



Formular für Schlussbericht Forschungsprojekt¹

Projekttitel max. 100 Zeichen	Produire des abricots biologiques - ABBIO
Schlagwörter min. 3 bis max. 5 Stichworte	Moniliose, sensibilité variétale, réseau d'observations, QTL, SAM
Autor/in Name(n) / Adresse(n)	Danilo Christen, Dr. , Agroscope Conthey, Route des Eterpys 18, 1964 Conthey, e-mail: danilo.christen@agroscope.admin.ch , tél. +41 58 481 35 14 Flore Lebleu , Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, Antenne romande du FiBL, 1001 Lausanne, e-mail: flore.lebleu@fibl.org , Tél.: +41 21 619 44 77 Jorge Del Cueto, Agnieszka Kosinska-Cagnazzo (Agroscope), Patrick Stefani, Thomas Oberhaensli (FiBL), Julien Héritier (Médiplant)
Begleitung beim BLW Name(n) / Bereich(e)	Markus Lötscher, Dr.
Projektdauer Start- / Enddatum, effektiv	01.09.2016 – 31.08.2019 (prolongé au 31.10.2019)
Gesamtkosten in CHF, effektiv	CHF 1'215'000.-
Beitrag BLW in CHF / in % der Gesamtkosten	CHF 900'000.-
Weitere Mittel in CHF / Institution(en)	CHF 312'000.-

¹ Die folgenden Angaben bis und mit Zusammenfassung werden nach der Genehmigung des Schlussberichts im Informationssystem ARAMIS (<http://www.aramis.admin.ch>) erfasst (finanzielle Angaben sind nicht öffentlich).

Résumé

La moniliose des fleurs et des rameaux, générée par *Monilia laxa*, est une des principales problématiques qui nuit au développement de la production d'abricots biologique. Différents moyens de gestion de la maladie ont été étudiés : protection contre le pathogène, sensibilité des variétés et création variétale.

L'efficacité de différentes substances a été testée à la fois au verger et in-vitro. Comme alternatives au cuivre, des substances naturelles et des mélanges alternatifs au cuivre diminuent l'incidence de la maladie **mais ne présentent que des efficacités partielles.**

Des différences de sensibilité entre les variétés sont observables. Néanmoins la moniliose n'apparaît **pas comme le seul facteur à prendre en compte pour assurer la rentabilité de la culture en bio.**

Un réseau d'observation est mis en place en Suisse et en France. Des critères généraux ont été discutés afin d'évaluer de manière adéquate la faisabilité des variétés observées en production biologique, **ceci indépendamment du lieu et des conditions climatiques annuelles.**

Une grande variabilité phénotypique a été décelée grâce aux tests réalisés sur la population biparentale « Bakour (tolérant) x Bergeron (sensible) ». De grandes différences ont été constatées entre les teneurs en composés phénoliques des phloèmes des différents génotypes. **Des QTLs liés à la tolérance à la moniliose ont été identifiés grâce à différentes évaluations.**

Des communications orales et écrites au niveau national et international ont été réalisées sur les résultats du projet.

Der/Die Autor/in bestätigt, dass alle Angaben im vorliegenden Formular korrekt sind und dass die wissenschaftliche Integrität im abgeschlossenen Forschungsprojekt gewährleistet wurde².

Ort/Datum:

Unterschrift(en)

31.10.2019



² Das BLW versteht unter der wissenschaftlichen Integrität in Übereinstimmung mit den Akademien der Wissenschaften Schweiz und dem Schweizerischen Nationalfonds die Selbstverpflichtung der Forschenden, sich an die Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis zu halten. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die [Grundsätze und Verfahrensregeln der Akademien der Wissenschaften Schweiz](#).

Problématique et situation

La production biologique d'abricots n'est actuellement pas rentable. L'obstacle principal à une rentabilité durable est la moniliose, une des maladies importantes des abricotiers. En fonction des régions et des conditions climatiques, les symptômes peuvent s'exprimer de façon différente comme le dépérissement des branches. Les traitements en culture biologique ne sont souvent pas efficaces. Aucune source de résistance totale n'est connue actuellement, néanmoins, certaines variétés peuvent présenter des niveaux de tolérance intéressants.

La moniliose sur fleurs est une des maladies importantes des abricots, ceci surtout en culture biologique, où la production peut selon les années être mise complètement en péril (Warlop 2003). Elle est provoquée par les champignons *Monilia laxa* et *M. fructigena*, qui peuvent se développer aux températures relativement basses du mois de février (dès 10 °C et humidité relative élevée) et donc attaquer les fleurs dès le stade bouton rouge. Les conidies sont dispersées par le vent et la pluie; elles pénètrent dans la fleur et dans le fruit par une blessure ou au contact de fruits déjà atteints. La fleur se dessèche tout en restant accrochée à la branche. Le pathogène peut remonter le rameau et ainsi infecter d'autres parties aériennes de la plante. Des nécroses et des chancres se développent sur les branches atteintes qui entravent la circulation de la sève, ce qui provoque le dessèchement de la branche. Sur abricotiers, des exsudats de gomme sont très souvent observés proche de ces chancres. Les spores se développant sur les fleurs ou les chancres, peuvent infecter les fruits sains plus tard en saison. Les fruits pourris non récoltés sèchent sur l'arbre et se momifient. Les champignons hibernent sur ces momies et sur les chancres, les rameaux et les fleurs desséchés, ce qui constitue la source d'infection pour l'année suivante (Siegfried et al. 2011). En fonction des régions et des conditions climatiques, les symptômes peuvent s'exprimer de façon différente (Holb 2008). En Suisse par exemple, la présence de spores sur le réceptacle des fleurs n'a jamais été observée. (Tamm et al. 1995). L'étendue des symptômes diffère également d'une année à l'autre. De plus, les floraisons des différentes variétés sont décalées, donc les conditions météorologiques sur la fleur peuvent varier énormément, ce qui rend une comparaison variétale à large échelle très difficile à réaliser, surtout sans inoculation artificielle. De plus, une sensibilité différente en fonction de l'âge des rameaux a été mise en évidence (Christen et al., 2012), donc plusieurs mécanismes de défense de la plante contre la moniliose sont certainement présents. Actuellement aucune variété d'abricotier cultivée commercialement en Suisse n'est résistante à la moniliose sur fleurs. Néanmoins, différents niveaux de tolérance ont été observés. Certaines variétés comme 'Ivonne Liverani', 'Amabile', 'Vecchioni', 'Vivagold', ou encore 'Baneasa' sont décrites comme résistantes (Egea et al. 1991; Pascal et al. 1994; Trandafirescu et Teodorescu 2006; Nicotra et al. 2006; Bassi et al. 2006; Paveaud et al. 2009), malheureusement ces variétés ne sont plus conformes aux critères d'une production moderne et ne sont plus produites dans le monde à large échelle. Des tests de classification de la sensibilité variétale ont déjà été effectués, mais ils le sont principalement sur fruits (Wade et Cruickshank 1992; Pascal et al. 1994; Mari et al. 2003; Walter et al. 2004; Nicotra et al. 2006). Une méthode d'évaluation sur rameaux basée sur une inoculation artificielle de mycèle appliqué dans une entaille de l'écorce, a été développée il y a longtemps déjà (Cossa-Raynaud 1969; Nicotra et al. 2006; Trandafirescu et Teodorescu 2006). Cette méthode s'avère par contre très fastidieuse et ne relate pas les infections par les fleurs. De plus, elle a été réalisée sur rameaux coupé ou sur des plants en pots, ceci afin de pouvoir maîtriser les conditions d'humidité, elle ne représente donc pas vraiment les conditions d'infection en verger. Une méthode d'évaluation de la sensibilité variétale à la moniliose en verger a été développée dernièrement (Christen et al., 2012) permettant une infection régulière chaque année en utilisant une inoculation artificielle avec *M. laxa*. Cette méthode a permis de mettre en évidence des différences significatives de sensibilité variétale à la moniliose et pourrait servir de test phénotypique en vue d'identifier des QTLs de tolérance à la moniliose.

Méthodes

Le projet est organisé en 4 axes comprenant: (1) Protection contre le pathogène, (2) Tolérance variétale, (3) Création variétale, (4) Transfert des connaissances.

Axe A1 : Protection contre le pathogène

Afin de tester l'efficacité de différentes matières actives contre *Monilia laxa*, des essais en verger et des essais in-vitro sont menés.

Axe A2.1 : Variétés peu sensibles

Une parcelle d'observation variétale a été implémentée sur le site d'Agroscope Conthey entre 2011 et 2016. Elle comporte environ 90 variétés. Aucun traitement fongicide n'est réalisé sur cette parcelle entre 2017 et 2019. Afin d'augmenter le potentiel infectieux, des momies de *Monilia laxa* sont accrochées à la cime des arbres en début de saison et des infections artificielles sont provoquées à l'aide d'aspersion sprinkler. La sensibilité des variétés est évaluée selon les deux méthodes Agroscope (poids des organes monilié / section de branche) et évaluation visuelle (échelle de 1 – peu de dégâts à 10 – mort de l'arbre).

Axe A2.2 : Réseau d'observation

Bénéficiant d'étroites relations avec des instituts de recherche agronomique en France, l'objectif de cet axe est d'observer l'influence régionale sur des variétés identiques sur différents sites en Suisse et en France.

Axe A3 : Création variétale

Cette partie est traitée sous la forme de tests phénotypiques en conditions contrôlées sur une population bi-parentale issue du croisement entre les variétés Bergeron (sensible à la moniliose) x Bakour (tolérante) afin de mesurer des phénols avec HPLC-MS et de trouver des QTLs (Quantitative trait loci) liés avec la résistance à la moniliose.

Axe A4 : Transfert des connaissances

Des rapports et réunions annuels sont prévus.

Des communications techniques du projet sont attendues via différents canaux de communication de la « presse verte ».

Questions de recherche

La question principale à laquelle le projet tente de répondre est quelles sont les stratégies de gestion de la moniliose afin de permettre une production sûre d'abricots en culture biologique.

Selon les différents axes de recherche précédemment énoncés, des questions secondaires sont apparues :

- Quelles stratégies phytosanitaires permettent de contrôler les infections du champignon *Monilia laxa* ? Existe-t-il des alternatives au cuivre ?
- Parmi un pool variétal, est-il possible de mettre en évidence un degré de sensibilité à la maladie ?
- Des différences d'expression de la maladie et de sensibilités existent-elles selon les régions de production ?
- Quelles sont les régions génétiques responsables de la résistance à *M. laxa* ?
- Quel rôle les phénols jouent-ils dans la résistance des abricotiers au champignon ?

Resultats – Axe A1 : Protection contre le pathogène

1.1 Tests au verger

Durant les trois années de projet, différentes matières actives ont été testées sur trois sites d'expérimentation : un verger de la variété Bergeron sur le site d'Agroscope Conthey (VS) planté en 2013 ; un verger de la variété Bergeval à Vétroz (VS) planté en 2008 ; un verger des variétés Goldrich et Bergarouge à Olsberg (AG) planté en 2014.

Afin d'augmenter le potentiel infectieux sur la parcelle de Conthey, des momies de *Monilia laxa* ont été accrochées à la cime des arbres en début de saison et des infections artificielles ont été provoquées à l'aide d'aspersion sprinkler.

Le verger de Vétroz présentait un fort potentiel infectieux historique.

Résultats

Le tableau en figure 1 regroupe les résultats d'efficacité par rapport au témoin non traité des substances testées, qui étaient les plus significatifs et qui montraient les meilleurs potentiels.

Amylo-X est un fongicide micro-biologique à base de *Bacillus amyloliquefaciens sp*, antagoniste naturel de nombreux champignons et bactéries pathogènes.

Airone est un fongicide composé de 280 g/kg de cuivre, sous la forme à parts égales d'hydroxide et d'oxychlorure de cuivre.

Curatio est un fongicide à base de polysulfure de calcium (chaux soufrée) à action préventive et curative contre diverses maladies fongiques. Le pH très élevé de la bouillie (pH~10.5) combiné aux molécules de soufre, agissent de manière non spécifique contre les agents pathogènes.

F-aa est extrait végétal à 250 g/l d'un polypeptide issu de graines de lupin.

Huile d'origan est un extrait végétal issu de feuilles d'origan.

Soufre mouillable Stulln est un soufre micronisé à 80%, avec une efficacité fongicide par inhibition des spores.

Vitisan est une préparation à base de bicarbonate de potassium (99,6%) aux propriétés fongicides de contact. Les molécules de bicarbonate en solution interagissent à la surface du végétal en modifiant le pH et la pression osmotique: les spores en germination et les hyphes en contact avec Vitisan dessèchent et éclatent.

Les évaluations ont été faites selon deux méthodes :

1. Agroscope (A) : poids monilié / section branche (g/cm2)
2. Evaluation visuelle (V) (notes 1-10)

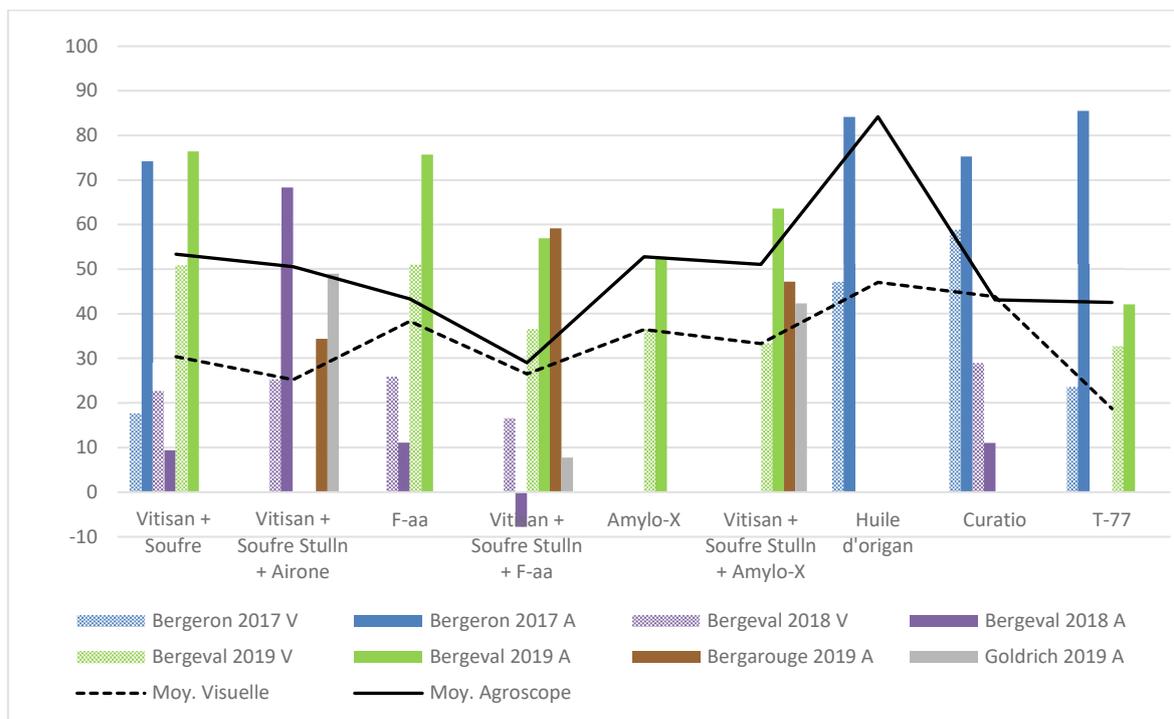


Fig. 1 : Efficacités de différents produits et mélanges comparés au témoin non traité (%)

L'huile d'origan ne présente qu'une année d'essai et sur une seule parcelle à faible pression mais cette matière active obtient la meilleure efficacité. L'Amylo-X offre aussi un bon contrôle de la maladie, mais ne dispose également de résultats que sur une seule année d'expérimentation. Le mélange Vitisan + Soufre atteint également de relativement bonnes efficacités et semble équivalent au mélange Vitisan + Soufre + Cuivre.

1.2 Tests in-vitro

Différents fongicides biologiques (Fig. 2) ont été testés à la concentration recommandée dans des boîtes de Pétri contenant un milieu spécial (V8-agar) où trois bouchons mycéliaux inversés de *Monilia laxa* ont été ajoutés. Les plaques ont été incubées pendant 72 heures à 23°C et la croissance du mycélium a été mesurée. Trois répétitions par produit ont été contrôlées. Le but était de tester in-vitro l'efficacité des différents produits contre *M. laxa* et d'établir si possible c'est une relation avec les tests au verger.

Produit	Matière active	Dose recommandée %
Airone WG	Fongicide cuprique 280 g/kg Cu	0.2
Amylo-X	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0.16
Armicarb	85 %Bicarbonate de potassium	0.3
Blossom	<i>Aureobasidium pullulans</i>	0.09
Chorus	Cyprodinil	0.05
Curatio	Bouillie sulfo-calcique	1.6
Huile d'origan	Extrait végétal issu de feuilles d'origan	4
Lupin	Extrait végétal à base de lupin	0.18
Myco-Sin	Argile sulfurique	0.5
Soufre Stulln	Soufre micronisé	0.2
Vitisan	Bicarbonate de potassium	0.3

Fig. 2 : Produits fongicides utilisés pour le test in vitro

1X concentration (Fig. 3) : Amylo-X, huile d'origan, Chorus (produit chimique) et les mélanges Vitisan+Soufre+Amylo-X sont les modalités où aucune croissance de mycélium n'a été observée. Une inhibition de plus de 50% a été détectée avec les produits suivants, dans l'ordre du plus au moins efficace: Curatio, Vitisan+Soufre+Lupin, Blossom, Vitisan+Soufre+Blossom, Vitisan+Soufre, Lupin et Soufre. Enfin avec Armicarb, Vitisan, Myco-sin, Airone et le mélange Vitisan+Soufre+Airone aucune ou un minimum d'inhibition de la croissance du mycélium été observée.

Résultats

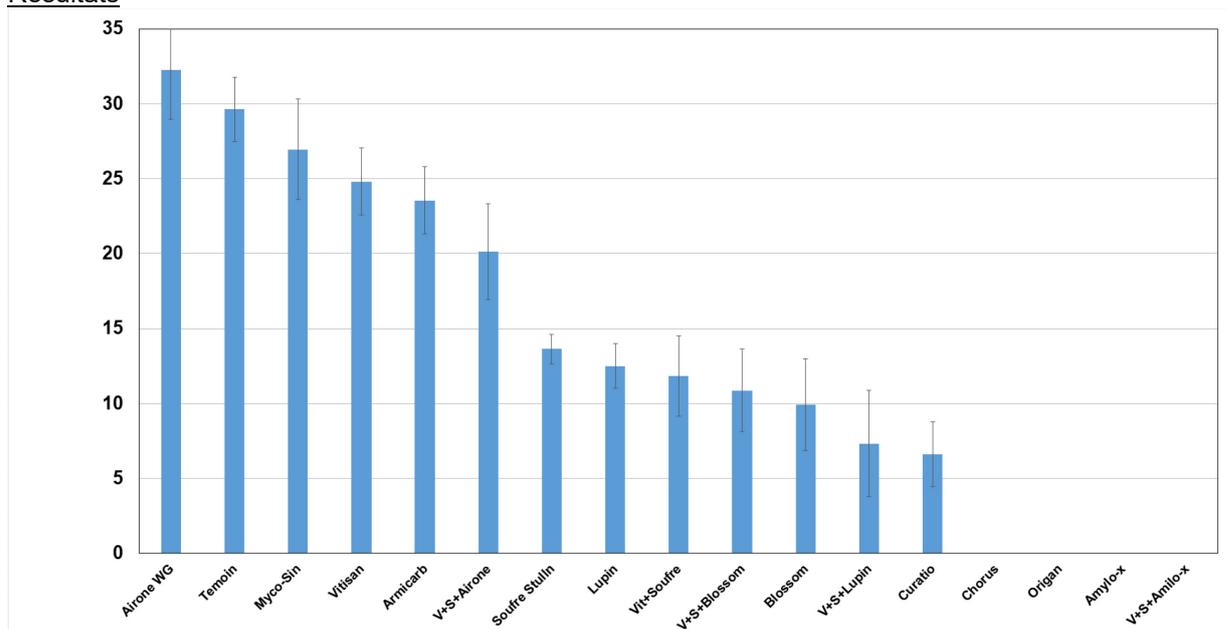


Fig. 3: Croissance du diamètre du mycélium de *M. laxa* (en mm) après application in vitro des différents fongicides. Concentration recommandée (1X)

En général, une bonne corrélation entre les deux méthodes de test des matières actives a été montrée (Fig. 4). Surtout pour les évaluations observées l'année 2017 pour Bergeron et en 2018 et 2019 pour Bergeval. Les corrélations entre les évaluations visuelles et le test in vitro ont été toujours plus hautes par rapport aux évaluations selon la méthodologie d'Agroscope.

Corrélations tests au verger et in-vitro

Evaluations sur terrain	Test In Vitro
Evaluation Visuelle 2017 Bergeron	0.895
Evaluation Agroscope 2017 Bergeron	0.825
Evaluation Visuelle 2018 Bergeron	0.450
Evaluation Agroscope 2018 Bergeron	0.364
Evaluation Visuelle 2018 Bergeval	0.732
Evaluation Agroscope 2018 Bergeval	0.180
Evaluation Visuelle 2019 Bergeron	0.180
Evaluation Agroscope 2019 Bergeron	-0.550
Evaluation Visuelle 2019 Bergeval	0.600
Evaluation Agroscope 2019 Bergeval	0.660

Fig. 4: Corrélations (R^2) entre les différentes évaluations réalisées en 2017,2018 et 2019 sur le terrain et le test in-vitro.

1.3 Pratiques des producteurs bio

Une enquête réalisée auprès de certains producteurs bio d'abricots en fin de projet montre que le mélange Soufre+Cuivre est le standard employé dans la lutte contre la moniliose. Le cuivre est utilisé à faible dose voire très faibles dose (entre 28g et 250g de cuivre métal par hectare et par intervention). Selon les praticiens, ce mélange représente le meilleur traitement rapport qualité/prix. Le bicarbonate de potassium (Armcarb ou Vitisan) est parfois ajouté au soufre et au cuivre lors de certaines interventions, en vue d'améliorer l'efficacité du précédent mélange. De nouvelles stratégies sont adoptées par des arboriculteurs en reconversion. Elles intègrent notamment l'huile d'origan, d'autres extraits végétaux et d'algues et des biostimulants avec des fréquences d'intervention serrées. Ces stratégies ont satisfait ces producteurs récemment en culture biologique.

Résultats – Axe A2.1. Variétés peu sensibles

Le graphique en figure 5 compile les niveaux de sensibilité des variétés de la parcelle d'observation, comparés à la moyenne de sensibilité annuelle, de 2017 à 2019. Afin d'assurer une légitimité aux résultats, seules les variétés plantées depuis au moins 4 ans et bénéficiant d'au moins 2 années d'évaluation ont été retenues dans ce graphique.

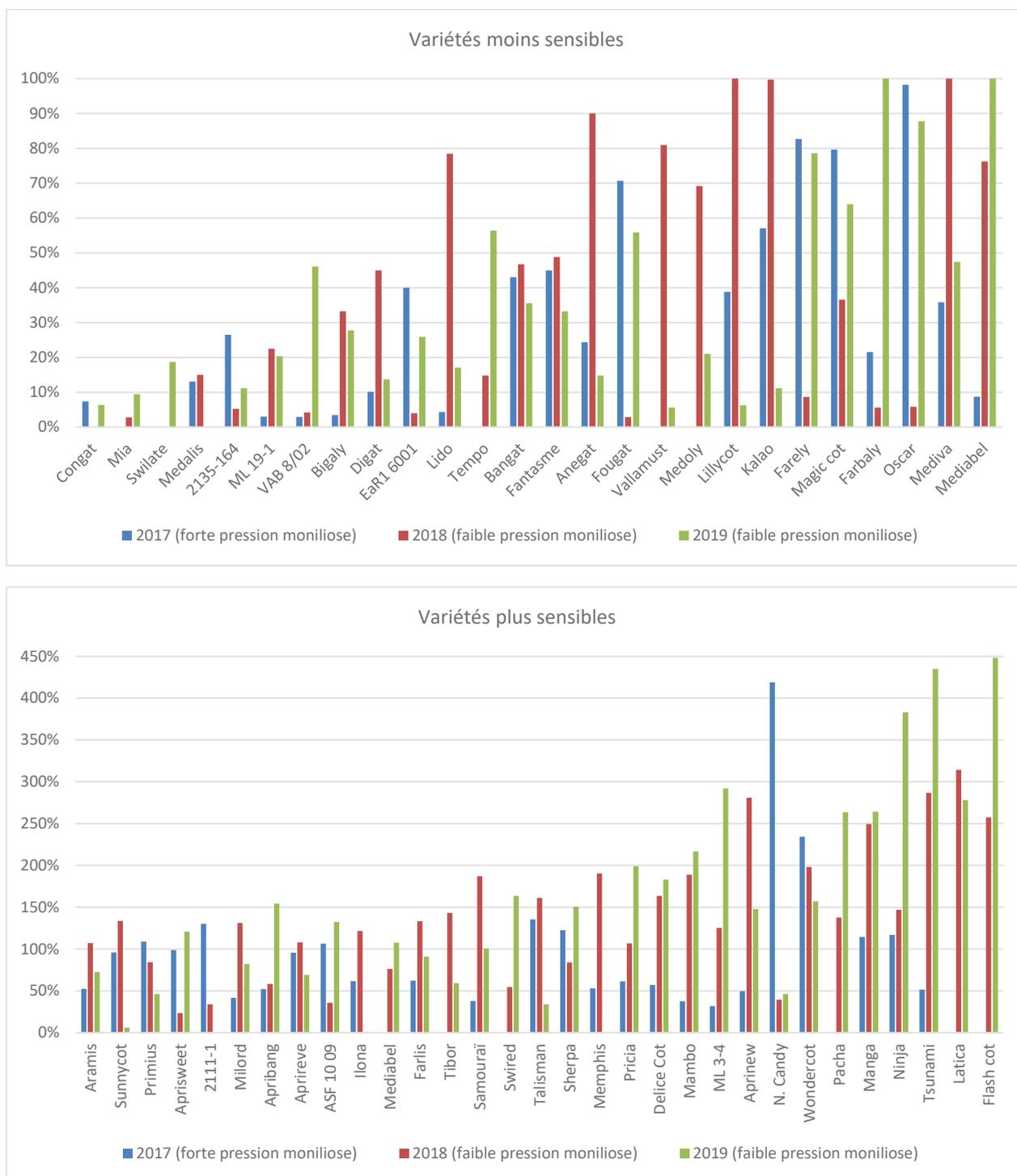


Fig. 5 : Ratio (poids monilié / section de la branche) comparé à la moyenne annuelle.

Des degrés de sensibilité entre les variétés existent et certaines variétés montrent de bonnes tolérances à *Monilia laxa*. Néanmoins, les fluctuations selon les conditions de l'année sont notables malgré les infections artificielles.

Des observations complémentaires ont été effectuées sur la même parcelle variétale en 2018 et 2019. En plus de l'évaluation visuelle de la moniliose, ont été notées (sur 10) la charge en fruit, la sensibilité à la bactériose, la sensibilité à la maladie criblée et la sensibilité aux pucerons.

La figure 6 représente la corrélation entre les notes moyennes (2018-2019) des évaluations visuelles de la sensibilité à la moniliose et de la charge en fruits des variétés de la parcelle d'observation. On constate que la corrélation entre ces données est très faible. On peut donc conclure que la sensibilité à la moniliose et les dégâts provoqués par la maladie ne provoquent pas toujours les pertes de récolte attendues.

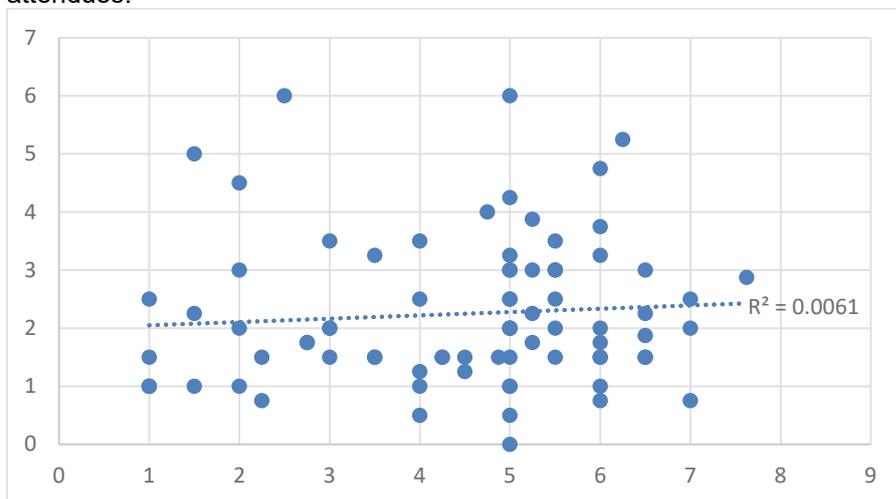


Fig. 6 : Courbe de tendance entre les notes moyennes évaluations visuelles de sensibilité à la moniliose et de charge en fruits

Pour aller plus loin, un indice multicritère a pu être calculé à partir des évaluations visuelles des différentes sensibilités (moniliose, bactériose, maladie criblée et pucerons). Afin de lisser les coefficients, cet indice a été normalisé en fonction des moyennes annuelles. Cette fois-ci comme le montre la figure 7, ce coefficient est bien corrélé avec la charge en fruits des variétés.

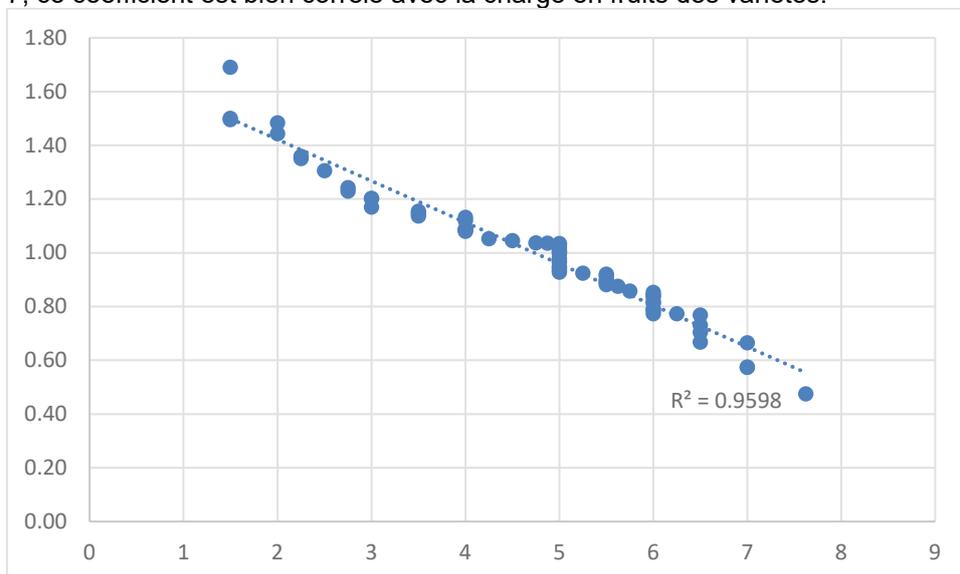


Fig. 7 : Courbe de tendance entre les moyennes des indices normalisés et les notes moyennes des évaluations de charge en fruits.

On peut donc préciser en figure 8, un graphique des variétés plus ou moins adaptées à la culture biologique selon l'indice multicritère.

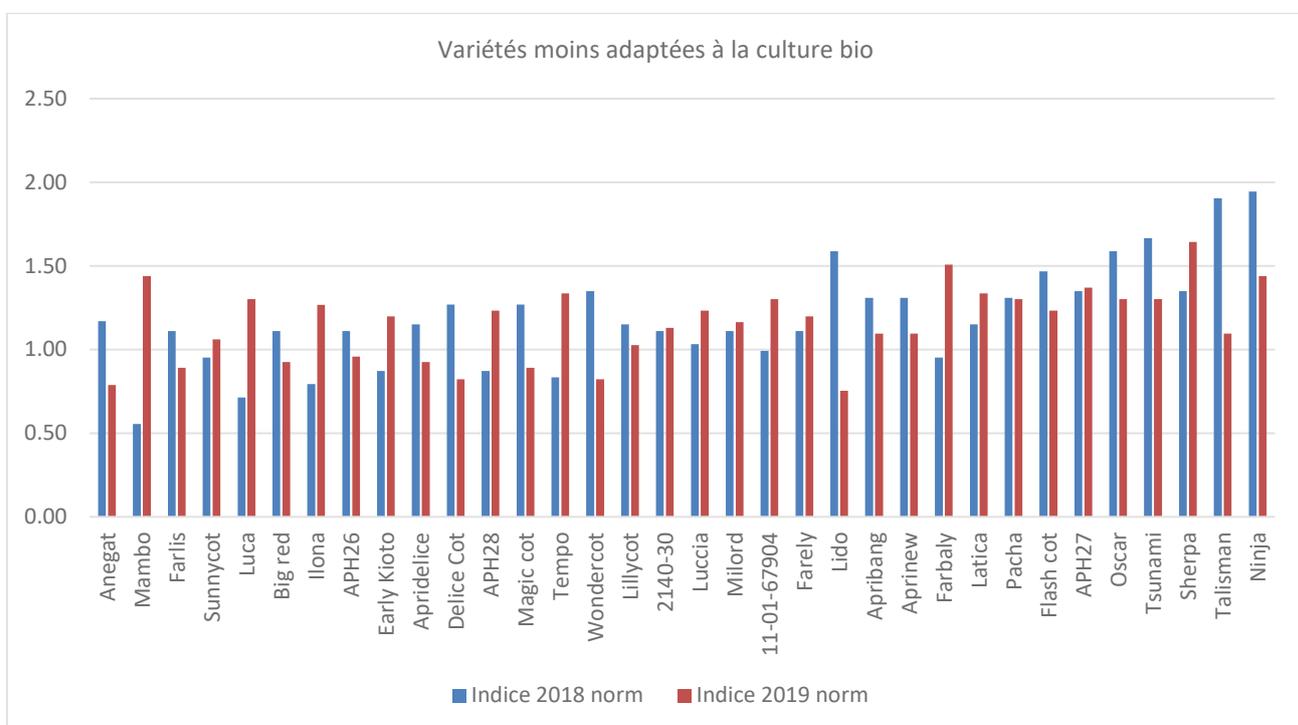
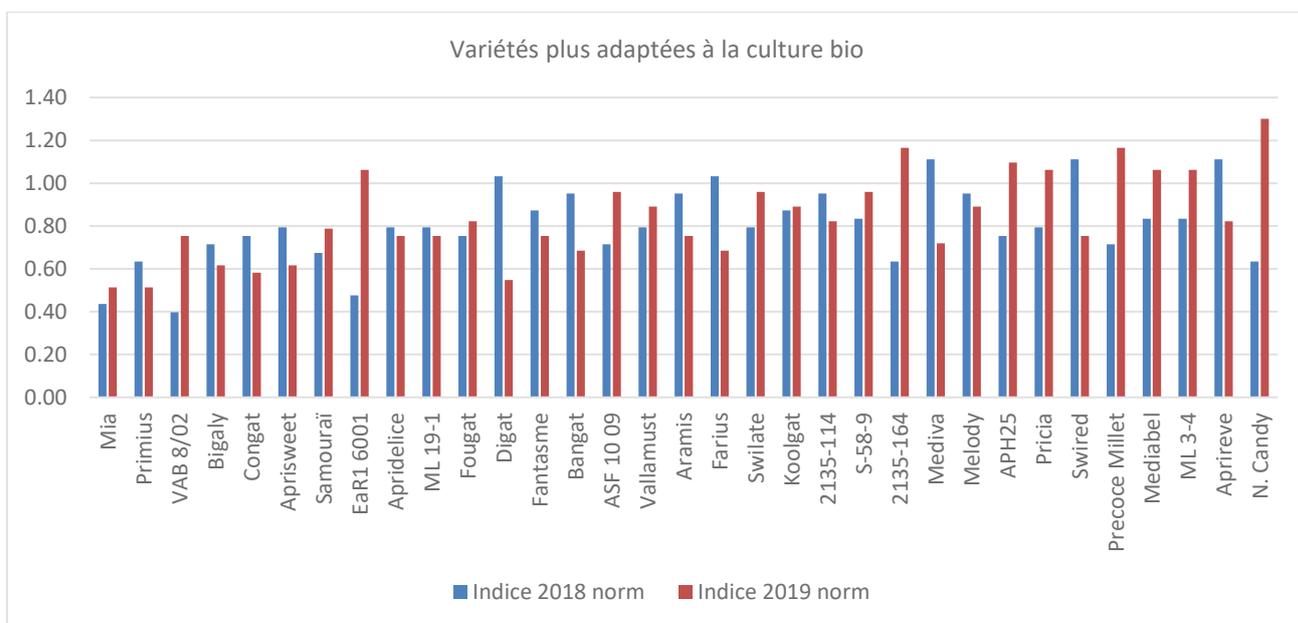


Fig. 8 : Classification des variétés en fonction d'un indice de sensibilité multicritère

Comparé au précédent graphique en figure 5, on constate que certaines variétés qui présentaient déjà une faible sensibilité à la moniliose confirment leur potentiel en culture biologique de manière plus générale, comme Mia, VAB 8/02, Bigaly, Congat, Ear1 6001, ML 19-1 ou encore Digat.

D'autres variétés, qui montraient une tolérance faible à la moniliose, exposent finalement un potentiel relativement haut en culture biologique, tous critères évalués confondus, telles que Primus, Aprisweet ou Samourai.

D'autre part des variétés qui révélaient une tolérance faible à la moniliose maintiennent leur faible adaptabilité à la culture biologique, comme Ninja, Talisman, Sherpa, Tsunami ou Flash cot.

Résultats – Axe A2.2. Réseau d'observation

Le réseau d'observation est constitué de six sites. Trois parcelles en Suisse sur les domaines Agroscope Conthey (VS), FiBL Frick (AG) et de l'Office Cantonal en Arboriculture du Canton du Valais. Les trois parcelles en France se trouvent dans les Pyrénées orientales, à Saint-Gilles (Cot International) et au GRAB à Gotheron. Treize variétés constituent le panel variétal du réseau : Apribang, Bakour, Bergarouge, Bergeron, Farely, Flopria, Harogem, Lilly Cot, Lisa, Mia, Orangerubis, Précoce de Millet, Samouraï. Ces variétés ont été greffées sur différents porte-greffe (Myrobolan, Wawit, Wawit - intermédiaire RC et Montclar) et à des hauteurs différentes (entre 20 et 70 cm) selon les besoins et les particularités des différents sites choisis. Sur la parcelle de Frick, différentes modalités de greffage et de couverture contre les intempéries, indiquées dans le tableau en figure 9, ont été mises en place.

Modalité	Variétés		
Protection contre la pluie toute la saison	Goldrich	Early Blush	Mia
Porte-greffe : Wavit	ACW 4527	Précoce de Millet	Valla must
Greffon intermédiaire : Reine-Claude	Flopria	Lilly Cot	Vertige
Hauteur de greffage : 60-70 cm	Harogem	Orangerubis	Lady cot
6 arbres par variétés	Lisa	Samourai	Bergeron
Protection contre la pluie saisonnière	Orangerubis	Lilly Cot	Apribang
Porte-greffe : Wavit	Farely	Wondercot	Mia
Hauteur de greffage : 20 cm & 60-70 cm	Flopria	Samourai	Bergarouge
2 arbres par variétés et hauteur de greffage	Harogem	Lisa	Bergeron
Sans protection contre la pluie	Apribang	Lady Cot	Mia
Porte-greffe : Wavit	Wondercot	Samourai	Bergarouge
Hauteur de greffage : 60-70 cm	Orangerubis	Lisa	Bergeron
4 arbres par variétés	Farely	Flopria	Harogem

Fig. 9 : Modalités et variétés de la parcelle d'observation variétale de Frick

Différents critères ont été définis en vue d'évaluer les comportements des 13 variétés en fonction des différents sites. Ils sont repris dans le tableau en figure 10. En raison de la jeunesse des arbres de la majorité des parcelles récemment plantés, seul le comportement des variétés sur la parcelle de Conthey a pu être évalué.

	Mesure	Fréquence	Unité
Météo	Température (minimum, maximum, moyenne)	Journalière	°C
	Précipitations (totales)	Journalière	mm
	Humidité relative (moyenne)	Journalière	%
	Vent (moyenne)	Journalière	m/s
Variétés	Phénologie (différenciation des bois de 1 et 2 ans si besoin)	Hebdomadaire (minimum)	BBCH
	Floribondité	Bihebdomadaire	1-9
	Infection Moniliose	Biannuelle	1-9
	Infection bactériose	Biannuelle	1-9
	Infection maladie criblée	Biannuelle	1-9
	Infection ESFY	Biannuelle	1-9
	Attaque puceron	Biannuelle	1-9
	Etat physiologique (chlorose,...)	Biannuelle	1-9
	Taux de nouaison	Biannuelle	1-9
	Récolte	Annuelle	kg/arbre
	Répartition des calibres	Annuelle	%
	Part de 1er choix	Annuelle	%
	Remarques sur les fruits (cracking, monilia, pourriture, piqûres,...)	Annuelle	

Fig. 10 : Critères d'évaluation du site et du comportement des variétés au sein du réseau d'observation

Résultats – Axe A3 : Création variétale

3.1. Test phénotypiques sous conditions contrôlées

Pendant les années 2017, 2018 et 2019 différentes méthodes d'évaluation de *Monilia laxa* ont été réalisées sur les branches et fleurs afin de constater des différences entre les 190 génotypes de la population bi-parentale issue du croisement Bergeron (variété sensible) x Bakour (variété tolérante), implantés sur une parcelle de l'INRA à Gotheron (Saint-Marcel-lès-Valence, France).

3.1.1. Test 1 : Inoculation sur fleurs

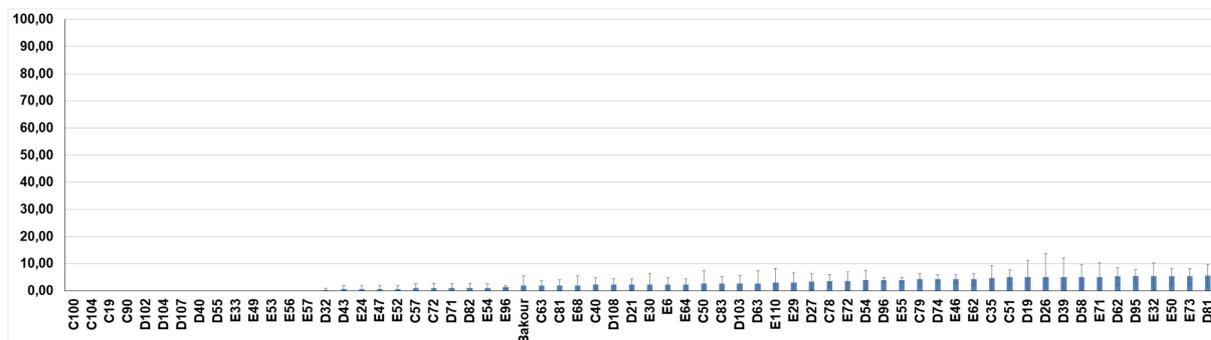
Pour le test de 2017, les fleurs ouvertes de la population bi-parentale ont été pulvérisées artificiellement avec des spores de *M. laxa* dans des conditions contrôlées (23°C jour / 16°C nuit, 95% HR). Les pétales nécrotiques ont observés après 48 h, comme symptôme d'infection monilieuse. Peu de différences entre les génotypes sont apparues, il n'y avait notamment pas de différence entre Bakour et Bergeron. Il en était déduit que les symptômes nécrotiques sur pétales n'étaient pas en corrélation avec la sensibilité de la variété. Par ailleurs, cet essai a permis de constater que l'infection pénétrait par la fleur et se propageait ensuite dans le rameau. Dans certains cas toutefois, l'infection s'est arrêtée à la fleur et n'a pas atteint le rameau.

En 2018, un test sur le pistil a été effectué sur la même population. Quand la fleur avait atteint le stade F (fleur ouverte), les pistils ont été inoculés artificiellement avec une goutte de spores de *M. laxa* (à la concentration 10⁵ spores/ml) dans des conditions contrôlées (23°C jour / 16°C nuit, 70% HR). L'infection a ensuite été mesurée en fonction de la longueur de la partie nécrotique de chaque branche, 4, 8 et 15 jours après l'inoculation. Le but de ce test était d'étudier le mécanisme d'entrée de la *Monilia* dans la fleur et la branche. Cependant, le pourcentage d'infection était faible et souvent les fleurs tombaient quelques jours après l'inoculation. Ce qui ne laissait pas toujours le temps au champignon d'atteindre la branche.

3.1.2. Test 2 : Inoculation sur branches

La méthode d'inoculation consistait à poser un rond de mycélium de *M. laxa* sur la branche après avoir sectionné l'écorce, puis à le recouvrir de papier et de film plastique et le placer dans des conditions contrôlées (20°C, 80% HR et obscurité). La longueur de l'infection (partie nécrosée) a été mesurées 4, 8 et 15 jours après l'inoculation (dpi) sur trois branches par génotype et par période. De plus, des contrôles négatifs (branches sans inoculation) ont été effectués aux temps 0, 4, 8 et 15 dpi. Le but de ce test était d'établir des différences entre les génotypes afin de générer une ségrégation au sein de la population.

De grandes différences ont été constatées entre les niveaux d'infection dans les branches de la population bi-parentale, avec des plages d'infection entre 0 et 40 mm après 4 jours, 0 et 100 mm après 8 jours et 0 et 200 mm après 15 jours. Le test à 8 jours après l'inoculation a été le plus probant, il présentait le plus de différences. Pour cette raison, seul ce test à 8 dpi a été répété en 2019 (figure 11).



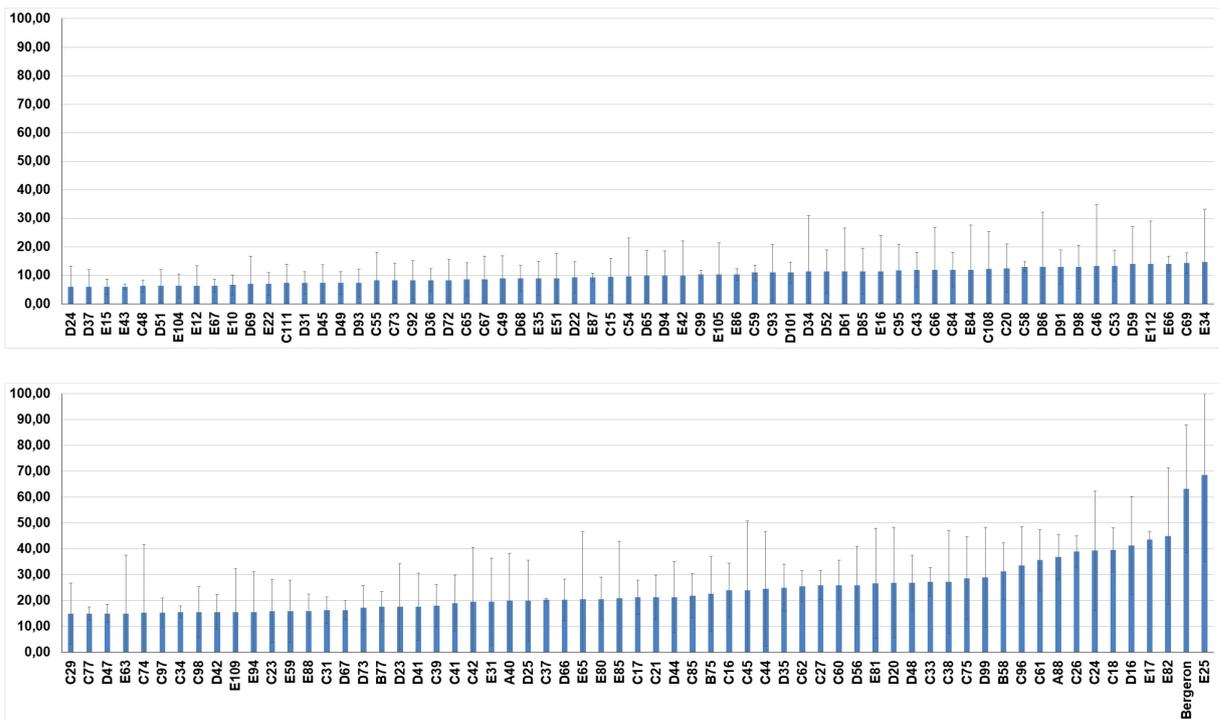


Fig. 11 : Longueur de l'infection (en mm) dans les branches d'une population bi-parentale 8 jours après l'inoculation avec le mycélium de *M. laxa* dans des conditions contrôlées.

Selon la figure 11, de grandes différences ont été constatées entre les niveaux d'infection des branches de la population bi-parentale, avec un intervalle entre 0 et 70 mm de longueur de nécrose 8 jours après infection. Il était également intéressant de trouver des génotypes pour lesquels aucune infection ou nécrose dans les branches n'ont été observées. Les différents génotypes peuvent donc bien être différenciés et une ségrégation au sein de cette population biparentale peut être établie. De plus les deux parents sont bien distingués au sein de leurs descendants : Bergeron est un des génotypes les plus sensibles et Bakour un des plus tolérants.

3.1.3. Test 3: inoculation sur fruits

Différentes variétés internationales implantées sur les parcelles du canton du Valais (OCA-VS) et d'Agroscope à Conthey ont été inoculées avec *Monilia fructicola* dans des conditions contrôlées (22°C, 80% HR, obscurité). Pour ce faire, dix fruits mûrs par variété ont été lavés puis coupés à 4 mm dans la chair. A la suite, une dilution de spores du champignon a été préparée et inoculée dans la plaie. Après 63 h, le diamètre de l'infection sur le fruit a été mesuré.

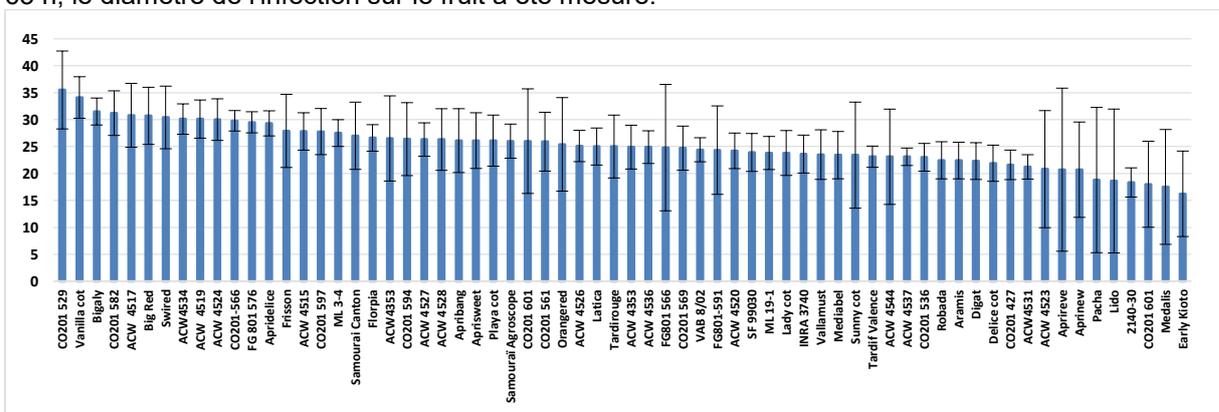


Fig. 12 : Diamètre de l'infection sur fruit (en mm) dans des conditions contrôlées.

Des différences de diamètre d'infection sont observées entre les variétés étudiées (Fig.12), variant entre 15 et 35 mm. Les variétés les plus sensibles étaient Vanilla cot, Bigaly ou Swired, tandis que les plus tolérantes étaient Early Kioto, Medalis ou Lido. Toutefois, les différences entre les variétés restent relativement faibles.

3.2. Mesure des phénols et qPCR

A partir du test d'inoculation d'un bouchon de mycélium de *M. laxa* sur la branche au sein d'une population biparentale dans conditions contrôlées, des échantillons de branches infectées de 3 cm ont été prélevés et maintenus à -80°C. Aussi des prélèvements avant inoculation (0 dpi) ont été réalisés. Au total, trois répétitions par génotype de la population bi-parentale de 190 descendants, par modalité et par temps de contrôle ont été récoltées. Après broyage et extraction au FiBL à Frick, les tissus ont été utilisés pour deux expériences différentes. Tout d'abord, la moitié du matériel fut destiné à une expérience qPCR pour mesurer les concentrations de spores de *Monilia laxa* après infection (y compris témoins négatifs sans infection). D'autre part, le reste du matériel végétal a été utilisé dans une HPCL-MS pour mesurer la quantité de phénols. Le but de ces analyses était d'établir une relation entre l'entrée du champignon dans la plante et le niveau des phénols.

En HPLC, le schéma des phénols était similaire pour les tissus de toutes les variétés sans infection et avant infection. Deux semaines après infection, par contre, la plus grande partie des phénols solubles avait disparu dans les variétés les plus sensibles comme Bergeron (Fig. 13), mais pas dans les variétés tolérantes comme Bakour (Fig. 14). La méthode HPLC montre l'importance de la capacité d'une variété à maintenir une teneur importante en polyphénols lors d'une contamination. En effet, la variété tolérante Bakour ne présente pas de diminution de polyphénols après contamination, contrairement à la variété sensible Bergeron qui perd la quasi-totalité de ses polyphénols après infection. De ce fait, il semble possible de pouvoir évaluer si un génotype sera ou non résistant vis-à-vis d'un pathogène en observant son profil chromatographique avant et après contamination. Malheureusement, nous n'avons pas obtenu les mêmes résultats dans l'analyse des années ultérieures. Donc cette tendance n'est pas tout à fait claire.

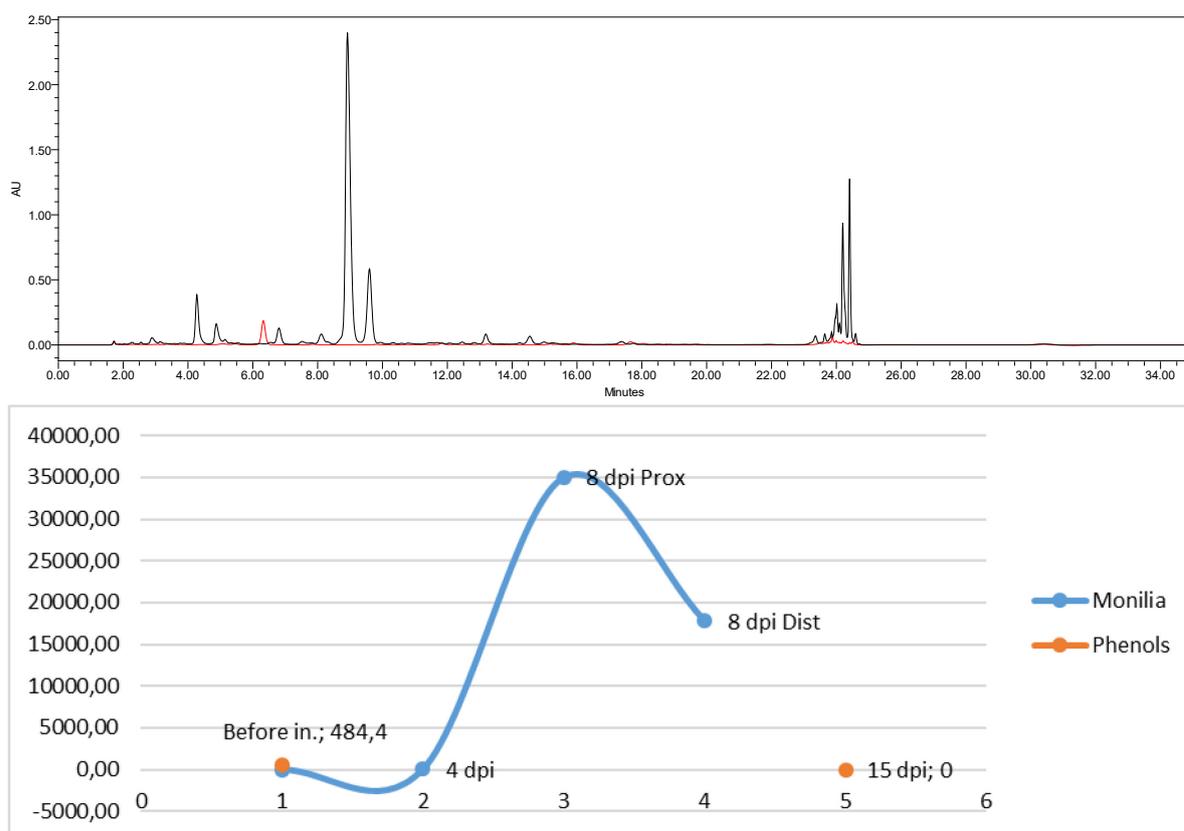


Fig. 13: Profil du Bergeron. En haut, analyse d'HPLC sur les branches avant (en noir) et après l'infection (en rouge). En bas, analyse de concentration de *Monilia* (bleu) par qPCR avant et après infection 4 et 8 jours, par rapport à la teneur en phénols (orange).

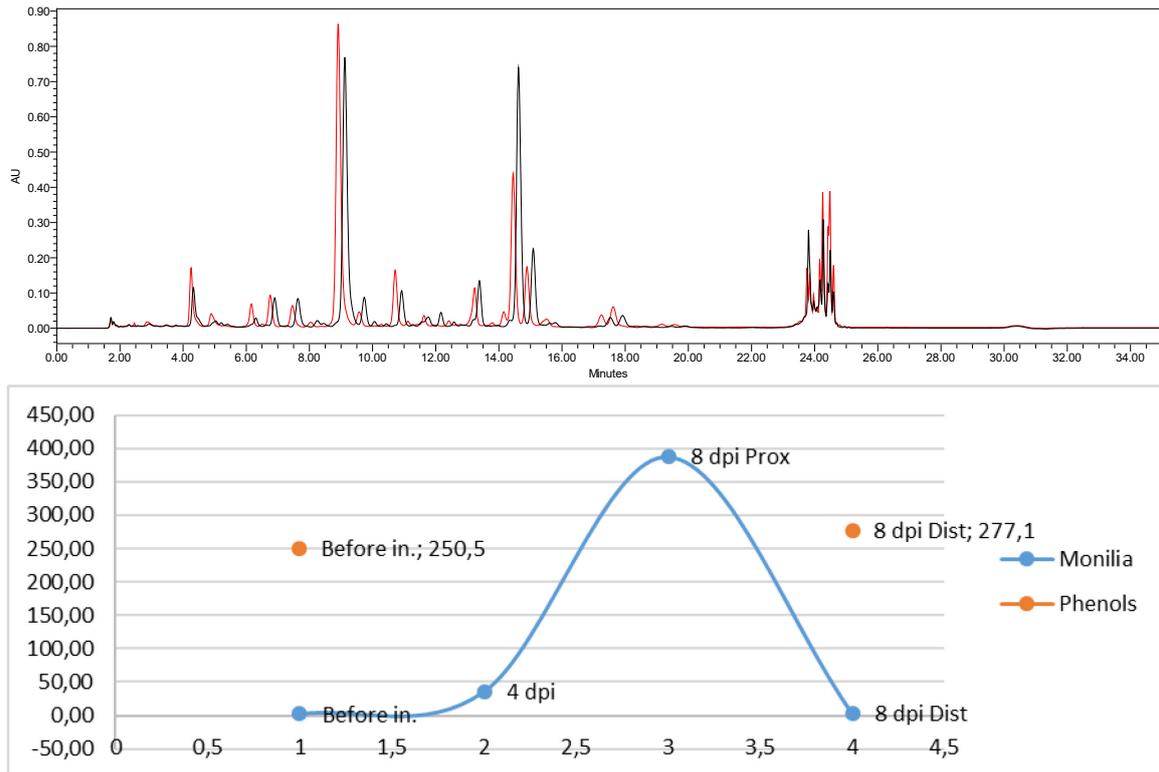


Fig. 14: Profil du Bakour. En haut, analyse d'HPLC sur les branches avant (en noir) et après l'infection (en rouge). En bas, analyse de concentration de *Monilia* (bleu) par qPCR avant et après infection 4 et 8 jours, par rapport à la teneur en phénols (orange).

L'analyse des phénols les deux premières années du projet (2017, 2018) a montré que l'acide chlorogénique était un composé dominant du phloème. La méthode de chromatographie liquide avec la détection UV a permis de doser la concentration de tous les composés phénoliques contenus dans les extraits des phloèmes d'abricotier dans le but de trouver les composants discriminants et de réaliser une détection de QTL. Le chromatogramme typique d'extrait de phloème est présenté dans la figure 15. L'identification des composés phénoliques a été confirmée à l'aide d'analyse HPLC-MS (Fig. 16).

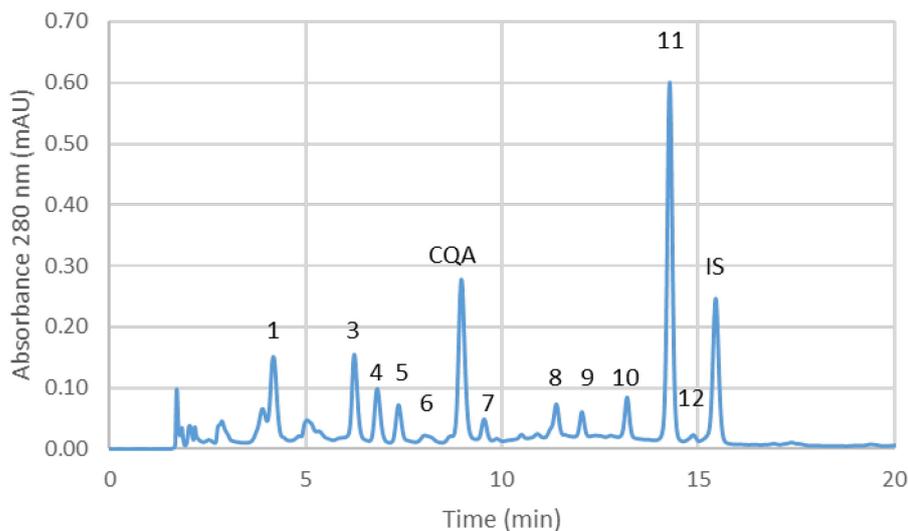


Fig. 15: Chromatogramme typique d'extrait de phloème (pour l'identification de pics voir figure 16 ci-dessous).

Pic	TR (min)	Nom du composé	Quantifié comme
pic 1	4.36	Procyanidine	(+/-)-Catéchine
pic 2	5.07	Acide chlorogénique dérivée 1	Acide chlorogénique
pic 3	6.61	Catéchine	(+/-)-Catéchine
pic 4	7.09	Scopoline	Scopolétine
pic 5	7.71	Hydroxyacétophénone dérivée	Trihydroxyacétophénone
pic 6	8.52	Epicatéchine	(+/-)-Catéchine
CQA	9.40	Acide chlorogénique	Acide chlorogénique
pic 7	9.88	Acide chlorogénique dérivée 2	Acide chlorogénique
pic 8	11.74	Procyanidine	(+/-)-Catéchine
pic 9	12.32	Non identifié	Trihydroxyacétophénone
pic 10	13.49	Non identifié	Trihydroxyacétophénone
pic 11	14.64	2,6 dihydroxy 4 –methoxy acétophénone hexoside	Trihydroxyacétophénone
pic 12	15.26	Scopolétine	Scopolétine

Fig. 16: Composés phénoliques contenus dans un extrait de phloème d'abricotier.

De grandes différences ont été constatées entre les teneurs des composés phénoliques des phloèmes de différents génotypes de la population biparentale avant et après infection.

Teneurs en composés phénoliques et évaluation visuelle

Aucune corrélation entre l'évaluation visuelle (méthode INRA sur le terrain menée pendant plusieurs années) et la teneur en composés phénolique avant ou après l'infection n'a pu être mise en évidence. Néanmoins, certaines tendances ont été perçues lors de la séparation en catégories des descendants d'après les évaluations visuelles (Fig. 17). Les analyses de phloème sans infection à 8 jours ont montré une teneur plus élevée pour les descendants résistants et une teneur plus faible pour les descendants sensibles des deux composés : 2,6 dihydroxy 4-méthoxy acétophénone hexoside et composé non identifié 2 (Fig. 18).

Abréviation	Catégorie	Plage	Nombre de descendants
R	résistant	<=20	21
MR	modérément résistant	(20-30>	48
INT	intermédiaire	(30-40>	52
MS	modérément susceptible	(40-50>	45
S	susceptible	>50	18

Fig. 17: Population biparentale séparée en catégories d'après les évaluations visuelles

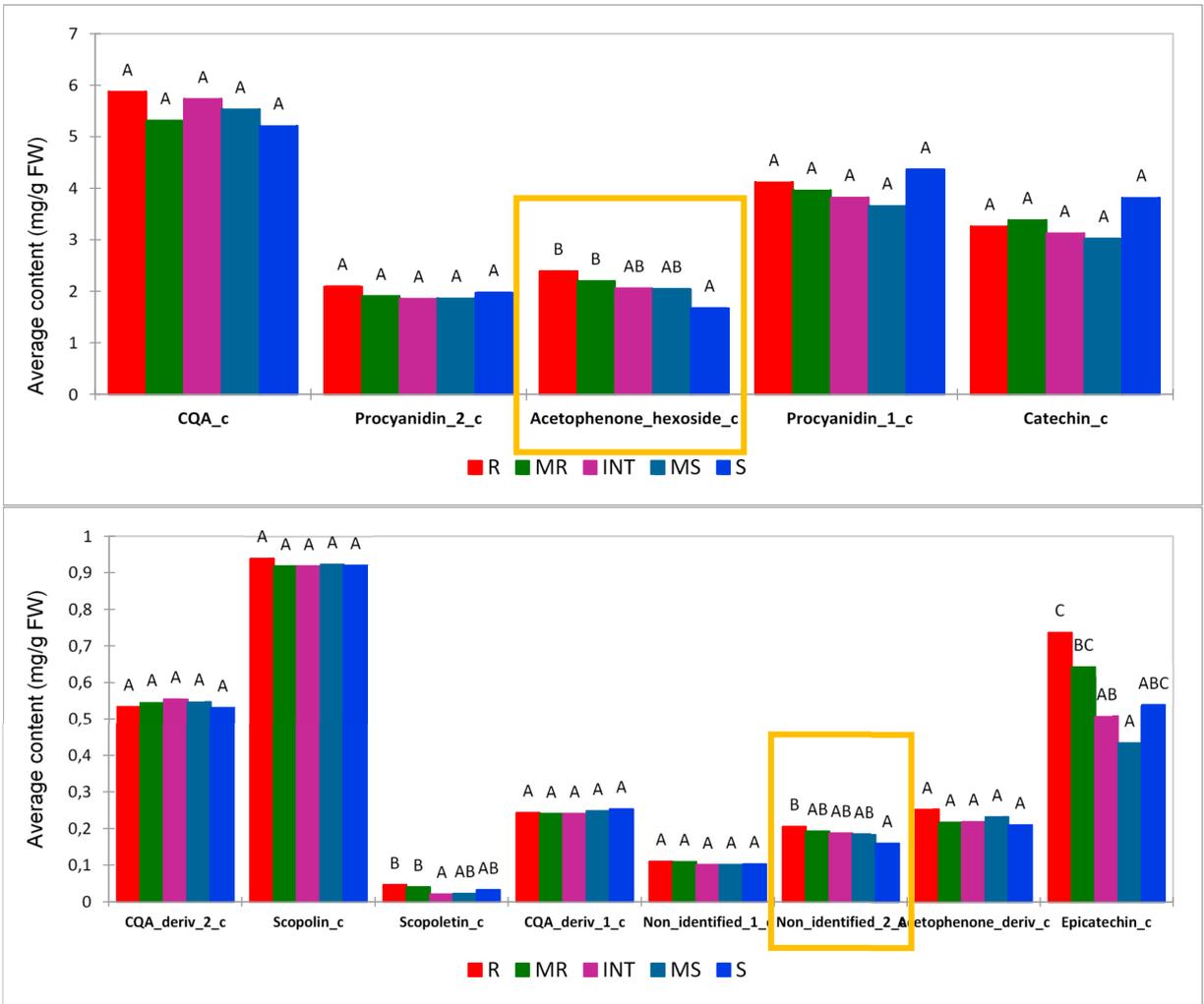
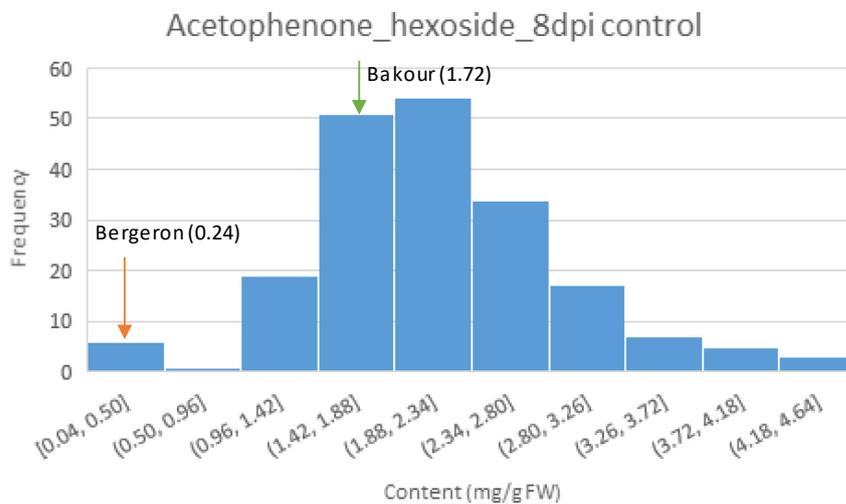


Fig. 18: Teneur moyenne en composés phénoliques dans le phloème sans infection à 8dpi ($p < 0.05$)

Les graphiques suivants (Fig. 19) montrent les teneurs en 2,6 dihydroxy 4-méthoxy acétophénone hexoside et en composé non identifié dans le phloème de Bakour et Bergeron par rapport à la population biparentale. Bergeron, variété sensible, suit la tendance prévue et présente une très faible teneur en ces composants, alors que Bakour se situe au milieu de la population.



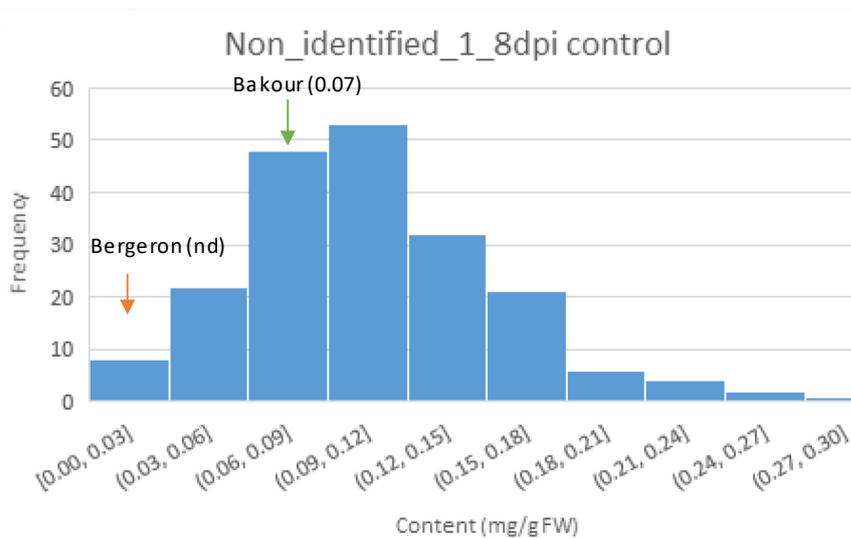


Fig. 19: Histogrammes des teneurs en 2,6 dihydroxy 4-méthoxy acétophénone hexoside et en composé non identifié dans le phloème sans infection de la population biparentale.

Teneurs en composés phénoliques et longueur des nécroses après infection

Une assez faible corrélation négative a été établie entre la teneur en scopoline dans le phloème après infection et la longueur de nécrose $R=-0.585$. La corrélation est plus forte lorsqu'un ratio des teneurs en scopoline après et avant infection est pris en compte $R = -0.664$. Le ratio des teneurs en dérivés d'hydroxyacétophenones est aussi négativement corrélé avec la longueur de nécrose $R = -0.545$ et $R = -0.475$. En général, la teneur en scopoline était plus élevée avant infection et la teneur de son aglycone – scopolétine après infection.

3.3. Quantitative trait loci (QTL) lié avec la résistance à *Monilia* et phénols

Les résultats de certains tests ou évaluations réalisés au cours du projet les 3 dernières années (tests phénotypiques sous conditions contrôlées sur les branches, l'évaluation visuelle réalisée par INRA et les teneurs de composés phénoliques) sont rassemblés dans un programme génétique appelé Windows QTL Cartographer 2.5 afin d'identifier des QTL (locus de traits quantitatifs), régions responsables de la résistance à *Monilia laxa*. Pour ce faire, l'INRA d'Avignon a développé des marqueurs moléculaires SNPs afin de créer une carte génétique de l'abricot et de localiser les données de phénotypage. Le « LOD score » supérieur à 2.5 est représenté par une ligne horizontale dans chaque graphique, il indique le niveau minimum où le QTL commence à être significatif. Plus le LOD score est élevé, plus le QTL est important.

Résultats

Chez Bakour (Fig. 20, 21, 22 et 23), les QTLs les plus importants ont été décelés dans le chromosome 1 (teneur en acide chlorogénique 2019, teneur en scopolétine 2019), le chromosome 3 (évaluation visuelle 2011, concentration en *Monilia* 2018) et dans le chromosome 4 (longueur de nécrose 2018, teneur en dérivé d'hydroxyacétophénone 2019).

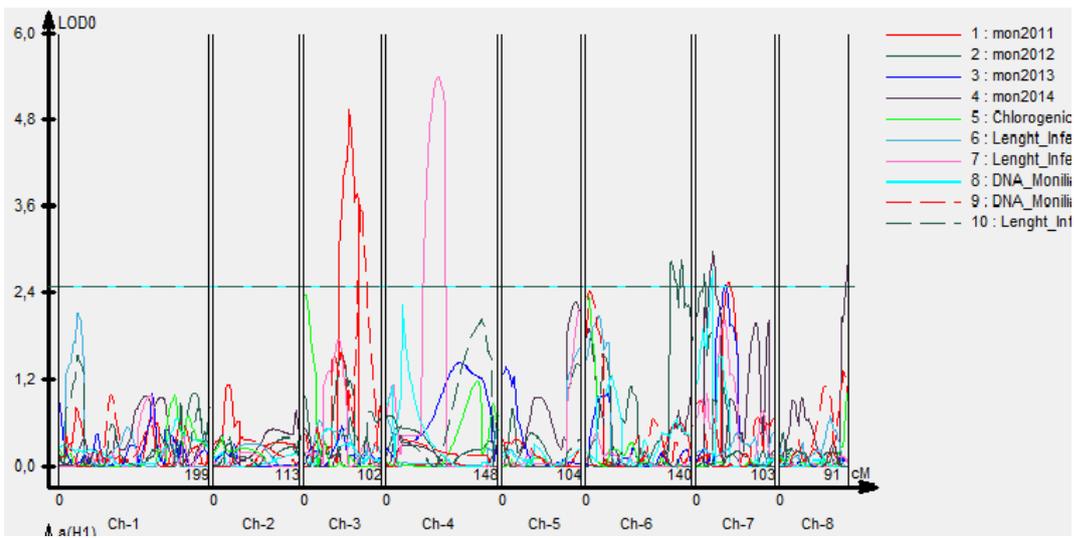


Fig. 20: QTL liés à Bakour. Légende: 1,2,3,4) Evaluation visuelle fait par INRA les années 2011,2012,2013 et 2014. 6,7,10) Longueur de nécrose sur la branche 8 jours après infection les années 2017, 2018 et 2019. 5) Teneur en acide chlorogénique dans la branche 8 jours après infection l'année 2018. 8,9) Concentration en Monilia dans la branche 8 jours après infection l'année 2018. Ch-1 jusqu'à Ch-8 : Chromosomes.

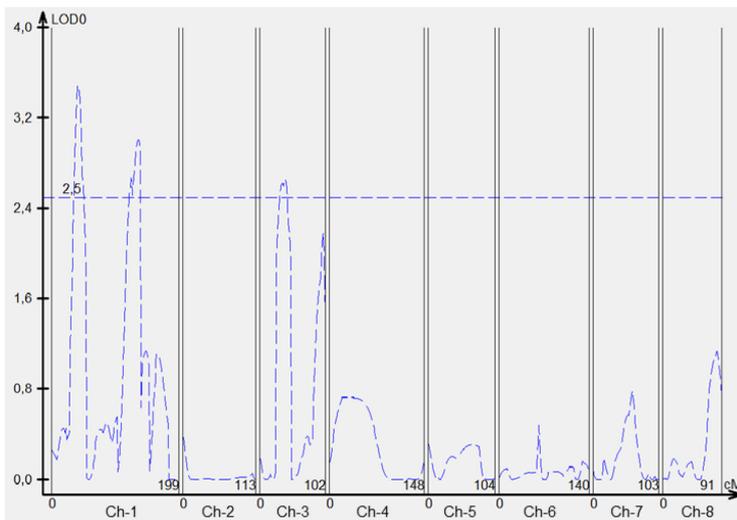


Fig. 21: QTL liés à Bakour. Teneur en acide chlorogénique dans la branche 8 jours après infection l'année 2019. Ch-1 jusqu'à Ch-8 : Chromosomes.

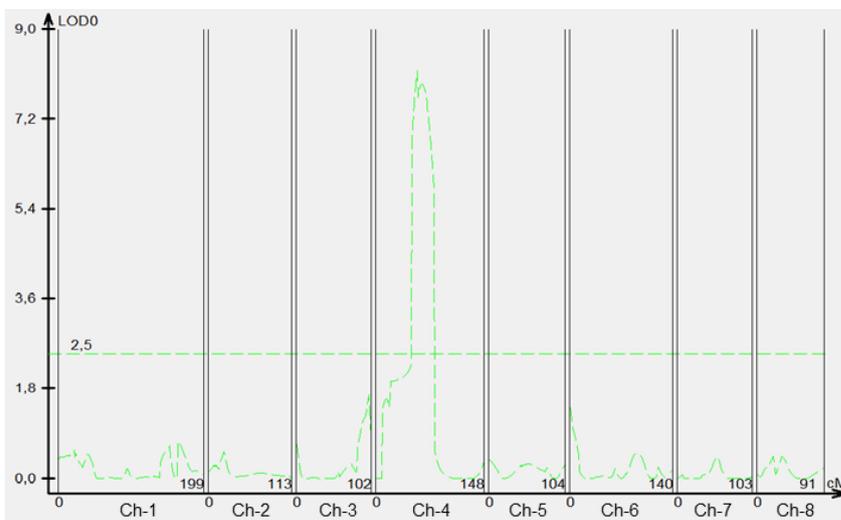


Fig. 22: QTL liés à Bakour. Teneur en dérivé d'hydroxyacétophénone dans la branche 8 jours après infection l'année 2019. Ch-1 jusqu'à Ch-8 : Chromosomes.

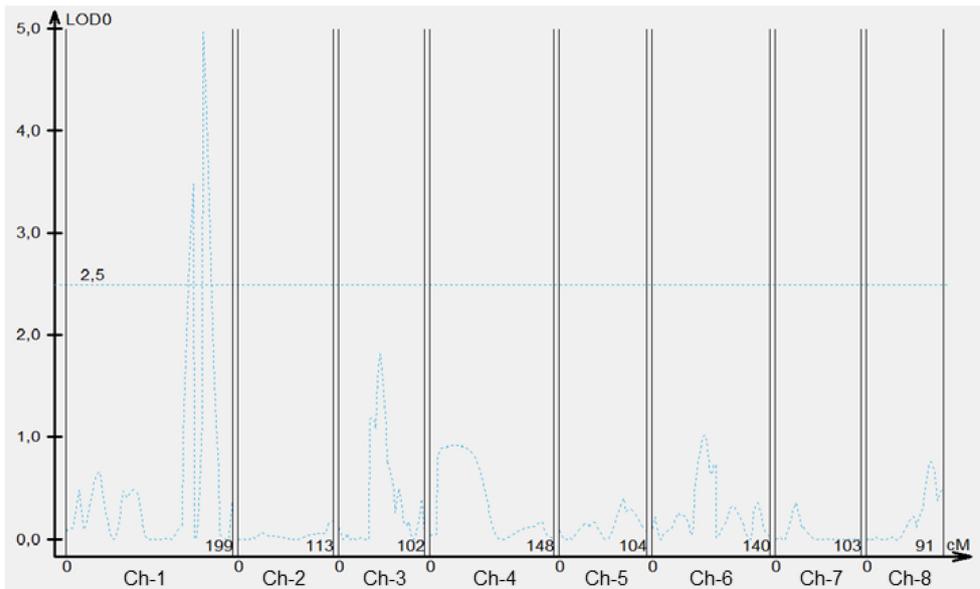


Fig. 23: QTL liés à Bakour. Teneur en scopolétine dans la branche 8 jours après infection l'année 2019. Ch-1 jusqu'à Ch-8 : Chromosomes.

Pour Bergeron (Fig. 24,25 et 26), les plus importants QTL ont été trouvés dans le chromosome 1 (évaluation visuelle 2011 et 2012), le chromosome 4 (concentration en *Monilia* 2018), le chromosome 5 (évaluation visuelle 2011, teneur en composé non identifié (quantifié comme Trihydroxyacetophenone) 2019) et dans le chromosome 6 (concentration en *Monilia* 2018, teneur en dérivé 2 d'acide chlorogénique 2019). Une attention particulière est donnée aux QTLs situés dans le chromosome 1 (évaluations visuelles de l'INRA), le plus élevé observé dans notre étude.

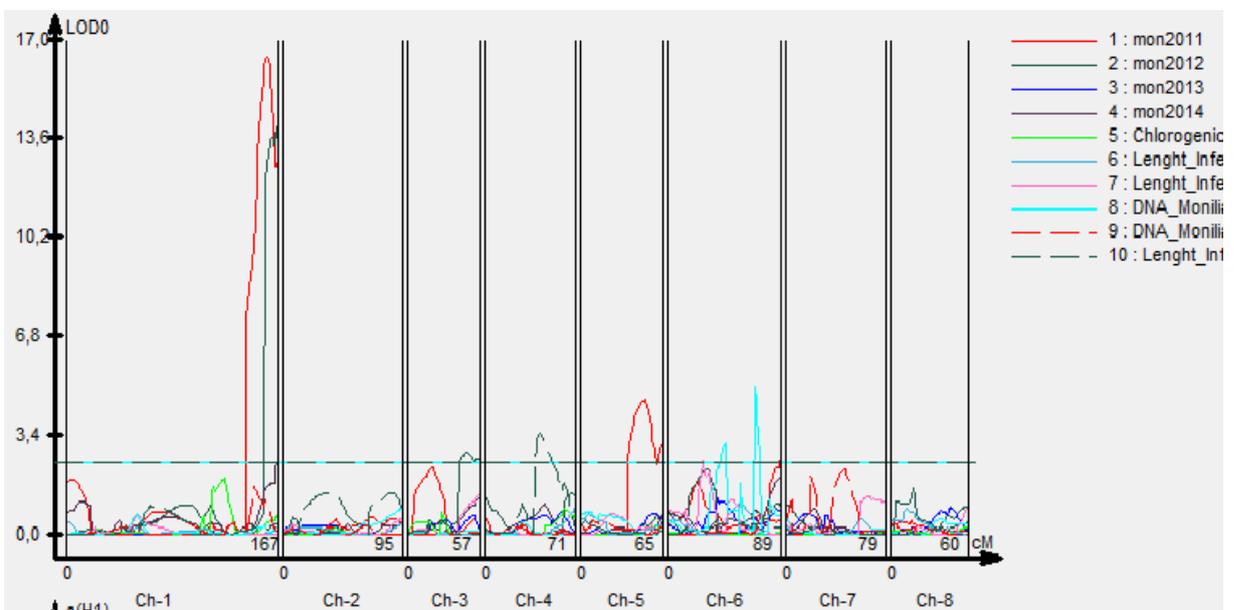


Fig. 24: QTL liés à Bergeron. Légende: 1,2,3,4) Evaluation visuelle fait par INRA les années 2011,2012,2013 et 2014. 6,7,10) Longueur de nécrose dans la branche 8 jours après infection les années 2017, 2018 et 2019. 5) Teneur en acide chlorogénique dans la branche 8 jours après infection l'année 2018. 8,9) Concentration en *Monilia* dans la branche 8 jours après infection l'année 2018. Ch-1 jusqu'à Ch-8 : Chromosomes.

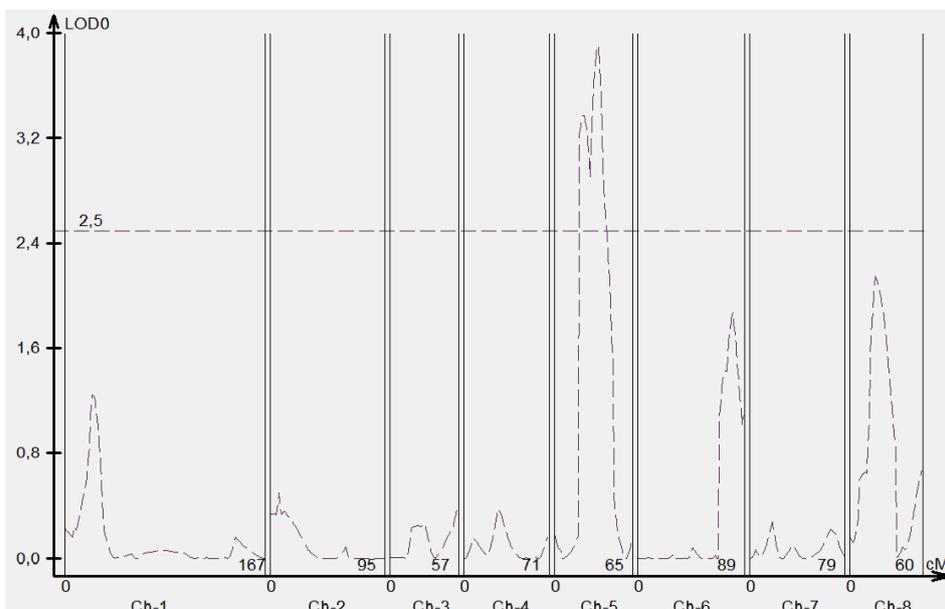


Fig. 25: QTL liés à Bergeron. Teneur en composé non identifié (quantifié comme trihydroxyacétophénone) dans la branche 8 jours après infection l'année 2019. Ch-1 jusqu'à Ch-8 : Chromosomes.

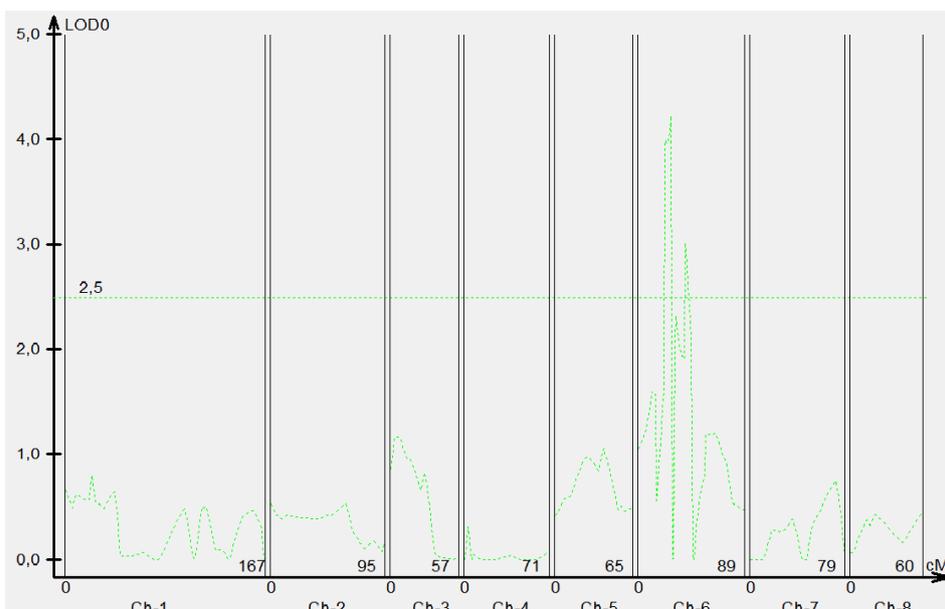


Fig. 26: QTL liés à Bergeron. Teneur en dérivé 2 d'acide chlorogénique dans la branche 8 jours après infection l'année 2019. Ch-1 jusqu'à Ch-8 : Chromosomes

Résultats – Axe A4 : Transfert des connaissances

Des articles techniques de présentation du projet et de ses premiers résultats ont été publiés sur le site Bioactualités.ch, via le journal Bioactualités et différents journaux agricoles tels que l'Agri.

Chaque année, le rapport annuel fut distribué aux partenaires et les différents partenaires furent conviés au meeting annuel.

En juillet 2019, une présentation sous forme de posters des résultats fut organisée. Laurent Brun de l'INRA, présenta également les facteurs climatiques favorables et stades phénologiques sensibles à la moniliose des fleurs et des rameaux.

Les posters « Evaluation of *Monilinia fructicola* on apricot fruits », « Different methods of evaluation of *Monilinia laxa* on apricot flowers and branches », « Sensibilities against *Monilia laxa* of different varieties of apricot » furent également exposés et commentés lors du « XVII International Symposium on Apricot Breeding and Culture » à Malatya en Turquie.

Discussions

Axe A1 : Protection contre le pathogène

La gestion de la moniliose avec des produits de protection montre ses limites en raison des efficacités incomplètes qu'enregistrent les produits testés.

D'autre part, certains produits qui présentaient de l'intérêt ont dû être stoppés dans leur processus d'expérimentation pour des raisons qui appartiennent aux firmes partenaires. Cependant, les produits à base de *Bacillus amyloliquefaciens* sp, de lupin et d'huile d'origan présentent un potentiel intéressant et méritent d'être testés de nouveau.

Malgré les tentatives d'infections artificielles, les différences de pression de la maladie entre les années et les parcelles restent importantes.

Aux vues de la bonne corrélation des méthodes d'évaluation des fongicides contre *Monilia laxa*, la technique de test in-vitro pourrait être utilisée comme pré-test afin de gagner du temps d'expérimentation au verger. Ce pré-test pourrait également être adapté à d'autres pathogènes.

Conclusions : Pas de matières actives ou de mélanges d'origine naturelle complètement efficaces contre *Monilia laxa*. L'utilisation du pré-test in-vitro permet de gagner du temps d'expérimentation pour mieux cibler les substances intéressantes.
Perspectives : Un mélange d'autres matières actives doit encore être testé pour lutter efficacement contre la moniliose sur fleurs. Des alternatives au cuivre d'origine végétale et microbienne s'avèrent prometteuses. Le pré-test développé pour la moniliose pourrait être élargi à d'autres pathogènes.

Axe A2.1. Variétés peu sensibles

Malgré les fluctuations liées aux conditions annuelles et les résultats enregistrés seulement durant les trois années du projet, des variétés à potentiel de tolérance à *Monilia laxa* ont été mises en évidence. Une liste de variétés recommandée pour la culture de l'abricotier biologique a été publiée en 2019 et sera renouvelée pour 2020. D'après les résultats obtenus par l'observation multicritère, il est clair que la moniliose n'est pas le seul élément à prendre en compte pour évaluer de l'adaptabilité d'une variété à la culture biologique.

Conclusions : Différents niveaux de sensibilité à *Monilia laxa* existent entre les variétés, mais des fluctuations selon les conditions annuelles persistent. Une liste de variétés recommandées pour la culture biologique a été publiée.
Perspectives : La sensibilité à la moniliose n'est pas le seul facteur à prendre en compte pour assurer la légitimité d'une variété à être cultivée en bio et la rentabilité d'une culture d'abricots bio.

Axe A2.2. Réseau d'observation

Hormis la parcelle de Conthey et aux vues de la jeunesse des autres plantations, peu d'évaluations ont pu être menées sur les sites d'observation. Néanmoins des critères élargis d'évaluation des variétés et des sites du réseau ont été discutés. Ils permettront à l'avenir d'analyser de manière plus générale le comportement des variétés selon les conditions des différentes régions et de mieux juger l'adaptabilité des variétés à la culture biologique.

Conclusions : Six parcelles appartenant au réseau d'observation ont été plantées dans différentes régions de France et de Suisse. Des critères généraux d'évaluation du comportement des variétés ont été discutés.
Perspectives : Les collaborations avec l'INRA Gothenon ont permis de préciser l'influence des facteurs climatiques, les conditions favorables et les stades sensibles de l'abricotier à la maladie. Une validation de ces facteurs d'influence est nécessaire pour les autres régions climatiques, différentes de Gothenon.

Axe A3: Création variétale

Le test phénotypique développé par l'INRA pour évaluer la sensibilité de géotypes face à la moniliose d'une population bi-parentale d'abricotier est basé sur une évaluation visuelle de l'arbre entier avec une infection naturelle. Afin de pouvoir s'émanciper de l'influence climatique et régionale, certaines méthodes basées sur une inoculation artificielle ont été évaluées et comparées avec la méthode INRA. Malgré que ces méthodes montrent une ségrégation dans la population, aucune corrélation avec la méthode INRA n'a pu être mise en évidence. Le test sur branches semble être prometteur avec les parents Bakour et Bergeron se situant aux extrêmes.

Par contre, les nécroses observées sur les pétales (tests sur fleurs) ne montrent pas une bonne ségrégation entre les géotypes. Ceci tend à montrer que les nécroses sur les pétales ne sont pas un bon facteur d'évaluation de la sensibilité à la moniliose, contrairement à d'autres études (Lee and Bostock, 2006). D'après le test réalisé en 2017, les spores avaient été pulvérisées sur toute la branche et toutes les fleurs sans point d'inoculation précis (Tamm et al, 1995). En 2018, afin d'avoir un seul point d'entrée des spores, toutes les fleurs sauf une, ont été enlevées de la branche florale. Cependant, le pourcentage d'infection était faible et souvent les fleurs tombaient quelques jours après l'inoculation, ce qui amenait à penser que d'autres parties de la fleur peuvent également représenter des entrées des spores ou qu'une large infection sur plusieurs fleurs est nécessaire, afin d'avoir une infection suffisante et détectable.

Concernant le test sur fruits, des différences ont été constatées entre les variétés avec l'inoculation de *M. fructicola*. Toutefois, les différences étaient moins importantes qu'escomptées. Ces faibles différences d'infections sur fruits entre les variétés laissent à penser que les tolérances à la moniliose sur fruits ne sont pas corrélées avec les tolérances à la moniliose sur fleurs, où la diversité est plus importante.

Par rapport au test d'inoculation d'un bouchon de mycélium de *Monilia laxa* sur branche, de grandes différences ont été constatées entre les niveaux d'infection, donc une ségrégation pouvait être établie dans cette population bi-parentale. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus en 2017, 2018 et 2019 où une bonne ségrégation a été observée 8 jours après l'inoculation dans la même population avec une méthodologie similaire. Ce fait renforce le phénotypage afin d'obtenir un bon QTL pour trouver les régions génétiques responsables de la résistance à *M. laxa*.

Les méthodes d'extraction récemment développées ont permis la détection simultanée d'ADN de *Monilia laxa* et de phénols végétaux dans le même échantillon de phloème, de pistil floral ou de tissus du réceptacle. Le tissu du phloème échantillonné 8 jours après l'infection a montré les plus grandes différences entre les variétés sensibles (Bergeron) et robustes (Bakour) dans la concentration en *Monilia laxa* ; ceci pourrait donc représenter un bon marqueur phénotypique. La concentration de monilia dans les branches mesurées par qPCR semble une méthode intéressante pour mettre en évidence un mécanisme constitutif de résistance avec une barrière à la propagation des spores à l'intérieur du phloème.

La méthode HPLC montre l'importance de la capacité d'une variété à maintenir une teneur importante en polyphénols lors d'une contamination. En effet, la variété tolérante Bakour ne présente pas de diminution de polyphénols après contamination ce qui n'est pas le cas pour la variété sensible Bergeron qui elle une fois contaminée perd la quasi-totalité de ses polyphénols. De ce fait, il semble possible de pouvoir évaluer si un géotype sera ou non résistant vis-à-vis d'une contamination en observant son profil chromatographique avant et après contamination.

L'identification des composés phénoliques a été confirmé à l'aide d'analyse HPLC-MS. De grandes différences ont été constatées entre les teneurs de composés phénoliques des phloèmes de différents géotypes de la population biparentale avant et après l'infection.

Les composés phénoliques appartiennent au groupe des métabolites secondaires. Les polyphénols et leurs dérivés ont de très nombreuses fonctions au niveau des relations entre la plante et son environnement. Les plantes produisent des métabolites secondaires, dont beaucoup ont une activité antifongique. Certains de ces composés sont constitutifs et existent dans les plantes saines. Certains composés phénoliques sont stockés dans des cellules végétales sous forme liée et inactive, mais sont activés

en réponse à des lésions tissulaires ou à une attaque d'agents pathogènes (War, Paulraj, Ahmad, Buhroo, Hussain, Ignacimuthu, et al., 2012). Des exemples bien connus comprennent les phénols et les glycosides phénoliques. Certains composés appartiennent à la classe des phytoalexines (par exemple, scopolétine, resvératrol). L'attaque de pathogènes, la température ou les UVC peuvent initier la synthèse de ces composés phénoliques.

Concernant à QTLs, (région du génome associée à un caractère quantitatif), des régions intéressantes ont été décelées dans le chromosome 1 chez Bakour et Bergeron, le chromosome 3 chez Bakour et dans le chromosome 4 chez Bakour et Bergeron, le chromosome 5 chez Bergeron et dans le chromosome 6 aussi chez Bergeron. Les QTLs les plus forts étaient ceux trouvés dans le chromosome 1 (évaluations visuelles à INRA). Ces régions sont des candidates potentielles à la résistance aux maladies. La prochaine étape consistera à saturer la région de ces QTLs avec des marqueurs SNPs (single-nucleotide polymorphism, c'est la variation d'une seule paire de bases du génome, entre deux individus d'une même espèce), afin de raccourcir ces régions et aussi afin de trouver des gènes candidats dans la même région. Il existe déjà des QTLs développés par plusieurs centres de recherche, comme l'INRA en France (Sharka, Lambert et al. 2007 ; pucerons, Lambert et al. 2011 ; moniliose, en cours de publication) par Agroscope en Suisse (*Xanthomonas*, Socquet-Juglard et al. 2012), par le CEBAS-CSIC en Espagne (précocité de la floraison, Campoy et al. 2011), ou d'autres instituts (exigences de froid hivernal, Olukolu et al. 2009 ; auto-fertilité, Vilanova et al. 2003).

L'objectif est de valider ces différents marqueurs liés aux QTLs dans différentes populations d'abricotier. Cela indiquera quels marqueurs pourraient être utilisés dans le screening systématique de la SAM dans le programme de sélection d'abricots.

Conclusions : Au moins deux composés phénoliques (acétophénone et scopoline) en lien avec l'infection à *Monilia laxa* ont été mis en évidence. L'acide chlorogénique n'a pas confirmé ses premiers résultats prometteurs, ce qui pourrait s'expliquer par l'élimination des fleurs lors des expérimentations 2018 et 2019. De nouveaux tests phénotypiques ont été développés et des QTLs ont été localisés dans des régions différentes de celles décelées par évaluation visuelle (travaux de l'INRA Avignon).

Perspectives : L'utilisation des deux composés phénoliques d'intérêts comme marqueurs biochimiques reste à valider. Les étroites collaborations avec l'INRA Avignon ont permis de densifier les marqueurs moléculaires sur les cartes génétiques et de mettre en commun des régions du génome complémentaires responsables de la tolérance à la moniliose. L'utilisation de marqueurs moléculaires pour une sélection reste à valider.

Bibliographie Axe A3

- Campoy JA, Ruiz D, Egea J, Rees J, Celson JM, Martínez-Gómez P (2011) Inheritance of flowering time in apricot (*Prunus armeniaca* L.) and analysis of linked quantitative trait loci (QTLs) using simple sequence repeat markers. *Plant Mol Biol Rep* 29:404–410.
- Christen D., Motry L. and Devènes G., 2012. Comparison of Three Different Evaluation Methods of *Monilinia laxa* Impact on Apricot Flowers. *Acta Hort.* 966, 143-148.
- Lambert P, Dicenta F, Rubio M, Audergon JM (2007) QTL analysis of resistance to sharka disease in the apricot (*Prunus armeniaca* L.) 'Polonais' × 'Stark Early Orange' F1 progeny. *Tree Genet Genomes* 3:299–309.
- Lambert P, Pascal T (2011) Mapping Rm2 gene conferring resistance to the green peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) in the peach cultivar "Rubira". *Tree Genet Genomes* 7:1057–1068.
- Lee, M.-H., and Bostock, R. M. 2006. Induction, Regulation, and Role in Pathogenesis of Appressoria in *Monilinia fructicola*. *Biochemistry and Cell Biology*. Vol. 96, No.10.
- Olukolu B, Trainin T, Fan S, Kole C, Bielenberg D, Reighard G, Abbott A, Holland D (2009) Genetic linkage mapping for molecular dissection of chilling requirement and budbreak in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Genome* 52:819–828.
- Socquet-Juglard D, Duffy B, Pothier JF, Christen D, Gessler C, Patocchi A (2013) Identification of a major QTL for *Xanthomonas arboricola*.
- Tamm L., Minder C.E. and Flickiger W., 1995. Phenological Analysis of Brown Rot Blossom Blight of Sweet Cherry Caused by *Monilinia laxa*. *American Phytopathological Society*, Vol. 85, No. 4.
- Vilanova S, Romero C, Abbott AG, Llácer G, Badenes ML (2003) An apricot F2 progeny linkage map based on SSR and AFLP markers, mapping PPV resistance and self-incompatibility traits. *Theor Appl Genet* 107:239–247.
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior*, 7(10), 1306-1320.

Mise en valeur des résultats

Les résultats du projet ont été présentés sous forme de posters lors d'une séance de restitution début juillet 2019. Une soixantaine de producteurs et conseillers étaient présents lors de cette manifestation. Ces posters ont aussi été exposés et commentés lors du « XVII International Symposium on Apricot Breeding and Culture » à Malatya en Turquie. Une centaine de chercheurs et conseillers internationaux étaient présents lors de cet événement.

Une présentation des variétés peu sensibles a été réalisée lors du salon professionnel international Tech&Bio à Valence en France.

Lors d'une prochaine rencontre des partenaires du projet en décembre 2019, les résultats finaux seront présentés.

Une première liste de variétés recommandées pour la culture biologique a été éditée en 2019, elle sera renouvelée en 2020.

Plusieurs articles portant sur le projet et ses résultats sont parus dans la presse verte en Suisse romande et en Suisse alémanique, sur le journal de BioSuisse et du FiBL Bioactualités et sur le site internet www.bioactualites.ch. Une page vouée à la culture de l'abricotier biologique a également été créé sur le site www.bioactualites.ch.

Une séance de clôture du projet est prévue pour début décembre 2019.

La publication d'au moins trois articles scientifiques est prévue. Les expérimentations en lien avec ces articles sont terminées, ils sont en phase d'analyse des résultats et d'écriture :

Article 1: "Organic substance against *Monilinia laxa* on apricot – in-vitro and on-farm experiments".

Article 2: "Identification of QTLs for *Monilinia laxa* resistance in apricot".

Article 3: "The role of phenolic phloem compounds in the resistance of apricot trees to Monilia".

Conclusions : Diverses divulgations orales et écrites ont été réalisées auprès de différents publics de praticiens et de chercheurs à l'échelle nationale et internationale (posters et présentations disponibles sur demande).

Perspectives : Des articles scientifiques sont en cours de rédaction.