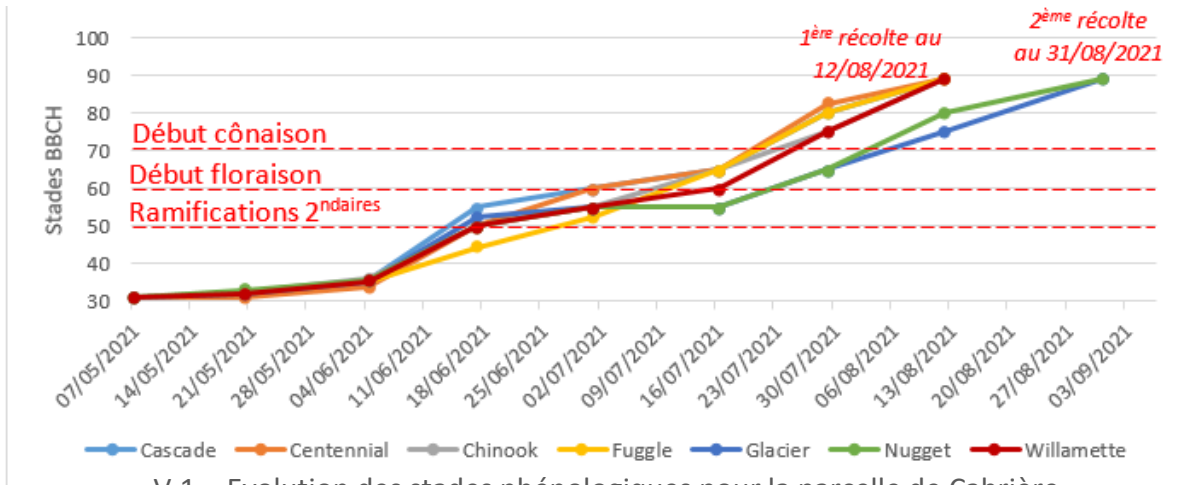
Il se distingue par son corps dur et sa teinte sombre. De forme cylindrique et de couleur allant de l'ocre au cuivre, le ver fil-de-fer mesure de 1 à 4 cm à maturité. Les adultes sont des coléoptères de forme allongée, à carapace dure et de couleur sombre. Leur corps est habituellement fuselé et mesure de 1 à 3 cm de long. La larve de taupin est avant tout problématique en début de plantation sur ancienne prairie retournée.

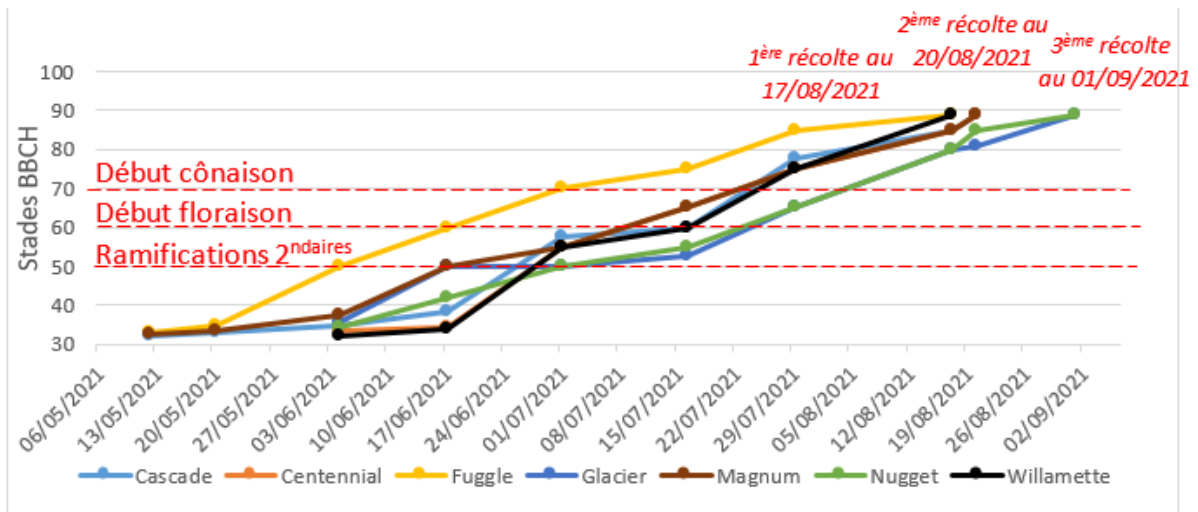
La présence importante de matière organique fraîche entraîne sa prolifération rapide, et, une fois cette ressource épuisée, les larves peuvent se mettre à se nourrir des racines et rhizomes de houblon.

En cas d'attaques, on observe une faible vigueur des plants et une présence de larves et de galeries dans la souche, les racines et les rhizomes de houblon. Une attaque importante peut entraîner la mort du plant.

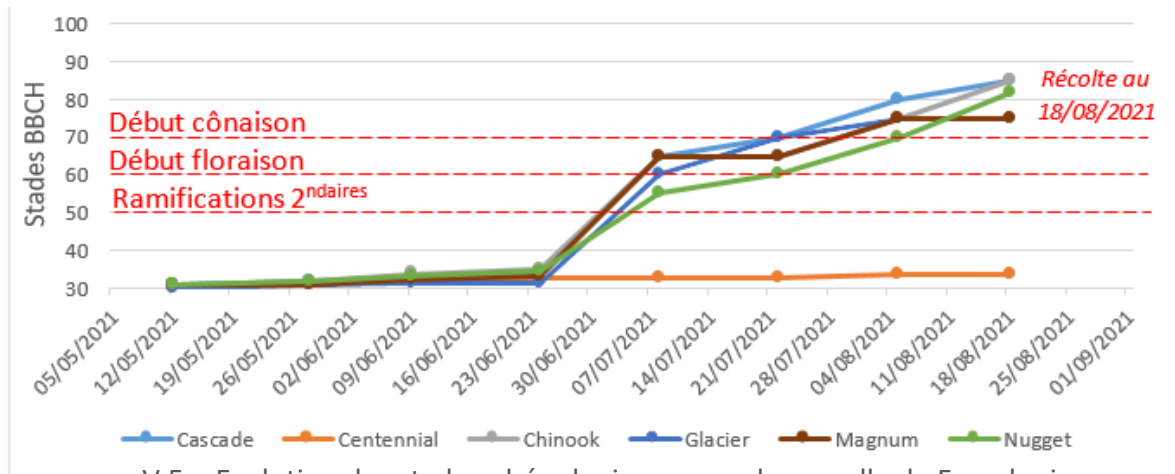


Annexe V : Evolution des stades phénologiques en fonction des parcelles

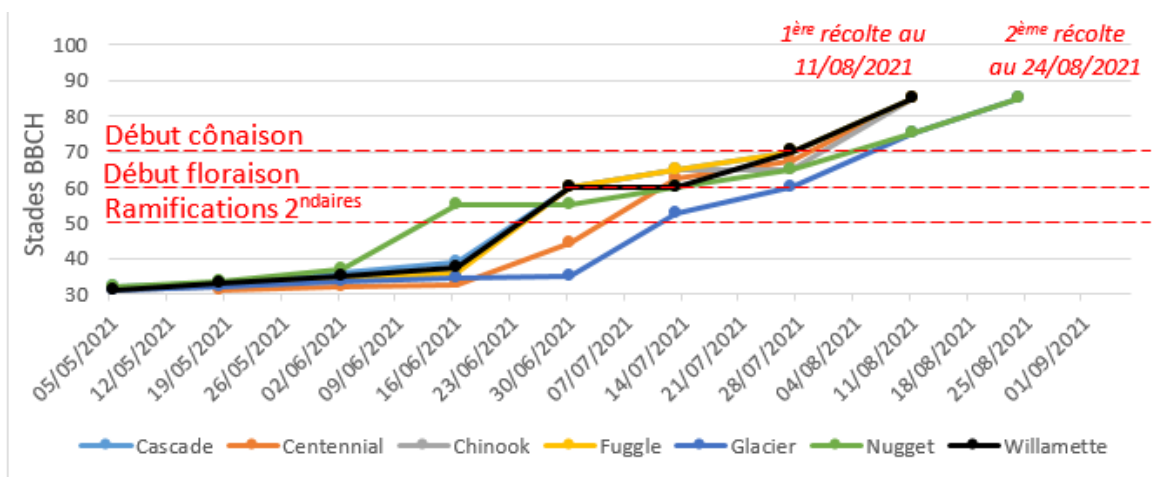




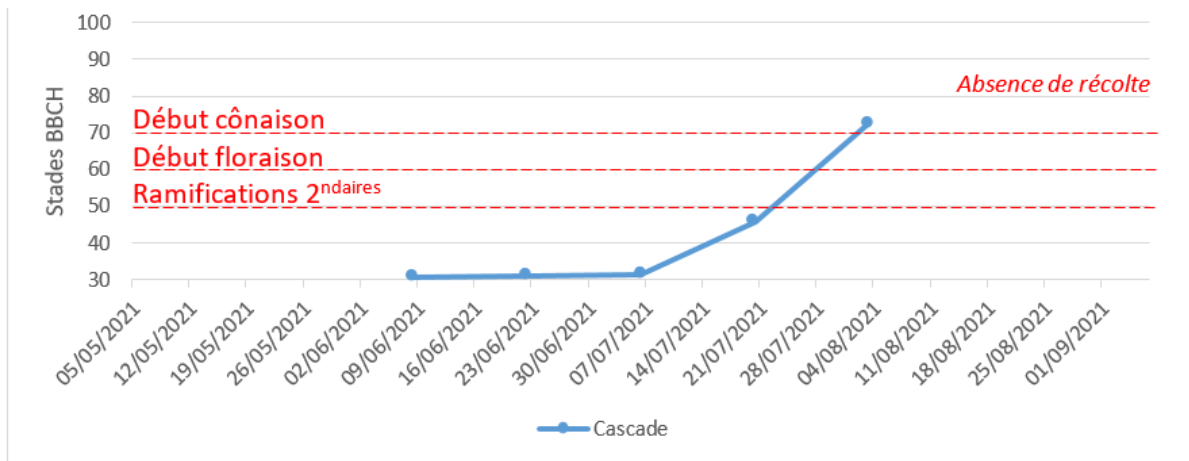
V.4 – Evolution des stades phénologiques pour la parcelle d’Entraignes



V.5 – Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Forcalquier

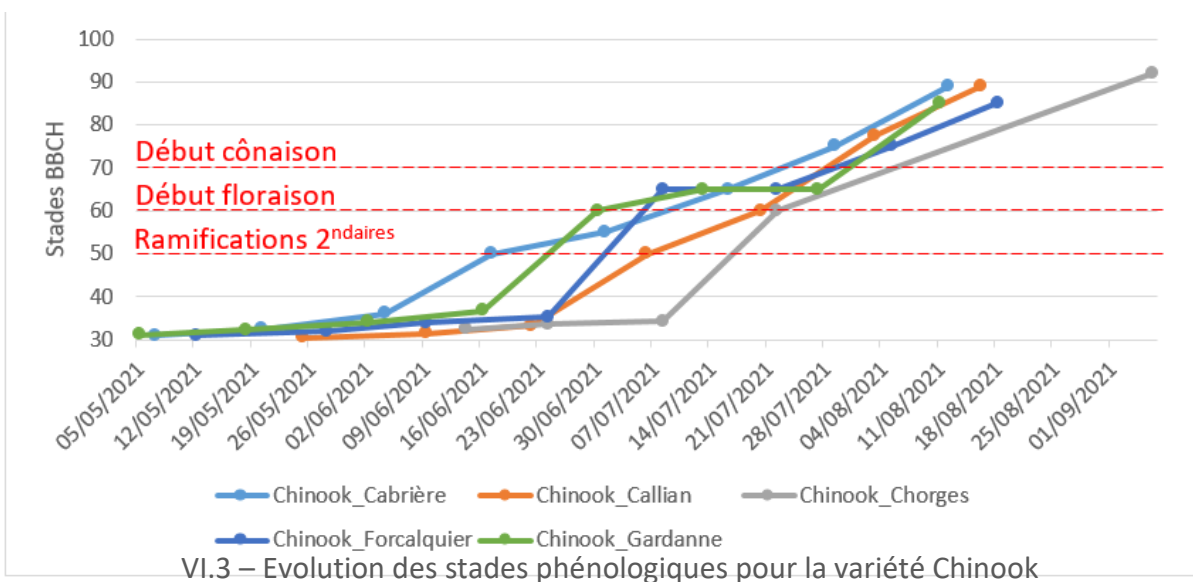
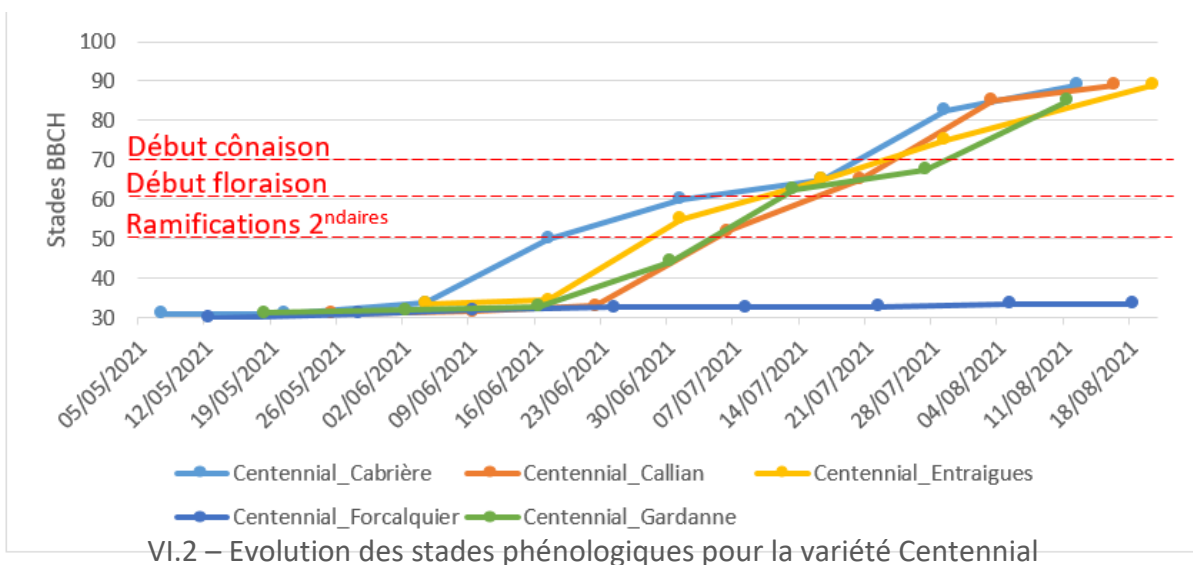
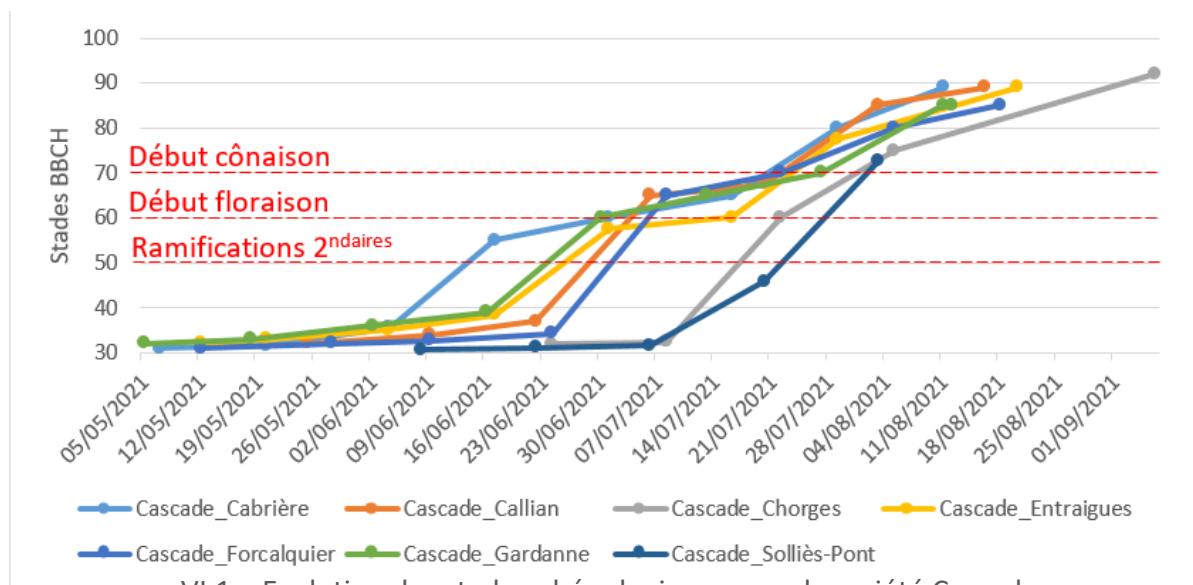


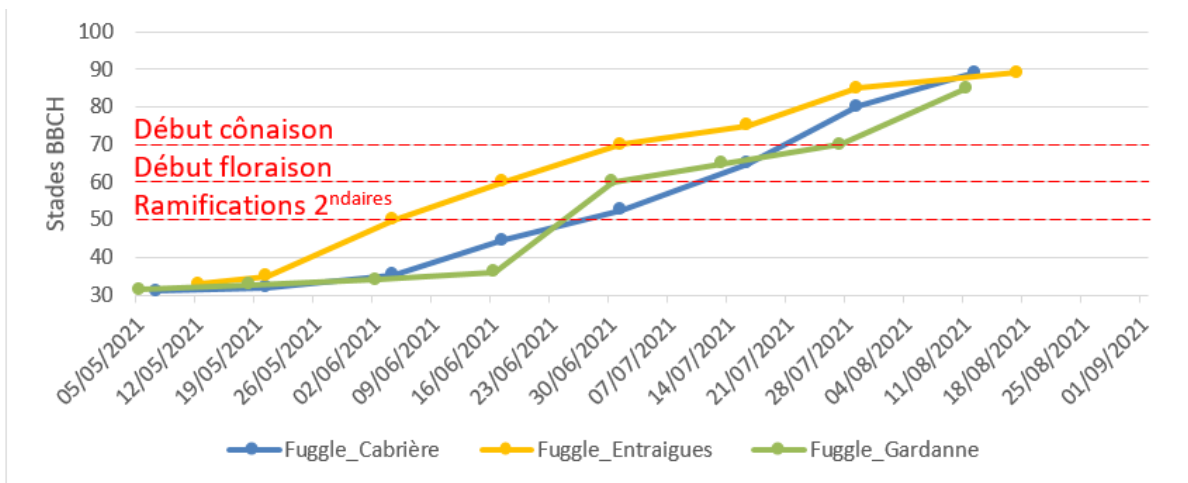
V.6 – Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Gardanne



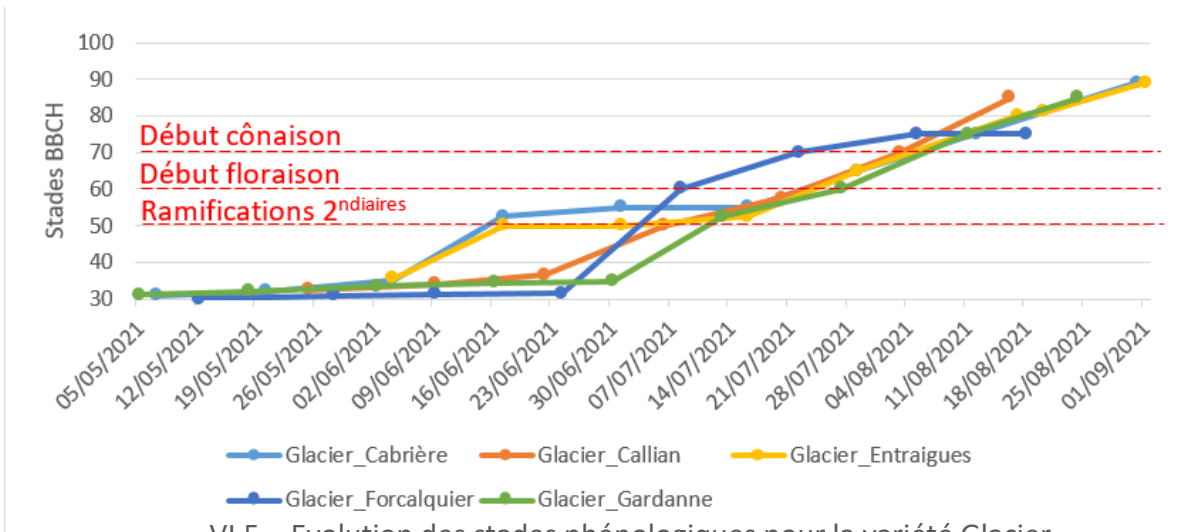
V.7 – Evolution des stades phénologiques pour la parcelle de Solliès-Pont

Annexe VI: Evolution des stades phénologiques en fonction des variétés

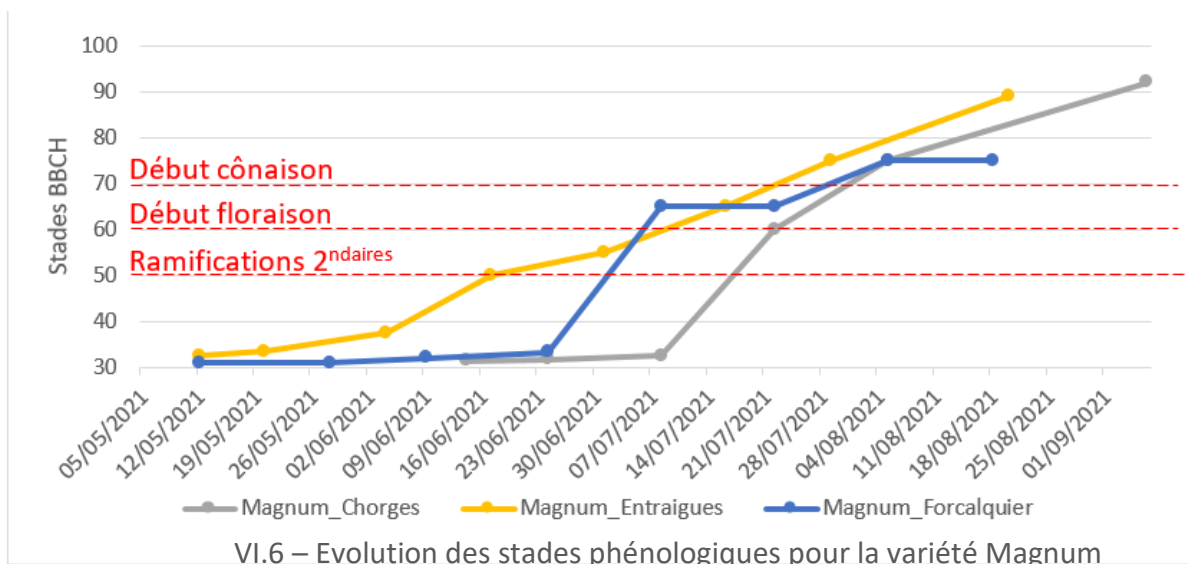




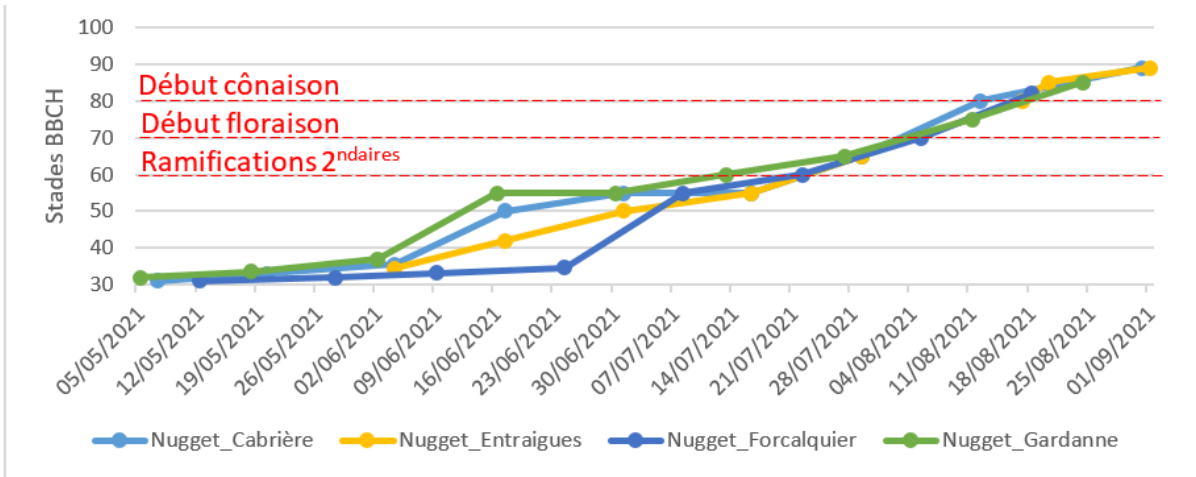
VI.4 – Evolution des stades phénologiques pour la variété Fuggle



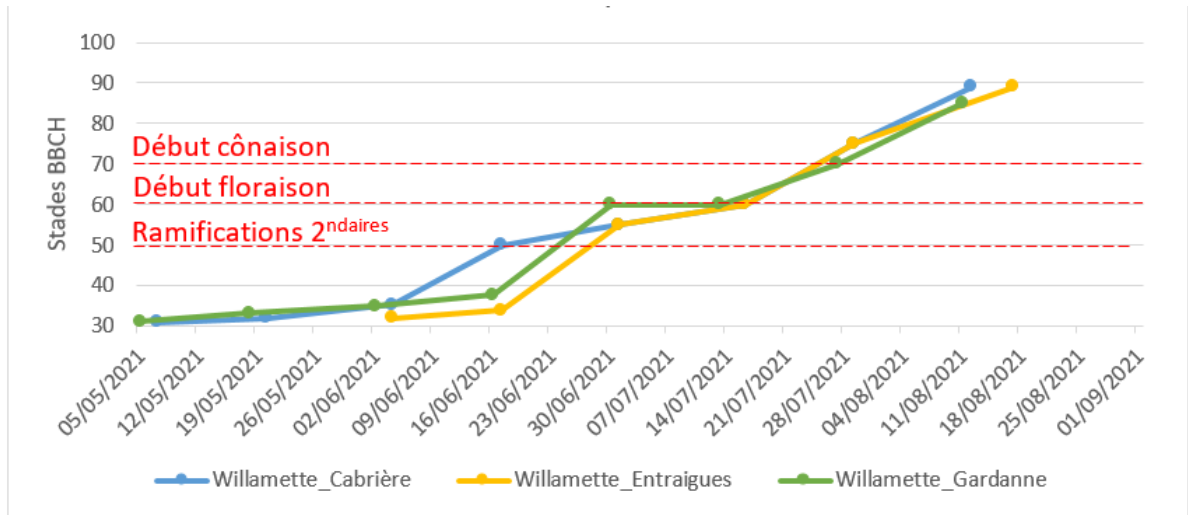
VI.5 – Evolution des stades phénologiques pour la variété Glacier



VI.6 – Evolution des stades phénologiques pour la variété Magnum

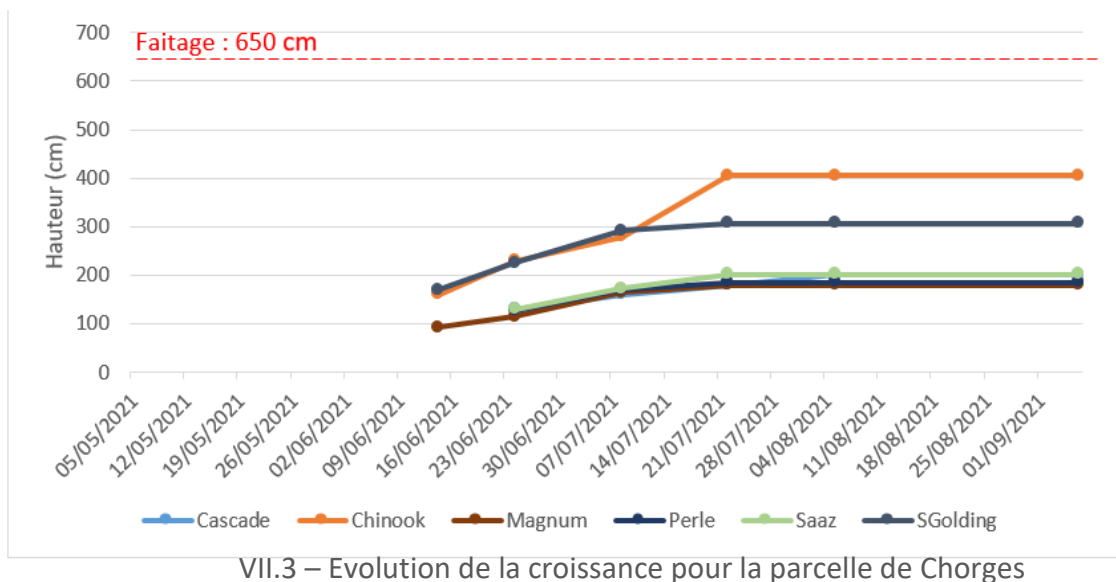
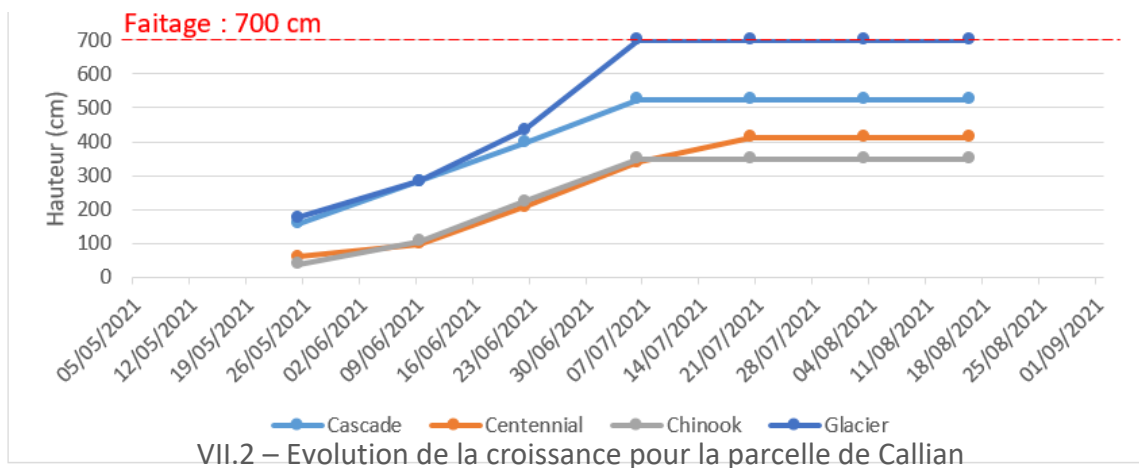
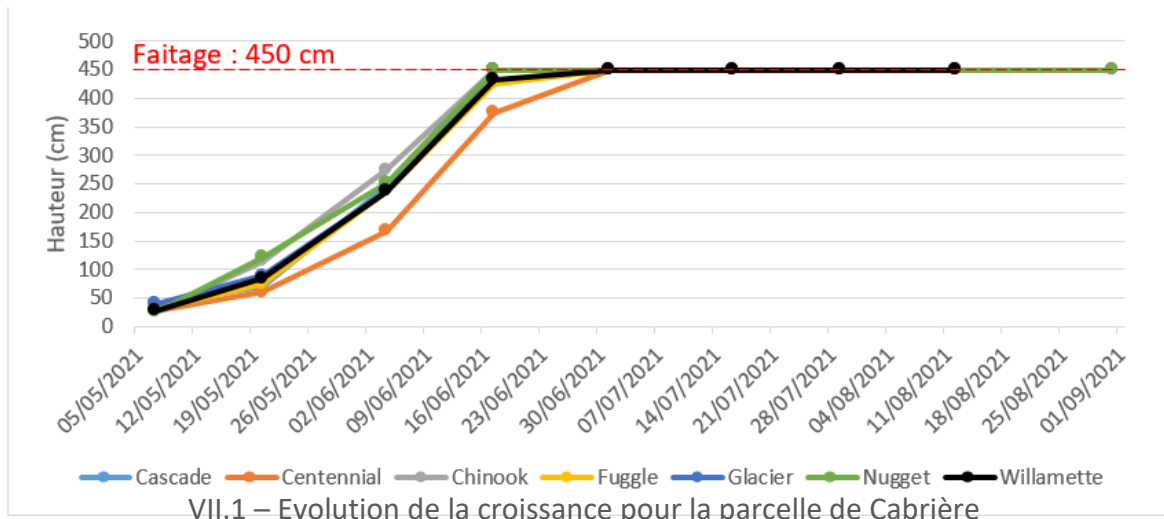


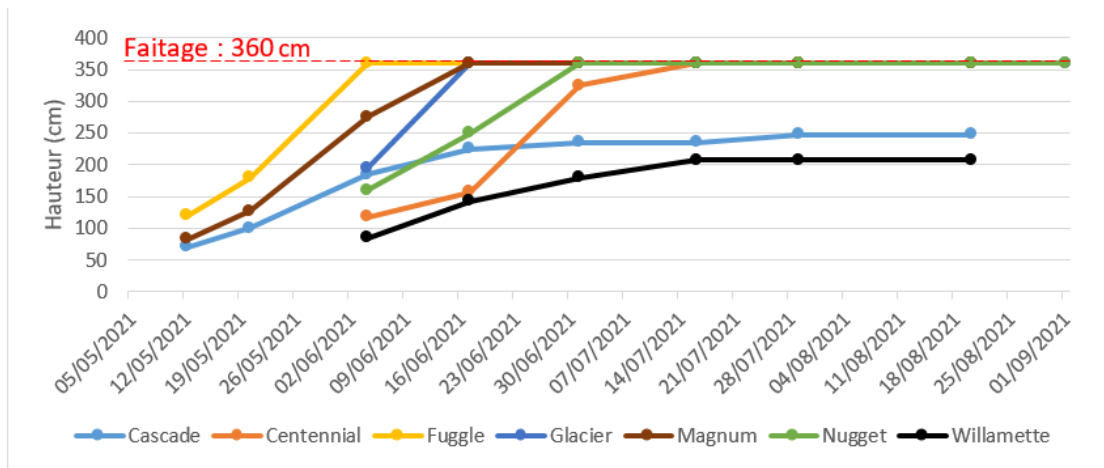
VI.7 – Evolution des stades phénologiques pour la variété Nugget



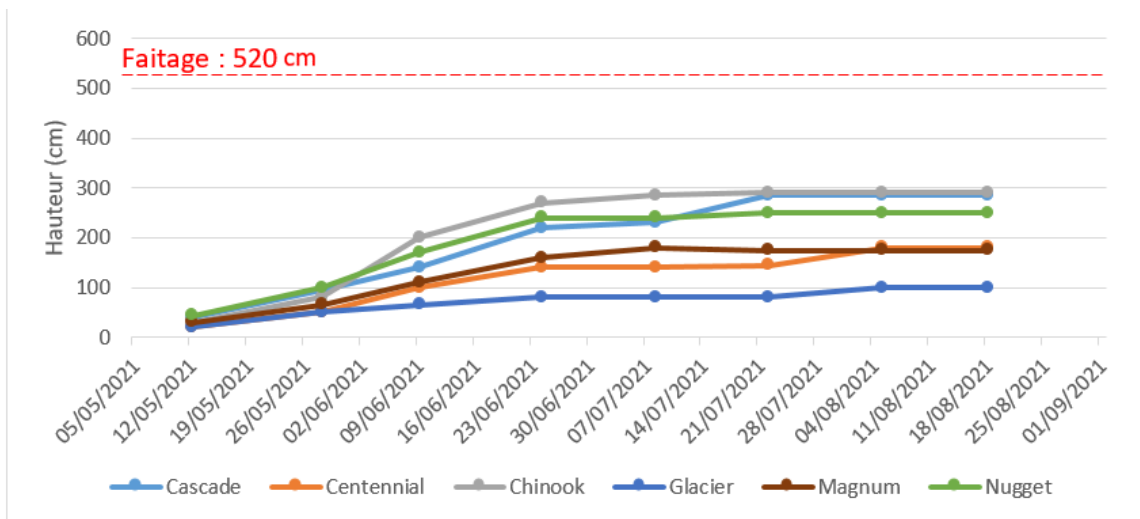
VI.8 – Evolution des stades phénologiques pour la variété Willamette

Annexe VII: Evolution de la croissance en fonction des parcelles

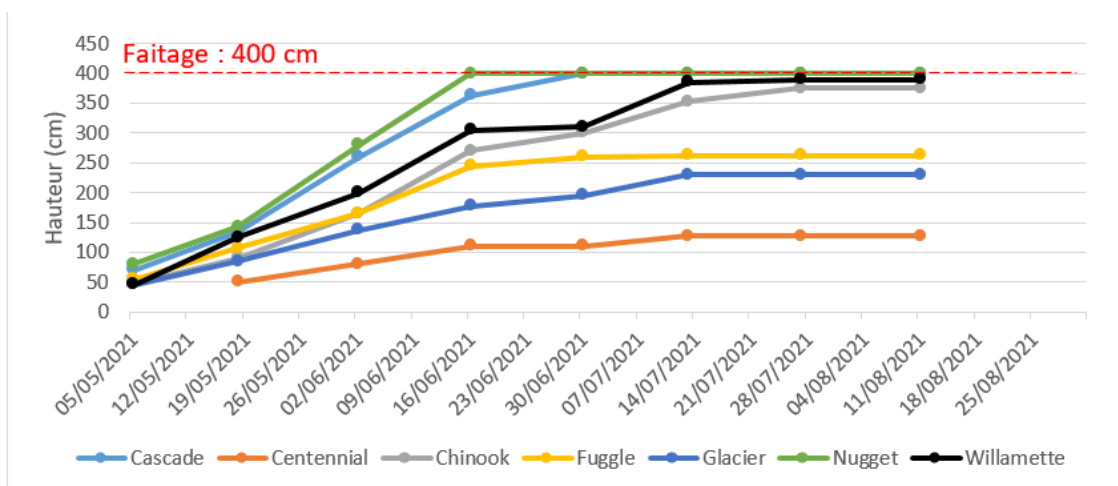




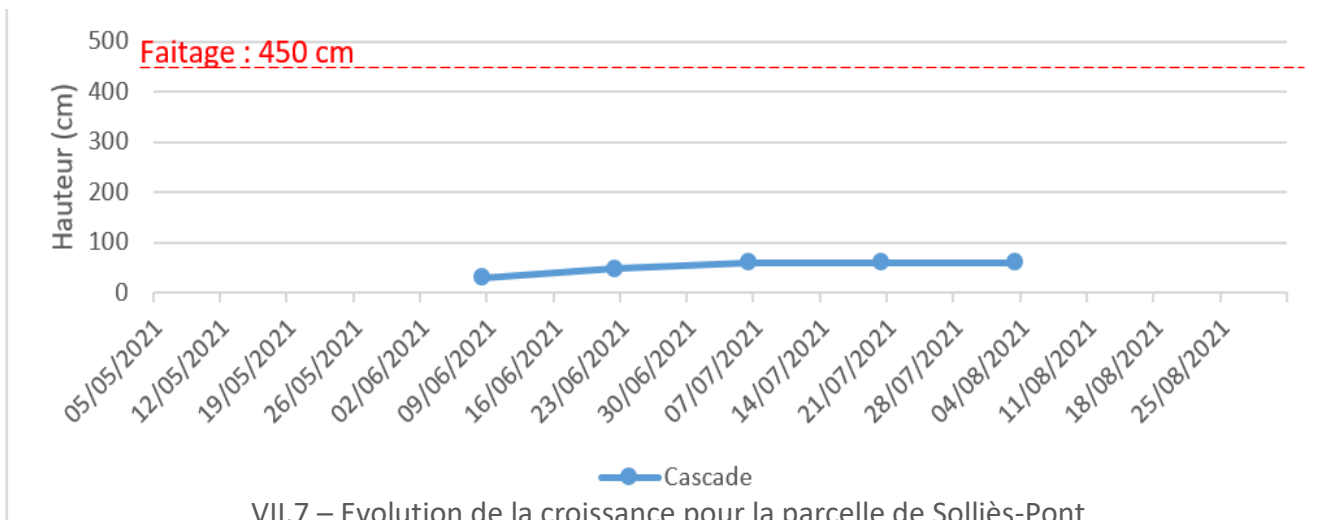
VII.4 – Evolution de la croissance pour la parcelle d'Entraigues



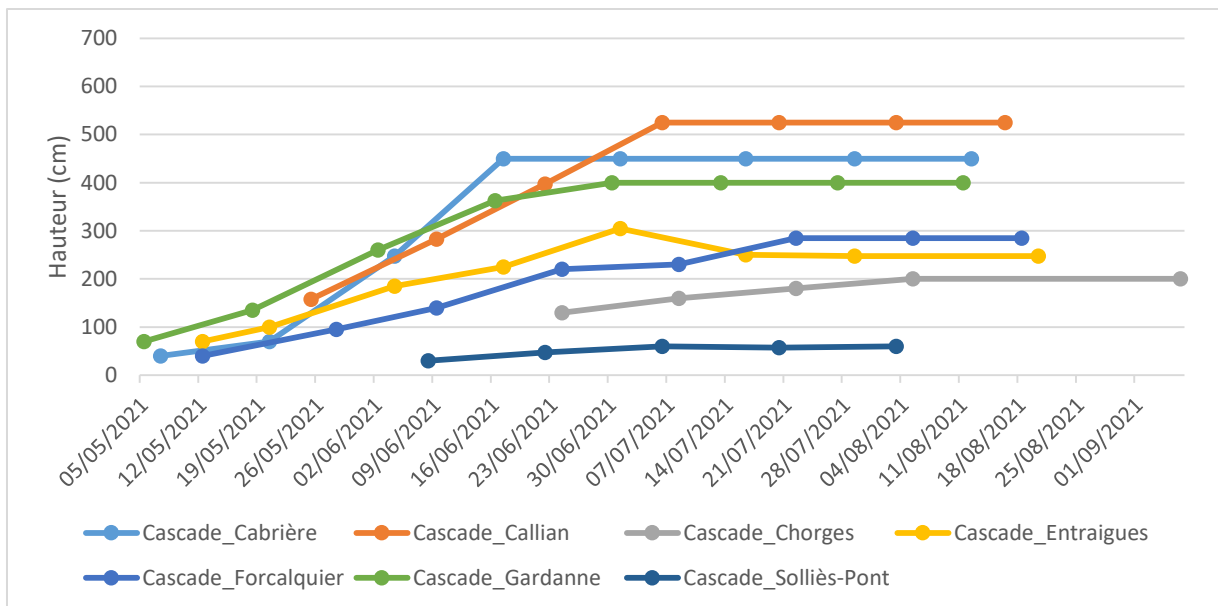
VII.5 – Evolution de la croissance pour la parcelle de Forcalquier



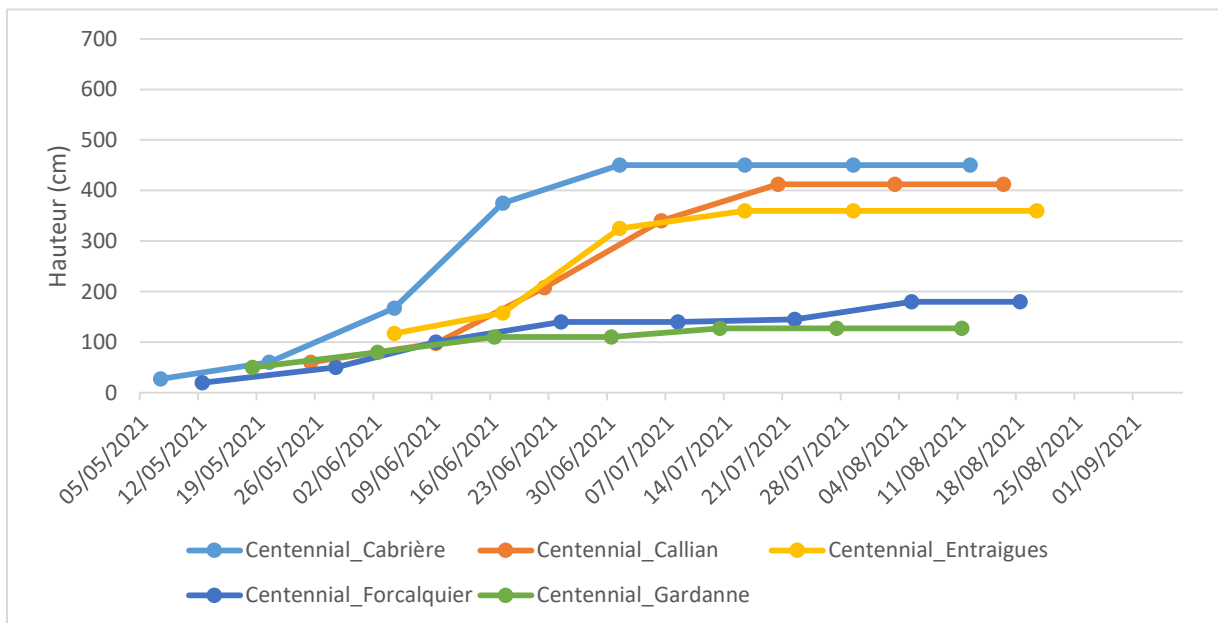
VII.6 – Evolution de la croissance pour la parcelle de Gardanne



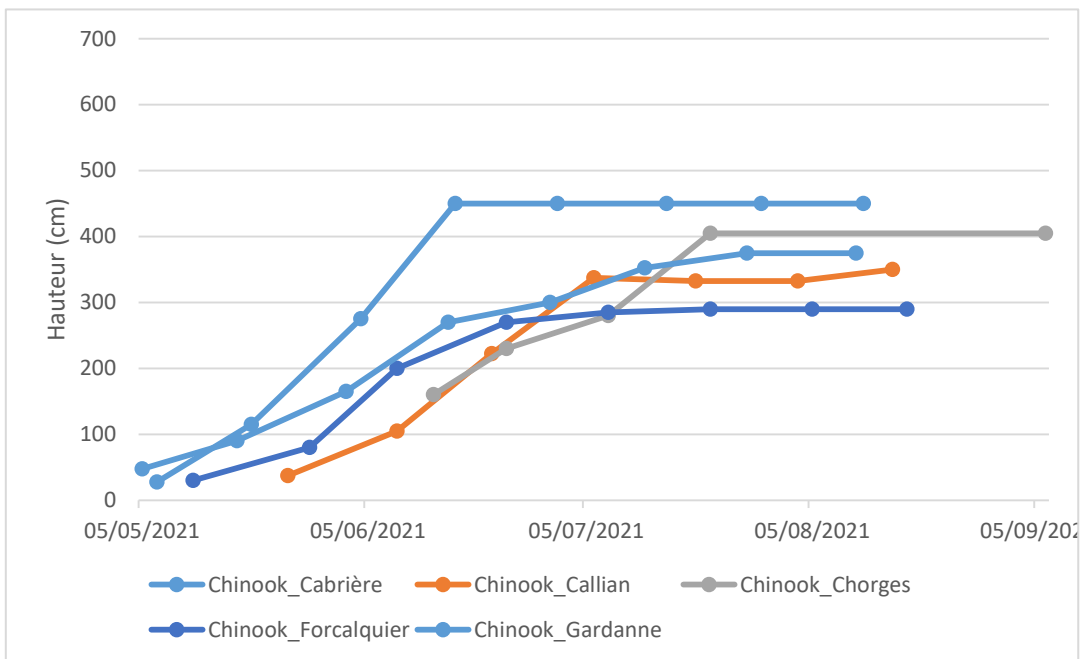
Annexe VIII: Evolution de la croissance en fonction des variétés



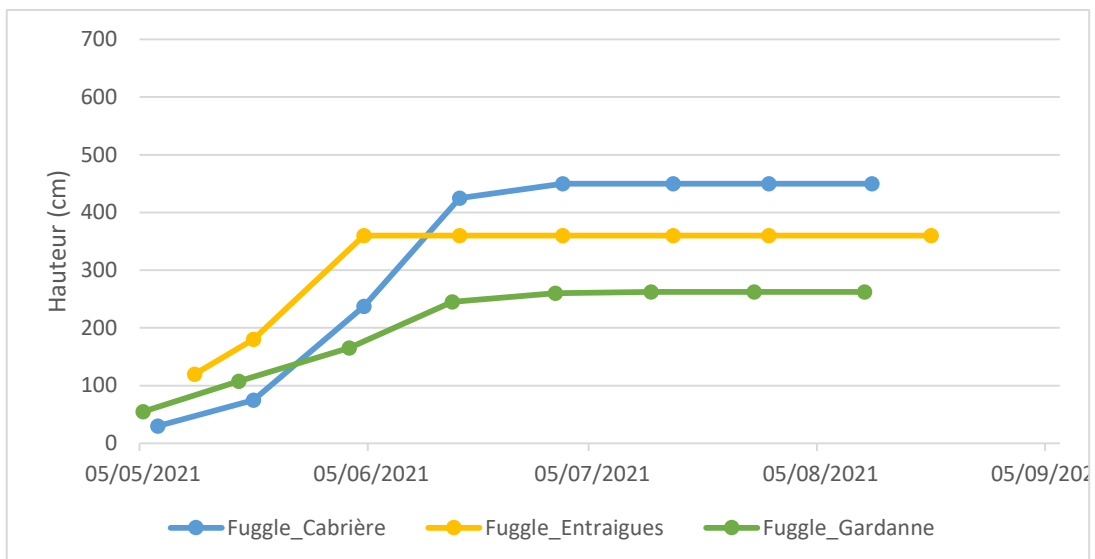
VIII.1 – Evolution de la croissance pour la variété Cascade



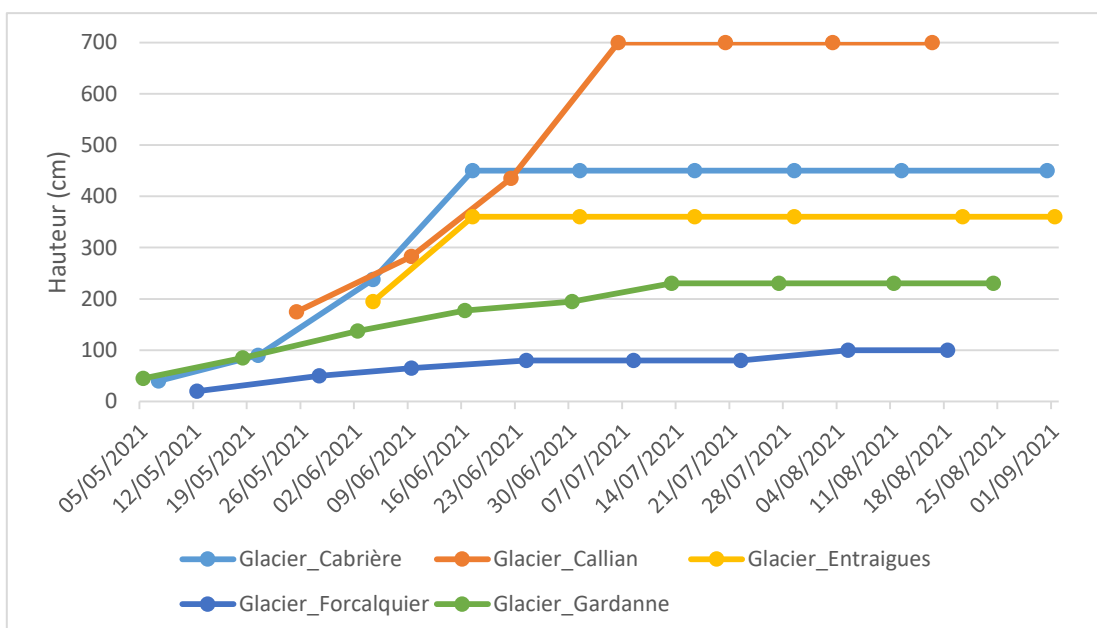
VIII.2 – Evolution de la croissance pour la variété Centennial



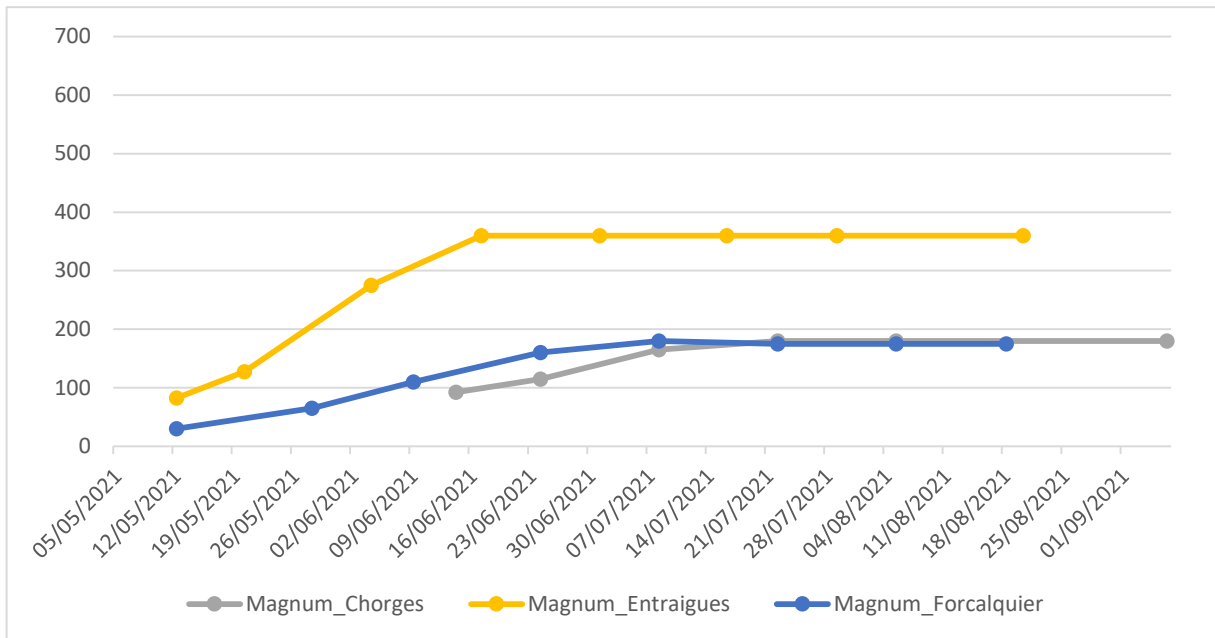
VIII.3 – Evolution de la croissance pour la variété Chinook



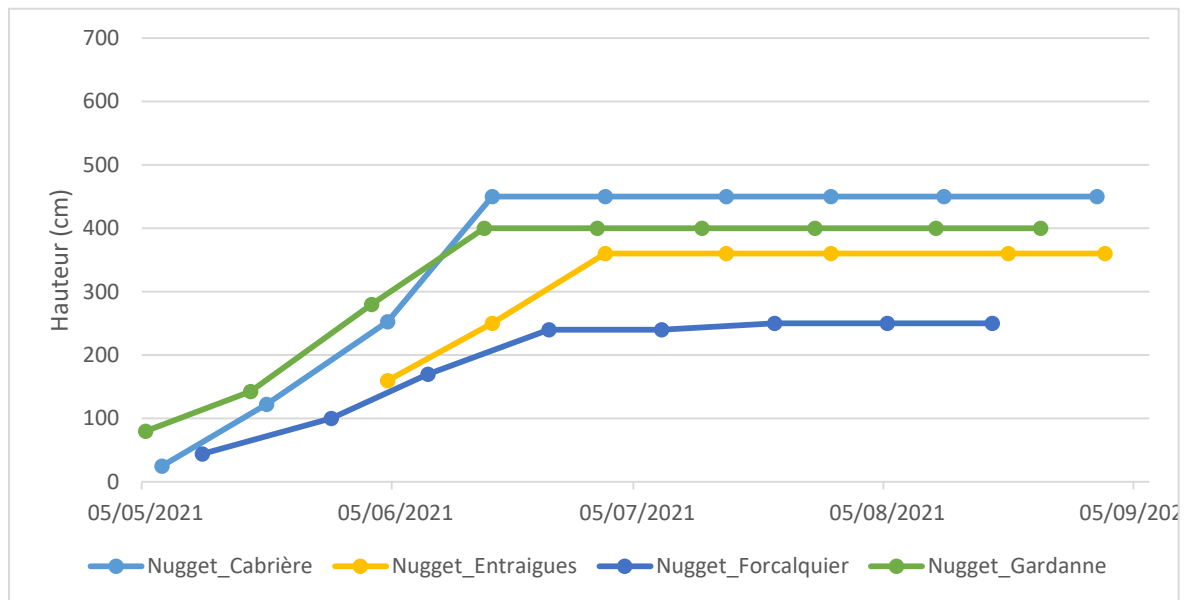
VIII.4 – Evolution de la croissance pour la variété Fuggle



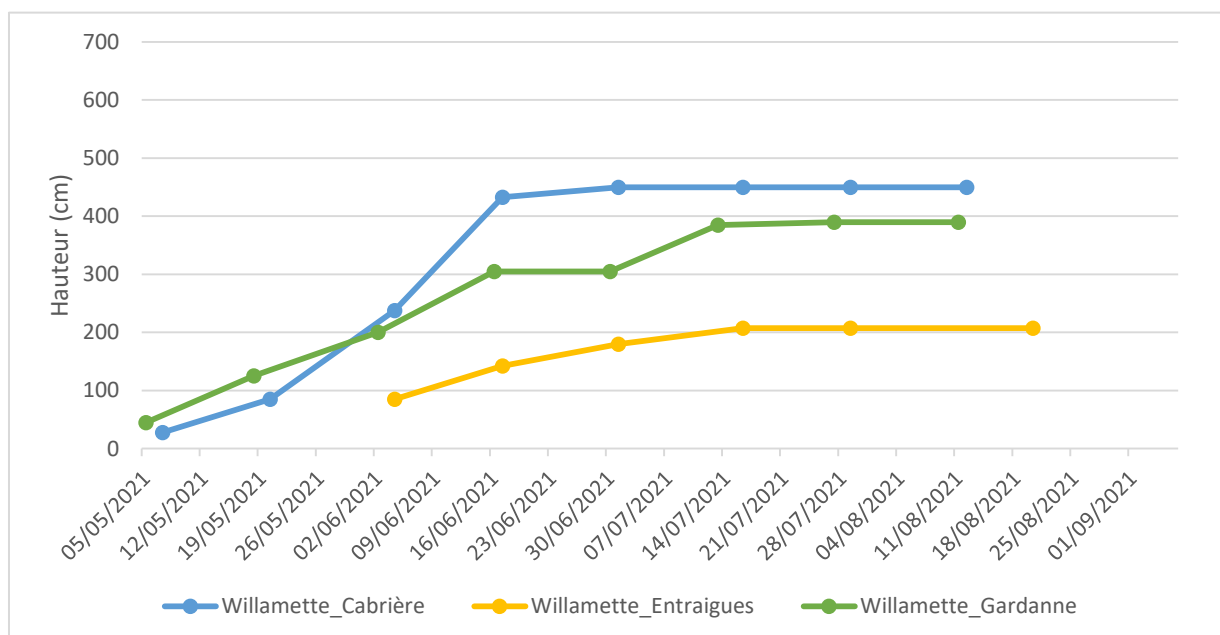
VIII.5 – Evolution de la croissance pour la variété Glacier



VIII.6 – Evolution de la croissance pour la variété Magnum

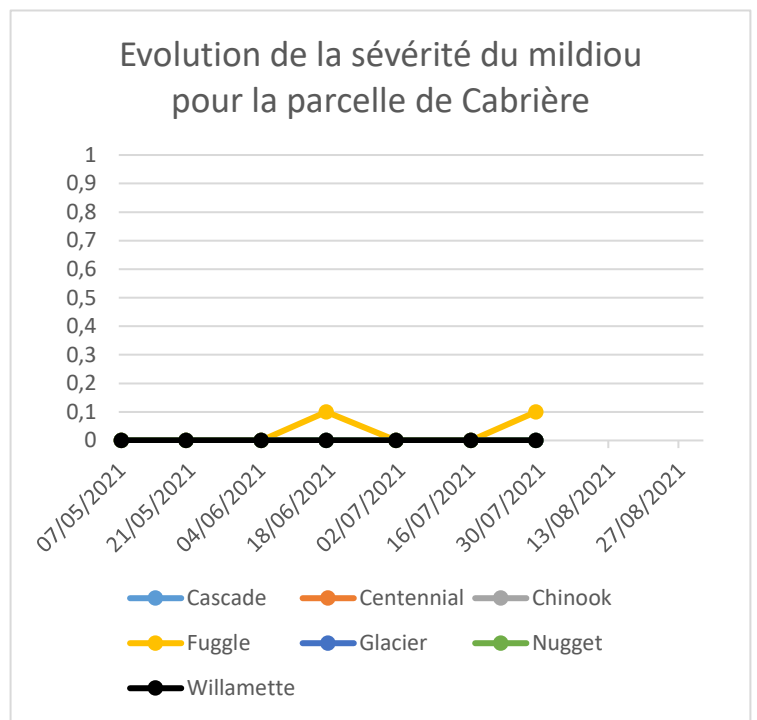
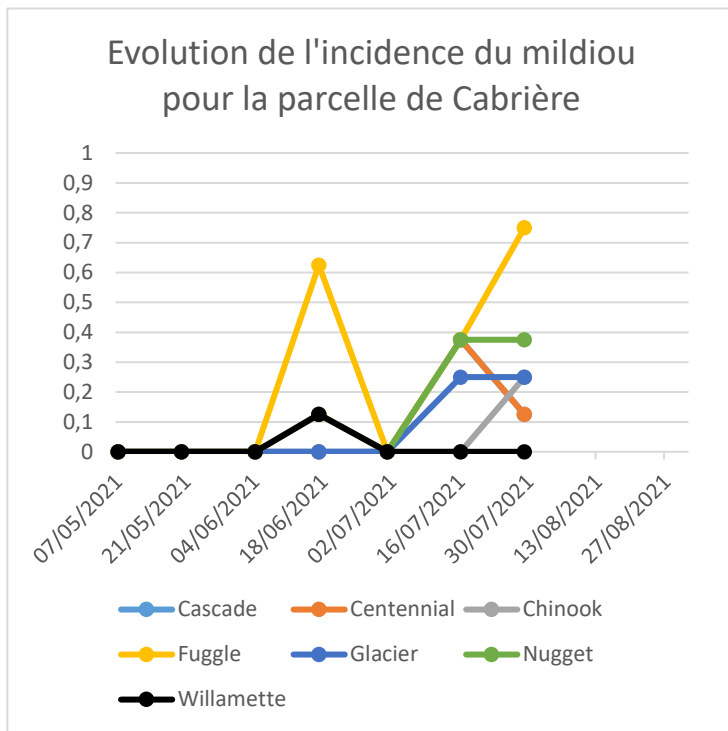


VIII.7 – Evolution de la croissance pour la variété Nugget

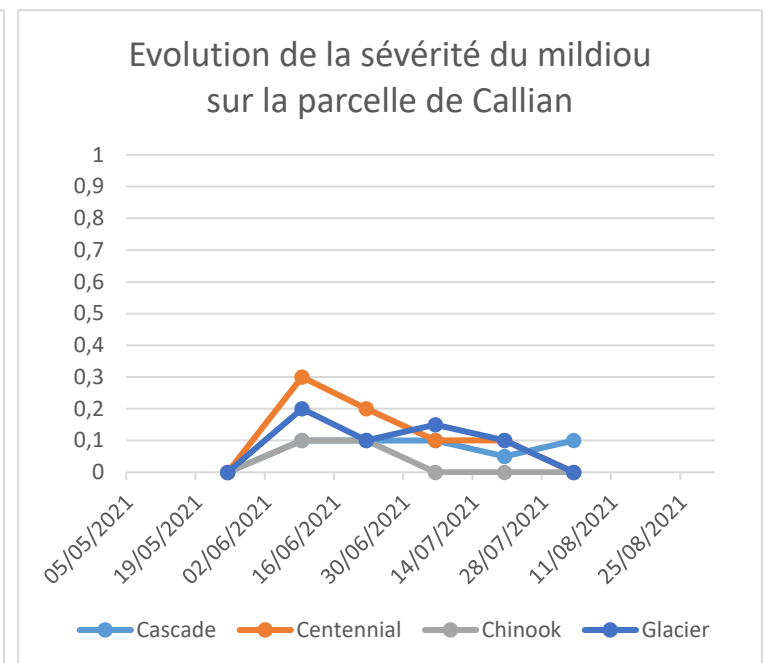
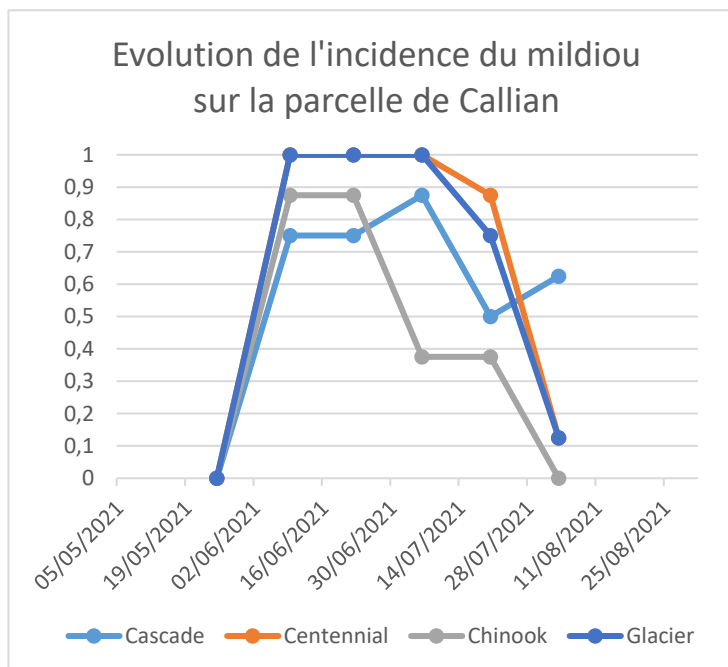


VIII.8 – Evolution de la croissance pour la variété Willamette

Annexe IX: Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou en fonction des parcelles

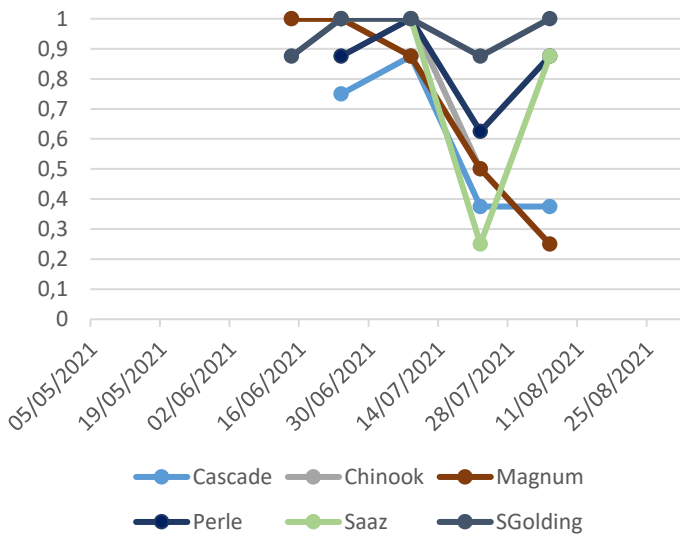


IX.1 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Cabrière

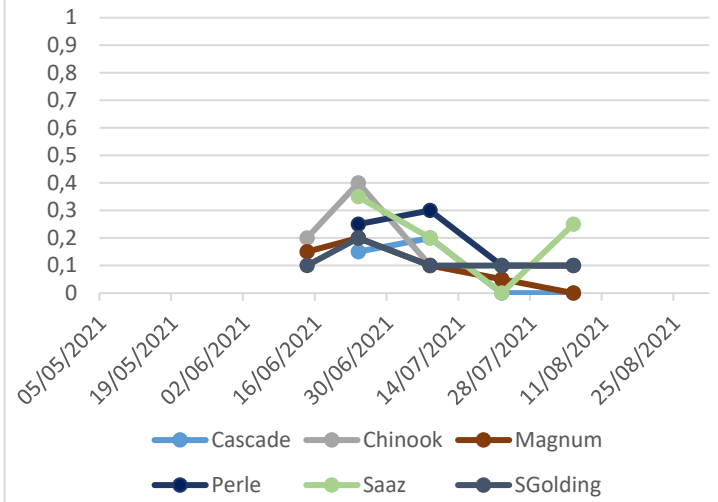


IX.2 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Callian

Evolution de l'incidence du mildiou sur la parcelle de Charges

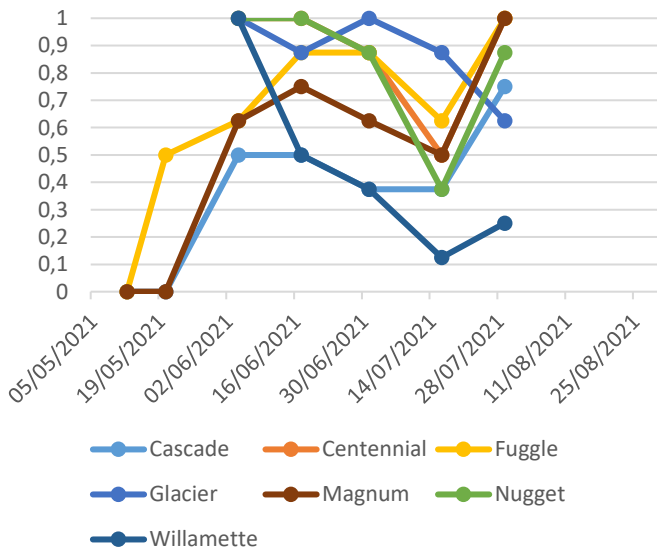


Evolution de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Charges

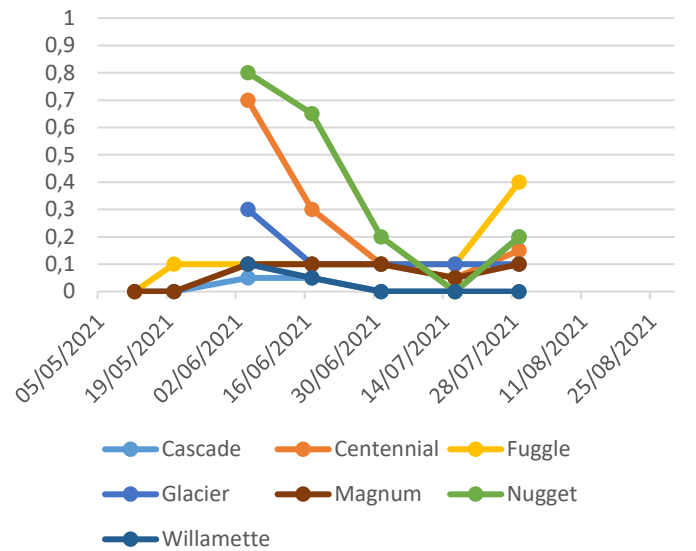


IX.3 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Charges

Evolution de l'incidence du mildiou sur la parcelle d'Entraigues

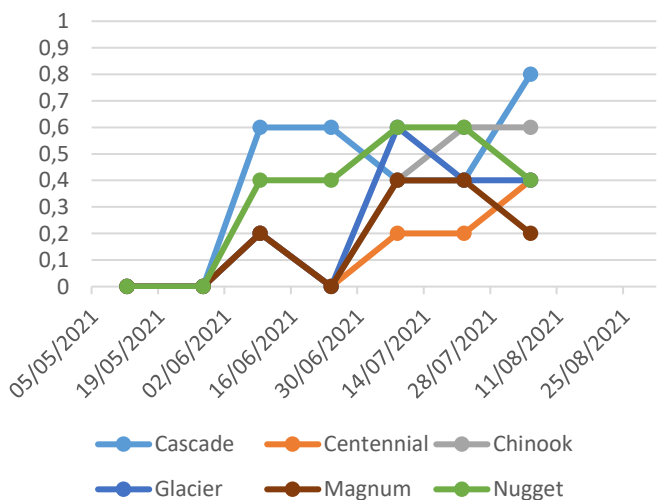


Evolution de la sévérité du mildiou sur la parcelle d'Entraigues

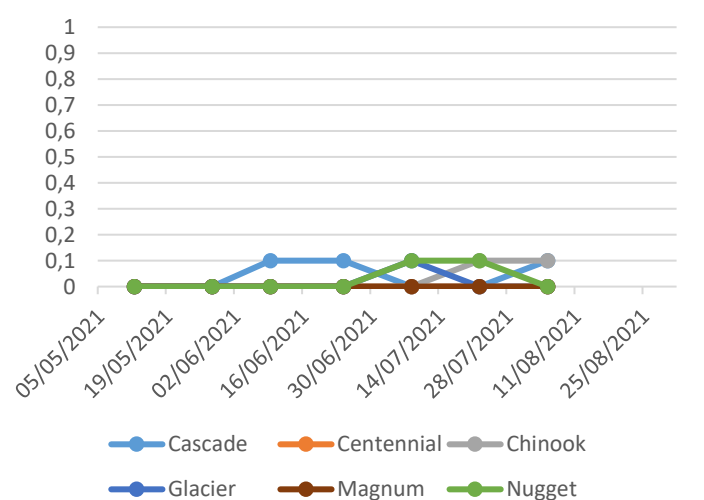


IX.4 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle d'Entraigues

Evolution de l'incidence du mildiou sur la parcelle de Forcalquier

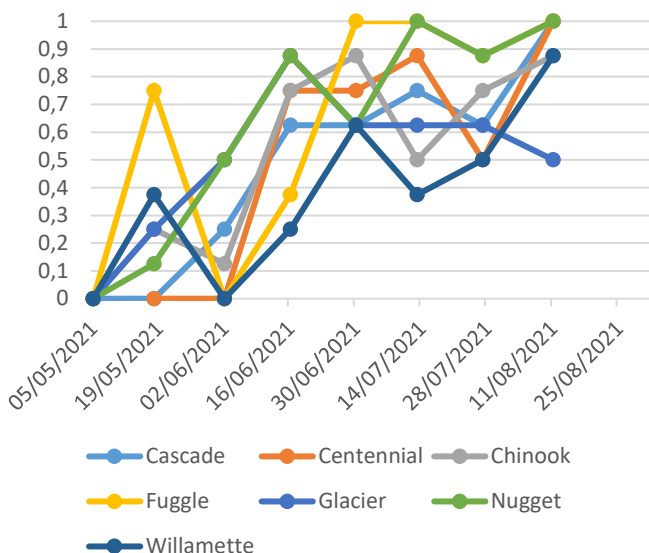


Evolution de la sévérité du mildiou sur la parcelle de Forcalquier

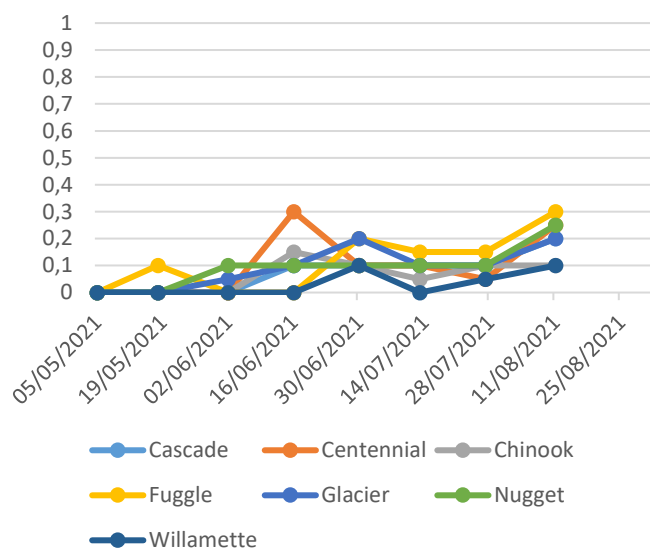


IX.5 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Forcalquier

Evolution de l'incidence du mildiou sur la parcelle de Gardanne

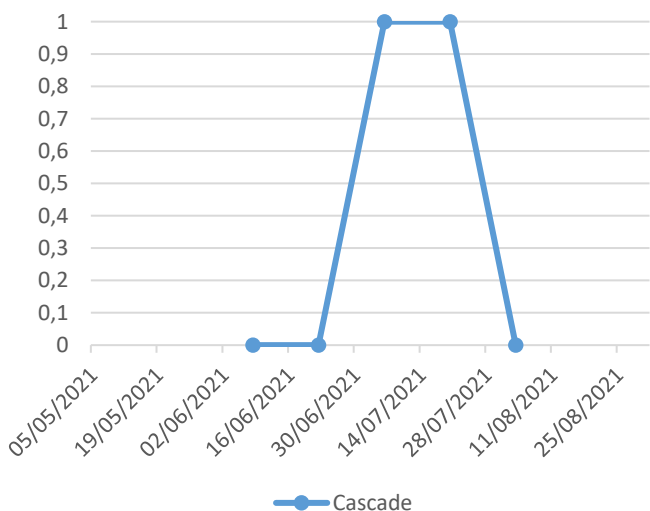


Evolution de la sévérité du mildiou sur la parcelle de Gardanne

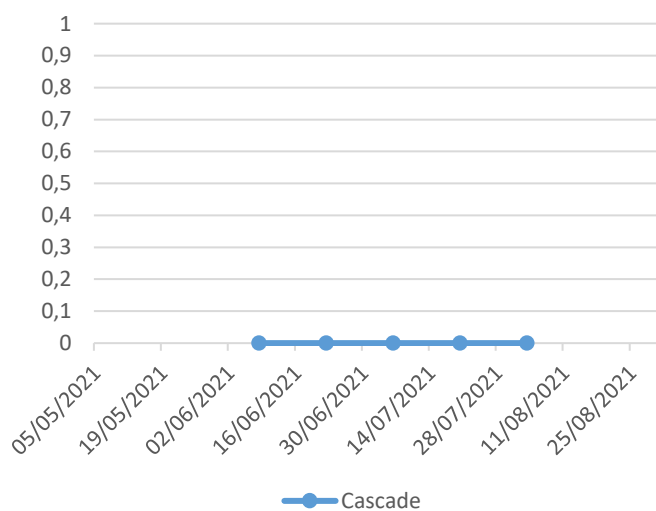


IX.6 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Gardanne

Evolution de l'incidence du mildiou sur la parcelle de Solliès-Pont

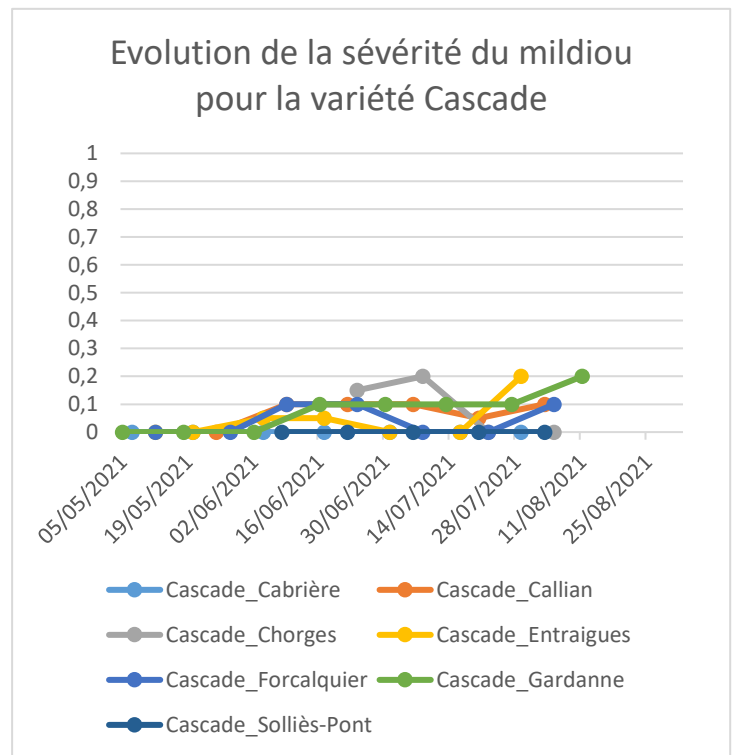
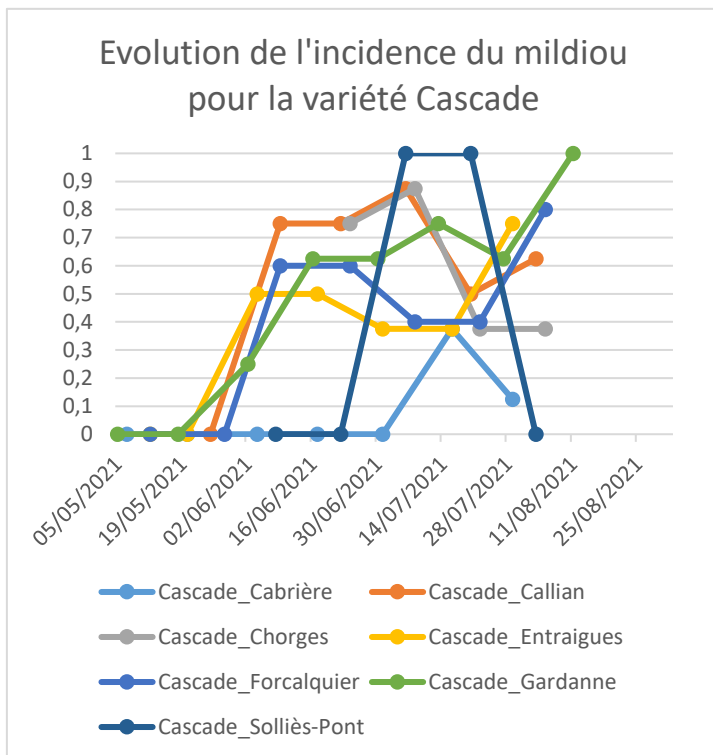


Evolution de la sévérité du mildiou sur la parcelle de Solliès-Pont

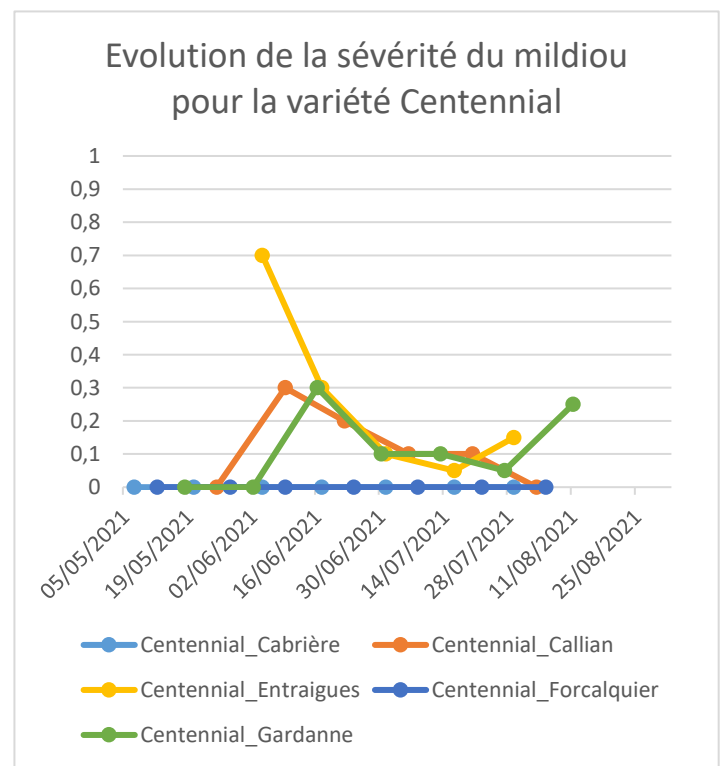
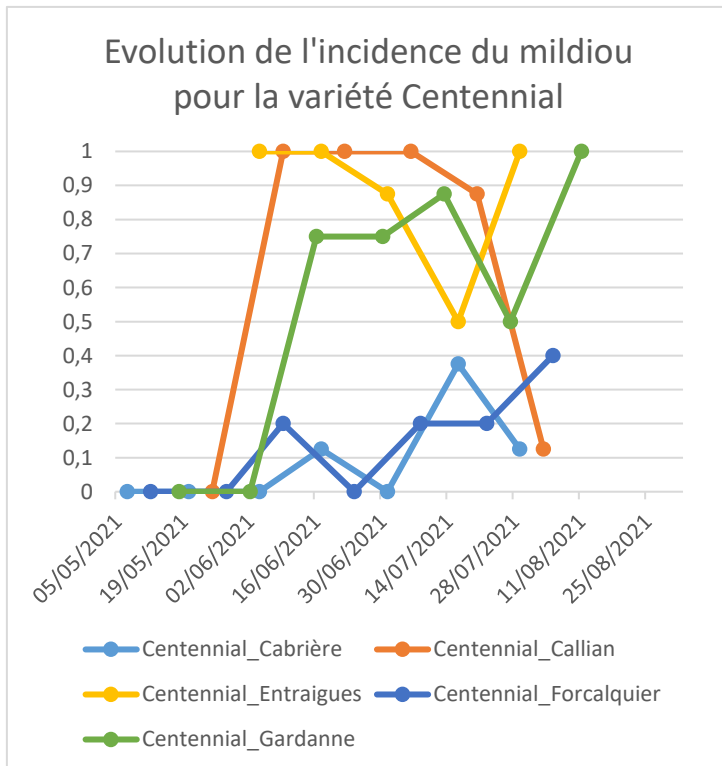


IX.7 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la parcelle de Solliès-Pont

Annexe X : Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou en fonction des variétés

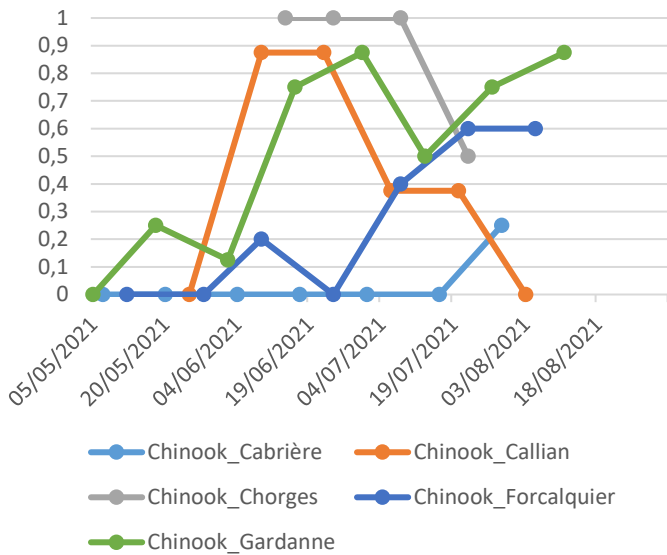


X.1 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Cascade

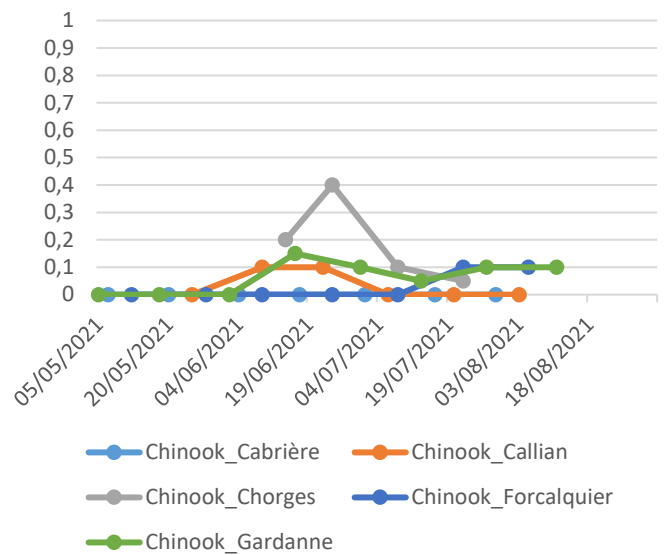


X.2 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Centennial

Evolution de l'incidence du mildiou pour la variété Chinook

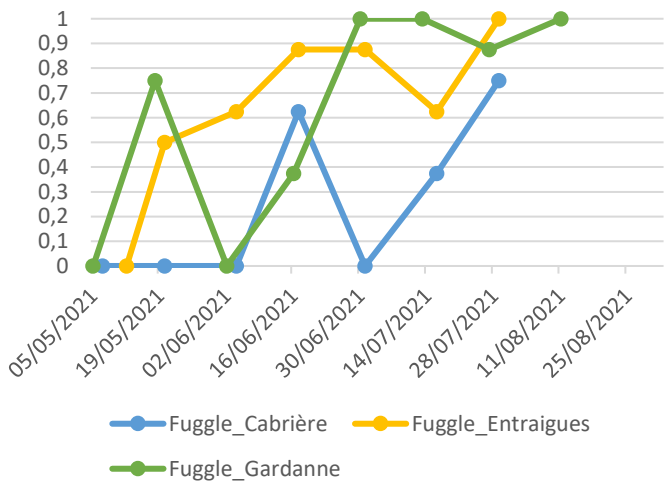


Evolution de la sévérité du mildiou pour la variété Chinook

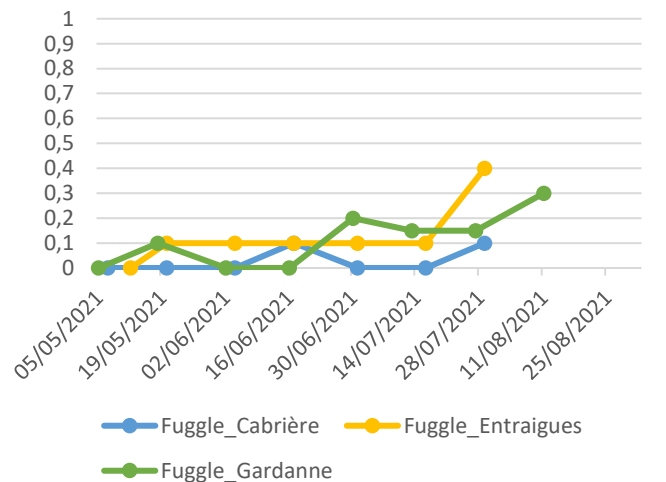


X.3 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Chinook

Evolution de l'incidence du mildiou pour la variété Fuggle

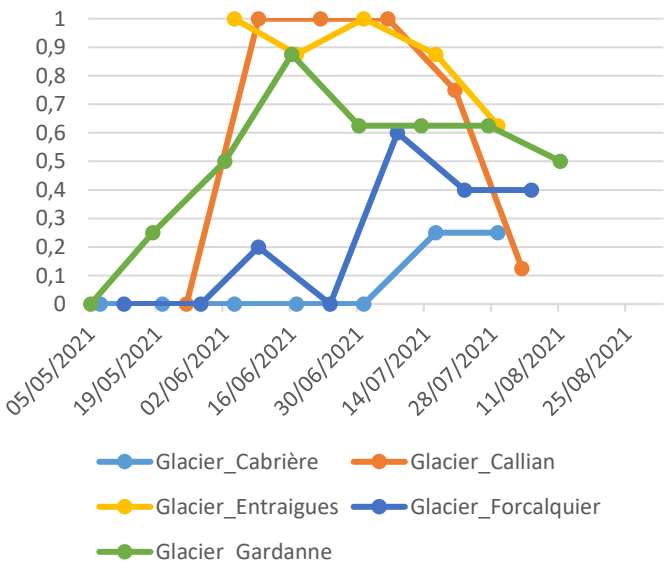


Evolution de la sévérité du mildiou pour la variété Fuggle

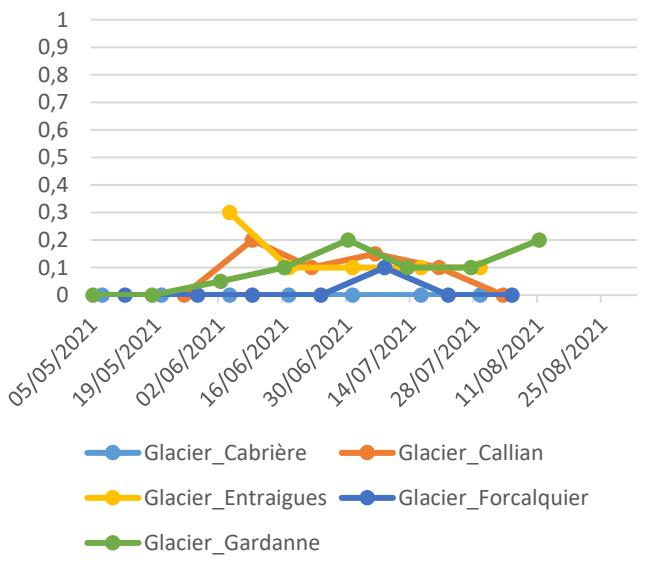


X.4 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Fuggle

Evolution de l'incidence du mildiou pour la variété Glacier

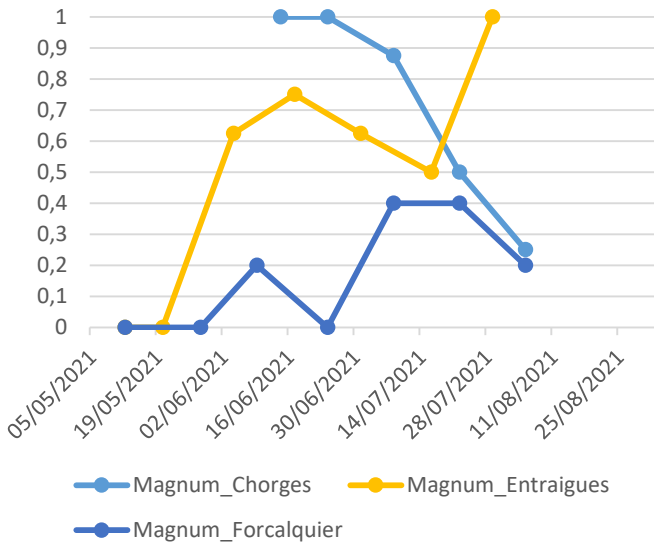


Evolution de la sévérité du mildiou pour la variété Glacier

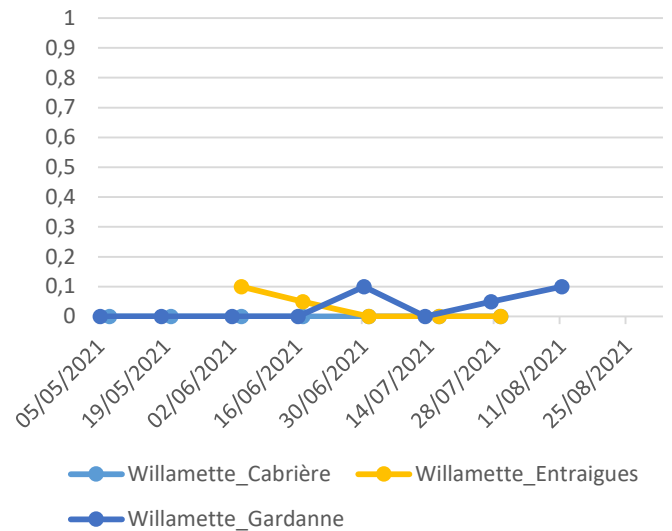


X.5 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Glacier

Evolution de l'incidence du mildiou pour la variété Magnum

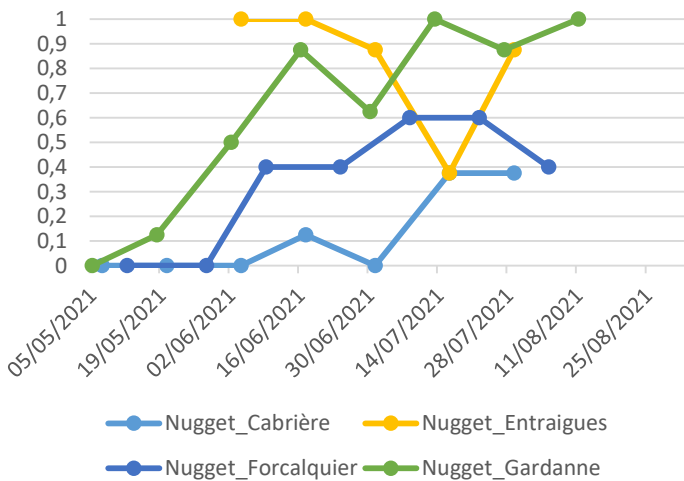


Evolution de la sévérité du mildiou pour la variété Magnum

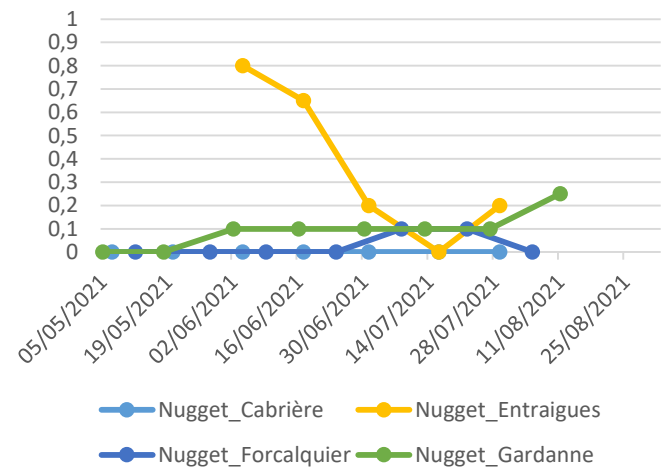


X.6 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Magnum

Evolution de l'incidence du mildiou pour la variété Nugget

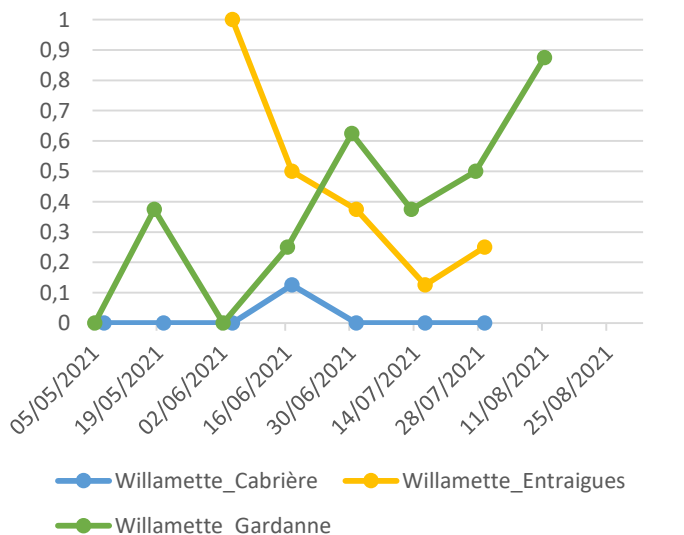


Evolution de la sévérité du mildiou pour la variété Nugget

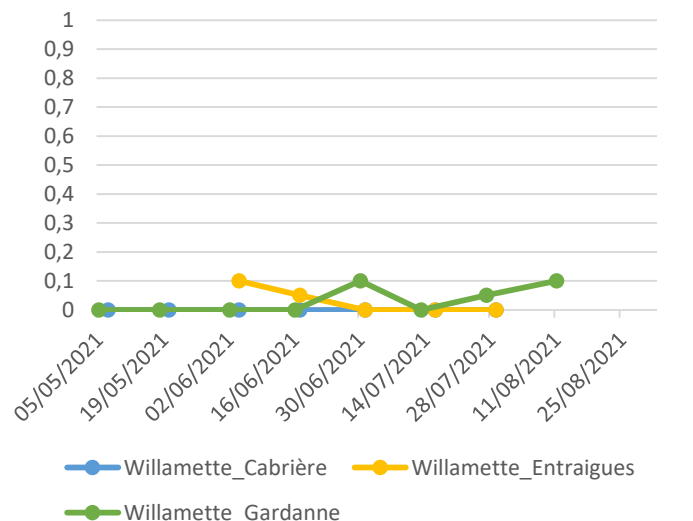


X.7 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Nugget

Evolution de l'incidence du mildiou pour la variété Willamette

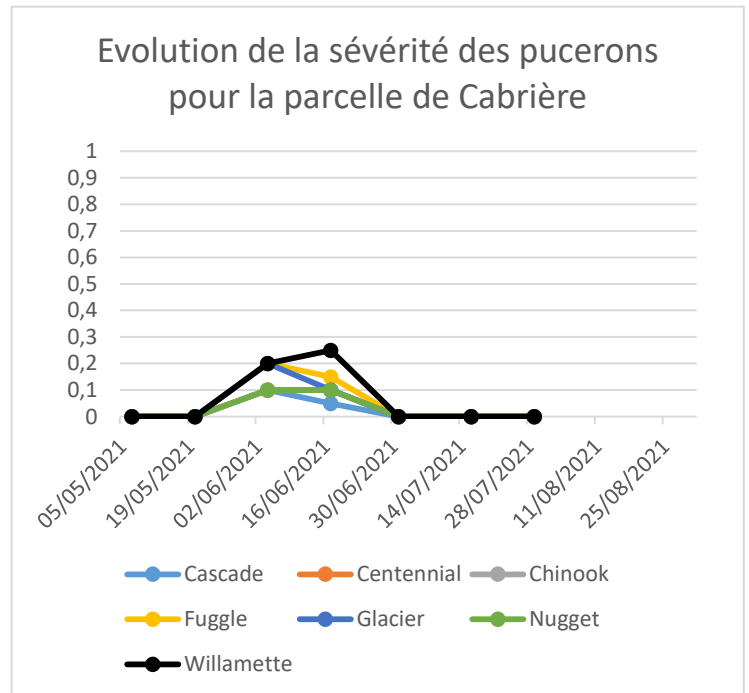
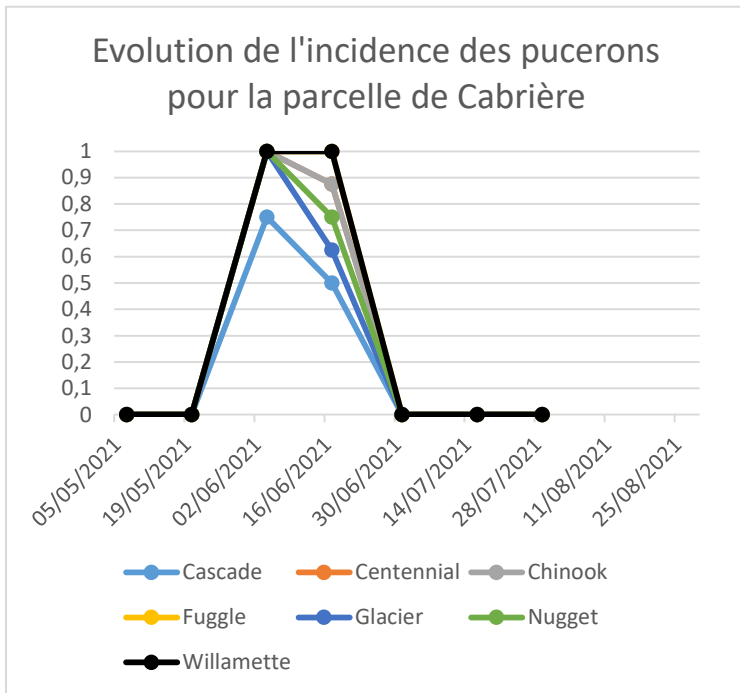


Evolution de la sévérité du mildiou pour la variété Willamette

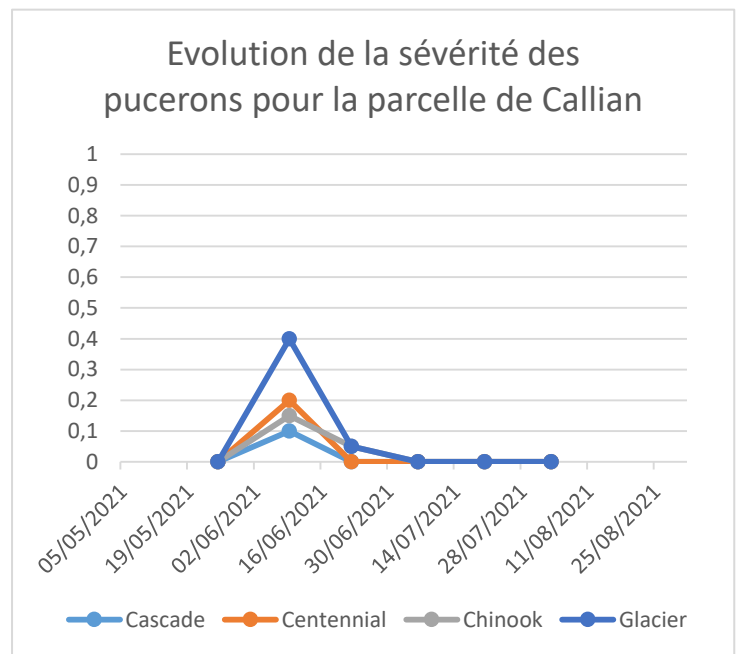
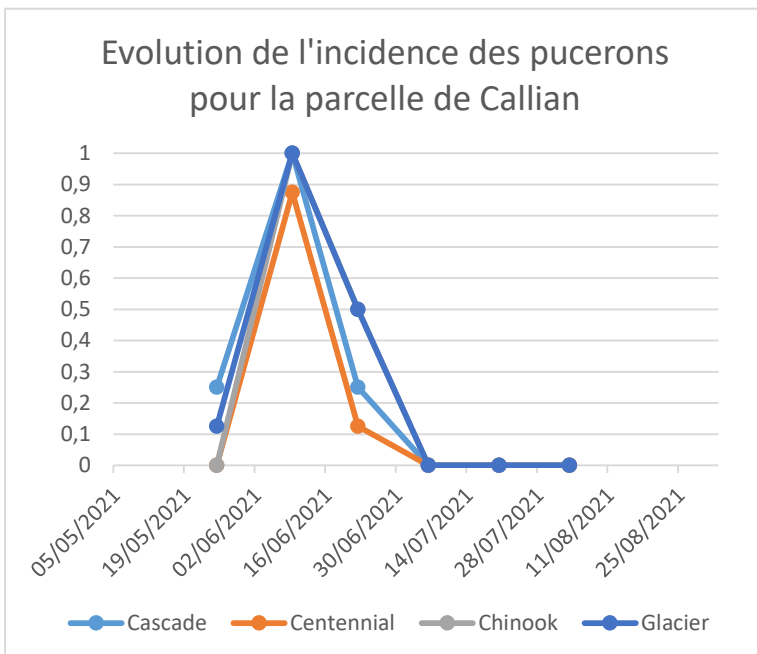


X.8 – Evolution de l'incidence et de la sévérité du mildiou pour la variété Willamette

Annexe XI: Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons en fonction des parcelles

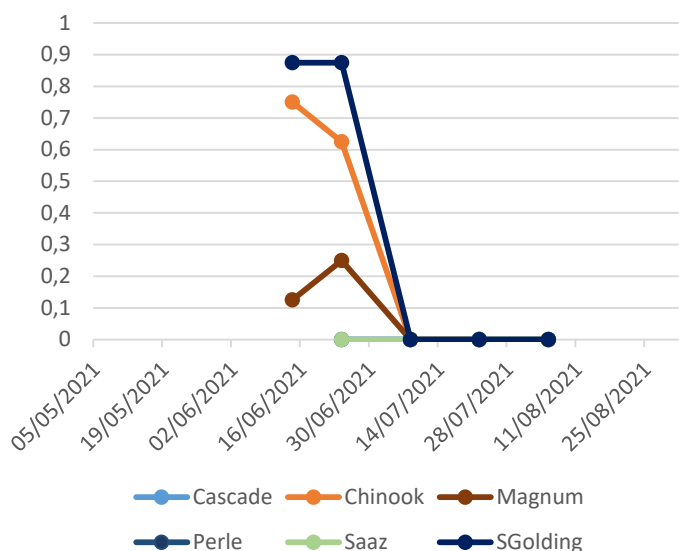


XI.1 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Cabrière

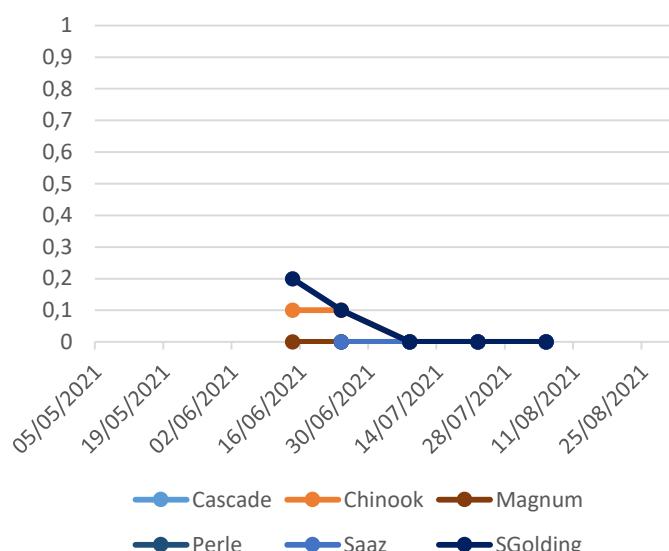


XI.2 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Callian

Evolution de l'incidence des pucerons pour la parcelle de Charges

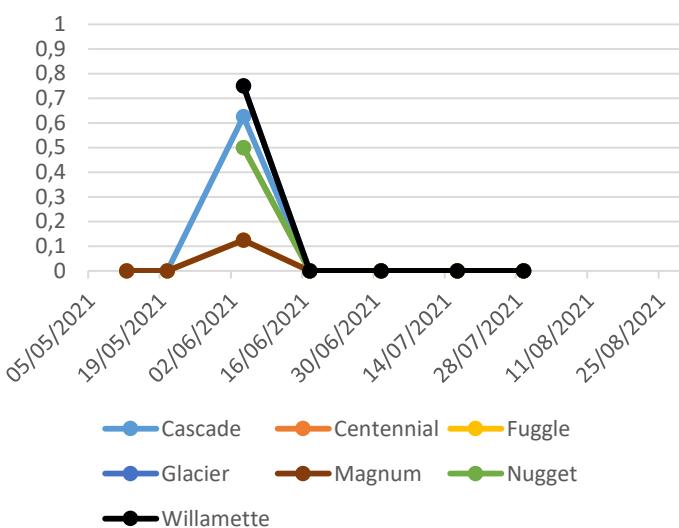


Evolution de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Charges

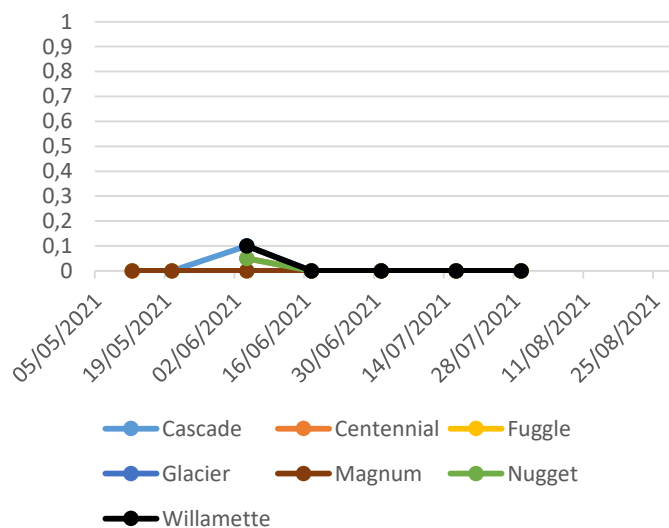


XI.3 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Charges

Evolution de l'incidence des pucerons pour la parcelle d'Entraigues

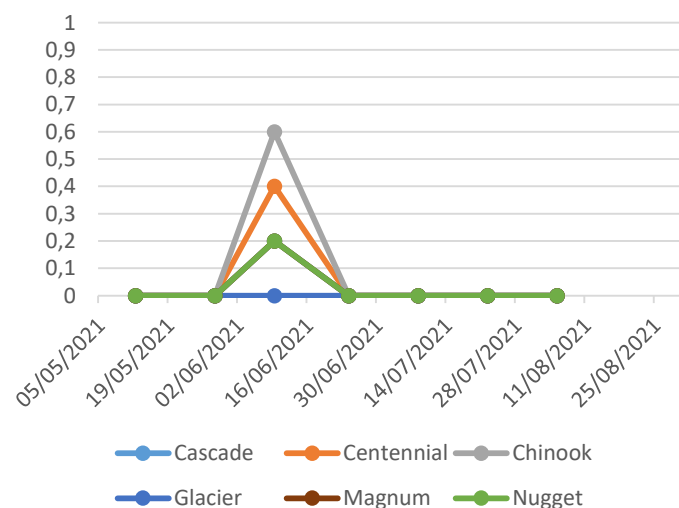


Evolution de la sévérité des pucerons pour la parcelle d'Entraigues

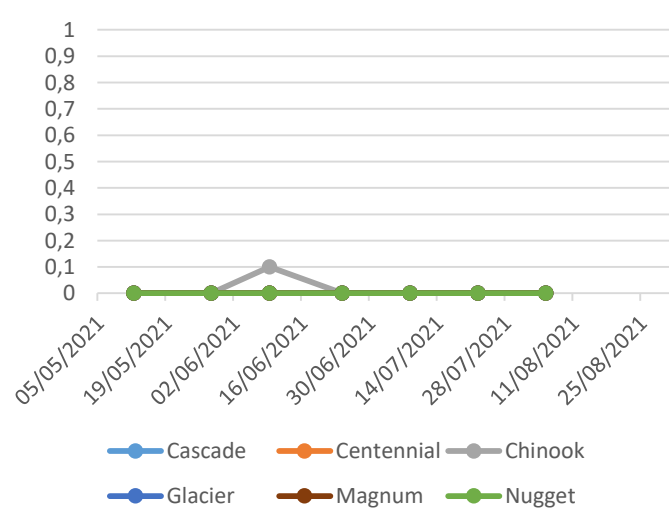


XI.4 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la parcelle d'Entraigues

Evolution de l'incidence des pucerons pour la parcelle de Forcalquier

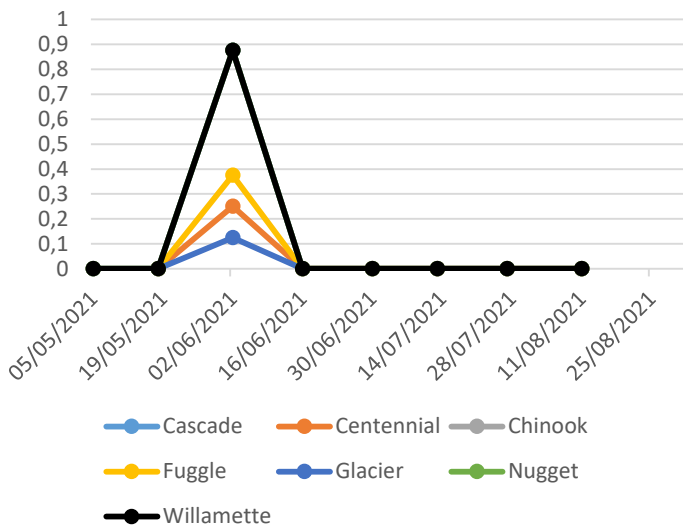


Evolution de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Forcalquier

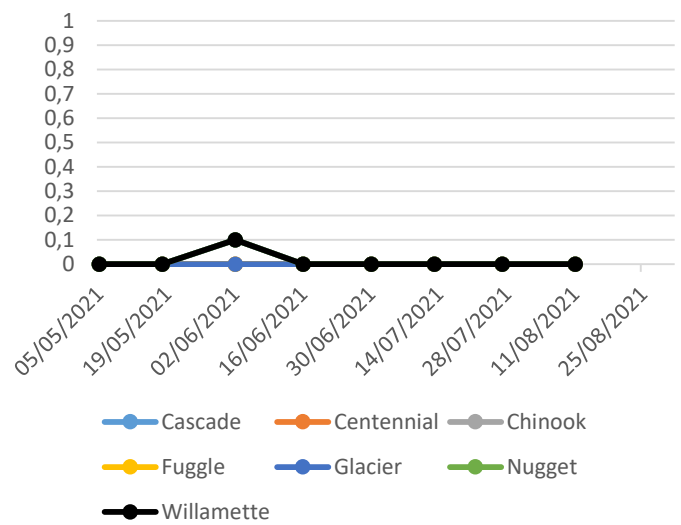


XI.5 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Forcalquier

Evolution de l'incidence des pucerons pour la parcelle de Gardanne

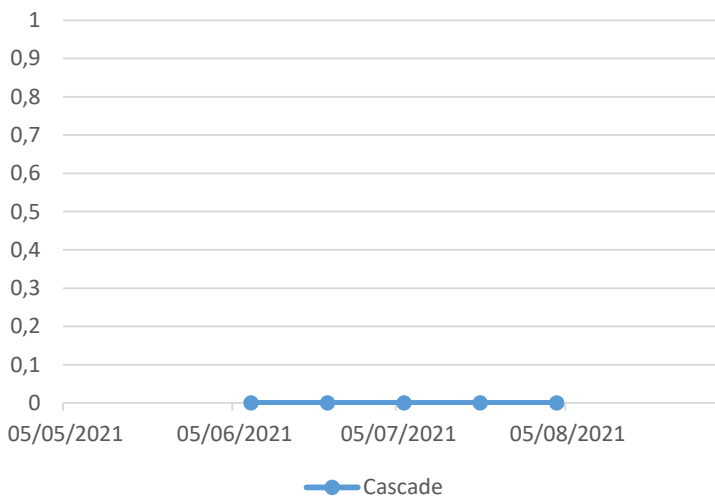


Evolution de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Gardanne

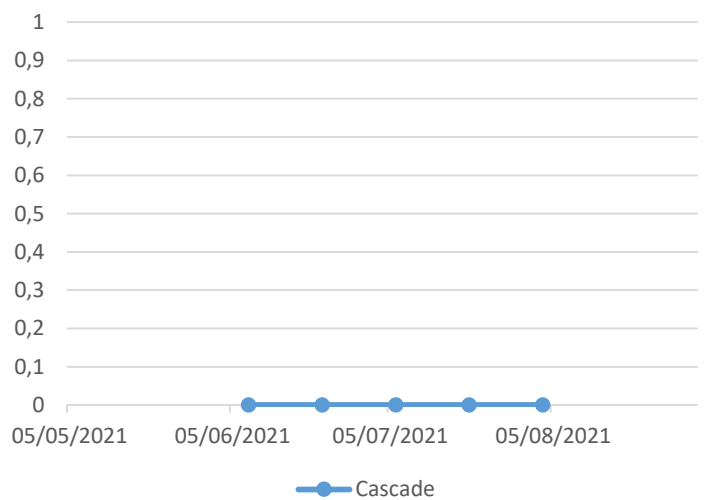


XI.6 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Gardanne

Evolution de l'incidence des pucerons pour la parcelle de Solliès-Pont

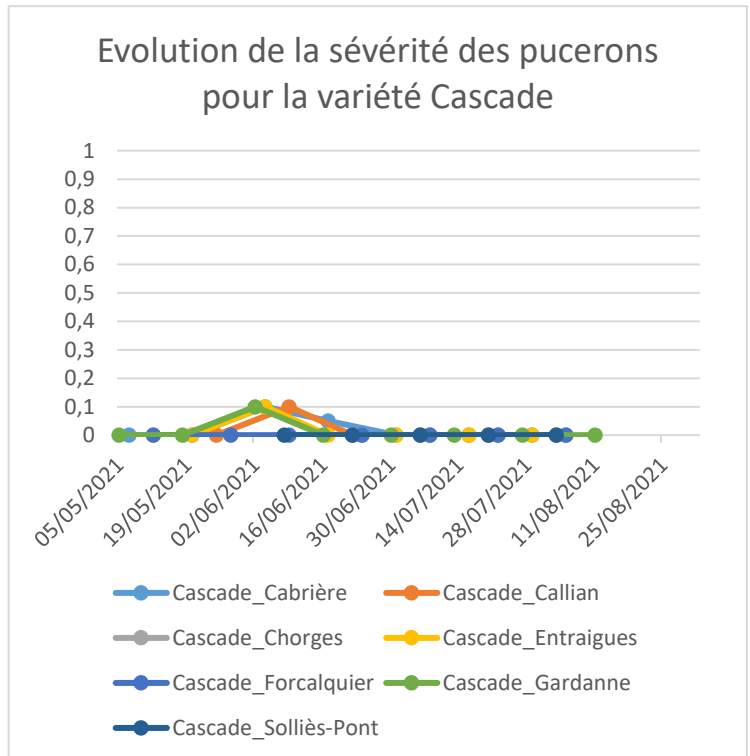
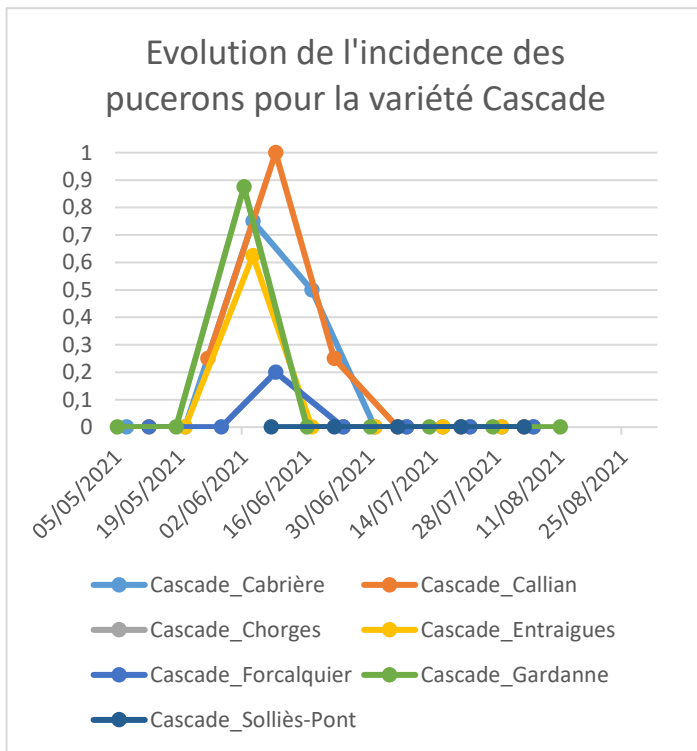


Evolution de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Solliès-Pont

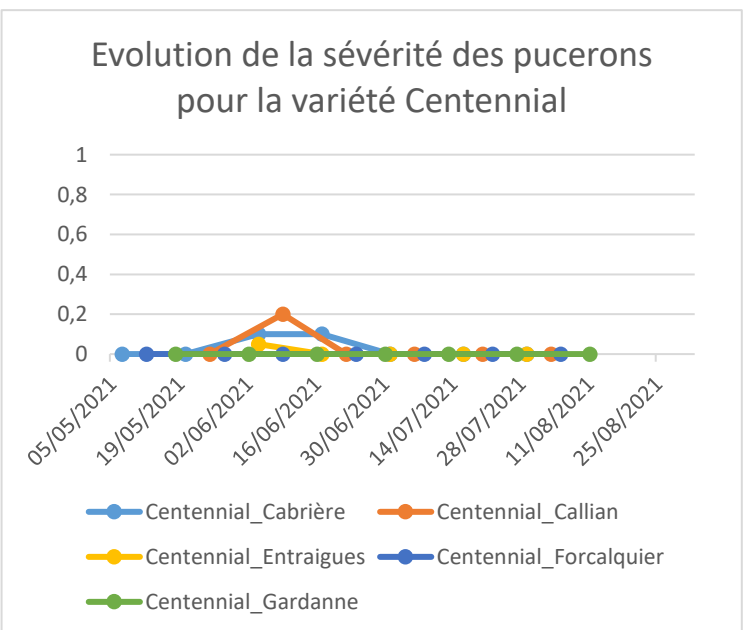
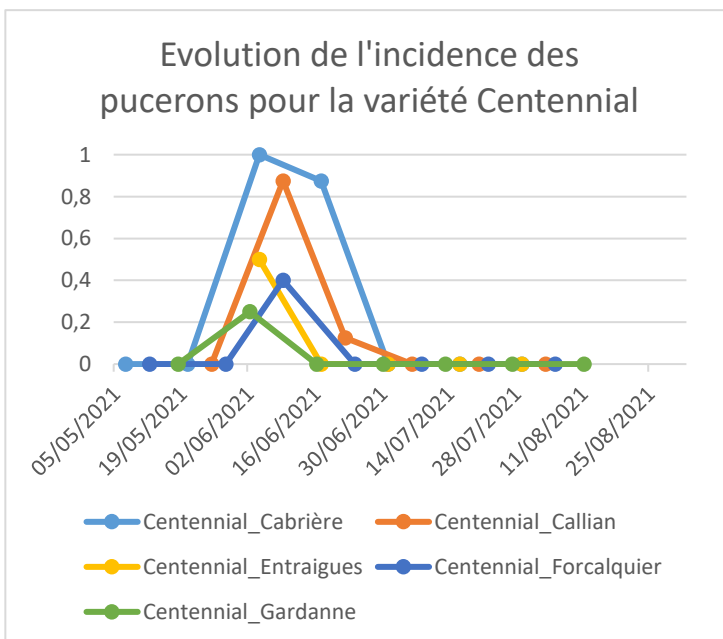


XI.7 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la parcelle de Solliès-Pont

Annexe XII: Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons en fonction des variétés

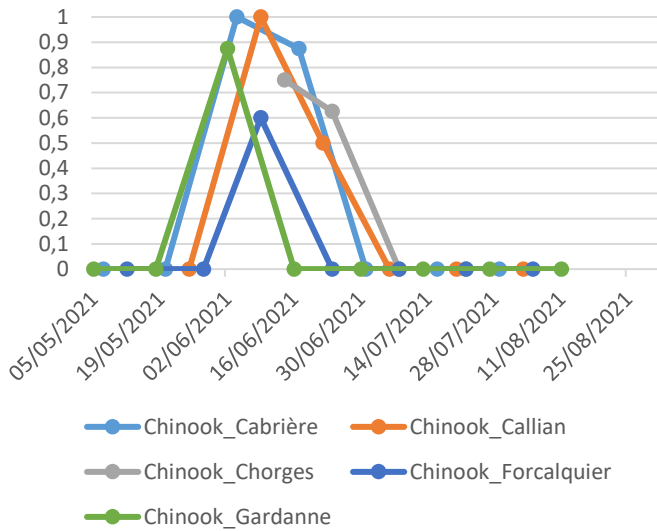


XII.1 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Cascade

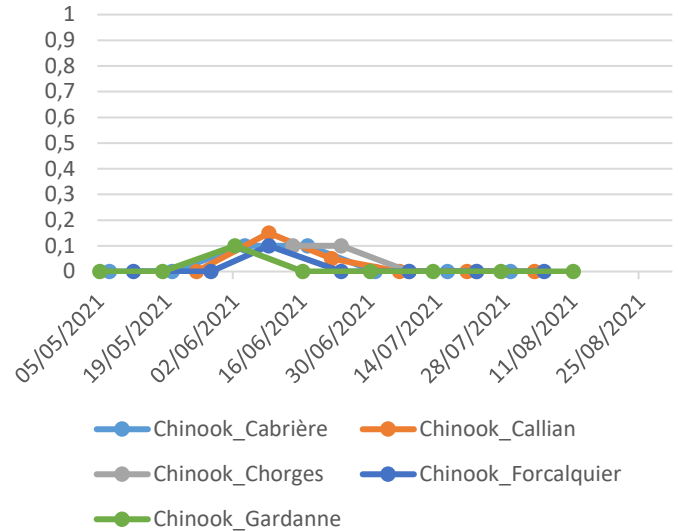


XII.2 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Centennial

Evolution de l'incidence des pucerons pour la variété Chinook

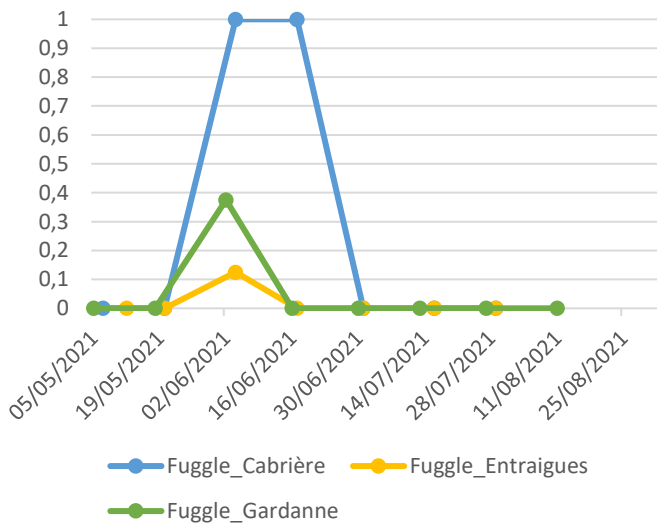


Evolution de la sévérité des pucerons pour la variété Chinook

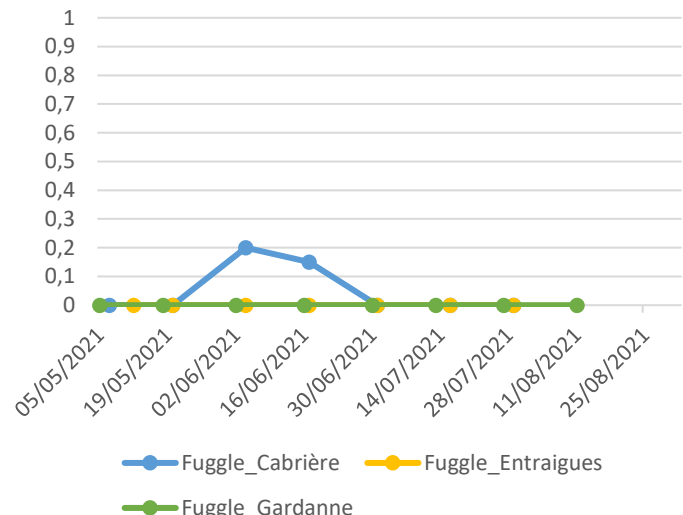


XII.3 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Chinook

Evolution de l'incidence des pucerons pour la variété Fuggle

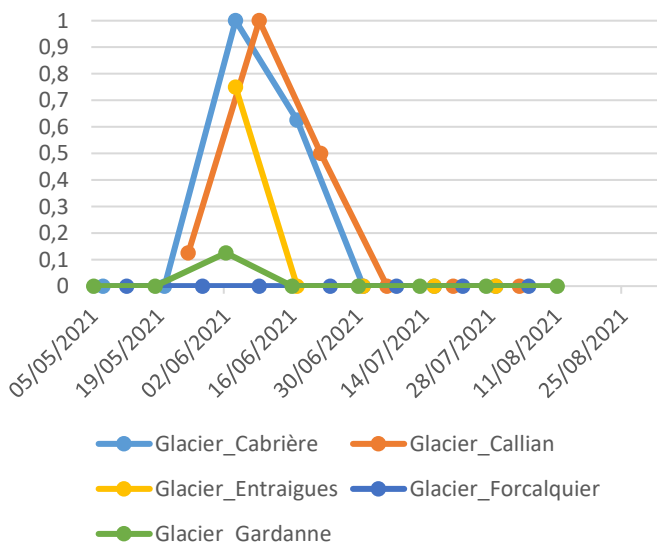


Evolution de la sévérité des pucerons pour la variété Fuggle

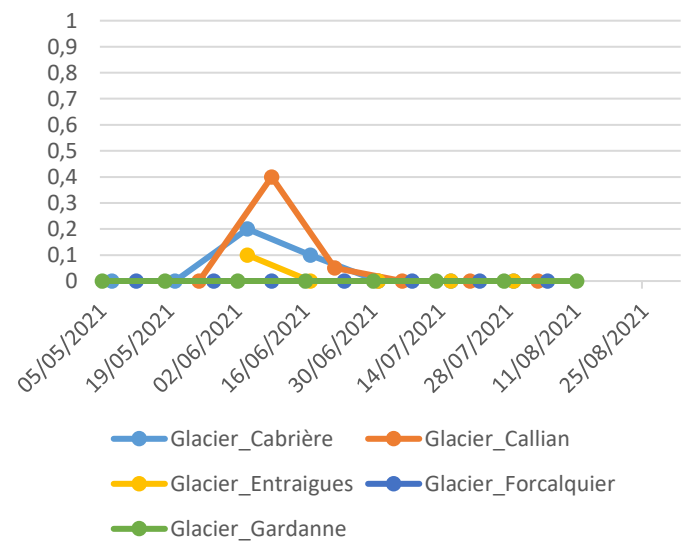


XII.4 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Fuggle

Evolution de l'incidence des pucerons pour la variété Glacier

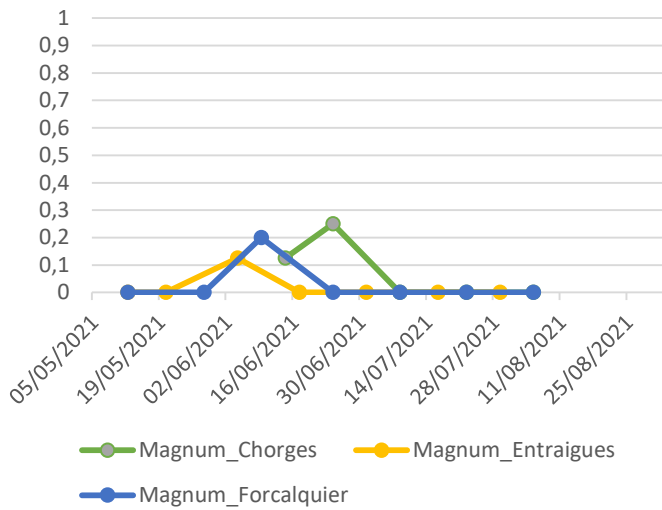


Evolution de la sévérité des pucerons pour la variété Glacier

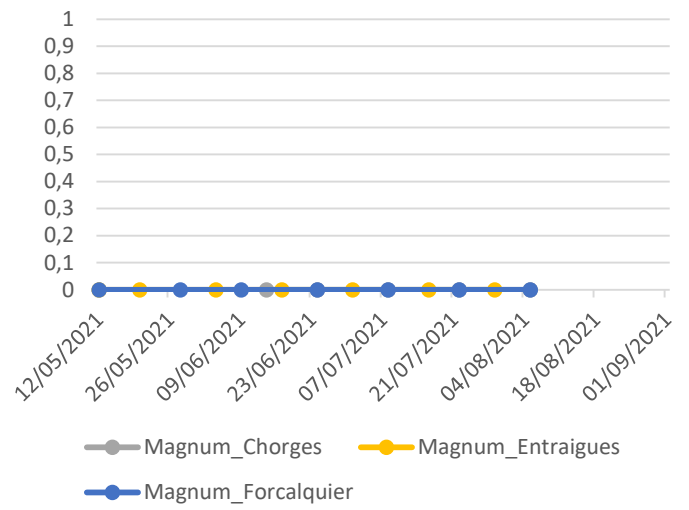


XII.5 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Glacier

Evolution de l'incidence des pucerons pour la variété Magnum

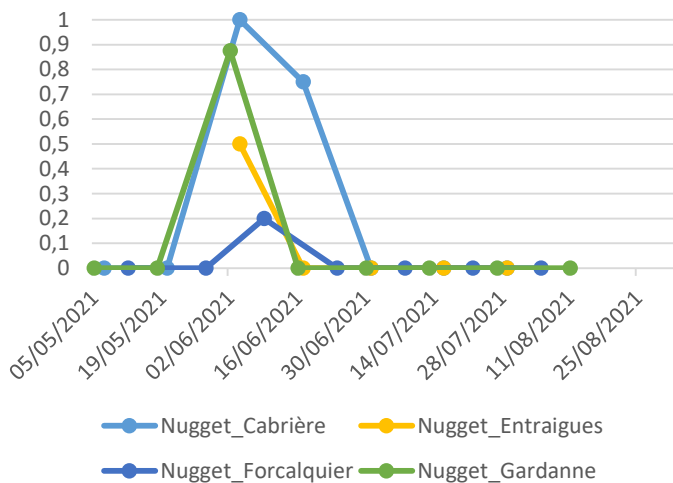


Evolution de la sévérité des pucerons pour la variété Magnum

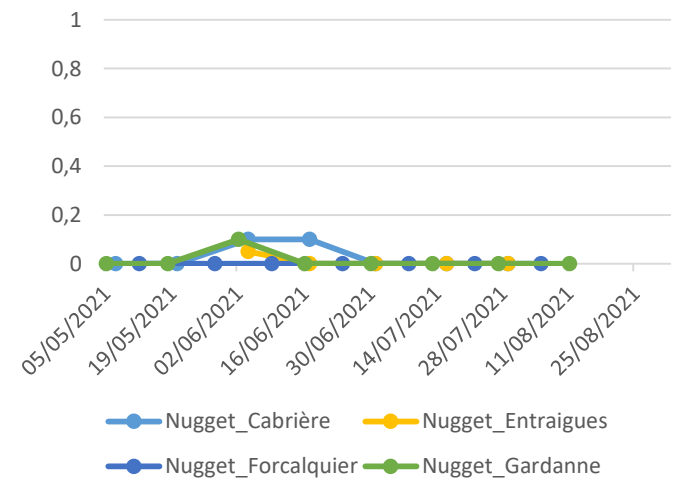


XII.6 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Magnum

Evolution de l'incidence des pucerons pour la variété Nugget

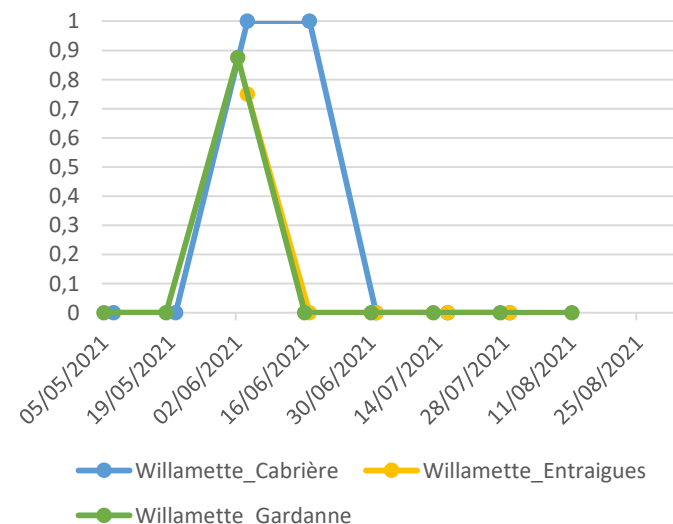


Evolution de la sévérité des pucerons pour la variété Nugget

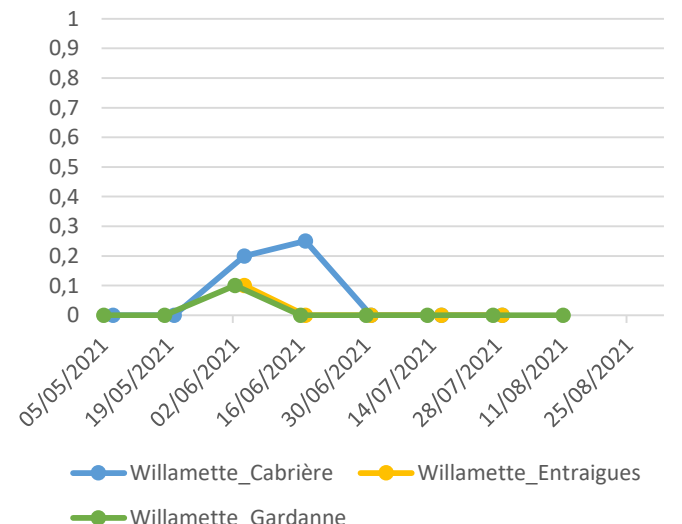


XII.7 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Nugget

Evolution de l'incidence des pucerons pour la variété Willamette

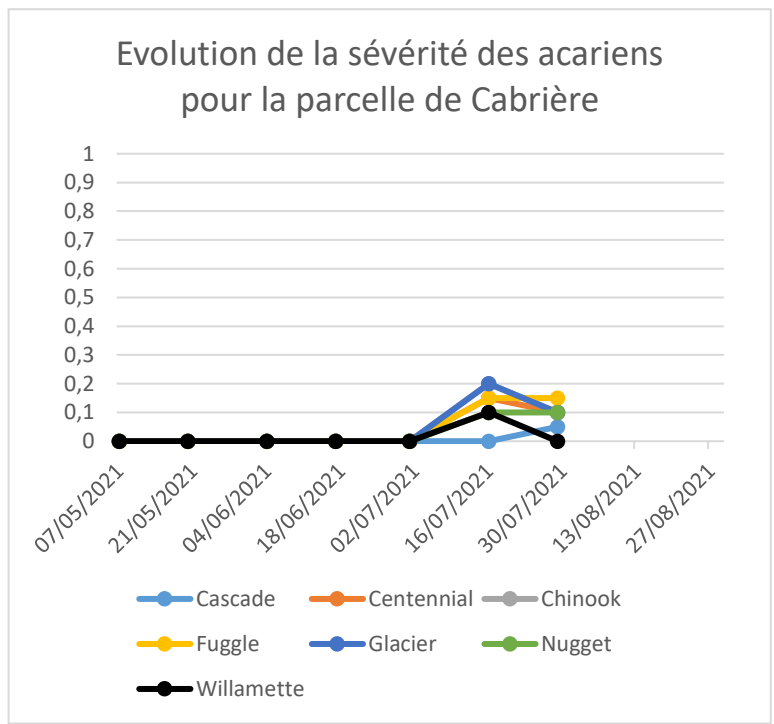
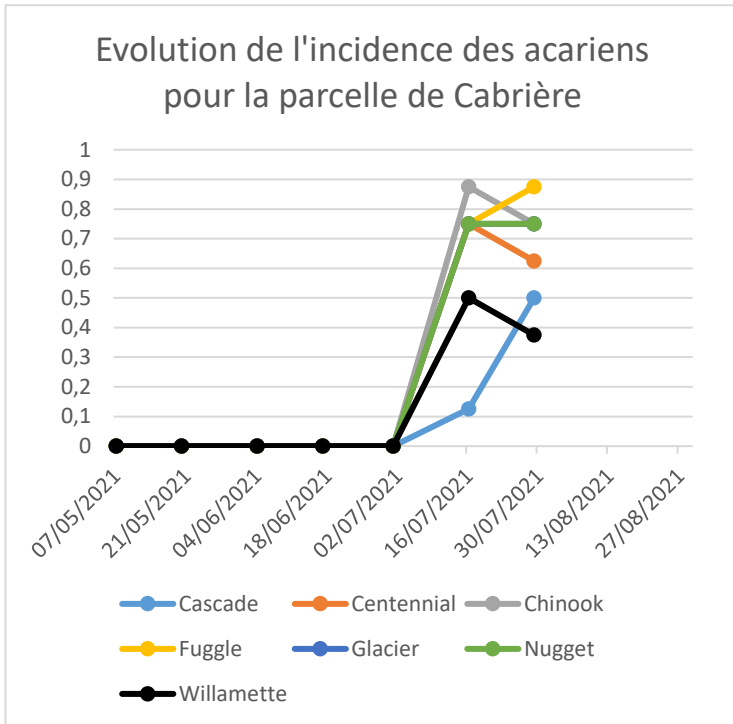


Evolution de la sévérité des pucerons pour la variété Willamette

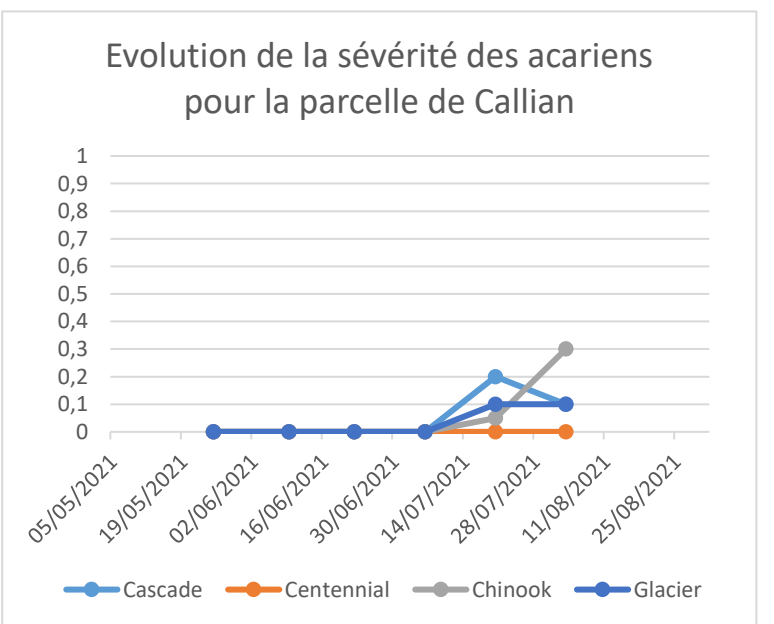
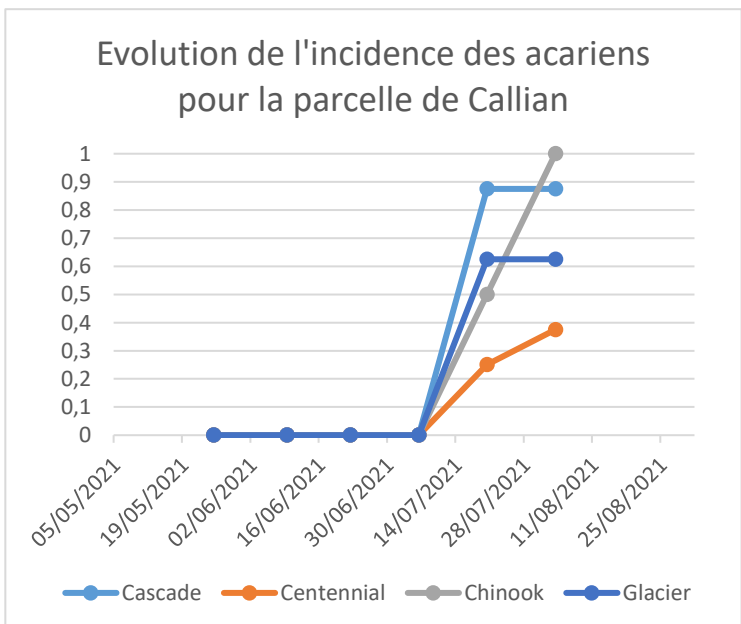


XII.8 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des pucerons pour la variété Willamette

Annexe XIII: Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens en fonction des parcelles

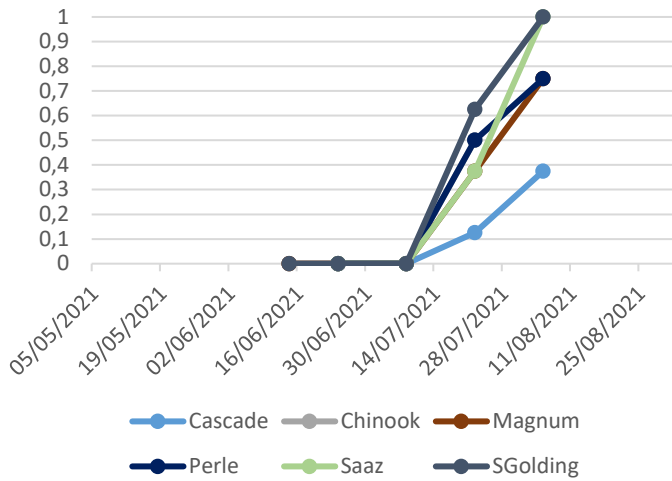


XIII.1 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la parcelle de Cabrière

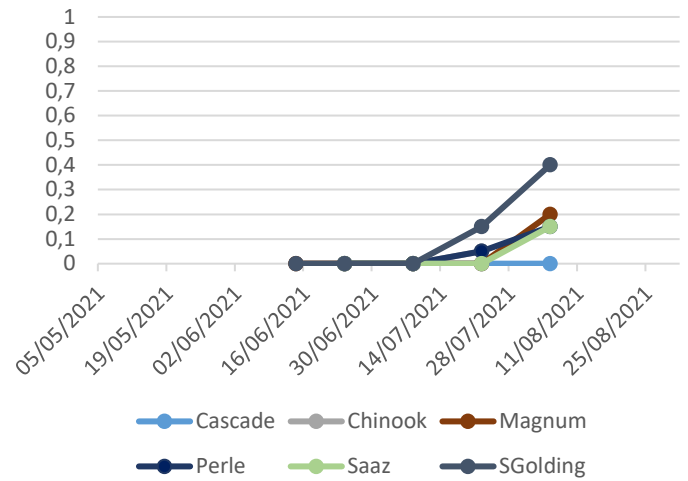


XIII.1 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la parcelle de Cabrière

Evolution de l'incidence des acariens pour la parcelle de Chorges

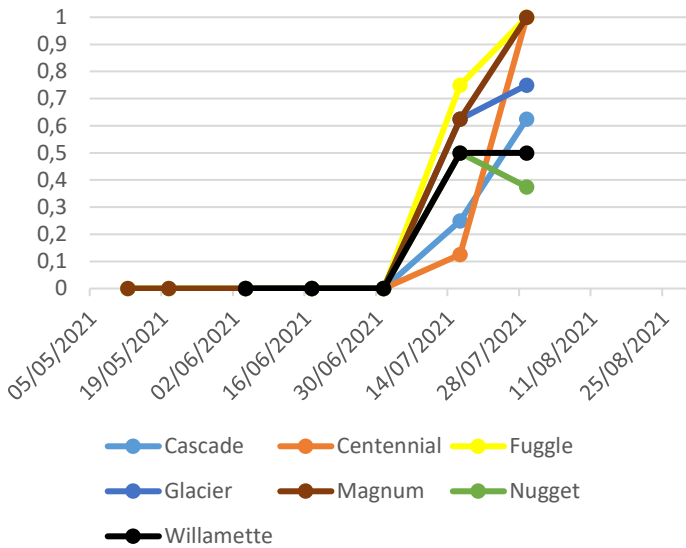


Evolution de la sévérité des acariens pour la parcelle de Chorges

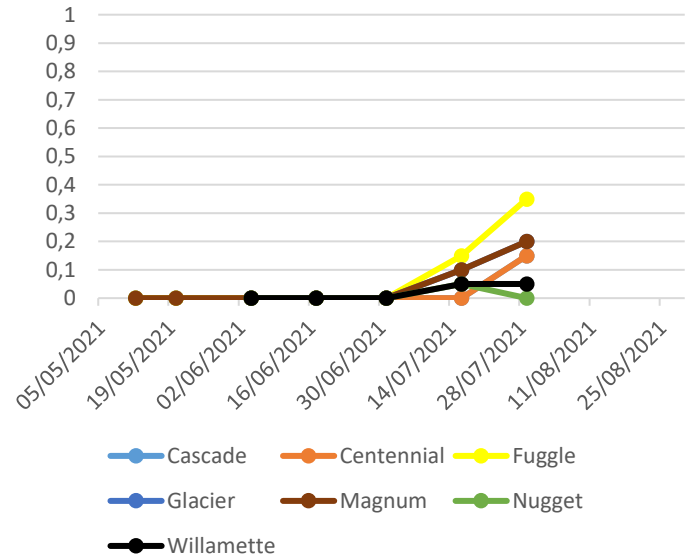


XIII.3 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la parcelle de Chorges

Evolution de l'incidence des acariens pour la parcelle d'Entraigues

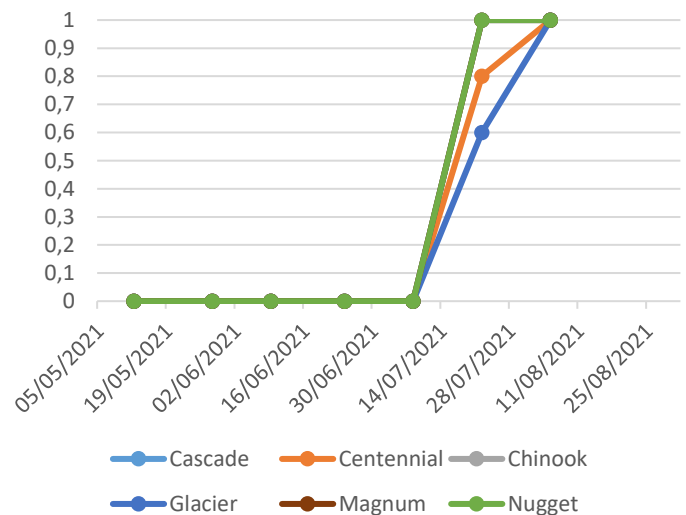


Evolution de la sévérité des acariens pour la parcelle d'Entraigues

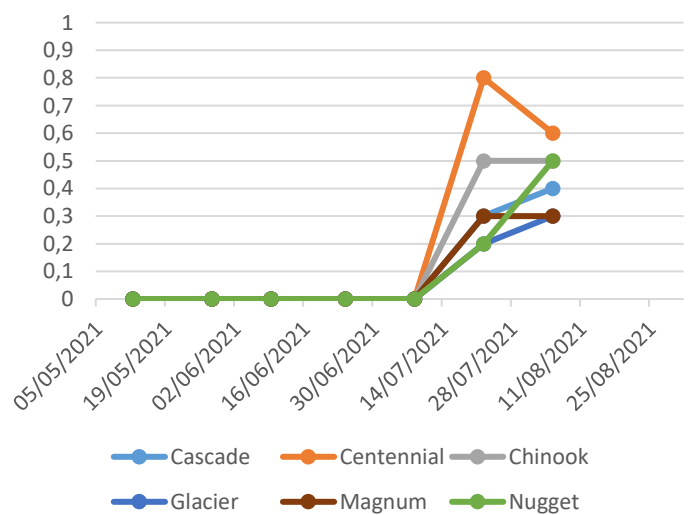


XIII.4 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la parcelle d'Entraigues

Evolution de l'incidence des acariens pour la parcelle de Forcalquier

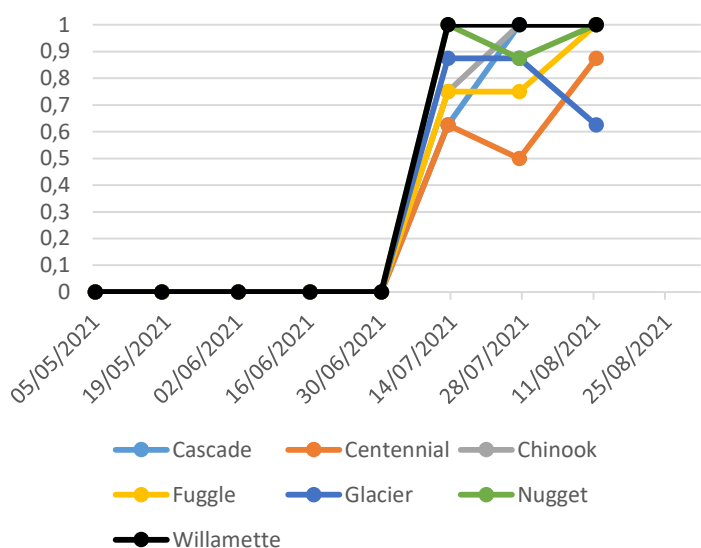


Evolution de la sévérité des acariens pour la parcelle de Forcalquier

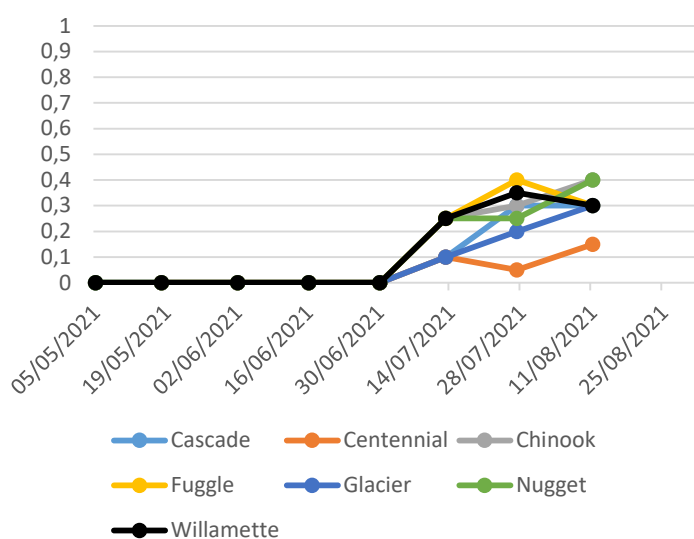


XIII.5 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la parcelle de Forcalquier

Evolution de l'incidence des acariens pour la parcelle de Gardanne

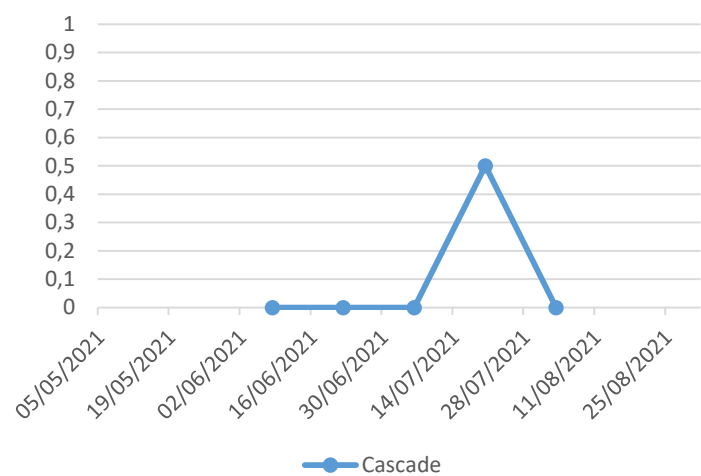


Evolution de la sévérité des acariens pour la parcelle de Gardanne

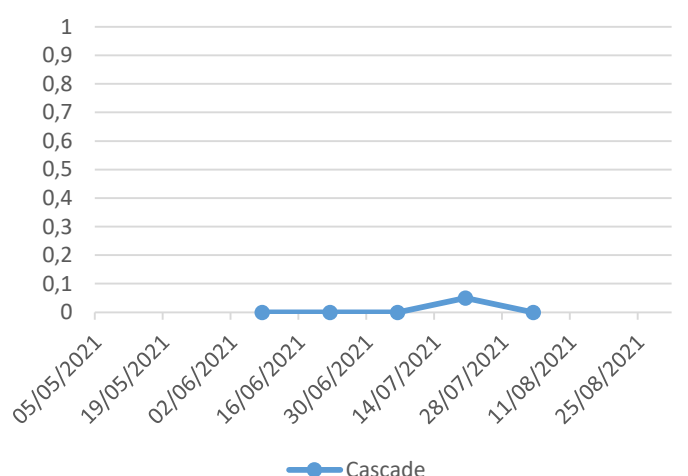


XIII.6 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la parcelle de Gardanne

Evolution de l'incidence des acariens pour la parcelle de Solliès-Pont

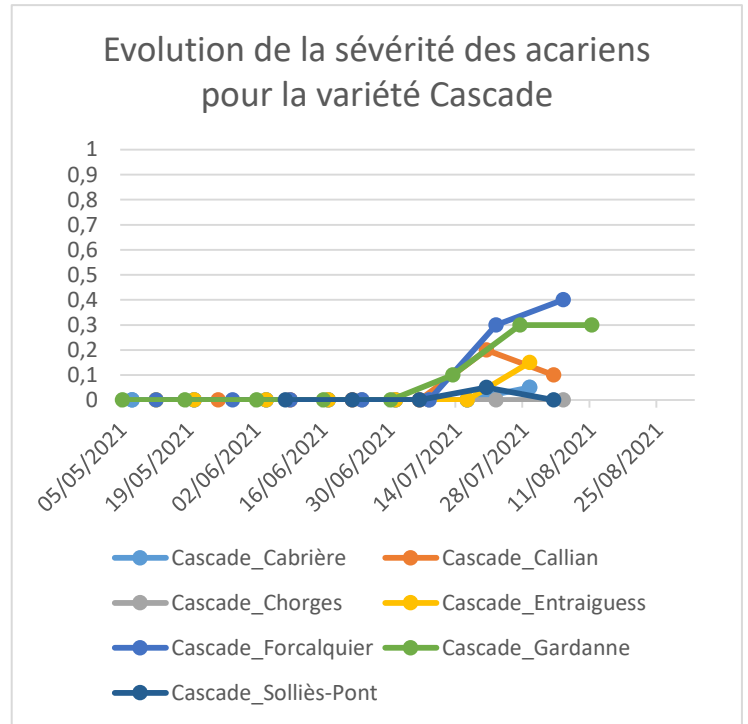
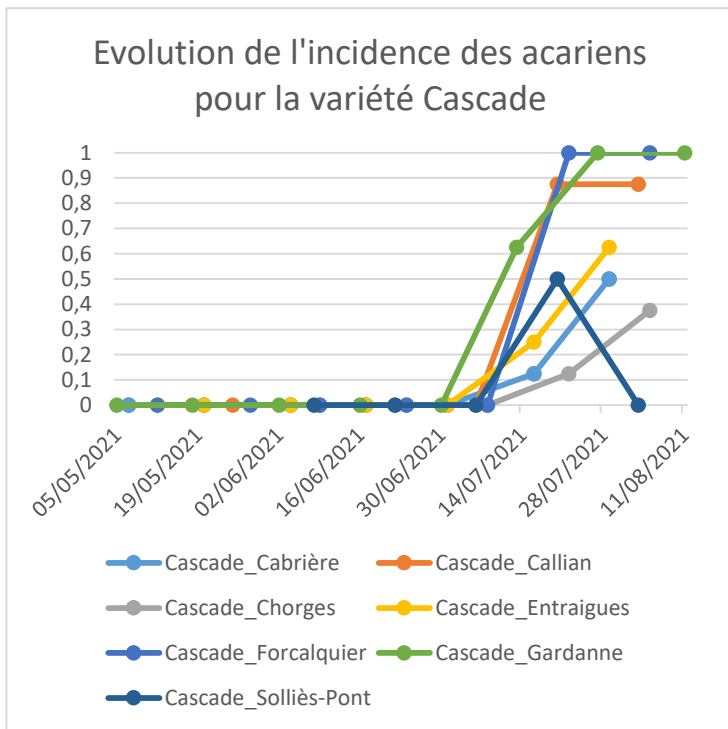


Evolution de la sévérité des acariens pour la parcelle de Solliès-Pont

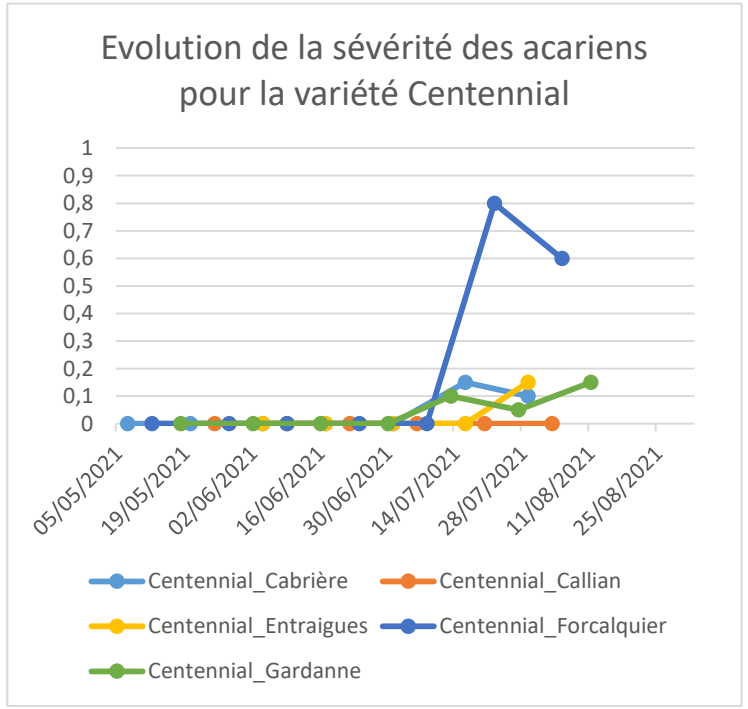
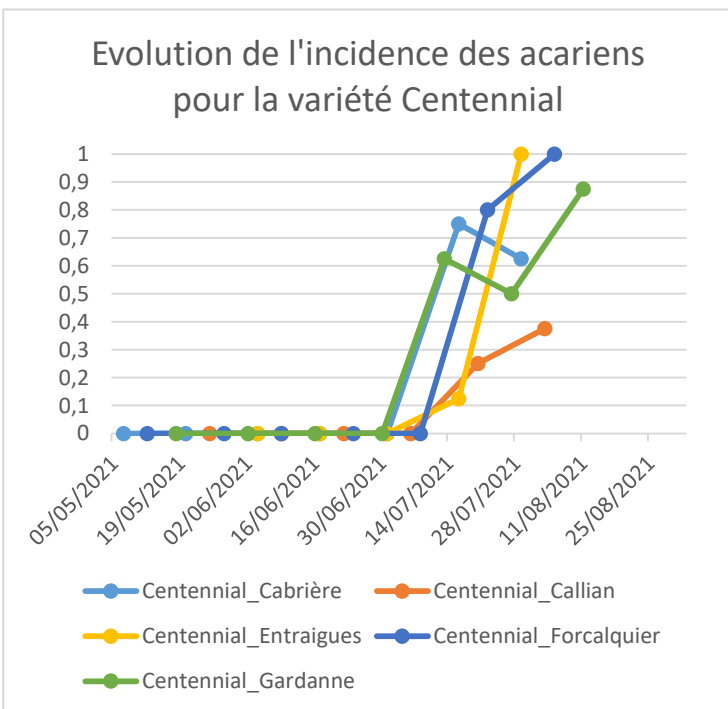


XIII.7 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la parcelle de Solliès-Pont

Annexe XIV: Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens en fonction des variétés

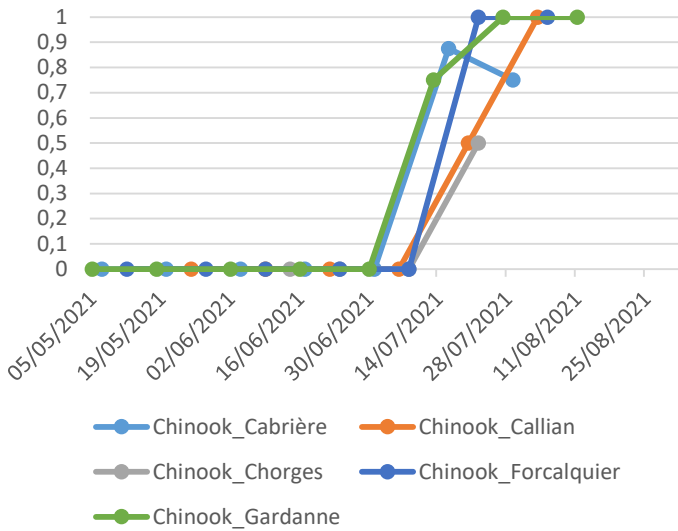


XIV.1 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la variété Cascade

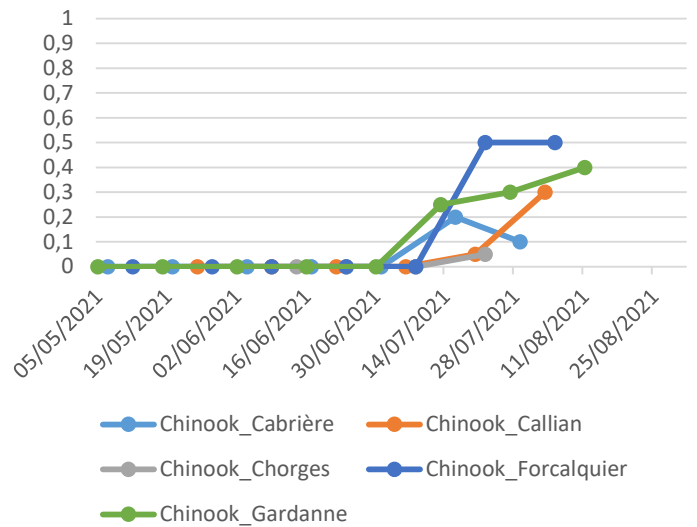


XIV.2 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la variété Centennial

Evolution de l'incidence des acariens pour la variété Chinook

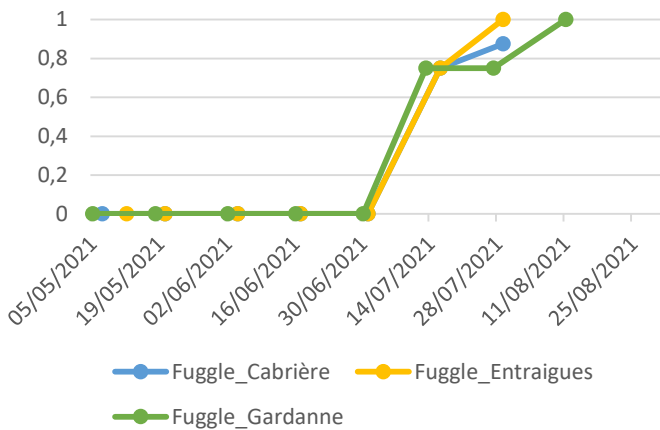


Evolution de la sévérité des acariens pour la variété Chinook

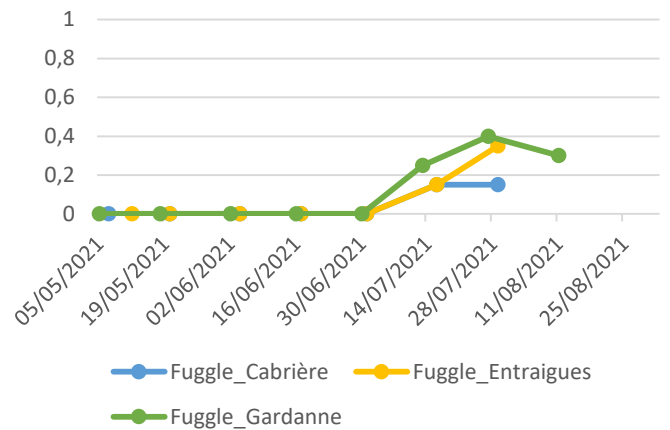


XIV.3 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la variété Chinook

Evolution de l'incidence des acariens pour la variété Fuggle

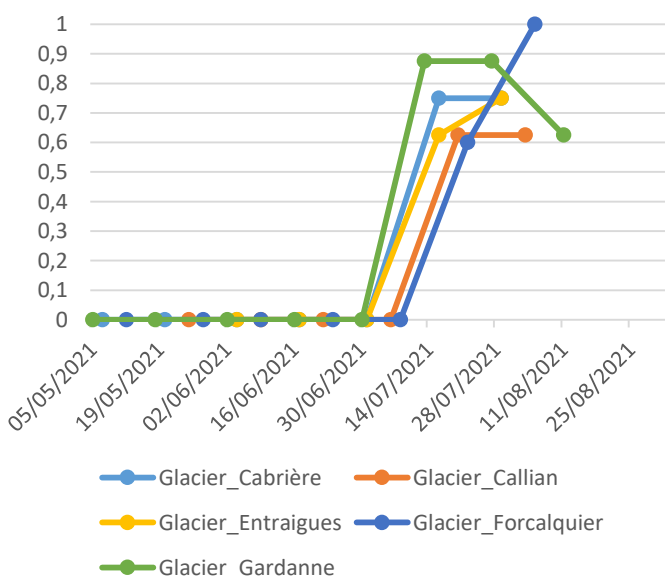


Evolution de la sévérité des acariens pour la variété Fuggle

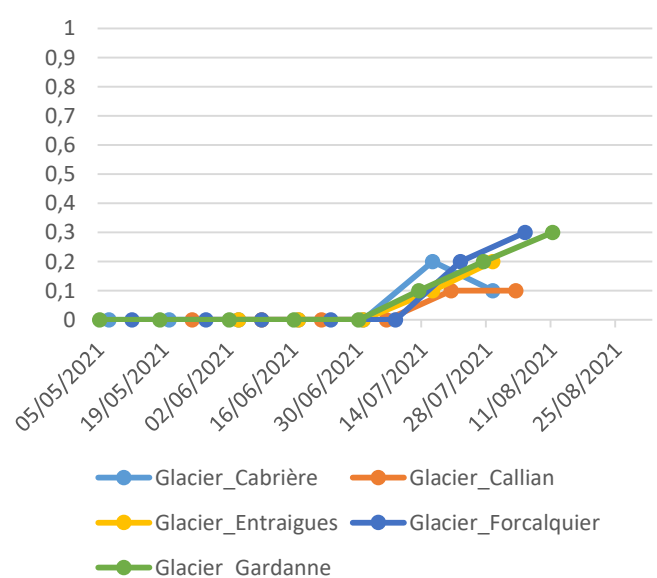


XIV.4 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la variété Fuggle

Evolution de l'incidence des acariens pour la variété Glacier

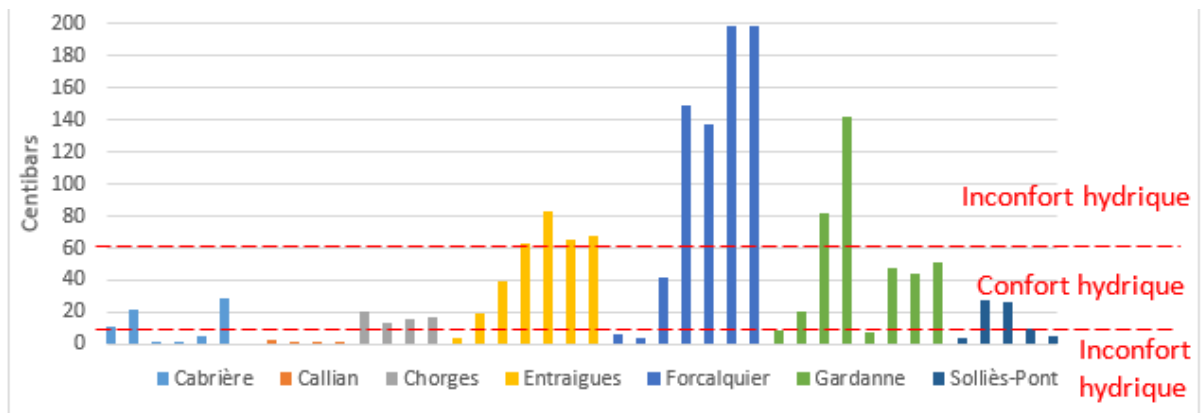


Evolution de la sévérité des acariens pour la variété Glacier

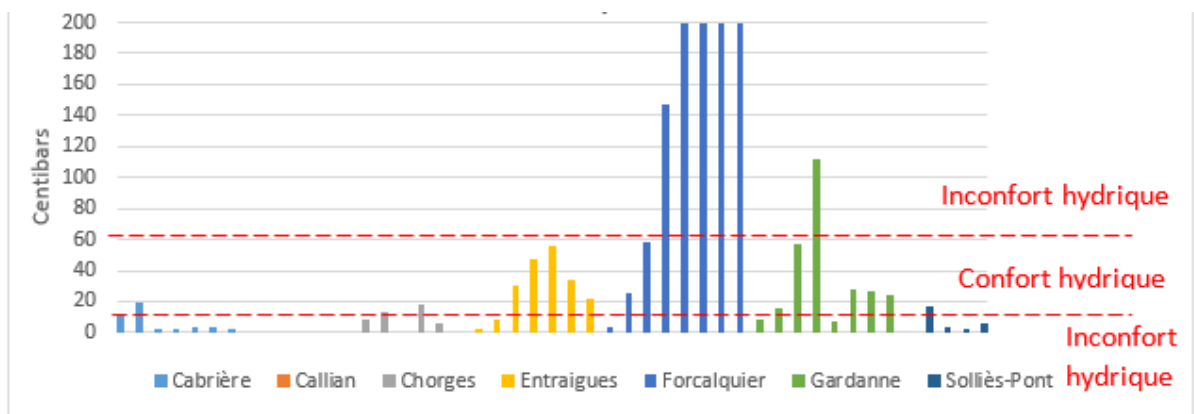


XIV.5 – Evolution de l'incidence et de la sévérité des acariens pour la variété Fuggle

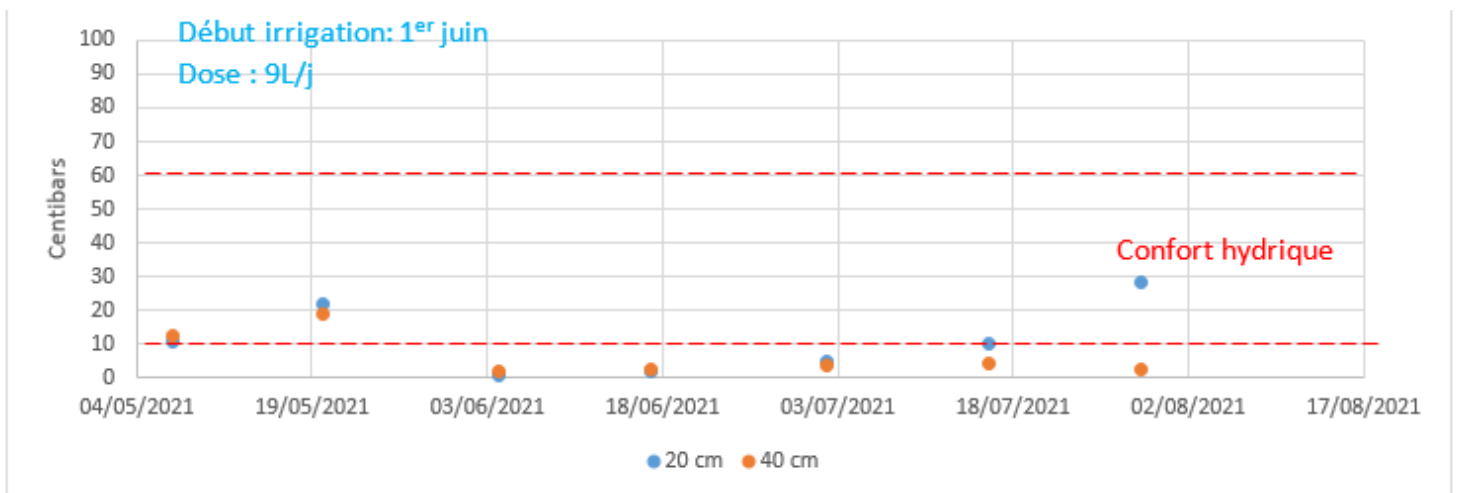
Annexe XV: Evolution de la situation hydrique des parcelles



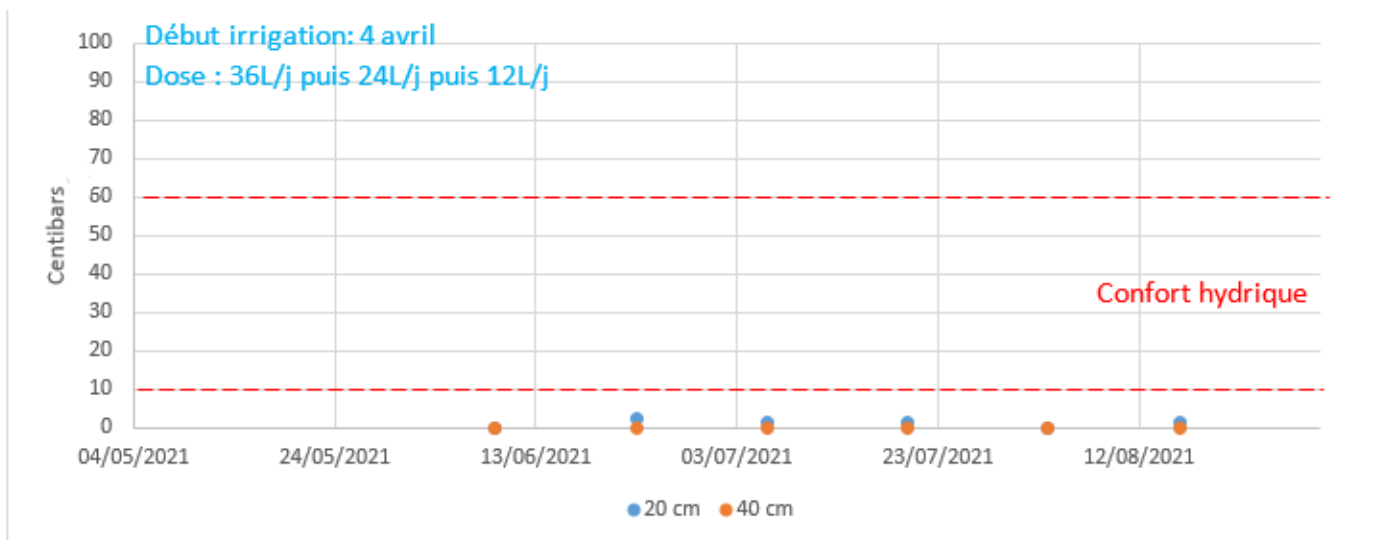
XV.1 – Evolution de la situation hydrique des parcelles à 20 cm de profondeur



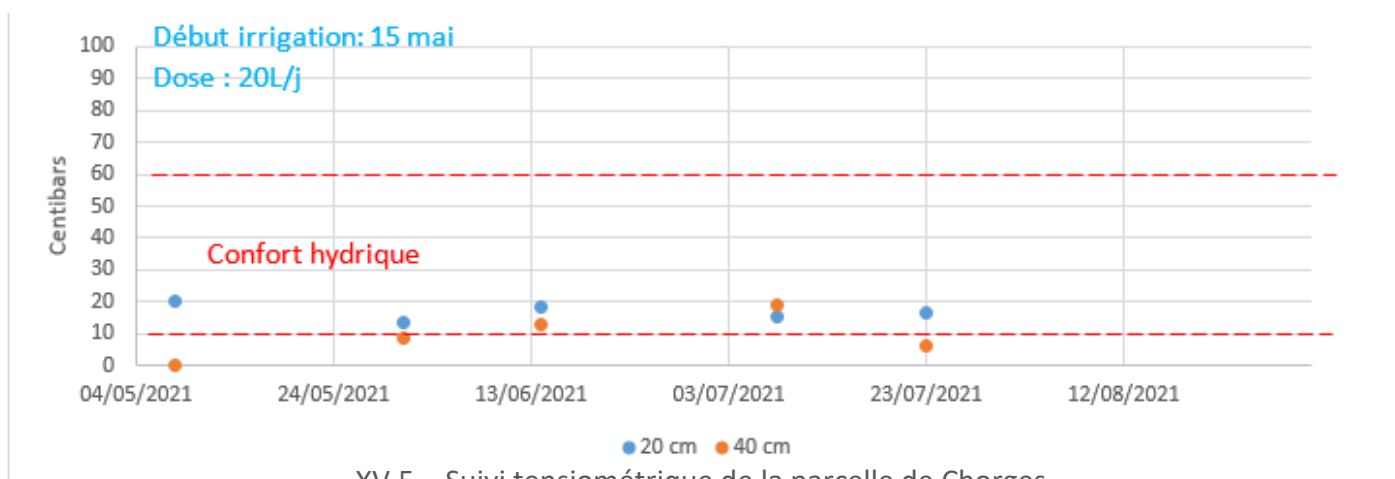
XV.2 – Evolution de la situation hydrique des parcelles à 40 cm de profondeur



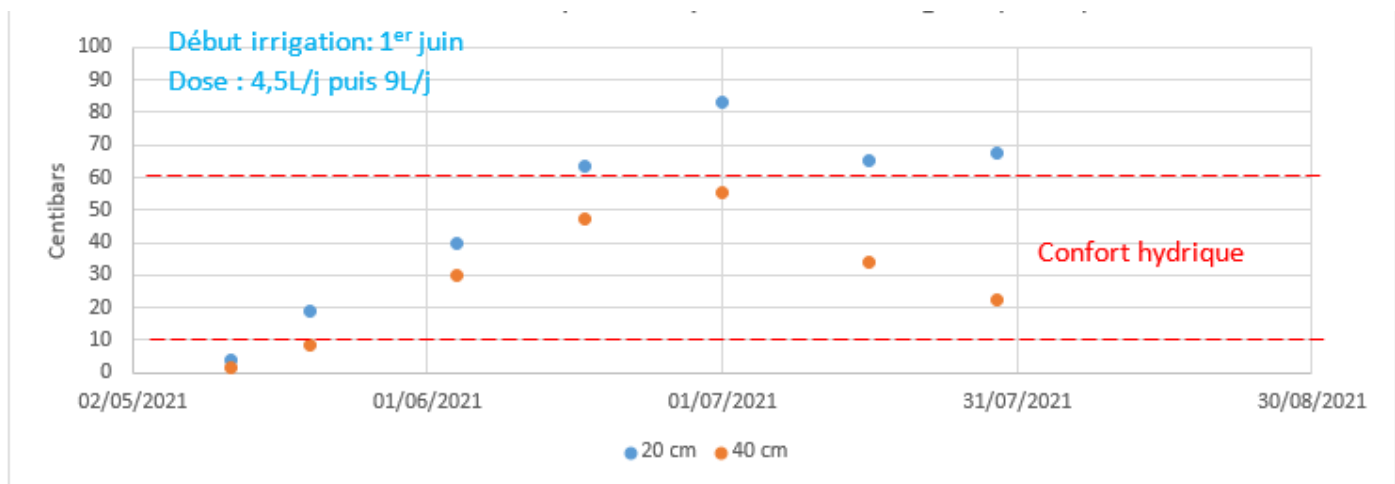
XV.3 – Suivi tensiométrique de la parcelle de Cabrière



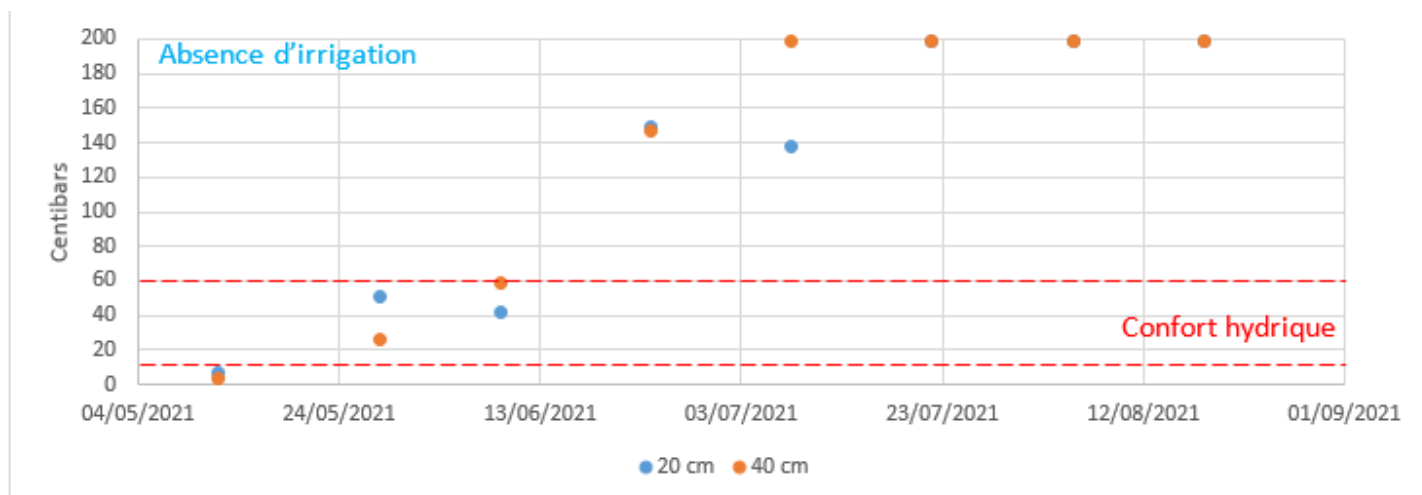
XV.4 – Suivi tensiométrique de la parcelle de Callian



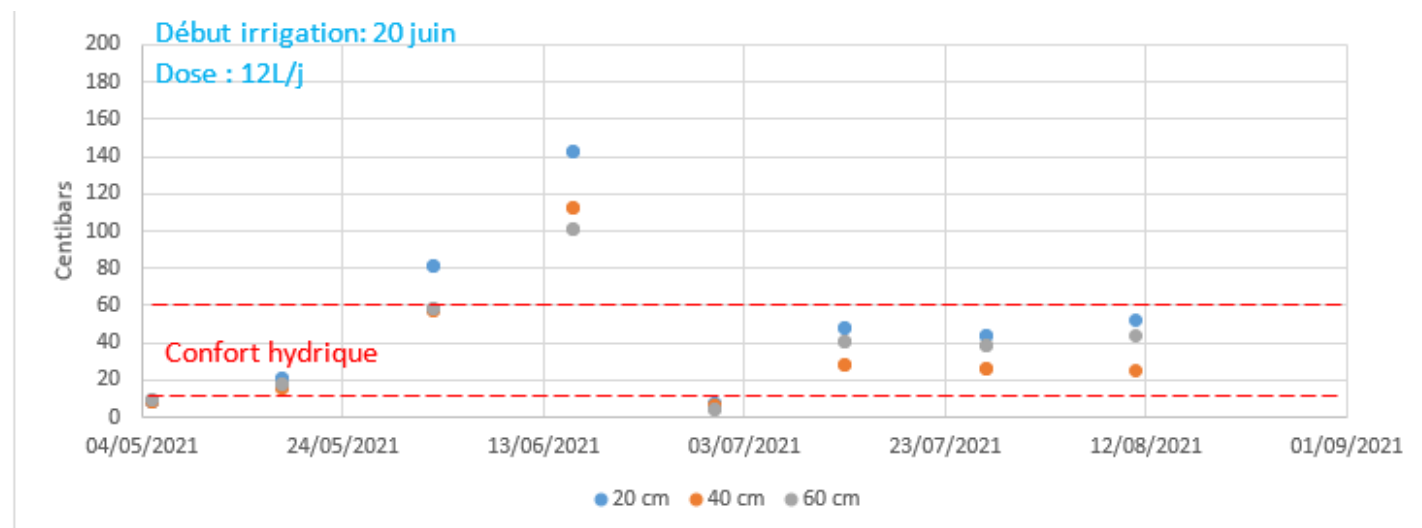
XV.5 – Suivi tensiométrique de la parcelle de Chorges



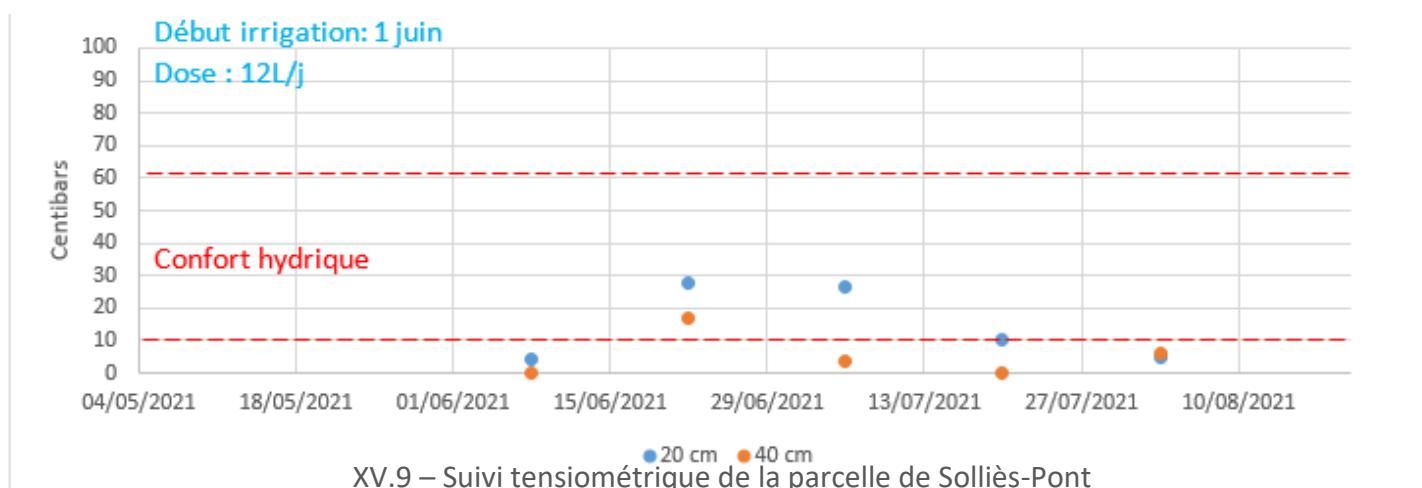
XV.6 – Suivi tensiométrique de la parcelle d'Entraigues



XV.7 – Suivi tensiométrique de la parcelle de Forcalquier

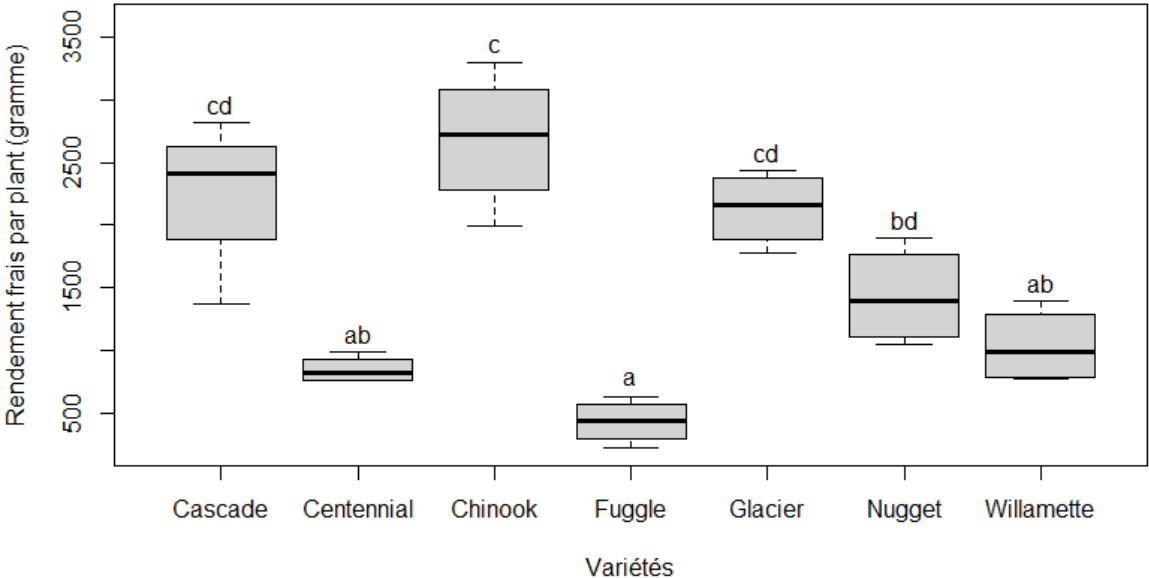


XV.8 – Suivi tensiométrique de la parcelle de Gardanne

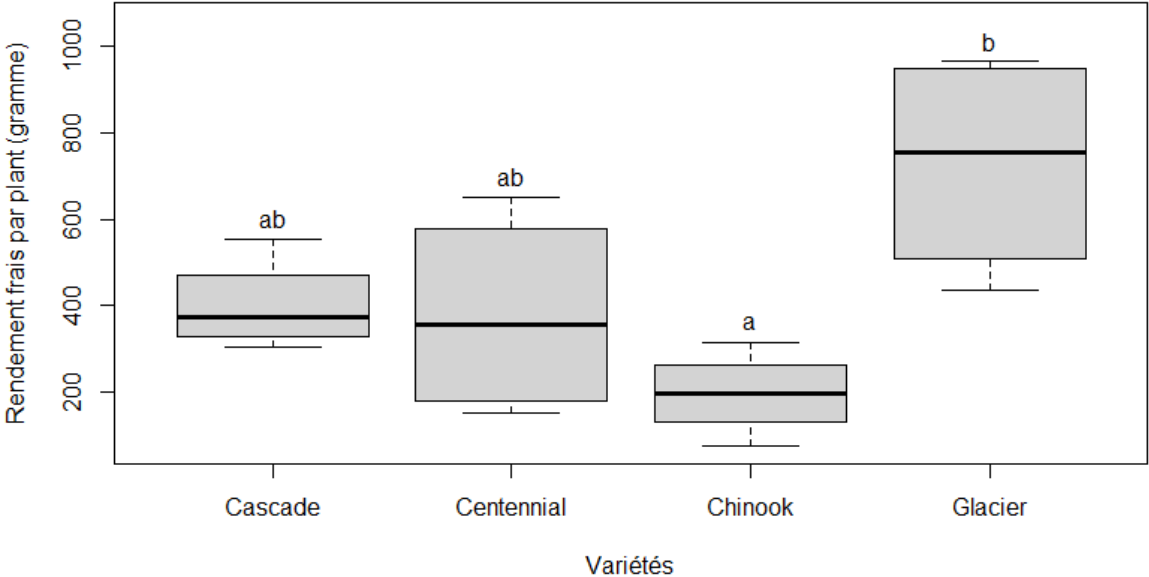


XV.9 – Suivi tensiométrique de la parcelle de Solliès-Pont

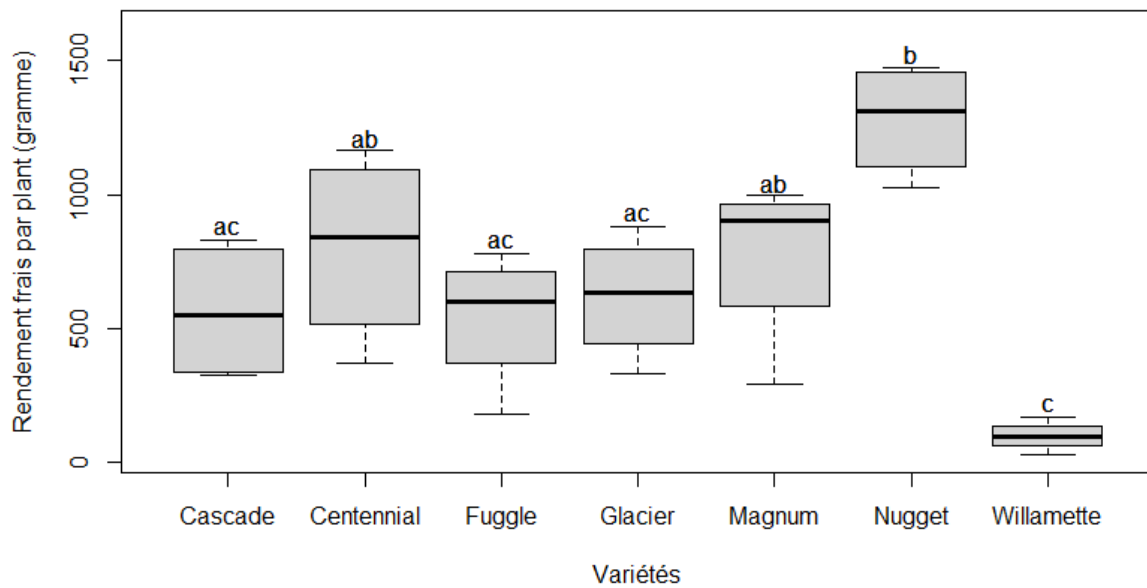
Annexe XVI: Comparaison des rendements frais par parcelle



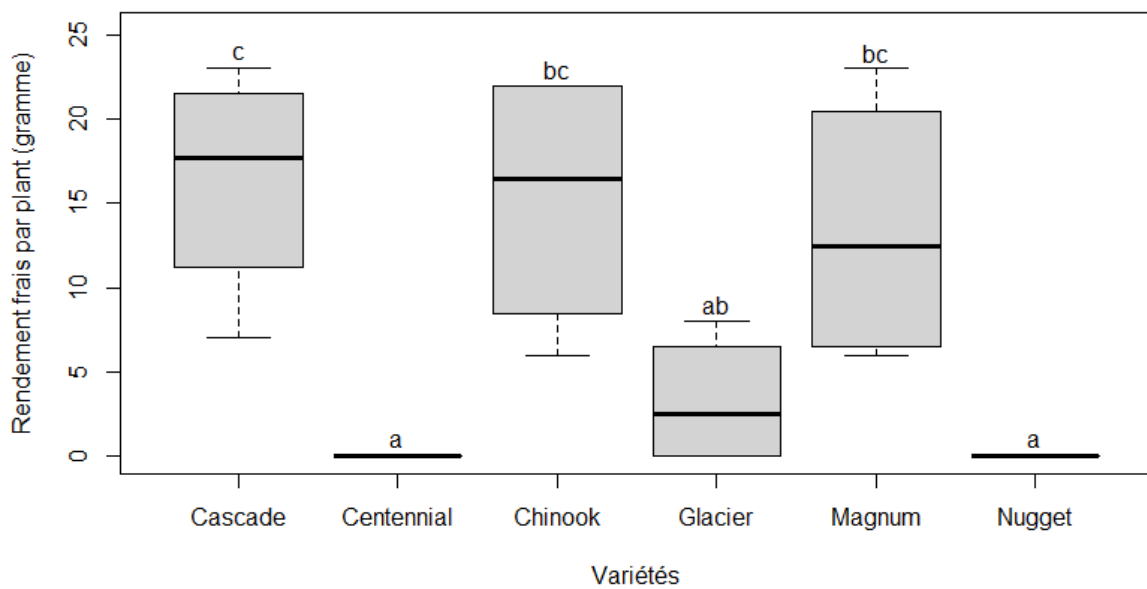
XVI.1 – Comparaison des rendements frais pour les variétés de Cabrière



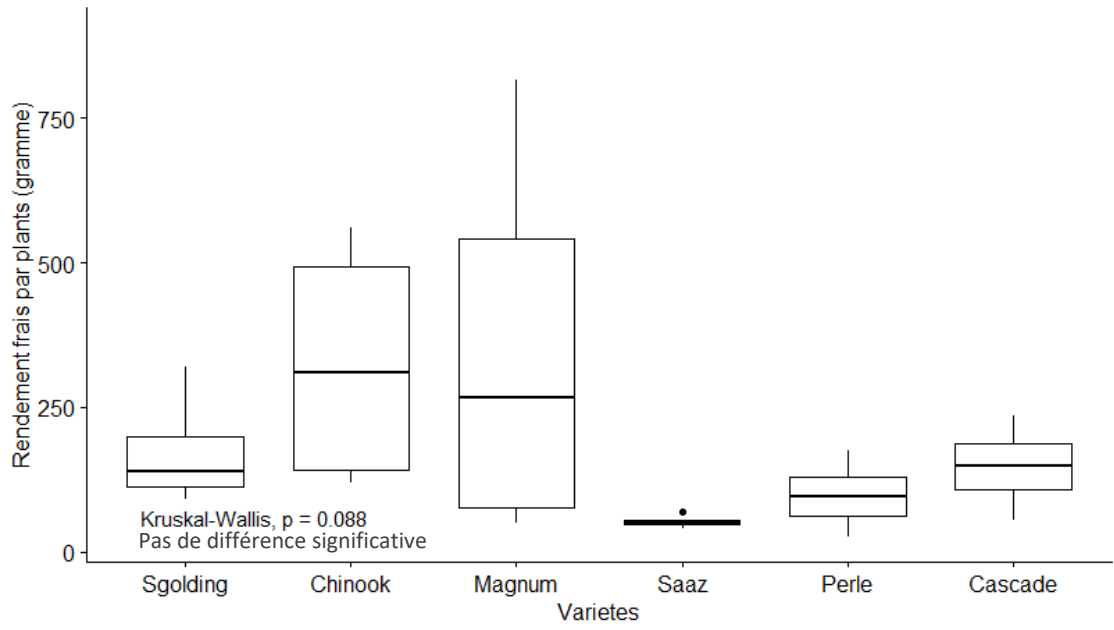
XVI.2 – Comparaison des rendements frais pour les variétés de Callian



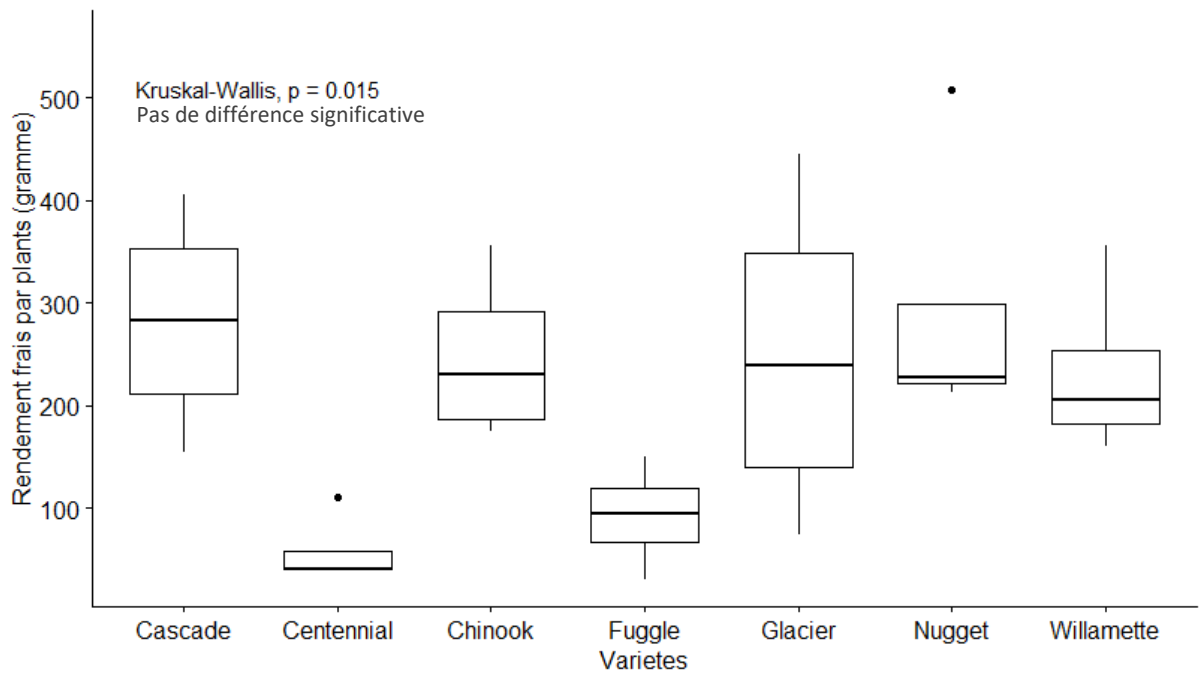
XVI.3 – Comparaison des rendements frais pour les variétés d'Entraiques



XVI.4 – Comparaison des rendements frais pour les variétés de Forcalquier

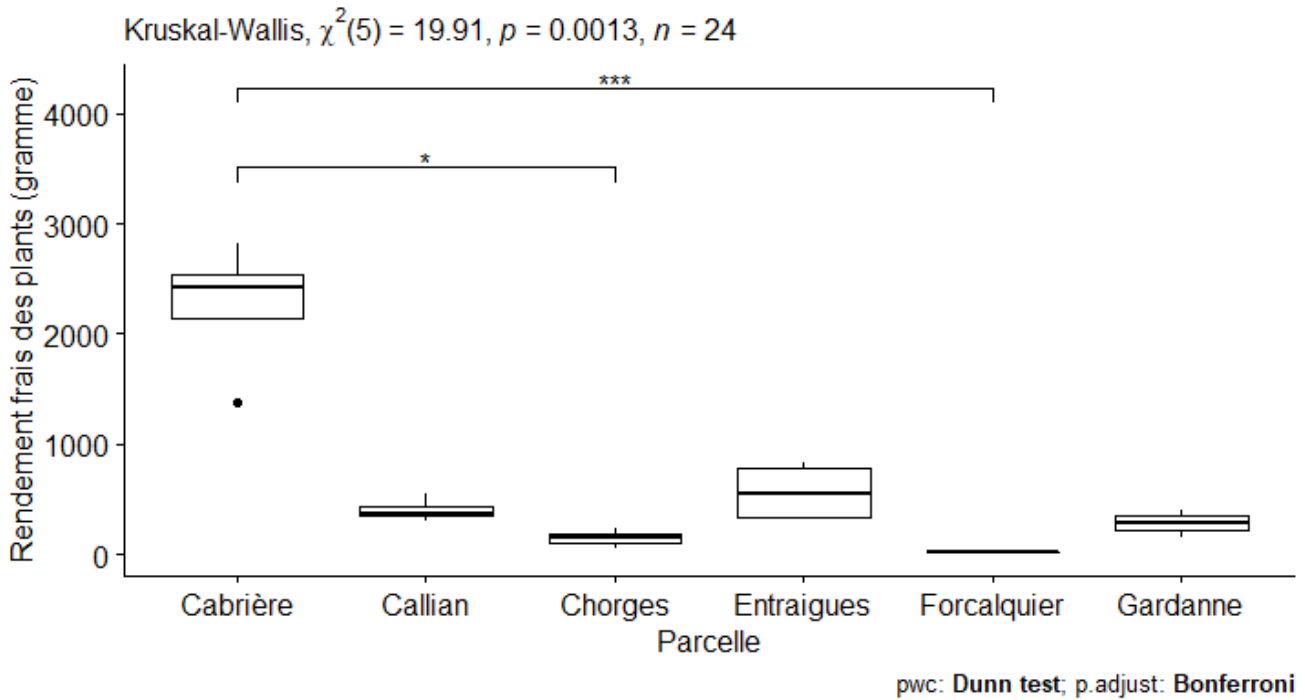


XVI.4 – Comparaison des rendements frais pour les variétés de Chorges

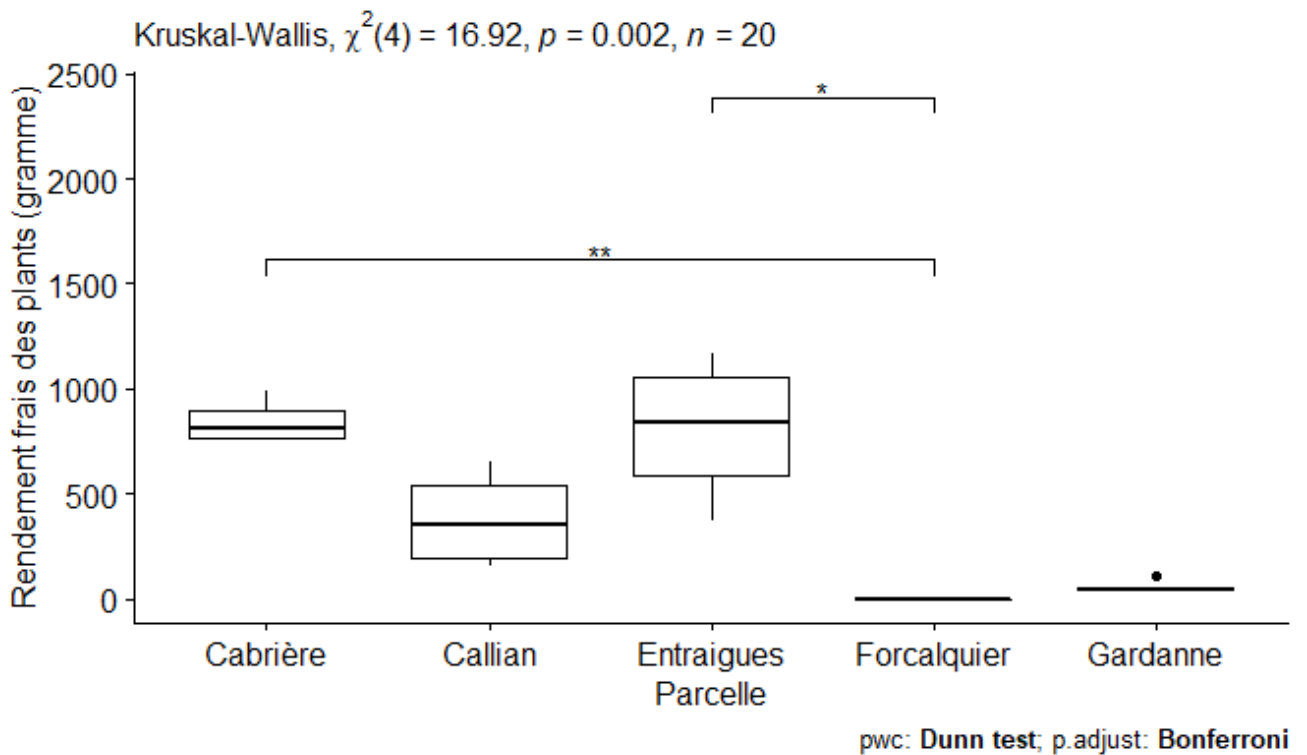


XVI.6 – Comparaison des rendements frais pour les variétés de Gardanne

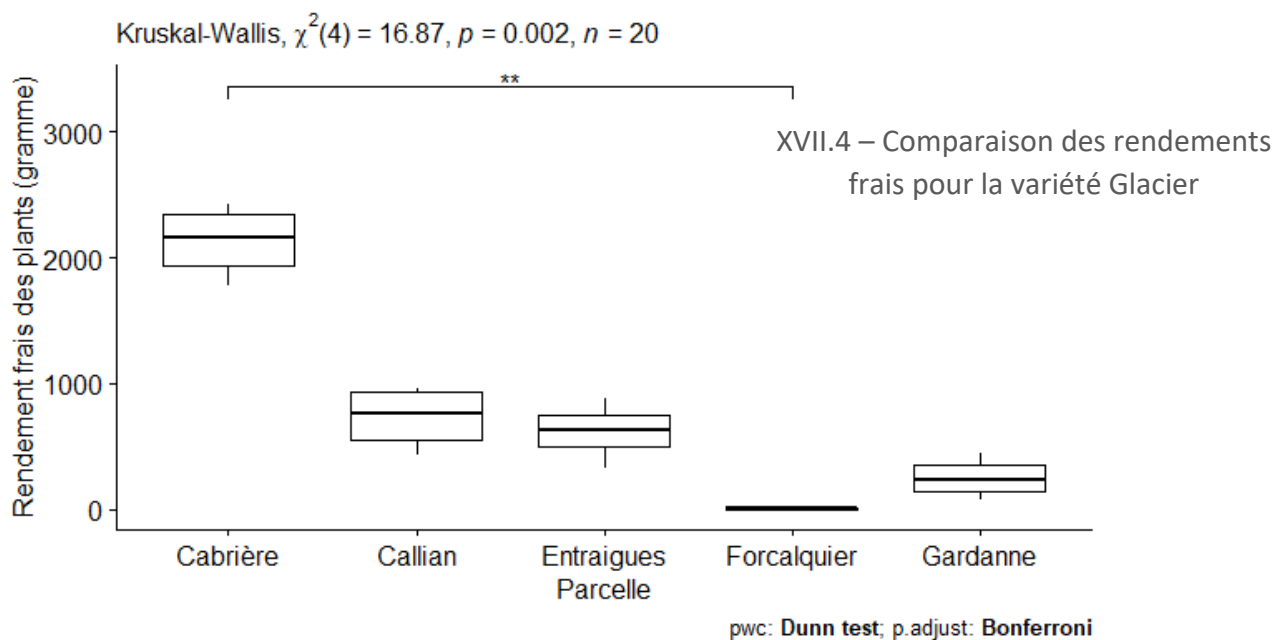
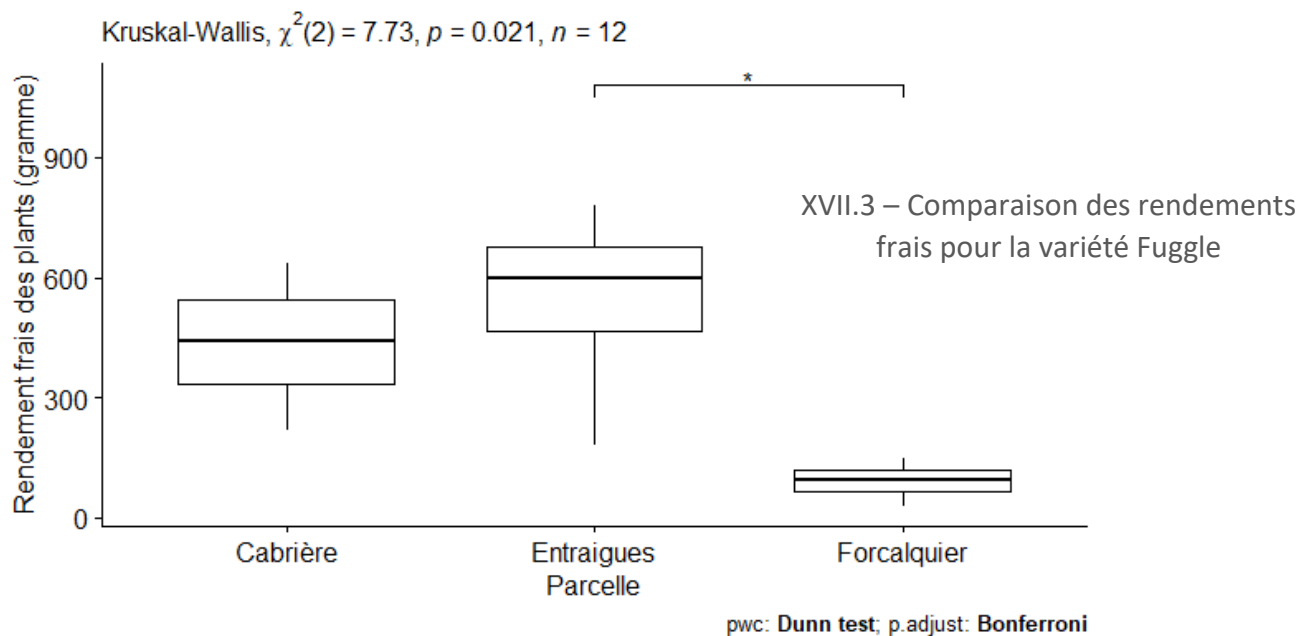
Annexe XVII: Comparaison des rendements frais par variété



XVII.1 – Comparaison des rendements frais pour la variété Cascade

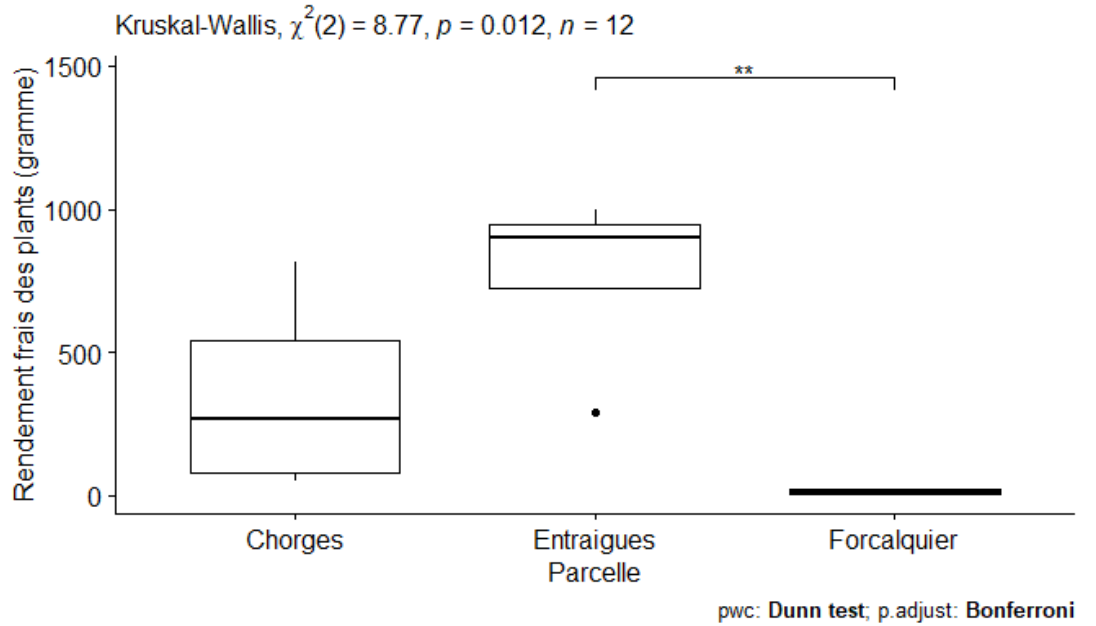


XVII.2 – Comparaison des rendements frais pour la variété Centennial

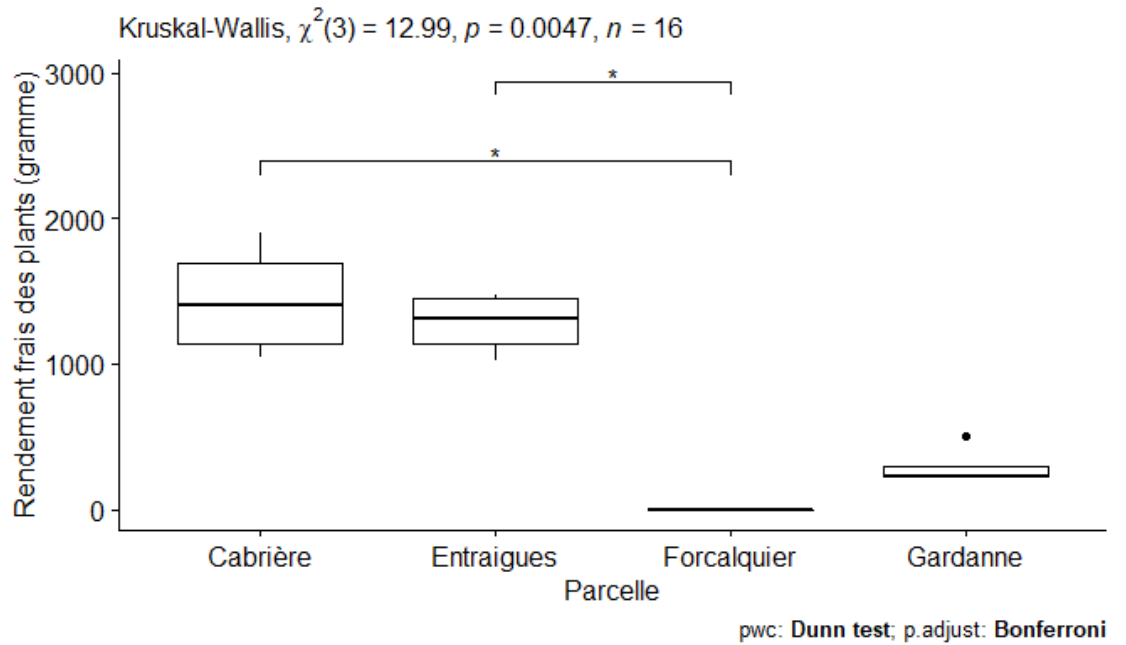


XVII.5 – Comparaison des rendements frais pour la variété Chinook

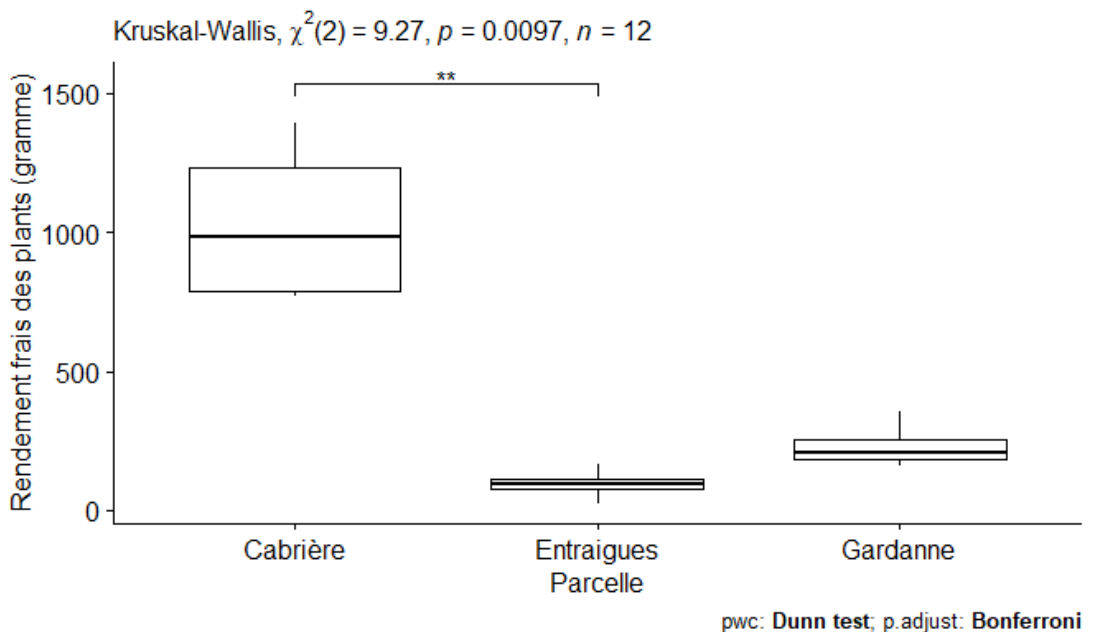
XVII.6 – Comparaison des rendements frais pour la variété Magnum



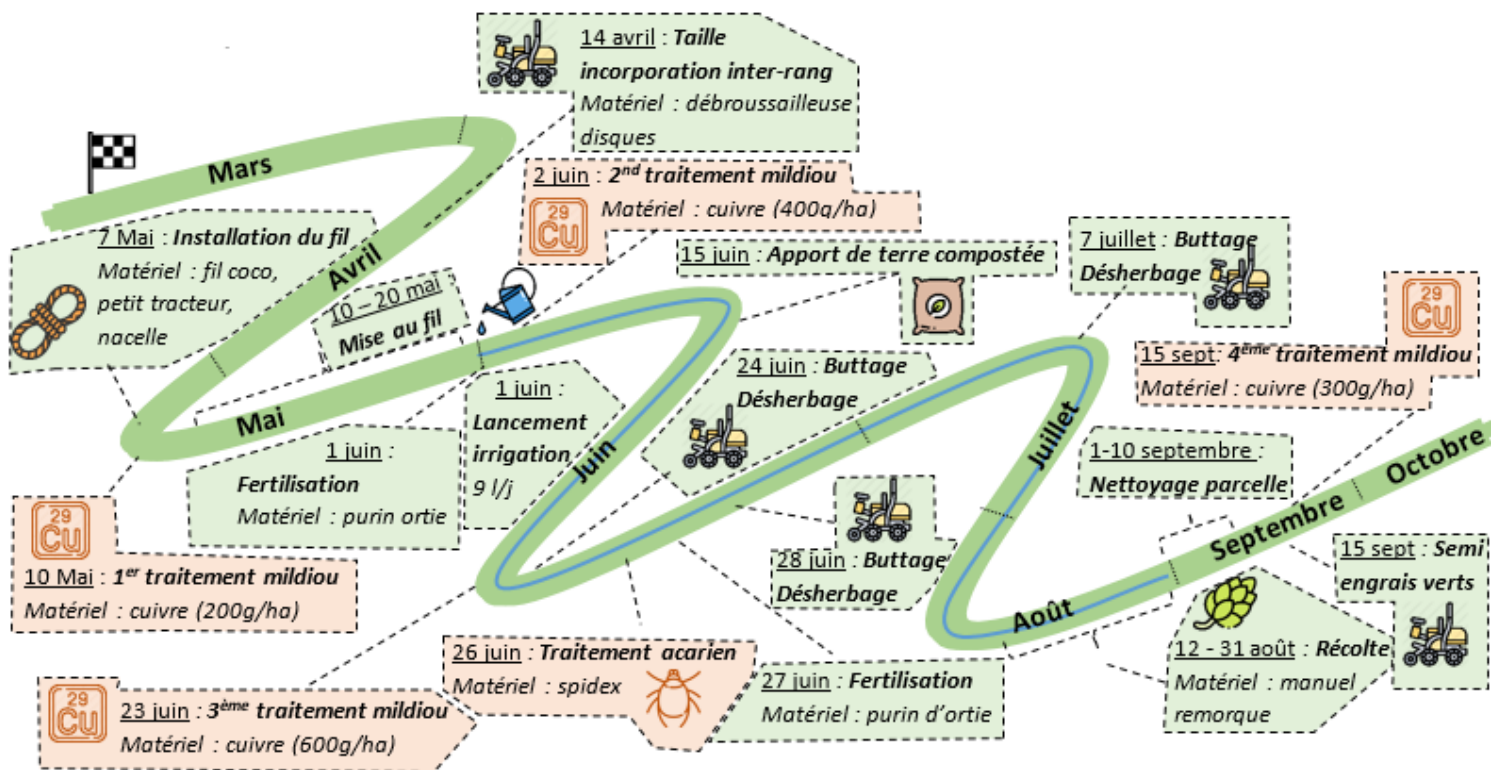
XVII.7 – Comparaison des rendements frais pour la variété Nugget



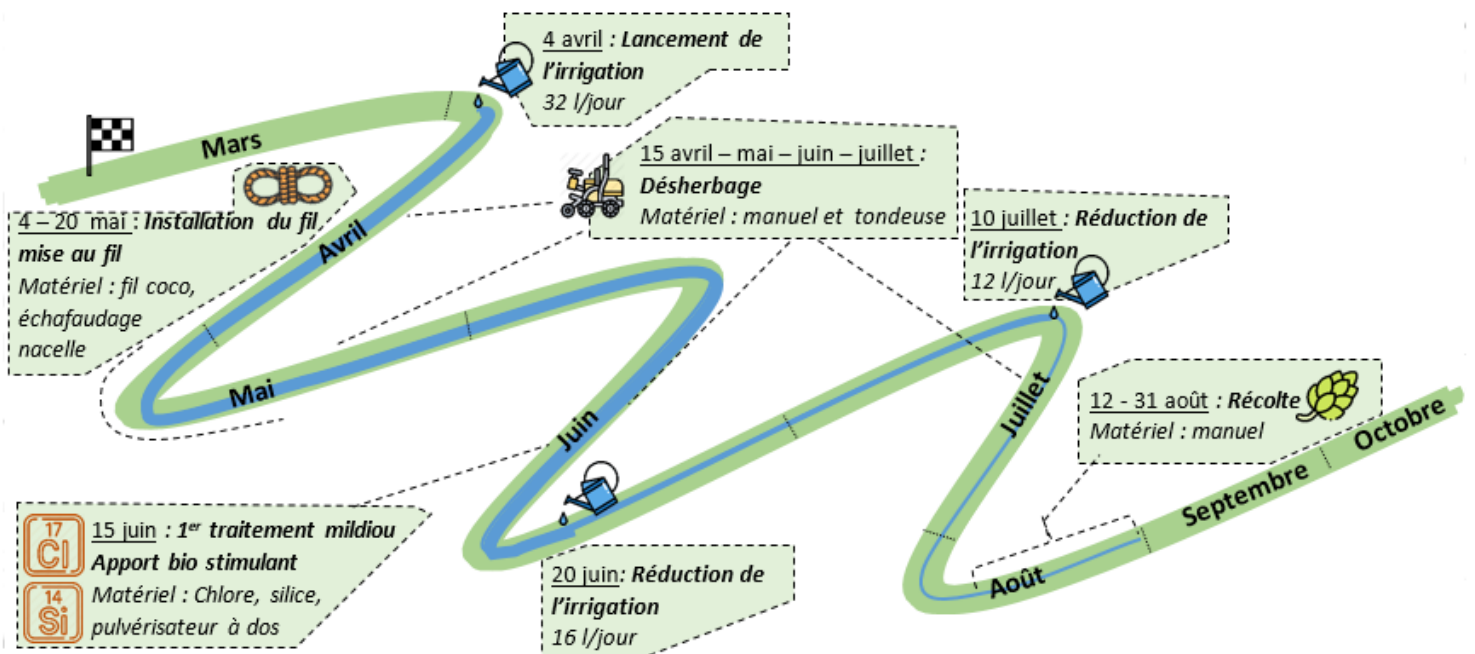
XVII.8 – Comparaison des rendements frais pour la variété Willamette



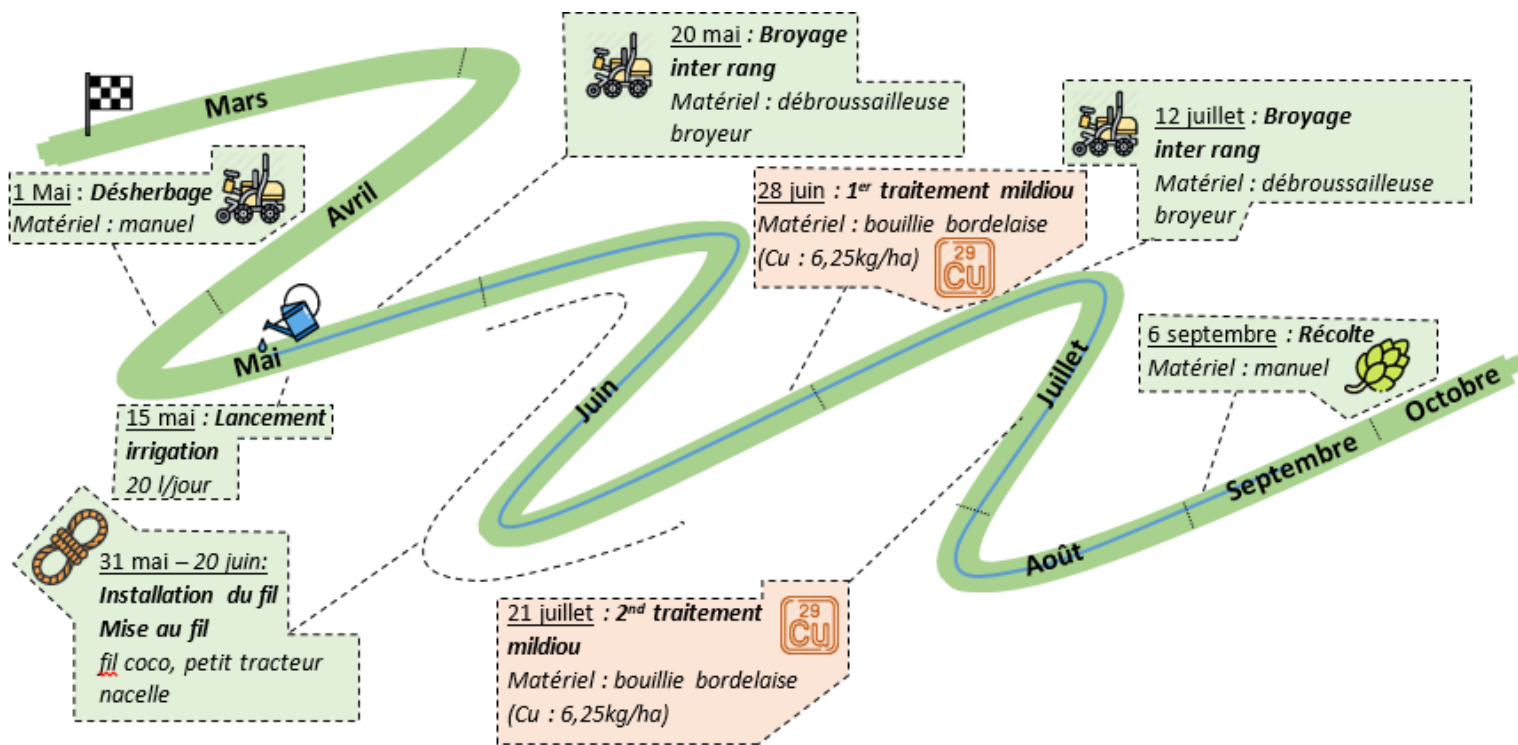
Annexe XVIII: Présentation des différents itinéraires techniques



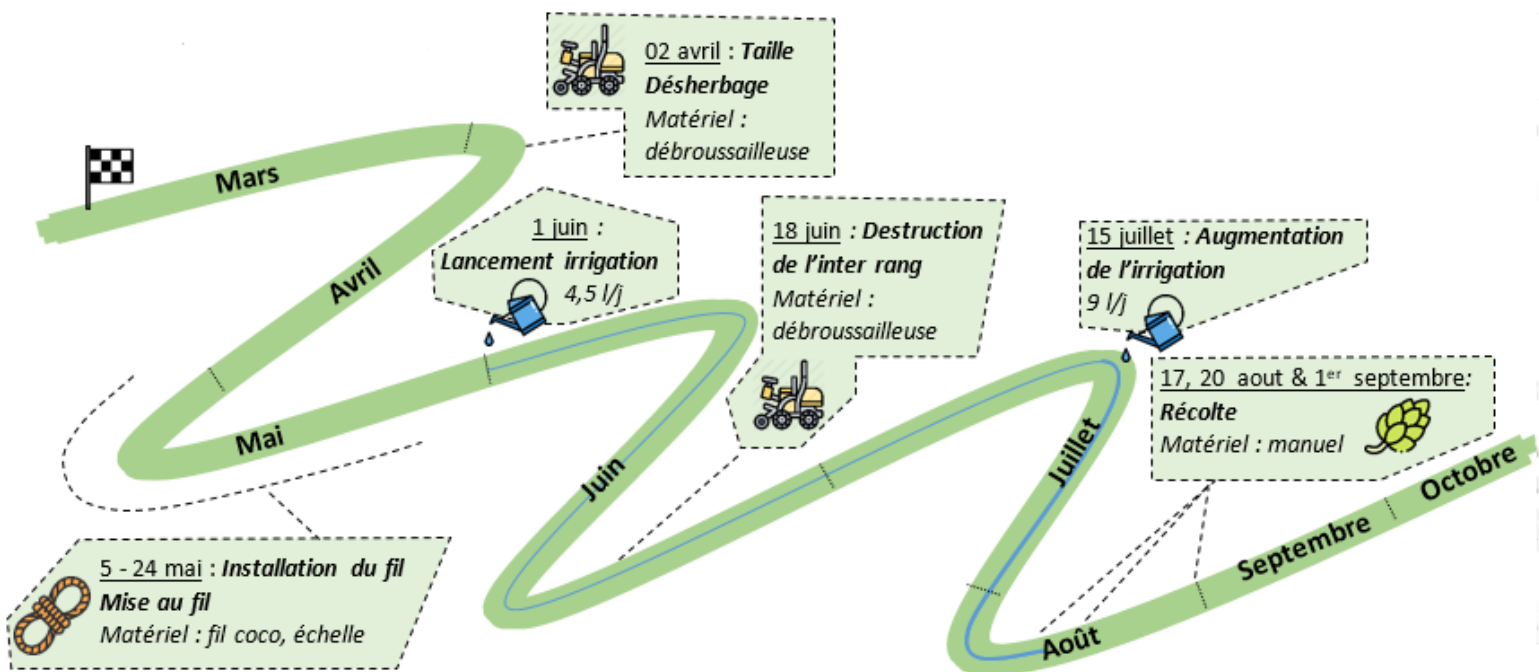
XVIII.1 – Itinéraire technique pour la parcelle de Cabrière



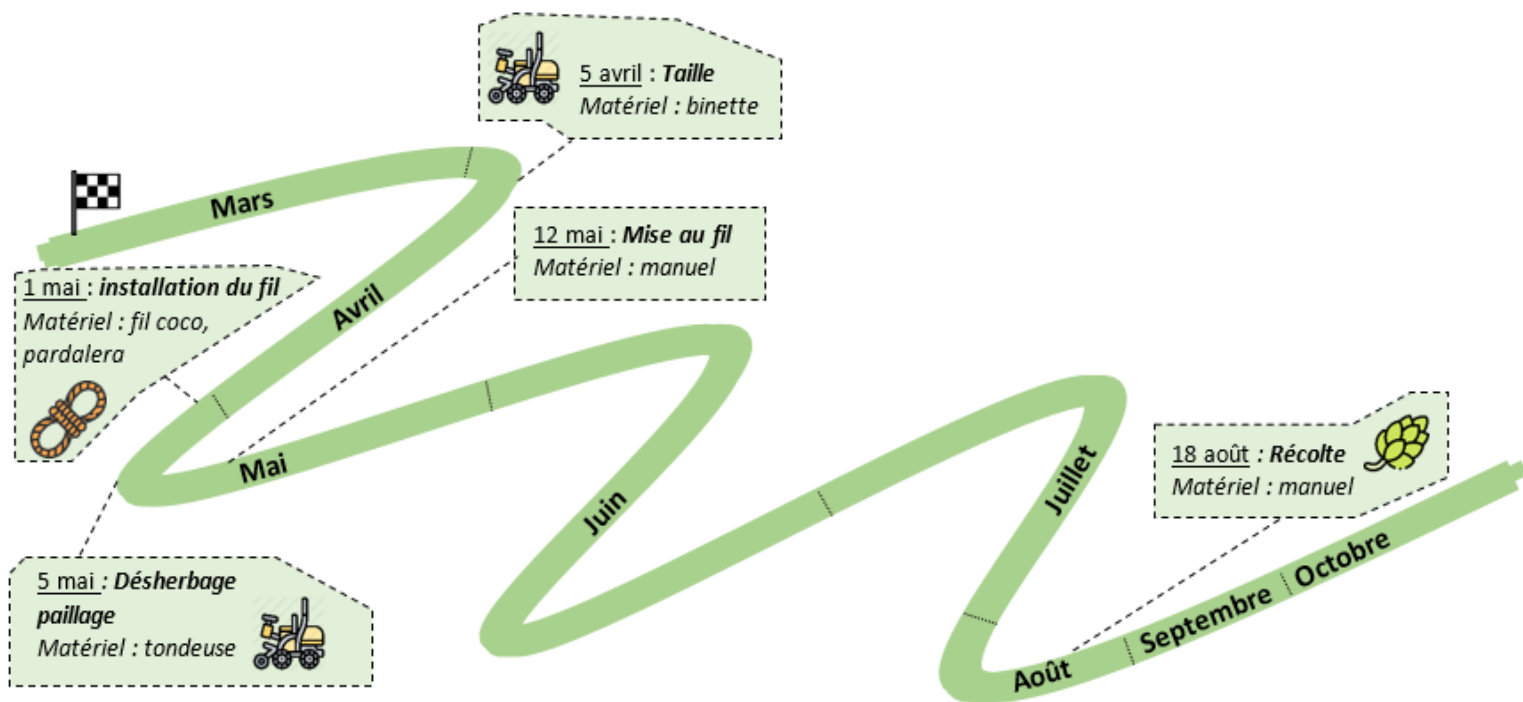
XVIII.2 – Itinéraire technique pour la parcelle de Callian



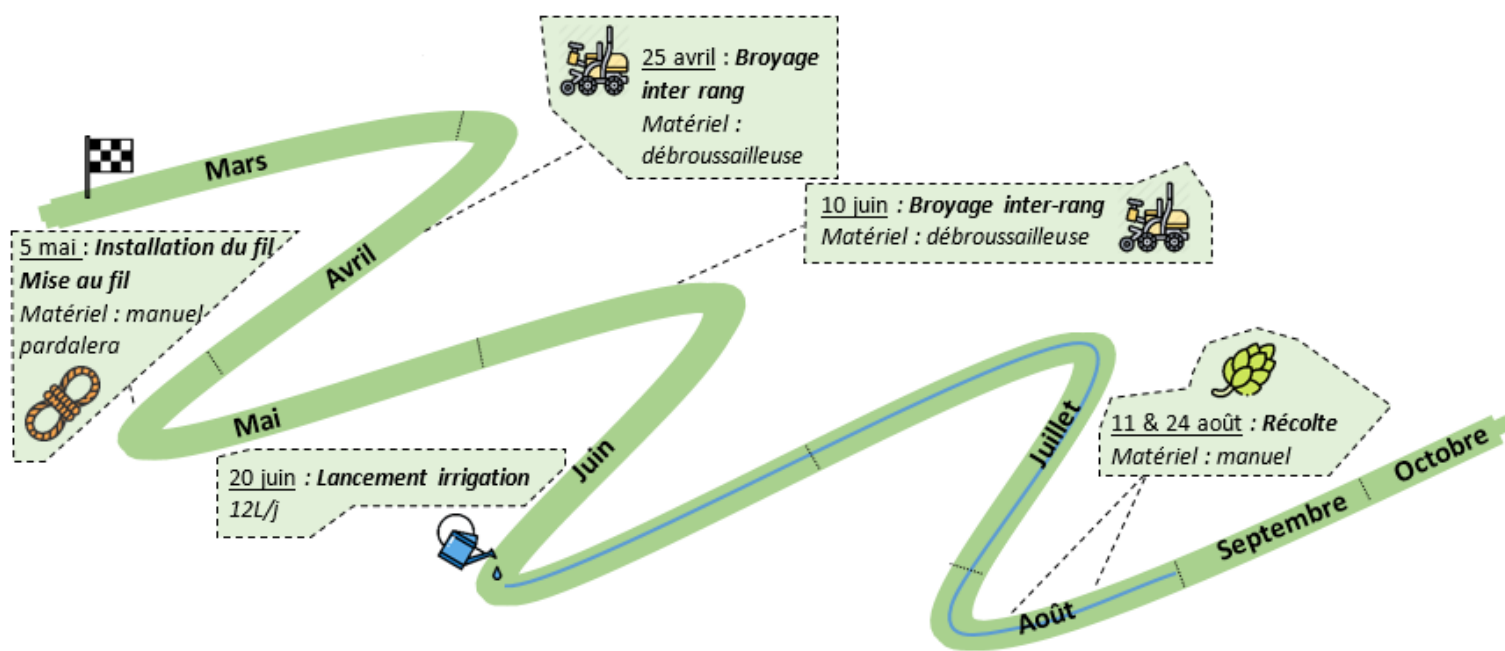
XVIII.3 – Itinéraire technique pour la parcelle de Chorges



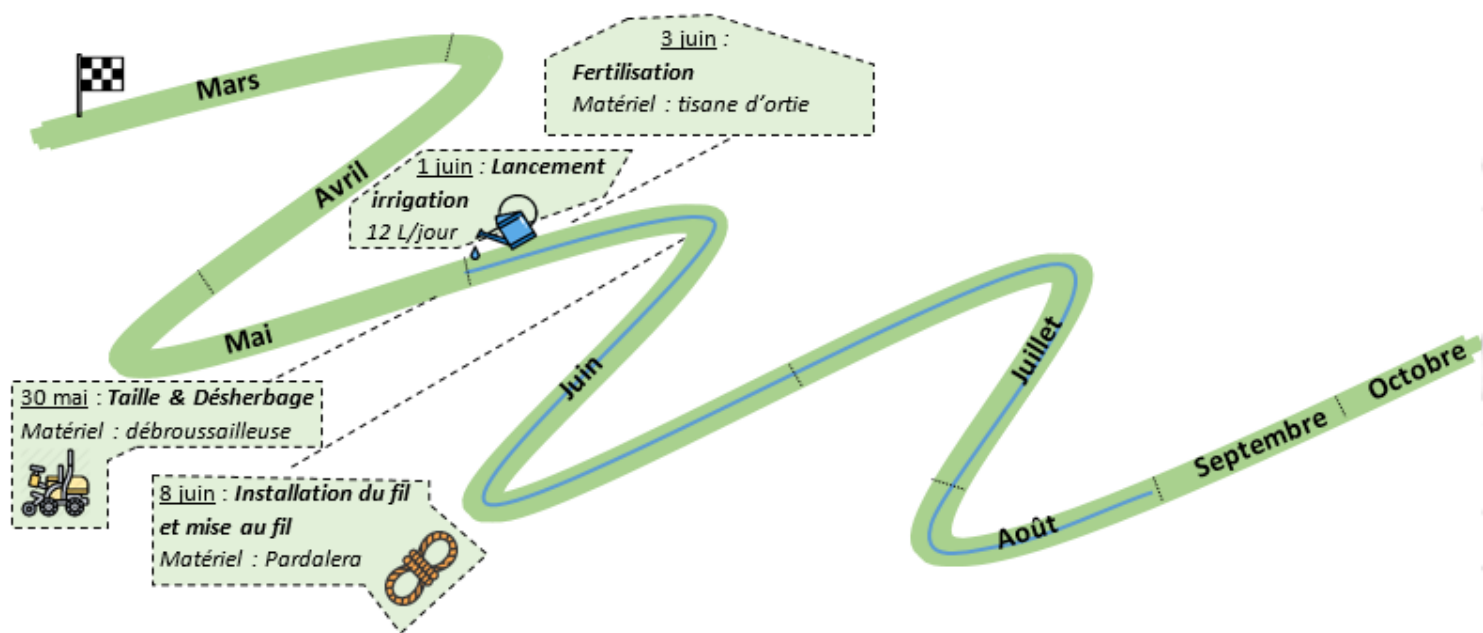
XVIII.4 – Itinéraire technique pour la parcelle d'Entraigues



XVIII.5 – Itinéraire technique pour la parcelle de Forcalquier



XVIII.6 – Itinéraire technique pour la parcelle de Gardanne



XVIII.7 – Itinéraire technique pour la parcelle de Solliès-Pont

Annexe XIX: Présentation des fiches houblonnière

AURELIEN PRONEUR – Houblonnière à Solliès-Pont



Variétés cultivées :

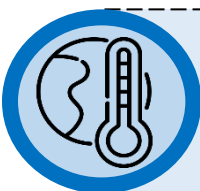
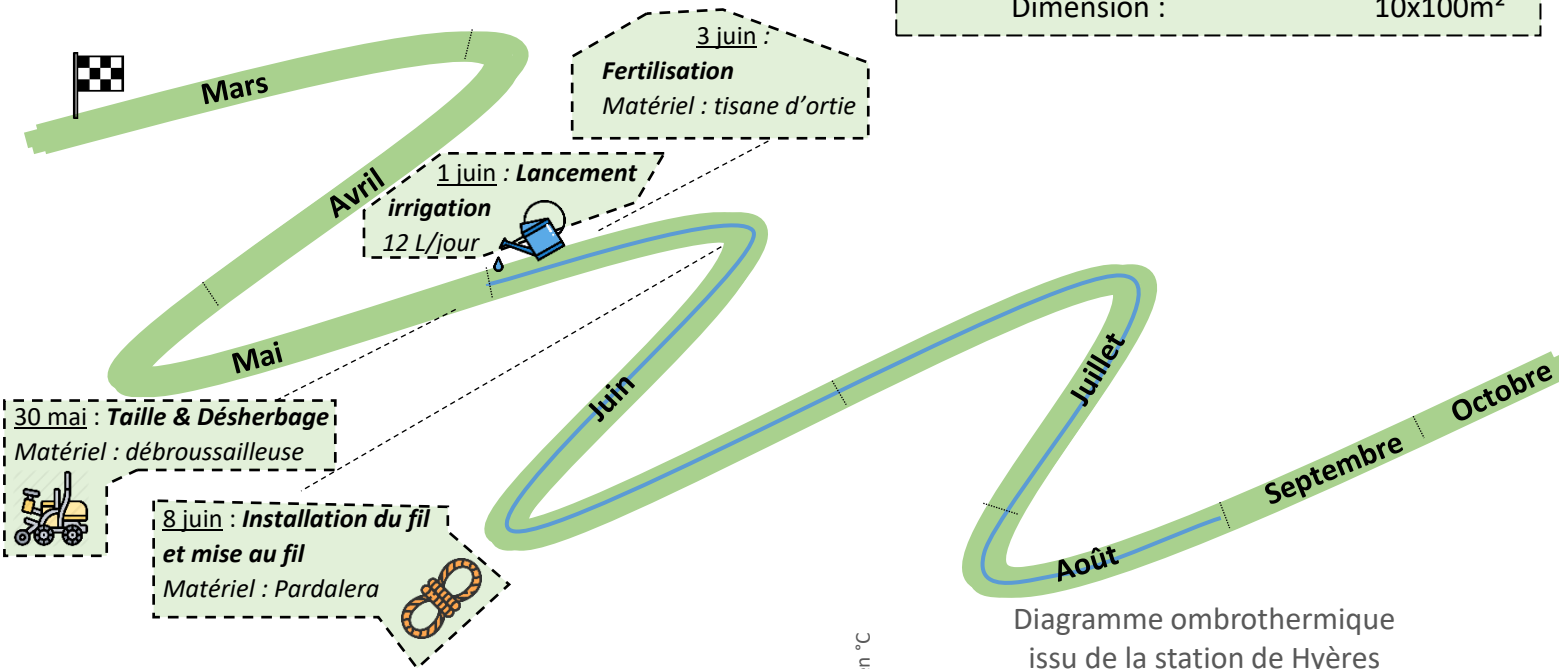
Principale : *Cascade*
 En test : *Centennial, Chinook, Late Cluster, Magnum, Nugget, Saaz,*



Détails techniques :

Houblonnière en activité secondaire
 Année d'installation : 2019
 Mécanisation : non
 Hauteur des câbles : 450 cm
 Altitude : 57 m
 Irrigation : Goutte à goutte
 Dimension : 10x100m²

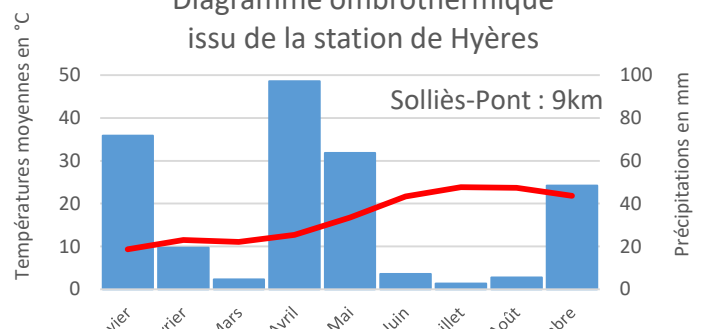
Itinéraire technique :



Climat et environnement :

Environnement : Forêt et vignes
 Nature du sol : Argilo-limoneux
 Précédent : Végétation spontanée

Diagramme ombrothermique issu de la station de Hyères



CINDY COMBE – Houblonnière à Chorges



Variétés cultivées :

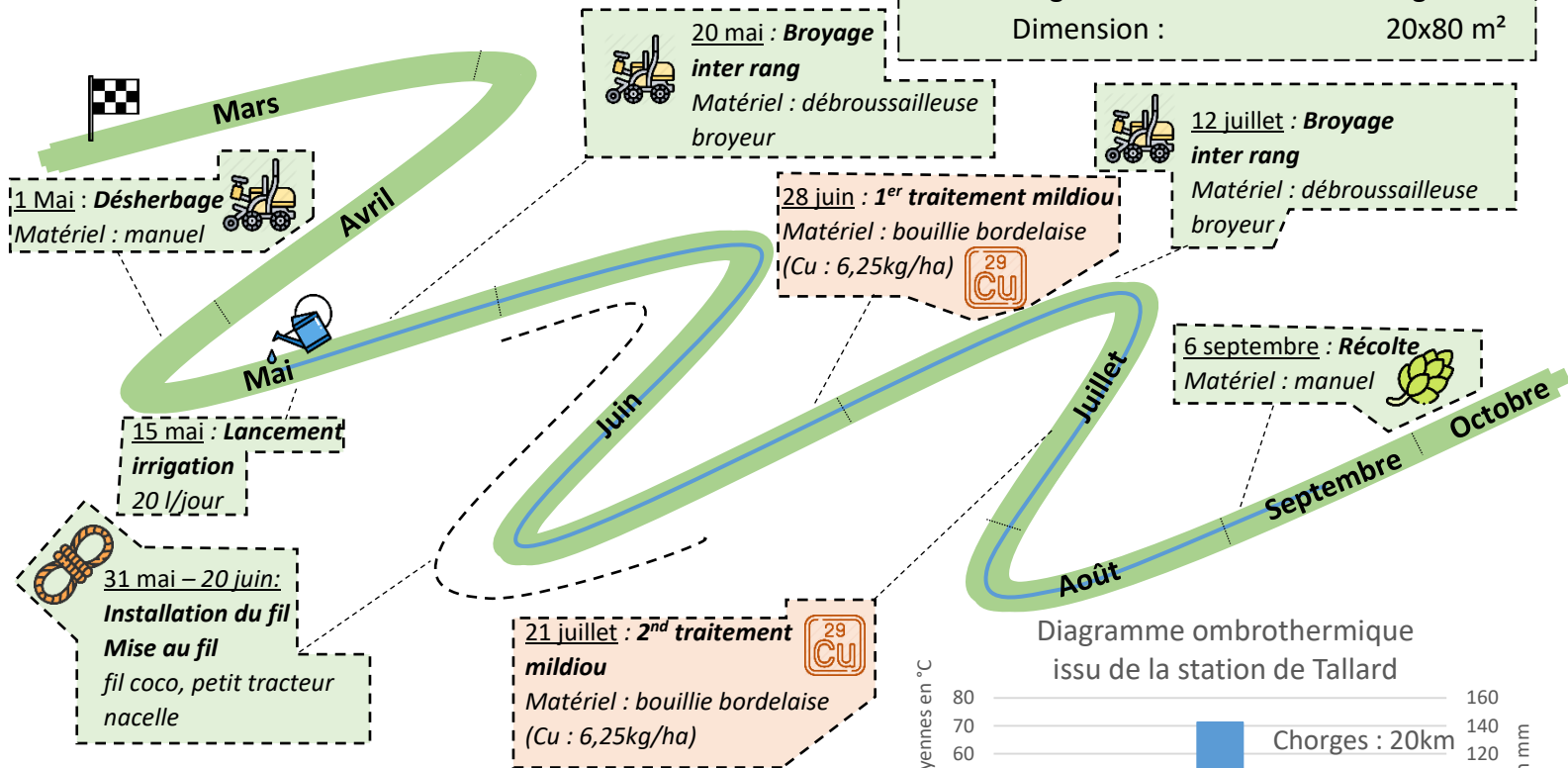
Principales : *Cascade, Chinook, Magnum, Saaz, Perle, Styrian Golding*



Détails techniques :

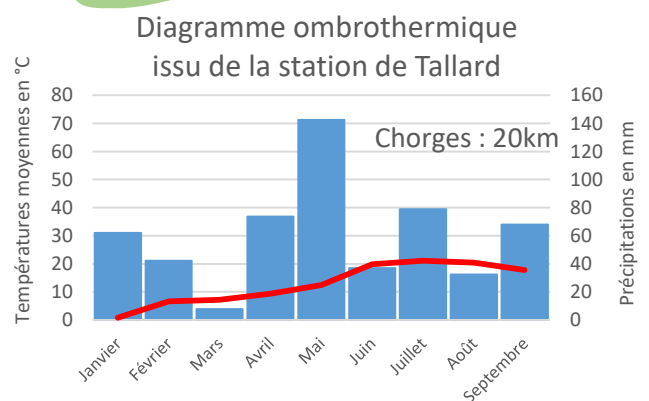
Houblonnière en activité secondaire
 Année d'installation : 2019
 Mécanisation : non
 Hauteur des câbles : 650 cm
 Altitude : 853 m
 Irrigation : Goutte à goutte
 Dimension : 20x80 m²

Itinéraire technique :

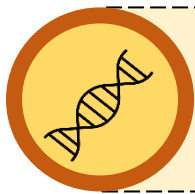


Climat et environnement :

Environnement : Cultures maraichères
 Nature du sol : Argilo-limoneux
 Précédent : Prairie



EMMAÛS – Houblonnière à Callian



Variétés cultivées :

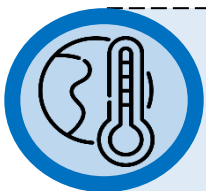
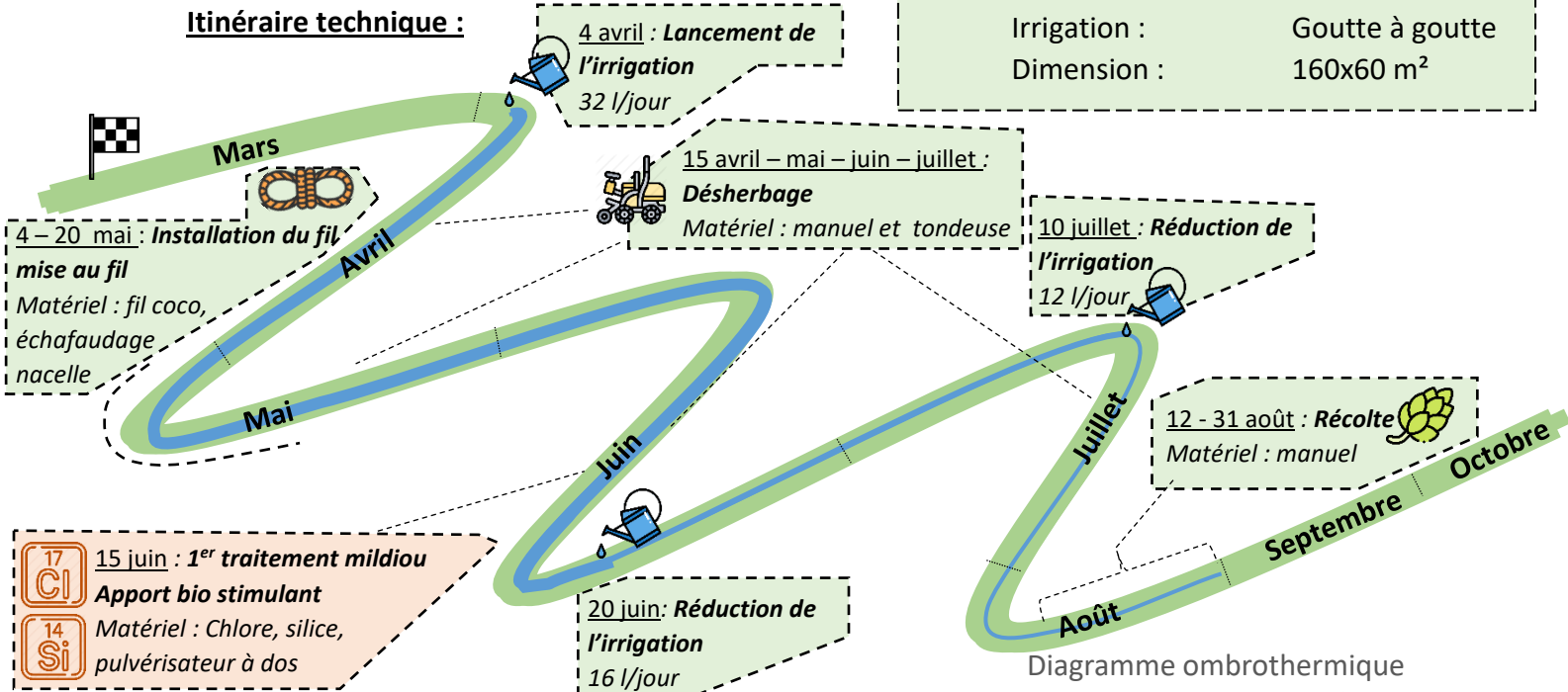
Principales : *Cascade*, *Late Cluster*
 En test : *Centennial*, *Glacier*, *Chinook*



Détails techniques :

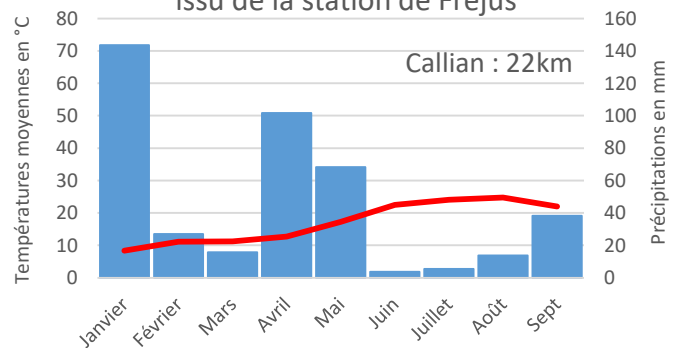
Houblonnière en activité secondaire
 Année d'installation : 2020
 Mécanisation : non
 Hauteur des câbles : 700 cm
 Altitude : 384 m
 Irrigation : Goutte à goutte
 Dimension : 160x60 m²

Itinéraire technique :

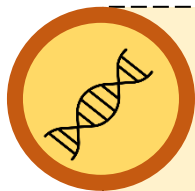


Climat et environnement :

Environnement : Forêt et cours d'eau
 Nature du sol : Argileux
 Précédent : Végétation



GHISLAIN SEVENIER – Houblonnier à Entraigues-sur-la-Sorgue



Variétés cultivées :

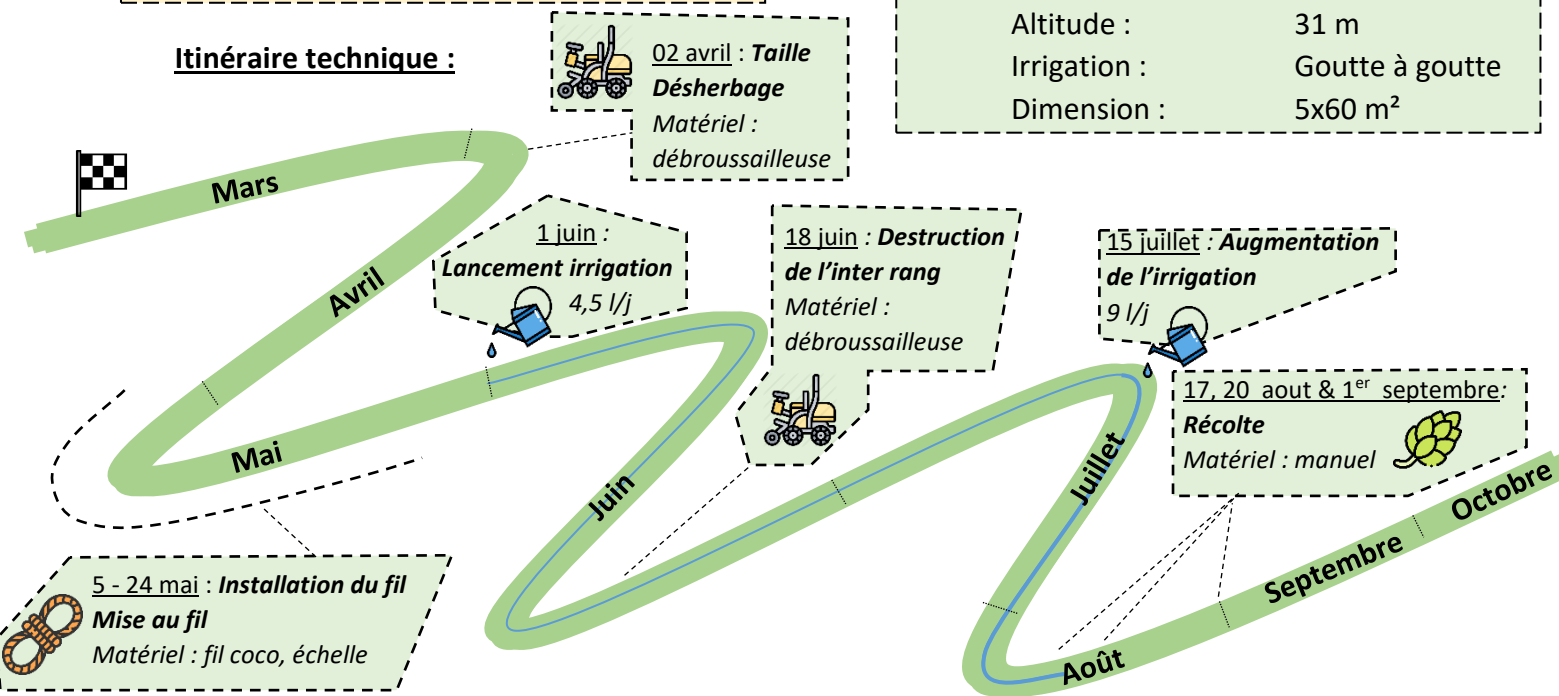
Principales : *Cascade, Centennial, Chinook, Fuggle, Glacier, Nugget, Willamette, T. de Bourgogne, Late Cluster, Saaz et Tradition*



Détails techniques :

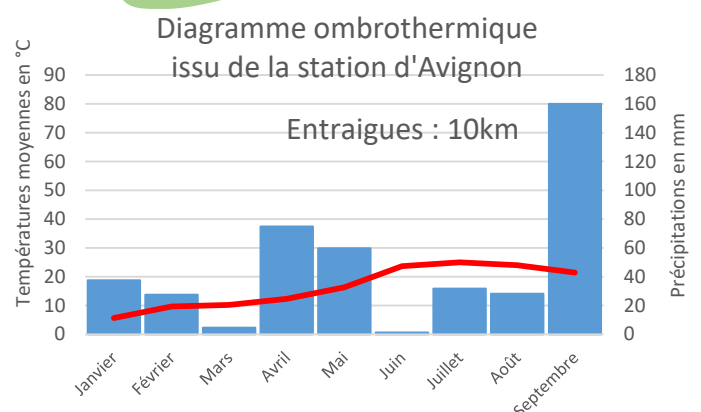
Houblonnier en activité secondaire
 Année de plantation : 2018
 Mécanisation : non
 Hauteur des câbles : 360 cm
 Altitude : 31 m
 Irrigation : Goutte à goutte
 Dimension : 5x60 m²

Itinéraire technique :



Climat et environnement :

Environnement : Haies et cultures
 Nature du sol : Limono-Argilo-sableux
 Précédent : Prairie

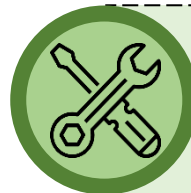


GREGORI SIMON – Houblonnier à Cabrières d'Aigues



Variétés cultivées :

Principales : *Chinook, Cascade*
 En test : *Fuggle, Willamette, Glacier, Magnum, Centennial*



Détails techniques :

Houblonnier en activité secondaire
 Année d'installation : 2019
 Mécanisation : non
 Hauteur des câbles : 450 cm
 Altitude : 325 m
 Irrigation : Goutte à goutte
 Dimension : 30x50 m²

Itinéraire technique :

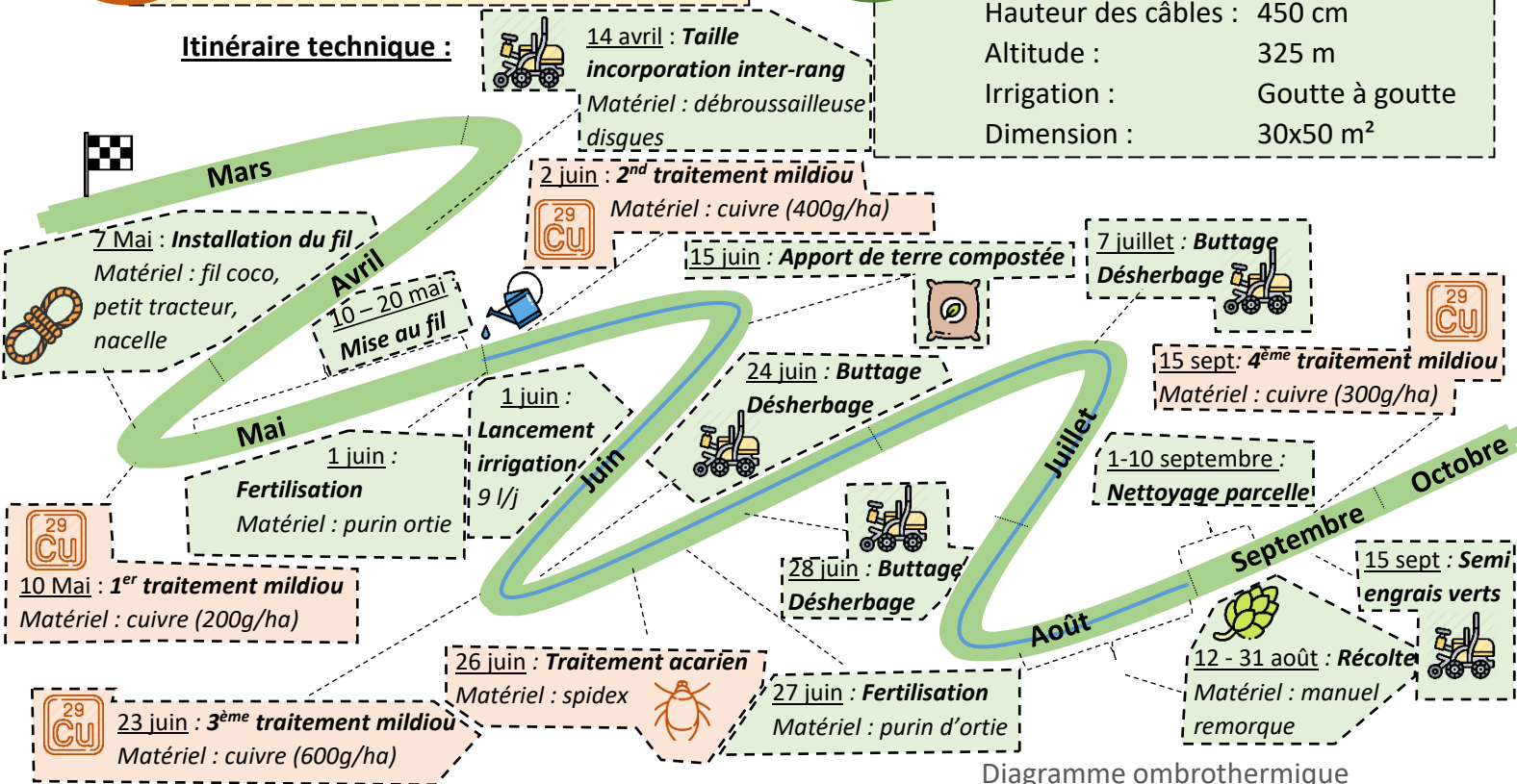
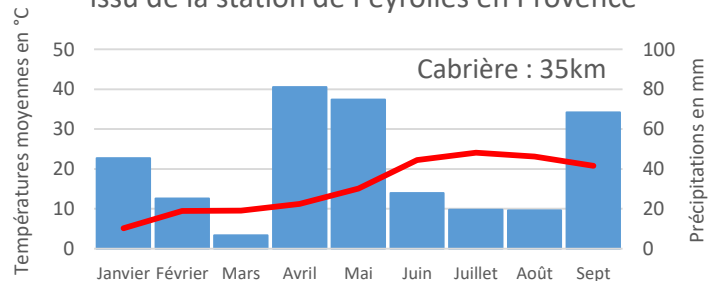


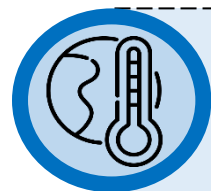
Diagramme ombrothermique

issu de la station de Peyrolles en Provence



Climat et environnement :

Environnement : Forêt et vignes
 Nature du sol : Argilo-limoneux
 Précédent : Végétation

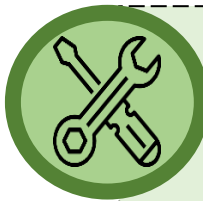


KARL GOBYN – Houblonnier à Forcalquier



Variétés cultivées :

En test : *Chinook, Cascade, Nugget, Glacier, Magnum, Centennial*



Détails techniques :

Parcelle de test avant installation sur 2 hectares
 Année d'installation : 2018
 Mécanisation : non
 Hauteur des câbles : 520 cm
 Altitude : 500 m
 Irrigation : Absente
 Dimension : 20x60 m²

Itinéraire technique :

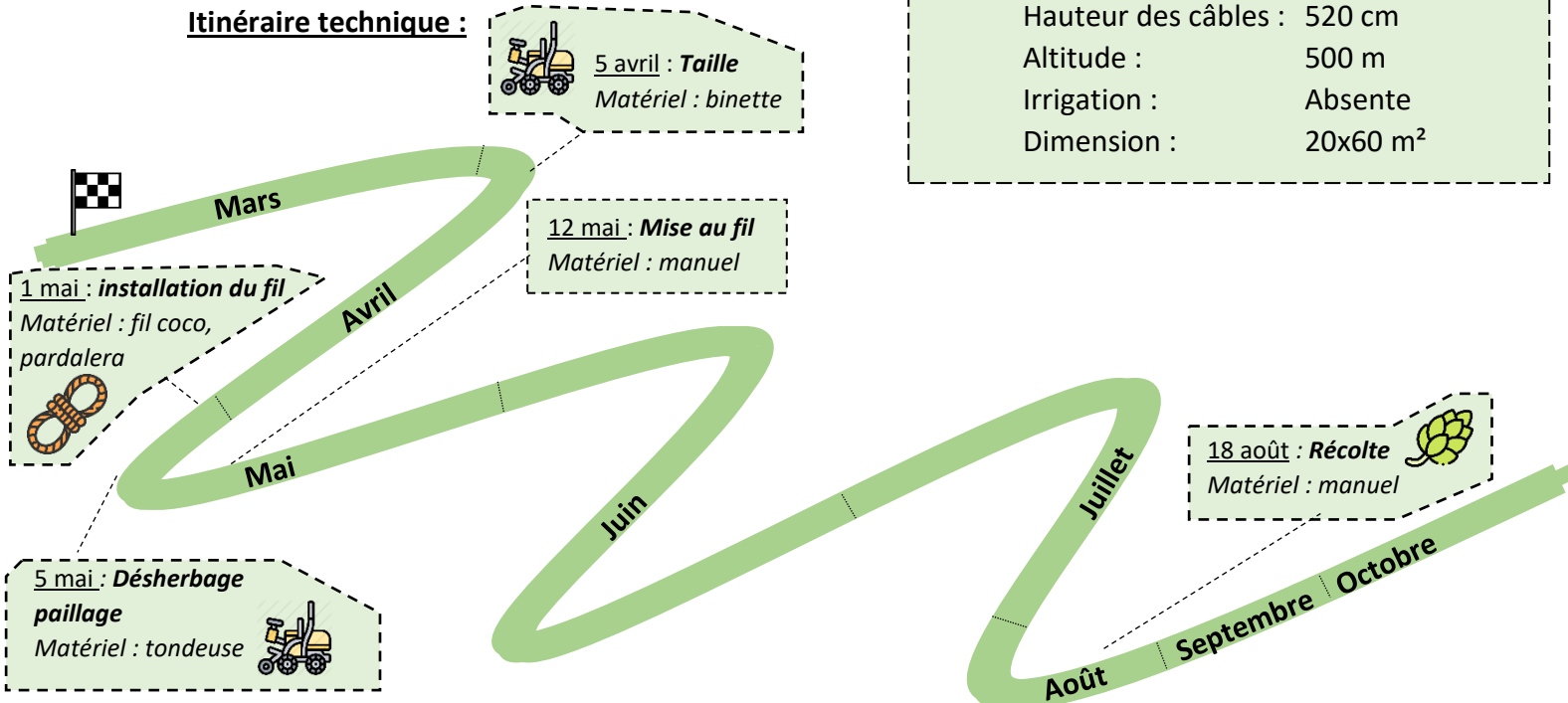
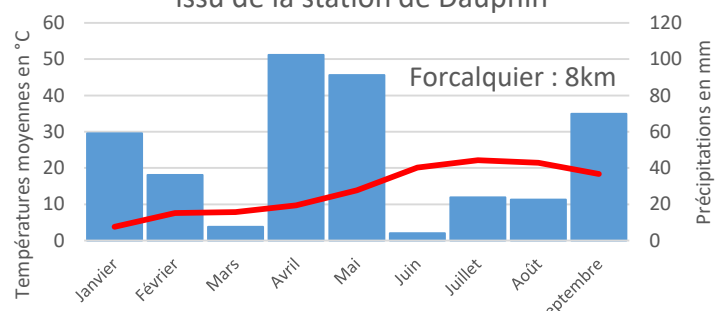


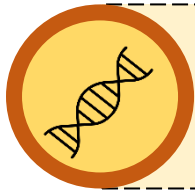
Diagramme ombrothermique issu de la station de Dauphin



Climat et environnement :

Environnement : Forêt, vignes, ruisseau
 Nature du sol : Argilo-limoneux
 Précédent : Prairie

LYCEE AGRICOLE DE VALABRE – Parcelle expérimentale à Gardanne



Variétés cultivées :

Principales : *Cascade, Centennial, Chinook, Fuggle, Glacier, Nugget, Willamette*



Détails techniques :

Parcelle expérimentale
 Année d'installation : 2020
 Mécanisation : non
 Hauteur des câbles : 400 cm
 Altitude : 180 m
 Irrigation : Goutte à goutte
 Dimension : 5x100 m²

Itinéraire technique :

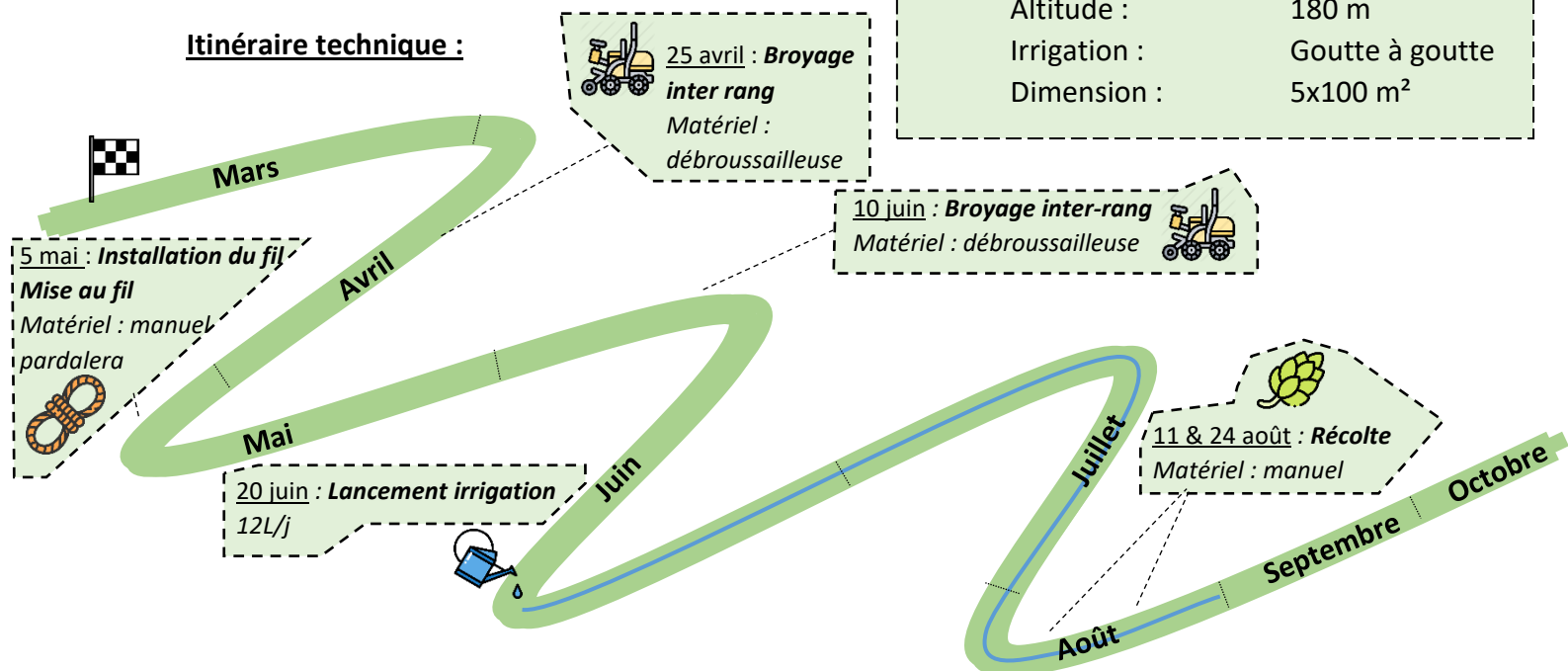
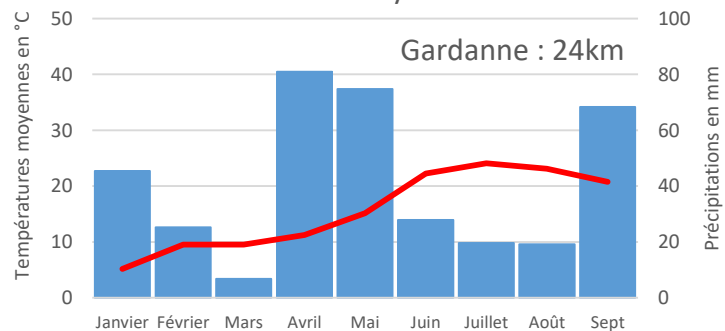


Diagramme ombrothermique

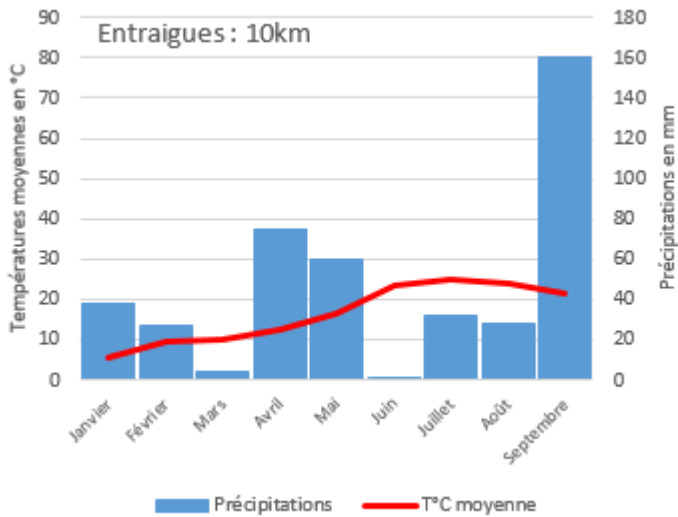
issu de la station de Peyrolles en Provence



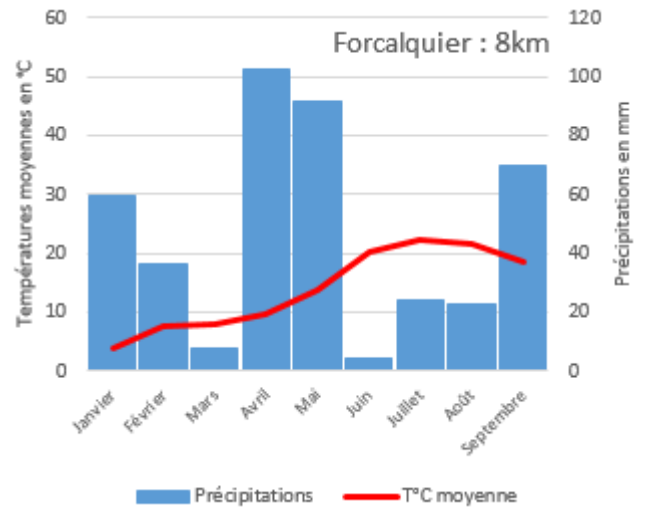
Climat et environnement :

Environnement : Verger et céréales
 Nature du sol : Argilo-limoneux
 Précédent : Maïs

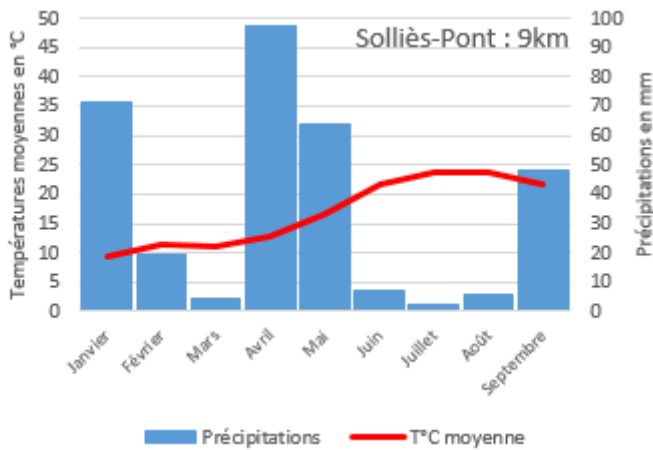
Annexe XX: Diagrammes ombrothermiques pour la saison 2021



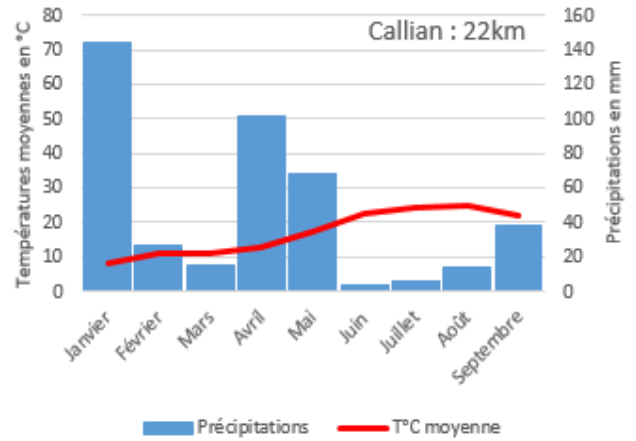
XX.1 – Diagramme ombrothermique de la station d'Avignon pour la saison 2021



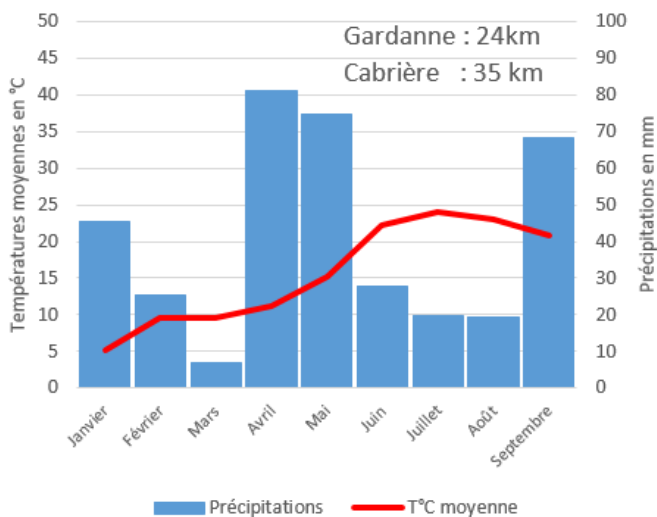
XX.2 – Diagramme ombrothermique de la station de Dauphin pour la saison 2021



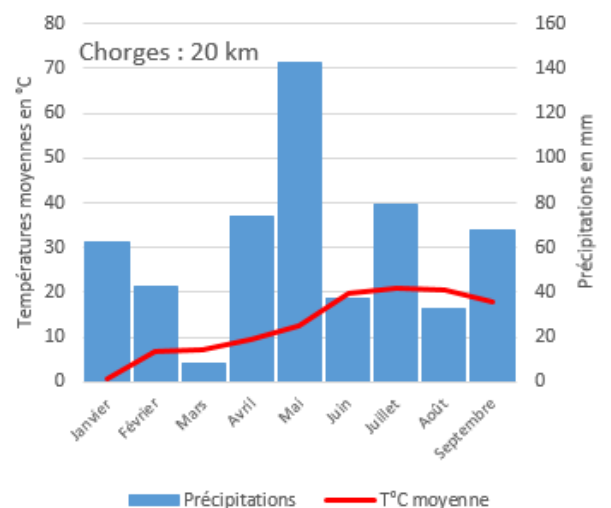
XX.3 – Diagramme ombrothermique de la station d'Hyères pour la saison 2021



XX.4 – Diagramme ombrothermique de la station de Fréjus pour la saison 2021



XX.5 – Diagramme ombrothermique de la station de Peyrolles en Provence pour la saison 2021



XX.6 – Diagramme ombrothermique de la station de Tallard pour la saison 2021

Annexe XXI : Analyse de l'expérience

La nature très variée des différentes tâches à réaliser lors de ce stage a fait appel à plusieurs types de compétences, mettant en lumière les savoir-faire acquis et encore à développer.

Dans un premier temps, j'ai pu acquérir une bonne maîtrise technique de la culture du houblon, ainsi qu'une vision claire du fonctionnement de la filière grâce à une importante recherche bibliographique effectuée en début de stage. De plus, des journées techniques ainsi que des visites parcelles régulières m'ont permis de préciser ces savoirs en les rendant plus concrets. Cette expérience m'a donc permis d'acquérir les connaissances nécessaires pour travailler dans le domaine du houblon, mais pas seulement. En effet je pourrais réinvestir la méthodologie utilisée dans la recherche d'informations et des ressources techniques fiables pour une autre mission. Cependant, j'essaierai lors d'une prochaine recherche de ce type de mobiliser plus de littérature scientifique en complément des documents techniques utilisés.

De nombreux savoir-faire ont été mobilisés pour organiser les différentes phases du suivi cultural. La co-construction des protocoles ainsi que l'affinage des méthodes au cours des visites de houblonnières m'ont appris à garder du recul sur les méthodes utilisées. Cela m'a aussi permis de revenir aux fondements de la démarche scientifique, afin d'approcher le compromis le plus optimal possible entre exactitude scientifique et faisabilité. Les différentes étapes d'un projet de suivi variétal me semblent plus claires après ce stage. Grâce à cette compréhension du planning à suivre et des temporalités propres à ce type de projet, je pense pouvoir organiser mon temps plus efficacement dans un contexte de travail similaire. Une meilleure compréhension des objectifs et de la nature des rendus me permettra d'être plus efficace dans une future mission.

Le fonctionnement de l'association m'a paru extrêmement intéressant dans la manière d'organiser le travail d'équipe. J'ai appris à organiser mon emploi du temps en utilisant les outils de l'association, mais aussi de maîtriser des dossiers communs sur l'espace numérique. Les compétences de chacun font la force de l'ensemble, et j'ai l'impression qu'une bonne communication entre les membres d'une équipe permet des échanges très positifs de conseils et de techniques. J'essaierai de créer cette dynamique, du moins d'en faire partie, dans le futur travail que j'effectuerai.