

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE des SCIENCES AGRONOMIQUES de
BORDEAUX AQUITAINE

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex (1)

M E M O I R E de fin d'études
pour l'obtention du titre
d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro

EXPLORATION DES CARACTÈRES AGRONOMIQUES ET PÉDOLOGIQUES POUR LE CHOIX DU PORTE -GREFFE À L'INSTALLATION DE VERGERS DE FRUITS À NOYAUX (PRUNUS SPP.)

Collarini Alessandro



Spécialisation : AGROGER

Étude réalisée à : Centre GAFL,
INRA Avignon

Domaine Saint Maurice
Allée des Chênes – CS 60094
84143 Montfavet Cedex
FRANCE



MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE des SCIENCES AGRONOMIQUES de
BORDEAUX AQUITAINE

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex (1)

M E M O I R E de fin d'études

pour l'obtention du titre

d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro

EXPLORATION DES CARACTERES AGRONOMIQUES
ET PEDOLOGIQUES POUR LE CHOIX DU
PORTE -GREFFE A L'INSTALLATION DE
VERGERS DE FRUITS A NOYAUX (PRUNUS SPP.)

Collarini Alessandro

Spécialisation : AGROGER

Étude réalisée à : Centre GAFL,
INRA Avignon

Domaine Saint Maurice
Allée des Chênes – CS 60094
84143 Montfavet Cedex
FRANCE

Maitre de stage : DUVAL Henri
Ingénieur de recherche INRA d'Avignon
Centre GAFL, Equipe DADI

Tuteur école : NESME Thomas
Professeur à Bordeaux Science Agro

Remerciements

Je remercie avant tout Henri Duval, ingénieur de recherche et encadrant de ce stage pour m'avoir permis de découvrir le monde des porte-greffes et la culture des fruits à noyaux. Je le remercie tout particulièrement pour sa gentillesse, ses conseils et les nombreuses traversées des paysages du Sud-Est français au cours de nos enquêtes.

Je remercie Thomas Nesme, professeur à Bordeaux Science Agro, pour son encadrement et ses conseils lors des moments plus compliqués de ce stage.

Je remercie également Joël Chadoeuf, voisin de bureau indispensable, pour sa bonne humeur et ses conseils en statistiques.

Je remercie l'ensemble des collègues de l'unité GAFL pour leur accueil chaleureux et la bonne ambiance et tout particulièrement les autres stagiaires pour leur soutien, les pauses café toujours trop courtes et le temps passé ensemble qui ont fait de ce stage bien plus que juste une expérience professionnelle.

Je remercie le GRCETA pour sa participation au cours de ce stage. Notamment Pascal Borioli, Jean-Philippe Rouvier et Christophe Mouiren pour leurs conseils lors de la préparation des enquêtes et Sylvie Gentilucci pour son aide précieuse pour naviguer à travers les étagères de documents et la base donnée.

Je remercie le CTIFL et en particulier Claire Crestin pour sa participation et son éclairage sur les expérimentations en porte-greffe.

Finalement, je souhaite remercier ma famille et mes amis, qu'ils soient proche ou loin, pour m'avoir soutenu, même à distance.

A vous tous, Merci beaucoup

Contexte du stage

Ce travail de stage de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome a été effectué au sein de l'équipe Diversité, Adaptation, Déterminants et Intégration (DADI), de l'unité Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes (GAFL) de l'INRA d'Avignon. L'unité GAFL est notamment chargée de l'étude et de l'amélioration des espèces végétales méditerranéennes selon quatre thèmes : (i) la diversité des espèces et le processus de domestication, (ii) les bases génétiques et moléculaires de la qualité des fruits, (iii) la caractérisation fonctionnelle des interactions plantes/pathogènes et la gestion durable des résistances, (iv) l'intégration de la résistance aux maladies et de la qualité des fruits dans des innovations variétales.



Elle abrite entre autres les collections d'abricotiers, amandiers et pêchers du Centre de Ressources Biologiques (CRB) Prunus et les ressources génétiques des Solanacées.

L'unité participe à deux programmes d'amélioration variétale : Le programme CEP innovation qui inclut la sélection de variétés pouvant être éditées et le programme Innovation Variétale et Diversification 3 (IVD3), focalisé sur le pré-breeding. Ces programmes ont pour objectif la création de variétés et porte-greffes de qualité, régulièrement productifs et adaptés à des vergers bas intrants.



Ce stage a été financé par le GIS Fruit, un consortium regroupant de nombreux acteurs de la recherche et de l'agronomie française et qui vise à contribuer à une innovation orientée « développement durable » par la production de connaissances scientifiques et opérationnelles dans le contexte de la production fruitière.



Table des matières

I. Introduction et contexte du stage	1
I.1. Le genre <i>Prunus</i>	2
I.1.1. La production fruitière.....	2
I.1.2. Diversité et richesse génétique	3
I.1.3. Origine et dispersion	3
I.2. Le Greffage	5
I.2.1. Utilité agronomique.....	5
I.2.2. Principe biologique.....	6
I.2.3. Pratiques courantes.....	6
I.3. Utilité des porte-greffes et organisation de la filière	8
I.3.1. La diversité : un atout majeur.....	8
I.3.2. Structuration de la filière et des pépinières	9
I.3.3. Un désintéressement progressif de la recherche ?	10
II. État de l’art des thématiques abordées	11
II.1. La Compatibilité au greffage	11
II.1.1. Les différents types d’incompatibilités	11
II.1.2. Le Rôle des métabolites et hormones.....	12
II.2. La tolérance au calcaire	14
II.3. La tolérance à l’asphyxie racinaire	15
II.4. La tolérance à la bactériose (Chancre bactérien)	16
II.5. La résistance aux nématodes	18
II.6. La résistance au pourridié	19
II.7. Problématiques et objectifs du stage	21

III. Matériel et Méthodes	23
III.1. Récolte des données et méta-analyse.....	23
III.2. L'Enquête de terrain.....	25
IV. Résultats et discussion	27
IV.1. Résumé des enquêtes	27
IV.2. Résultats de la synthèse bibliographique et des enquêtes	29
IV.2.1. Compatibilité au greffage	29
IV.2.2. Tolérance au calcaire	30
IV.2.3. Tolérance à l'asphyxie racinaire.....	32
IV.2.4. La Bactériose (Chancre bactérien)	34
IV.2.5. Sensibilité aux nématodes	37
IV.2.6. Tolérance au pourridié.....	38
IV.3. Discussion.....	39
IV.3.1. Limites de l'étude des propriétés agronomiques des porte-greffes.....	39
IV.3.2. L'apport des enquêtes auprès des agriculteurs	40
V. Conclusion et Perspectives.....	43

Liste des Figures :

Figure 1 : Production de fruits à noyau en France – 2016	2
Figure 2 : Publications correspondantes aux mots clés "Prunus Rootstock" dans la base Web of Science les 30 dernières années	10
Figure 3 : Cycle biologique de l'armillaire	19

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Nombre d'essais et de publications retenus pour les analyses.....	23
Tableau 2 : Variables explicatives représentées dans la littérature par thématique	24
Tableau 3 : Conversion des notations bactériose des publications à la mise en classe utilisée pour la synthèse des données	24
Tableau 4 : Localisation des producteurs enquêtés	25
Tableau 5 : Porte-greffes utilisés par les agriculteurs enquêtés	27
Tableau 6 : Problématiques liées à l'utilisation du porte-greffe impactant les vergers enquêtés	28
Tableau 7 : Compatibilité au greffage des différentes espèces de fruits à noyau	29
Tableau 8 : Tolérance au calcaire des porte-greffes dans des essais en hydroponie et en champ	31
Tableau 9 : Temps de survie à la submersion du système racinaire de différents porte-greffes	33
Tableau 10 : Taux de photosynthèse de différents porte-greffes en condition d'asphyxie racinaire	33
Tableau 11 : Taux de survie de différents porte-greffes du cerisier en condition d'asphyxie racinaire	34
Tableau 12 : Tolérance à la bactériose sur différents types de sols	36
Tableau 13 : Sensibilité aux nématodes de différents porte-greffes	37
Tableau 14 : Tolérance au pourridié de différents porte-greffes.....	38
Tableau 15 : Pratiques agricoles visant à compenser les faiblesses des porte-greffes chez les agriculteurs enquêtés.	42
Tableau 16 : Essais de caractérisation des limites des porte-greffes.....	44

Liste des Annexes :

Annexe 1 : Genre Prunus suivant la classification de Rehder.....	i
Annexe 2 : Parenté des différents porte-greffes	ii
Annexe 3 : Répartition des porte-greffes plantés par type de production	iii
Annexe 4 : Porte-greffes utilisables en France rencontrés dans la littérature	iv
Annexe 5 : Compatibilité de différents porte-greffes avec l'abricotier	v
Annexe 6 : Compatibilité de différents porte-greffes avec l'amandier.....	v
Annexe 7 : Compatibilité de différents porte-greffes avec le prunier	vi
Annexe 8 : Compatibilité de différents porte-greffes avec le cerisier.....	vi
Annexe 9 : Compatibilité de différents porte-greffes avec le pêcher.....	vii
Annexe 10: Image satellite des parcelles avec bactériose d'un exploitant enquêté.....	viii
Annexe 11 : Tolérance à la bactériose en conditions peu sensibilisantes	ix
Annexe 12 : Tolérance à la bactériose pour différentes hauteurs de greffage	x
Annexe 13 : Mortalité due au pourridié de différents porte-greffes sur différents sols	xi

Liste des Abréviations :

CRB	-	Centre Ressources Biologiques
IVD	-	Innovation Variétale et Diversification
GIS	-	Groupement d'Intérêt Scientifique
COV	-	Certificat d'Obtenteur de Variété
GRCETA	-	Groupement de Recherche sur les Cultures et Techniques Agricoles
AOP	-	Association d'Organisation de Producteurs
WoS	-	Web of Science
CTIFL	-	Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
SEFRA	-	Station d'Expérimentation Fruits Rhône-Alpes

Glossaire :

Stratification : Procédé permettant de lever la dormance de graine et noyaux en simulant les conditions hivernales

Porte-greffe de semis : Porte-greffe issu d'une semence

Porte-greffe végétatif : Porte-greffe issu d'une multiplication végétative à partir d'une partie de la plante mère.

Greffon : Partie d'une plante (bouton, rameau, bourgeon) que l'on insère sur une autre plante (porte-greffe).

Glaçogène : Élément pouvant être à l'origine de ou facilitant la formation de la glace

I. Introduction et contexte du stage

A la production, la filière des fruits représente un chiffre d'affaires de 3,1 milliards € en France. Au sein de la filière, les fruits à noyaux, pêches et nectarines, prunes, abricots, cerises et amandes, représentent 23% du volume de fruits produits (FranceAgriMer, 2019).

Cette production ne serait aujourd'hui pas possible sans l'utilisation de porte-greffes. Le porte-greffe permet au verger de s'adapter aux conditions pédoclimatiques et aux facteurs biotiques de son sol. Il permet également d'influencer la hauteur des arbres, la précocité et la qualité des fruits. Son choix est donc essentiel pour une exploitation et le greffage est une pratique courante voir indispensable dans les vergers modernes.

Or, l'éclatement des données concernant les caractéristiques des porte-greffes et les interactions complexes entre ces derniers et les systèmes de production rendent ce choix difficile. Ce travail aborde différents aspects sur la tolérance aux stress abiotiques et biotiques des porte-greffes afin de proposer une information synthétisée et guider le choix du porte-greffe dans les nouveaux vergers de fruits à noyau.

Dans un premier temps, ce rapport abordera la production problématique des fruits à noyaux de manière générale en s'intéressant particulièrement à la diversité génétique du groupe *Prunus* et en détaillant les objectifs du stage lui étant associé. Les thématiques abordées sont ensuite définies plus précisément avant la présentation de la méthode suivie pour la récolte et le traitement des données. Finalement, les résultats synthétisés des caractéristiques des différents porte-greffes sont présentés et commentés.

I.1. Le genre *Prunus*

I.1.1. La production fruitière

D'après la production moyenne de fruits à noyau en Europe de 2012 à 2016 la France est le 3^{ème} producteur d'abricots (149 kt), derrière l'Italie (225 kt) et l'Espagne (155 kt) ; le 4^{ème} producteur de pêches et nectarines (0,2 Mt), loin derrière l'Espagne (1,5 Mt), l'Italie (1,4 Mt) et la Grèce (0,7 Mt), le 4^{ème} producteur de Prunes (186 kt) derrière la Roumanie (477 kt), l'Italie (208 kt) et l'Espagne (205 kt) et le 8^{ème} producteur de cerises (37 kt) derrière la Pologne (230 kt), l'Italie (111 kt) et l'Espagne (110 kt) notamment (FranceAgriMer, 2016).

En 2016 la surface dédiée à la production de fruits à noyau (hors amandes) occupait 44.400 ha pour 570.000 t de fruits produits (Figure 1). Pour comparaison, la production de pommes de table, le fruit le plus cultivé en France, occupait 36.500 ha pour une production de 1.500.000 t. Dans l'ensemble les surfaces cultivées ont diminué de 2011 à 2016, en particulier pour la pêche (-13,8 %) et la prune (-11 %).

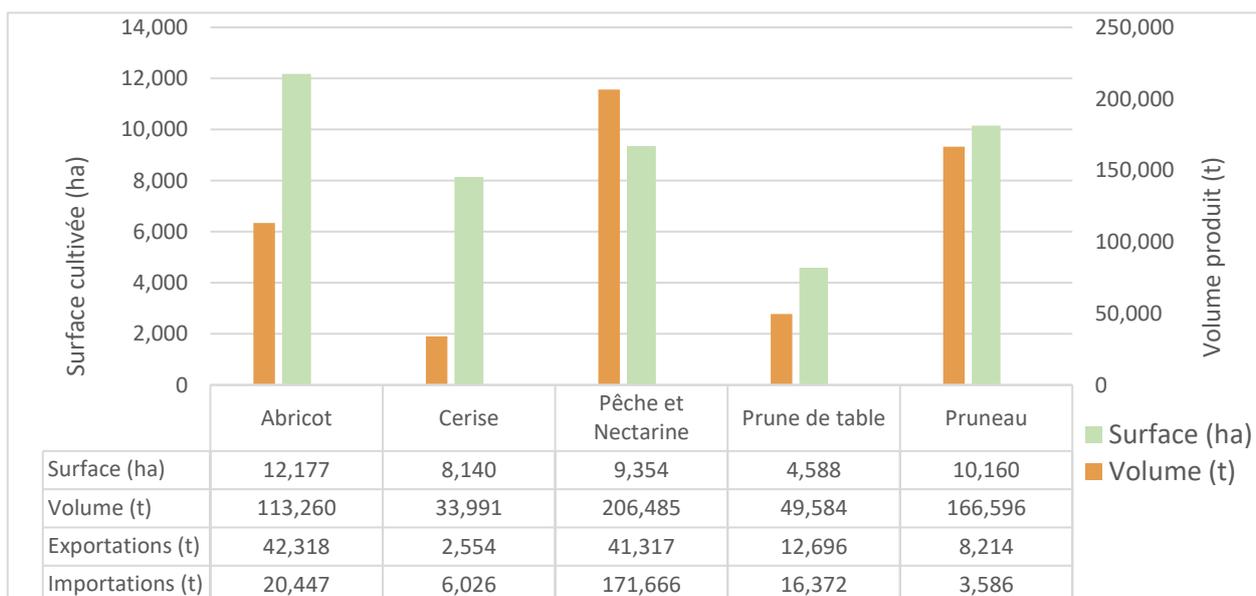


Figure 1 : Production de fruits à noyau en France – 2016

D'après FranceAgriMer. Chiffres clés 2016: Fruits et Légumes. 2016

La balance commerciale de la France est positive pour l'abricot et le pruneau mais le pays importe de la cerise, beaucoup de la pêche et de la prune de table. Ces montants sont néanmoins relativement faibles en comparaison à la production totale, à l'exception peut-être de l'abricot dont la balance commerciale représente 20% du volume produit. Dans l'ensemble la production française est donc majoritairement destinée à la consommation française et les exploitations agricoles doivent répondre aux demandes de qualité des consommateurs français.

I.1.2. Diversité et richesse génétique

Différentes classifications du genre *Prunus* se sont succédées et ont été revues par WEN et al. (2008) et la plus communément utilisée est aujourd'hui la classification de Rehder (1940).

Le genre *Prunus* y est divisé en 5 sous-genres (Annexe 1) dont 3 ont un grand intérêt agronomique : Le sous-genre des *Prunophora*, qui regroupe notamment les pruniers et les abricotiers, le sous-genre des *Amygdalus*, regroupant les pêchers et les amandiers et le sous-genre des *Cerasus* comprenant les cerisiers. Les sous-genres sont ensuite divisés en différentes sections. Si dans l'ensemble peu d'espèces sont cultivées, de nombreuses espèces sauvages ont contribué à l'amélioration variétale des fruits au cours de l'histoire et cette diversité représente aujourd'hui un grand potentiel pour l'amélioration variétale tout comme pour l'amélioration des porte-greffes.

Tous les sous-genres n'ont pas la même proximité génétique. Parmi les sous-genres à intérêt agronomique les *Cerasus* sont notamment plus éloignés des autres *Prunus* cultivés. Le sous-genre *Prunophora* occupe une position intéressante car il est génétiquement proche à la fois des *Cerasus* et des *Amygdalus*. La proximité génétique étant un facteur majeur pour la compatibilité au greffage, le succès d'une greffe étant plus probable si les individus greffés sont taxonomiquement proches (Mudge et al., 2009), les pruniers et les hybrides de pruniers peuvent potentiellement être utilisés en tant que porte-greffes pour l'ensemble des fruits à noyaux (Watkins, 1976 ; Chin et al., 2014 ; Potter, 2011).

I.1.3. Origine et dispersion

Le genre *Prunus* appartient à la famille des plantes à fleurs Rosaceae. Cette famille, qui couvre tous les continents, comprend plusieurs genres d'importance agronomique, dont *Malus* (pomme), *Pyrus* (poire), *Rubus* (mures, framboises), *Mespilus* (nèfles), *Cydonia* (cognassier) et *Prunus* (Christenhusz, Byng, 2016).

Parmi les rosacées le genre *Prunus*, le genre des fruits à noyau, tient un rôle économique et culturel important. Les *Prunus* sont des arbres ou buissons à feuilles alternantes simples caduques ou pérennes. Les fleurs, à 5 pétales de couleur blanche, rose ou rouge, se présentent seules ou en amas. Les fruits sont des drupes de tailles et formes très variées avec un mésocarpe charnu et un endocarpe dur et chez beaucoup d'espèces les amandes dans le noyau sont toxiques (Potter, 2012).

Le genre englobe en plus de nombreuses espèces à fruits comestibles, telles que les abricots, les amandes, les cerises, les pêches et les prunes, également des espèces ornementales telles que différents cerisiers et pruniers décoratifs, le laurier-cerise, très courant dans les jardins, ou bien l'amandier de Chine.

Si toutes les espèces de *Prunus* sont cultivées en Europe et en France au 21^{ème} siècle leurs origines sont variées et parfois difficiles à situer. Les fruits à noyaux étant largement cultivés depuis l'antiquité, leur propagation est intimement liée au développement des sociétés humaines et des échanges entre les peuples au cours de l'histoire (Potter, 2012).

Le pêcher est originaire d'Asie centrale et de Chine. S'il est difficile de déterminer le centre exact de la domestication de la pêche en Chine des chansons et des mythes évoquent déjà le fruit au premier millénaire av. J.-C.. et des fouilles archéologiques situent sa domestication autour de 3000 av. J.-C. Elle est propagée en Perse en 200 av. J.-C et en Italie puis en Europe autour de 100 apr. J.-C. (Hedrick, 1917 ; Das et al., 2011 ; Faust, Timon, 2011).

L'Asie centrale serait le centre d'origine de l'amande qui s'est notamment propagée autour de la méditerranée. On en retrouve des traces en Grèce sur des dessins de poteries en 1700 av. J.-C.. On en retrouve également de nombreuses traces en Italie et au Moyen Orient au cours de l'antiquité. Elle n'est introduite que plus tard vers l'Asie de l'est dont le climat plus humide est moins adapté à la culture (Watkins, 1976 ; Gradziel, 2011 ; Das et al., 2011).

L'abricotier serait originaire de l'Asie Centrale et du Caucase, tout comme la pêche des traces témoignent de sa présence en Chine de l'Ouest autour de 3000 av. J.-C.. Il est propagé dans le Caucase et l'actuelle Turquie. Son arrivée en Europe serait plus récente, autour de 0 av. J.-C.. et 400 apr. J.-C. en France (Das et al., 2011 ; Faust, Timon, 2011).

Le cerisier serait originaire d'Europe de l'Est et d'Asie de l'Ouest. On retrouve des traces de cerises acides autour de la mer caspienne alors que l'aire d'origine des cerises douces recouvre l'Europe de l'est et la Russie. On retrouve des traces de cerise dans ces régions autour de 4000 à 5000 av. J.-C. (Watkins, 1976 ; Das et al., 2011 ; Faust, Timon, 2011).

Le prunier englobe plusieurs espèces majeures. La prune domestique ou européenne est originaire d'Europe et de l'est et des Balkans. Il s'agit d'une culture ancienne en France et on en retrouve des traces en Europe autour du 8^{ème} siècle av. J.-C.. Le prunier japonais est originaire de Chine alors que le prunier américain est endémique de l'Amérique (Watkins, 1976 ; Das et al., 2011 ; Faust, Timon, 2011).

A l'exception des prunes d'origine américaine la plupart des fruits à noyau cultivés a été introduite sur le nouveau continent par les colons au cours du 15^{ème} siècle (Faust, Timon, 2011)

I.2. Le Greffage

I.2.1. Utilité agronomique

Pina et Errea (2005) définissent la greffe comme la fusion naturelle ou délibérée de deux parties de plantes de manière à ce qu'une continuité vasculaire s'établisse entre elle. Ce phénomène peut apparaître naturellement lorsque des racines ou plus rarement des branches restent en contact assez longtemps pour fusionner (Mudge et al., 2009).

La greffe des plants à fruits est pratiquée depuis plus de 2000 ans. Historiquement la pratique servait à propager des arbres fruitiers aux propriétés intéressantes. Les semis de noyaux ou pépins donnant des plants hétérogènes et les boutures ayant souvent un enracinement difficile, la greffe permettait de multiplier les arbres dans les vergers. Actuellement la grande majorité des arbres fruitiers est greffée. (Webster, 1995 ; 2001).

La greffe permet de bénéficier des caractéristiques de deux arbres différents afin de bénéficier à la fois des qualités agronomiques et du fruit du scion et des capacités d'adaptation et de résistance aux maladies telluriques du porte-greffe (Poëssel et al., 2000).

Le porte-greffe permet de contrôler la vigueur des arbres et par extension la densité des vergers, la résistance ou la tolérance à des stress abiotiques tels que la sécheresse, l'asphyxie racinaire, la chlorose induite en fer, la résistance au froid, et la résistance à certains stress biotiques notamment en replantations tels que le champignon du pourridié ou les nématodes. Le porte-greffe peut également influencer sur les rendements, la qualité des fruits, la précocité de mise à fruit et les besoins en froid du scion (Gainza, Opazo, Muñoz, 2015 ; Olfa Zarrouk et al., 2006 ; Poëssel et al., 2000).

I.2.2. Principe biologique

L'impact du porte-greffe sur le métabolisme de la plante et les interactions complexes entre les porte-greffes et les scions restent des domaines peu compris (Gainza, Opazo, Muñoz, 2015).

Pour que la greffe soit viable, le porte-greffe et le greffon doivent s'unir intimement et former un système vasculaire fonctionnel permettant les transports d'eau, de nutriments et de composés organiques (Martínez-Ballesta et al., 2010 ; Gregory et al., 2013 ; Koepke, Dhingra, 2013). Un cal de jonction se forme après la greffe par les cellules à l'interface greffon/porte-greffe. Des cellules différenciées apparaissent au sein du cal de jonction pour former des tubes criblés et assurer la première jonction entre les deux individus. (Ermel et al., 1993 ; 1997).

Dans un deuxième temps les cambiums des individus d'origine vont progressivement former un nouveau cambium. Cette jonction s'effectue généralement 20 jours après la greffe et assure le flux de sève entre le porte-greffe et le scion. A l'extérieur une couche de liège se forme pour recouvrir progressivement la cicatrice de greffage (Poëssel et al., 2000).

I.2.3. Pratiques courantes

Actuellement le greffage est toujours utilisé comme moyen de multiplier les arbres fruitiers de manière végétative, et donc avoir des plants et des vergers homogènes, notamment lorsque le bouturage est difficile comme c'est le cas chez l'abricotier (Mudge et al., 2009 ; Debbagh, 2016).

Différentes méthodes existent pour multiplier les porte-greffes. Les porte-greffes de semis sont issus directement d'un noyau. Les noyaux sont stratifiés, en les plaçant dans du sable humide en chambre froide pendant 3 mois pour permettre la germination, puis semés. Cette méthode de propagation présente l'avantage d'être peu coûteuse mais les plants obtenus ne devant pas être hétérogènes cette technique est surtout applicable aux variétés autofertiles telles que les semis de pêchers ou abricotiers. Les semis de myrobolan (*Prunus cerasifera*) sont aussi utilisés mais ils sont plus hétérogènes.

Les porte-greffes végétatifs, également appelés porte-greffes clonaux, sont des porte-greffes issus d'une multiplication végétative, donc asexuée, à partir de cellules ou organes de la plante mère. Ces porte-greffes présentent l'avantage d'être homogènes. Les plants peuvent être produits par micro-propagation *in vitro* d'une partie de la plante mère, généralement un bourgeon, traitée avec des phytohormones de croissance comme l'auxine ou l'acide indolebutyrique et placée dans un milieu liquide ou de l'agar et enrichie en nutriments minéraux, sucres et vitamines. Un seul bourgeon permet de produire plusieurs milliers de porte-greffes. Les plants ainsi obtenus sont des clones homogènes. Cette méthode de production reste aujourd'hui plus onéreuse mais se démocratise dans les pépinières. Elle s'utilise notamment pour les hybrides et les variétés autostériles (Garner, 2013 ; Webster, 1995).

Le bouturage de porte-greffe *Prunus* est également possible par bouturage ligneux, semi-ligneux ou herbacé. Les boutures ligneuses sont prélevées après la chute des feuilles et par la suite trempées dans une solution d'acide indole butylique et plantées sous abri et humidifiées jusqu'à l'apparition des premières racines (Webster, 1995 ; Bernhard, Claverie, 1986). Les bouturages herbacés sont effectués au printemps sur du bois non aoûté et sous mist.

La greffe peut se faire la majorité de l'année mais avec des techniques différentes. La greffe en écusson, très utilisée pour les *Prunus*, consiste à insérer un bourgeon prélevé sur une baguette de la variété dans une entaille en T faite dans l'écorce du porte-greffe. Cette greffe peut se faire en été avec un œil dormant mais aussi au printemps avec un bourgeon poussant qui a été stocké au froid et a satisfait ses besoins en froid. Dans ce cas, le bourgeon se développera quelques semaines après greffage alors qu'en été avec un œil dormant le bourgeon se développera l'année suivante en mars. La greffe en chip, une variante de la greffe en écusson ou l'on greffe un copeau avec un bourgeon plutôt qu'une fine partie d'écorce, est également une pratique courante pour la greffe des *Prunus*.

La greffe par rameau détaché consiste à greffer directement un rameau coupé en dessous d'un œil dormant sur le porte-greffe décapité. Elle s'effectue en hiver et début de printemps. Porte-greffe et scion doivent être de taille comparable et il faut s'assurer d'une bonne mise en contact des cambiums des deux individus. Généralement les plants sont coupés en biais afin d'augmenter la surface de contact. Néanmoins beaucoup de méthodes et variantes existent (Garner, 2013).

Après greffage la plaie est protégée avec du mastic et le matériel végétal est maintenu en place avec du raphia ou de l'élastique (Garner, 2013).

I.3. Utilité des porte-greffes et organisation de la filière

I.3.1. La diversité : un atout majeur

L'utilisation de porte-greffes d'espèces différentes (Annexe 2) permet de bénéficier des caractéristiques intéressantes propres à chaque espèce. Ainsi les porte-greffes d'abricotier sont utilisés pour la culture d'abricots notamment pour leur adaptation aux sols calcaires et leur résistance aux nématodes. Ils confèrent également une bonne vigueur au greffon. Les porte-greffes de pêcher sont utilisés principalement pour la culture d'abricots, amandes et pêches. Ils sont bien adaptés aux sols légers et drainants, à la sécheresse et confèrent une légère résistance à la bactériose (Reighard, Loreti, 2008). Les porte-greffes de pruniers sont utilisés dans l'ensemble des productions de fruits à noyau, principalement pour leur bonne adaptation aux sols lourds, leur tolérance à l'asphyxie et le calcaire et leur résistance à certains nématodes. Finalement le cerisier est couramment greffé sur cerisier acide et cerisier mahaleb afin d'en diminuer la vigueur (Poëssel et al., 2000).

Néanmoins si une grande diversité de porte-greffes existe un nombre restreint est utilisé de manière majoritaire dans les vergers. Ainsi pour la production d'abricots la majorité des arbres est greffée sur les pêchers Montclar et GF305. En production de pêches, en plus de Montclar® et GF305 on retrouve également le pêcher x davidania Cadaman® et le pêcher x amandier GF677 (Loreti, Massai, 2006 ; Rubio-Cabetas, 2012).

Montclar et GF677 ont la particularité d'être des porte-greffes de prospection, donc sélectionnés en dehors de programmes d'amélioration. GF677 est un hybride naturel observé avant la seconde guerre mondiale et diffusé à partir de la fin des années 60. Les porte-greffes les plus utilisés actuellement sont donc également les plus anciens malgré un catalogue qui s'agrandit d'année en année (Grasselly, Dirlewanger, 2016).

On observe les mêmes tendances en Italie et en Espagne où GF677 représente 69% et 49% respectivement des porte-greffes pour pêcher utilisés, suivi par Montclar® qui représente 20% des porte-greffes pour pêcher en Italie et 18% en Espagne (Fideghelli, 2003 ; Rubio-Cabetas et al., 2005). Ces tendances sont également observables en France, entre autres pour les agriculteurs membres du GRCETA de Basse-Durance et pour les agriculteurs de l'Association d'Organisation de Producteurs (AOP) Pêches et Abricots de France (Annexe 3).

I.3.2. Structuration de la filière et des pépinières

A la différence de l'innovation pour les variétés de greffons où il existe un ensemble d'obteneurs officiant dans l'amélioration variétale, la sélection des porte-greffes *Prunus* en France est le domaine de l'INRA. Les porte-greffes intéressants pour la production sont ensuite évalués par le CTIFL dans le cadre de la charte d'évaluation des variétés fruitières et les porte-greffes sont protégés par un Certificat d'Obtenteur de Variétés (COV), édités et commercialisés par CEP Innovation.

Les quelques pépinières multiplicatrices de porte-greffes vendent leur matériel à d'autres pépiniéristes producteurs de scions. La multiplication et la vente des scions auprès des agriculteurs est assurée par les pépiniéristes. Le contrôle sanitaire des plants des pépinières agréées est assurée par le CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel Fruits et Légumes). Les certifications UE et INFEL® visent notamment à garantir la propagation de plants sains et absents de pathogènes, notamment de virus. En 2017 le CTIFL ne recensait que 3 pépinières possédant des vergers de semences certifiées pour porte-greffe, uniquement 3 pépinières qui multiplient des porte-greffes certifiés par bouturage et 9 pépinières qui les multipliait par marcottage. La majorité des pépinières achètent des semences ou des boutures de porte-greffes et revendent ensuite des plants greffés.

1.3.3. Un désintéressement progressif de la recherche ?

La recherche a longtemps été un moteur important à la fois pour la sélection de nouveaux porte-greffes et une meilleure compréhension de leur fonctionnement. La France est depuis les années 90 un des acteurs majeurs de la recherche autour des porte-greffes. Une recherche dans la base Web of Science (WoS) pour les mots clés « Prunus Rootstock » indique que la France est le 4^{ème} pays comptant le plus de publications, 131, après l'Italie avec 190 publications, l'Espagne avec 275 et les Etats-Unis avec 422.

Néanmoins on observe dans l'ensemble des pays, et tout particulièrement en France et en Italie, une diminution des travaux portant sur les porte-greffes dans les 10 dernières années (Figure 2).

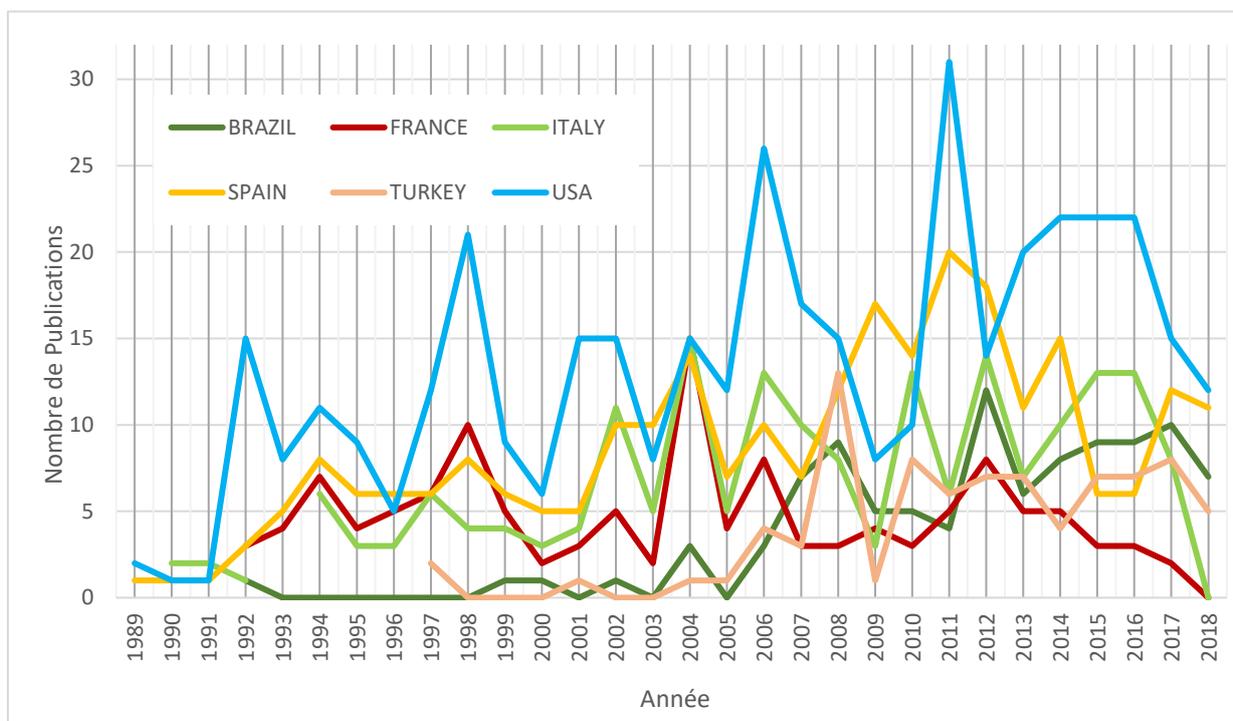


Figure 2 : Publications correspondantes aux mots clés "Prunus Rootstock" dans la base Web of Science les 30 dernières années

Il est difficile de prévoir si cette tendance va se confirmer dans les années suivantes ou si les sujets de recherche concernant les porte-greffes des fruitiers à noyaux vont continuer de stagner mais il apparaît que les porte-greffes ne sont pas un sujet de recherche prioritaire en arboriculture aujourd'hui. Pour comparaison une recherche avec le mot clé « abricot » donne plus de 2800 résultats pour les catégories Horticulture et Agronomie sur la base WoS, dont 225 pour la France, soit presque 100 de plus que l'ensemble des publications sur les porte-greffes toutes variétés de fruits à noyau confondues.

II. État de l'art des thématiques abordées

Les différentes défis auxquels les porte-greffes répondent ont été hiérarchisées dans la littérature internationale (Reighard, Loreti, 2008 ; Rubio-Cabetas, 2012 ; Petri et al., 2018 ; Beckman, Lang, 2003 ; Rubio Cabetas, 2016). Quoique les classements varient selon les auteurs, l'époque et les cultures abordées, plusieurs thématiques représentant un enjeu pour la production de fruits à noyau dans la Sud-Est de la France sont développées. Parmi celles-ci, ce rapport traite notamment de la compatibilité au greffage, de la tolérance au calcaire et à l'asphyxie, de la résistance à la bactériose, aux nématodes et au pourridié des porte-greffes communément utilisés en France.

II.1. La Compatibilité au greffage

II.1.1. Les différents types d'incompatibilités

Une des interactions les plus importantes entre le porte-greffe et le scion est la compatibilité car elle limite l'utilisation de porte-greffes et de greffons d'espèces différentes. L'incompatibilité au greffage touche de manière plus importante les abricotiers, les amandiers et les cerisiers que les pêchers et pruniers. De surcroît la tendance actuelle de création d'hybrides interspécifiques tend à accroître les futurs problèmes d'incompatibilités dans la mesure où la compatibilité d'un génotype plus complexe est plus difficile à prédire (Beckman, Lang, 2003). Deux types d'incompatibilités sont distinguées, l'incompatibilité de greffe localisée et l'incompatibilité de greffe transloquée (Herrero, 1951). A ces incompatibilités directes s'ajoutent les incompatibilités induites d'origine virale (Poëssel et al., 2000).

Certains virus comme le virus des tâches annulaires nécrotiques des *Prunus* ou la dégénérescence du prunier peuvent se transmettre lors de la greffe lorsque l'un des plants est infecté. Ces virus induisent des effets similaires à l'incompatibilité aboutissant généralement à la mort de l'arbre. Ces incompatibilités induites sont souvent spécifiques à une combinaison greffon/porte-greffe (Poëssel et al., 2000 ; Marénaud, 1968). Le contrôle sanitaire et la certification des plants en pépinière ont fortement réduit l'impact de ces virus en France.

L'incompatibilité de type localisée, parfois appelée incompatibilité mécanique, est due à des altérations biochimiques au niveau des cellules proches du point d'union. Cet effet n'est pas immédiat et les symptômes, des irrégularités anatomiques à l'interface du porte-greffe et du scion, apparaissent entre deux et dix ans après greffage.

Une désorganisation au niveau des tissus de l'union affaiblit l'arbre, réduisant sa croissance et dans les cas les plus graves on observe une rupture du point de greffe. L'incompatibilité apparaît à la formation du neo-cambium, qui se forme tardivement lorsque la compatibilité est mauvaise, et dont la faible activité induit la formation d'une couche de bois trop mince.

Ce type d'incompatibilité est observé notamment chez les abricotiers et plus rarement sur les greffes de pêcher/prunier. Le greffage intermédiaire avec une variété compatible à la fois avec le porte-greffe et le greffon permet la formation d'une greffe saine en évitant la mise en contact des tissus incompatibles. (Salesses, Bonnet, 1992 ; Poëssel et al., 2000 ; Feucht, Treutter, 1991 ; Duquesne, 1969).

A l'inverse, les cas d'incompatibilité de type transloquée ou incompatibilité physiologique (Herrero, 1951) sont visibles dès la première année. Des altérations biochimiques et fonctionnelles au niveau du point de greffe induisent un blocage du métabolisme, notamment du transfert de carbone vers les racines, une accumulation d'amidon au-dessus du point de jonction greffon/porte-greffe et une diminution de l'absorption d'azote. Ces dérèglements causent l'arrêt végétatif de la plante, la décoloration des feuilles et des défoliations précoces. L'accumulation de prunasine cause la nécrose des tissus vasculaires et le dépérissement de l'arbre. Ce type d'incompatibilité est observé sur certains greffages pêcher/prunier et cerisier doux/cerisier acide incompatibles. (Moing, Gaudillère, 1992 ; Moing et al., 1990 ; Moing, Salesses, 1988 ; Salesses, Bonnet, 1992 ; Feucht et al., 1988).

II.1.2. Le Rôle des métabolites et hormones

Yeoman (1984) définit la compatibilité comme un système de reconnaissance entre les membranes plasmiques ; les molécules alors émises permettent la formation d'un complexe dont l'activité enzymatique initie le développement de la greffe. Néanmoins, malgré l'importance de l'incompatibilité pour la production fruitière les mécanismes mis en jeu lors de la greffe sont encore mal compris (Gainza, Opazo, Muñoz, 2015 ; Olfar Zarrouk et al., 2006).

Parmi les molécules intervenant lors de la greffe les phénols jouent un rôle majeur (Haslam, Lilley, 1986). Des phénols interviennent dans la réponse aux blessures et au stress (Leonardi, Romano, 2004) et sont produits de manière importante pendant la greffe (Tiedemann, 1989 ; Kueger et al., 2012 ; Errea et al., 1994). En cas d'incompatibilité, tout particulièrement entre individus d'espèces différentes, ces composés provoquent des dysfonctionnements métaboliques (Feucht, Treutter, 1991 ; Fiehn et al., 2008). Harborne et Roberts (1994) décrivent des dégâts au niveau de la membrane cellulaire sous l'effet de flavonoïdes.

Les phénols impactent également la division cellulaire (Errea et al., 1992 ; Elstner et al., 1994) et inhibent la lignification (Tiedemann, 1989 ; Elstner et al., 1994). Les phytohormones interviennent également dans la compatibilité au greffage. L'auxine intervient dans la différenciation des tissus vasculaires (Aloni et al., 2010 ; Aloni, 2010) et de manière plus large dans la structuration de l'ensemble des tissus végétaux (Koepke, Dhingra, 2013).

L'incompatibilité est le résultat de la combinaison et de l'interaction d'un ensemble de métabolites plus que de l'effet d'un composé unique. Ainsi une approche métabolomique est à privilégier dans l'étude de ce désordre physiologique (Hall, Hardy, 2011 ; Hall, 2006 ; Kueger et al., 2012).

Le succès du greffage dépend de la rapidité de la reprise de croissance du greffon et du porte-greffe (Leonardi, Romano, 2004 ; Cohen et al., 2007). En cas de bonne compatibilité l'ensemble du processus de mise en place des premiers vaisseaux conducteurs fonctionnels au point de greffe peut s'effectuer en trois jours (Yin et al., 2012) et la formation et le développement du xylème et du phloème sont analogues à ceux d'une plante non-greffée (Dengler, 2001).

L'établissement d'une jonction vasculaire est indispensable mais pas suffisant pour garantir une bonne compatibilité. Or les mécanismes de régulation cellulaire, l'interaction entre régulateurs de croissance, phénols et enzymes intervenant dans la compatibilité sont insuffisamment connus à ce jour. (Gainza, Opazo, Muñoz, 2015). Plusieurs études ont été menées pour établir des méthodes, telles que les mesures de SPAD ou l'identification de gènes d'incompatibilité, permettant de reconnaître précocement l'incompatibilité au greffage mais aucune ne semble pour l'instant adéquate (Neves et al., 2017 ; Gainza, Opazo, Muñoz, 2015). La détermination de l'incompatibilité, un point essentiel pour l'utilisation de porte-greffes interspécifiques ou lors de greffes interspécifiques (Zarrouk et al., 2006), est donc pour l'instant encore dépendante d'essais au champ.

II.2. La tolérance au calcaire

La chlorose induite en fer est une maladie due à une carence en fer de la plante. Cette maladie est notamment marquée par une diminution de la teneur en chlorophylle, causant un jaunissement des feuilles et un ralentissement du métabolisme de la plante. Dans les cas les plus sévères, les feuilles peuvent devenir blanches et les arbres mourir (Byrne et al., 1989). La qualité des fruits et les rendements sont également impactés, Rogers (1978) observait que des pêcheurs carencés voyait leur rendement augmenter de 36% lorsque amendés en fer.

Dans le cas de la chlorose induite en fer la carence n'est pas due à une absence de fer dans le sol mais à l'incapacité de la plante à assimiler le fer présent sous une forme insoluble. Cela est courant dans les sols riches en calcaire. A pH basique, l'ion Fe^{3+} forme des oxydes hydratés tel que Fe_2O_3 et $Fe(OH)_3$ qui ne sont plus assimilables par les racines (Hell, Stephan, 2003).

La chlorose induite en fer par des sol calcaires est un problème qui touche fortement les cultures fruitières et notamment la pêche (Egilla, Byrne, 1989 ; Byrne, 1988). Cela est particulièrement vrai autour du bassin méditerranéen ou une part importante des cultures de fruits à noyau est plantée sur des sols calcaires (Tagliavini, Rombolà, 2001).

Néanmoins les végétaux ont mis en place plusieurs stratégies pour faciliter l'assimilation de fer (Hell, Stephan, 2003). La première consiste à acidifier la rhizosphère (Palmgren, 2001) et la réduction de Fe^{3+} par des enzymes, FCR (ferric chelate reductase), en Fe^{2+} qui peut ensuite être assimilé (Robinson et al., 1999). Cette stratégie est utilisée principalement par les dicotylédones et notamment les *Prunus*. La deuxième stratégie consistant à libérer des phytosiderophores, des molécules qui se lient au fer et en facilitent le transport à travers les membranes plasmiques, est plus courante chez les graminées (Hell, Stephan, 2003).

Les symptômes de chlorose peuvent être atténués par de la fertilisation avec du fer tels que le $Fe(EDTA)$, le $Fe(EDDHA)$ ou le $FeSO_4$ qui sont assimilables par les fruitiers. Or ces intrants sont onéreux. Dans ce sens, le choix de porte-greffes plus adaptés aux sols basiques semble une alternative plus intéressante (Tagliavini, Rombolà, 2001 ; Gonzalo et al., 2011 ; Jiménez et al., 2008). Au cours des 20 dernières années plusieurs programmes visant le développement de porte-greffes hybrides tolérants à différents pathogènes et adaptés aux sols calcaires méditerranéen ont vu le jour, notamment en exploitant la tolérance au calcaire des amandiers et des pruniers (Salesses et al., 1998 ; Dirlewanger et al., 2004 ; Reighard, 2002).

II.3. La tolérance à l'asphyxie racinaire

L'asphyxie racinaire peut être causée par l'inondation d'une parcelle lors de pluies excessives, généralement en automne et en hiver, notamment sur les parcelles plus argileuses qui sont moins drainantes. Plus rarement une mauvaise gestion de l'irrigation peut également entraîner l'asphyxie d'une parcelle (Holzapfel et al., 2009).

En conditions d'anoxie le système racinaire dysfonctionne, la croissance, le développement de l'arbre, les rendements et la qualité des fruits sont impactés négativement. Dans les cas les plus sévères le végétal peut mourir (Insausti, Gorjón, 2013). Chez les plantes en conditions d'anoxie la fermeture des stomates est commune (Kozłowski, Pallardy, 1979), entraînant ainsi une réduction de la photosynthèse (Insausti, Gorjón, 2013 ; Ziegler et al., 2017). L'inhibition de la photosynthèse s'accroît avec la prolongation de l'asphyxie (Arbona et al., 2009) tout comme la diminution de la conductivité hydrique racinaire, la diminution de la croissance, de la production de matière sèche et de la teneur en chlorophylle, (Bailey-Serres, Voesenek, 2008 ; Insausti, Gorjón, 2013).

Les plantes peuvent s'adapter de différentes manières à l'asphyxie racinaire. La formation d'aérenchymes, des vaisseaux creux au sein de la racine, permet l'approvisionnement en oxygène du système racinaire et l'évacuation de gaz nocifs tels que le CO₂, l'éthanol et l'acétaldéhyde. Également la formation de nouvelles racelles proches de la surface où la saturation en eau du sol est moins importante permet aux arbres de mieux tolérer les périodes d'asphyxie (Calvo-Polanco et al., 2012 ; Le Provost et al., 2012).

De manière générale on observe ces comportements chez les pruniers, notamment *Prunus cerasifera* et *Prunus domestica*, qui sont considérés comme tolérants à l'asphyxie alors que les pêchers et amandiers sont particulièrement sensibles. (Ziegler et al., 2017 ; Insausti, Gorjón, 2013). L'adaptation d'un verger à l'asphyxie racinaire dépend avant tout du choix d'un porte-greffe tolérant à l'inondation (Domingo et al., 2002). Ce choix peut être associé à la plantation des arbres sur butte, permettant de surélever les plants et une meilleure aération du sol. Ces conditions favorisent un développement de racines superficielles et contribuent à limiter l'impact des inondations temporaires (Nagle et al., 1992 ; Myburgh, 2017).

II.4. La tolérance à la bactériose (Chancre bactérien)

Le chancre bactérien des arbres fruitiers à noyaux est causé par *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* (PSS), *P.S. pv. morsprunorum* (PSM) et *P.S. pv. viridiflava* (PSV). Il est présent sur tous les fruits à noyau mais touche de manière importante la culture de l'abricotier et du cerisier. *Pseudomonas* est une bactérie omniprésente dans l'environnement, sa propagation est liée au cycle de l'eau et elle a été mise en évidence dans les nuages, la pluie et l'eau d'irrigation. (Morris et al., 2008 ; Lamichhane et al., 2014). S'il est difficile d'évaluer l'impact en France, des épidémies ont été observées en Turquie, touchant 80% des vergers d'abricots des régions d'Erzurum, Erzincan et Artvin (Kotan, Şahin, 2002) et 20% des vergers en région Malatya (Kavak, Çıtır, 1995), la principale région productrice d'abricots. En Italie (Scortichini, 2006) 30% des vergers d'un an touchés et aux Pays Bas Wencker et al., (2011) observe un taux d'arrachage dû à la bactériose de 30% des vergers de pruniers.

Le chancre bactérien peut causer le dessèchement des charpentières, et des jeunes branches voire de l'arbre. On observe des criblures sur fruits et feuilles, notamment sur cerisier, et la production de gomme au niveau des lésions. Lorsque la maladie n'engendre pas un dépérissement de l'arbre les rendements sont affectés.

Plusieurs hypothèses concernant les voies d'infections existent. Les bactéries pourraient pénétrer dans les tissus végétaux par les bourgeons, les cicatrices foliaires chez les cerisiers et diverses blessures de l'arbre (Kennelly et al., 2007 ; Lamichhane et al., 2014). L'entrée du pathogène par des lésions au niveau des feuilles ou par les lenticelles est peu probable mais n'a pas pu être complètement exclue (Cao et al., 2013).

Trois facteurs influencent principalement la sensibilité des arbres à la bactériose ; le climat hivernal, la nature du sol et la sensibilité des variétés greffées.

Pseudomonas se développe et se propage en se nourrissant des cellules détruites par l'effet de gel-dégel hivernal. En absence de gel, ou en absence de dégels fréquents, la maladie ne se développe pas. Le dégel provoque un effet de succion favorisant la dissémination des bactéries au sein des tissus du parenchyme des branches (Vigouroux et al., 1997 ; Vigouroux, Bussi, 1998). De plus, *Pseudomonas syringae* est une bactérie glaçogène, sa présence dans les tissus végétaux en relève le point de glaciation de autour de -7°C à autour de -2°C, et facilite les dégâts de gel sur les parties aériennes des arbres fruitiers. (Prunier, Cotta, 1987 ; Kennelly et al., 2007 ; Lamichhane et al., 2014).

La sensibilité des arbres est aggravée par les sols légers et drainants. Vigouroux et al., (2004) ont montré en mesurant des teneurs en eau dans les branches plus importantes que les sols aérés facilitent l'absorption d'eau par les racines pendant la période hivernale. Ils ont observé des attaques de bactériose plus importantes dans ces sols par rapport à des sols moins aérés. Une teneur en eau plus élevée dans les branches aggraverait les lésions provoquées par le gel et dégel et donc la progression de la bactérie dans la plante (Vigouroux et al., 1997). Les attaques de bactériose sont plus communes dans les sols présentant des cailloux et dans les sols superficiels et acides. (Duquesne, Gall, 1975 ; Vigouroux et al., 2006 ; Cao, A. Shackel, et al., 2013)

Les lésions dues à la taille, notamment en automne, et des outils non désinfectés renforcent également la dissémination de la maladie. Les techniques de prévention les plus courantes consistent en l'application de cuivre ou de badigeons sur les plants mais ces mesures présentent une faible efficacité et il n'existe actuellement aucune solution de traitement fiable (Kennelly et al., 2007 ; Wenneker et al., 2011). Une irrigation régulière pour éviter les stress hydriques en été et une nutrition en calcium, couplée à l'irrigation, renforce la résistance des plants (Vigouroux et al., 1987).

L'utilisation de variétés tolérantes et de porte-greffes adaptés aux sols peut limiter les dégâts de bactériose. Les porte-greffes influent notamment sur l'hydratation des tissus. Il a été aussi montré que, des arbres greffés haut, mêmes avec des variétés plus sensibles, présentent une meilleure résistance aux attaques de chancre bactérien. Cet effet pourrait être attribué à un tronc plus long et à une différence de températures en hiver entre les branches des arbres greffés bas et ceux greffés haut. (Prunier et al., 1999 ; Roth, 2013 ; Cao, M. Dejong, et al., 2013).

Les vergers sont notamment à risque si le porte-greffe utilisé n'est pas adapté au sol, notamment les porte-greffes de pruniers plantés sur des sols légers tendent à être sensibles. Néanmoins l'utilisation de variétés et de porte-greffes moins sensibles est indispensable dans les régions avec des sols et des climats favorables au développement de la bactériose. On observe notamment une grande variabilité de sensibilité à la bactériose au sein des différents porte-greffes de prunier. (Duquesne, Gall, 1975 ; Ivascu et al., 2002 ; Vigouroux et al., 2004 ; Duval, 2015).

II.5. La résistance aux nématodes

Les nématodes, dont l'impact économique sur les cultures est souvent sous-estimé en raison de leur localisation dans le sol et de leurs symptômes non spécifiques en surface, sont l'une des principales causes de réduction de la vigueur et du rendement et parfois de mort des arbres. On sait que divers genres de nématodes sont associés à de graves pertes dans les vergers de fruits à noyau du monde entier (Esmenjaud et al., 1994). Les principaux nématodes ravageurs que l'on trouve dans les vergers en France sont les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) qui sont des endoparasites sédentaires, et les nématodes endoparasites migrants (*Pratylenchus penetrans* et *Pratylenchus vulnus*).

Il n'est pas recommandé de planter un verger dans des sites infestés par les nématodes et il est aussi important de planter des scions certifiés indemnes de nématodes pour éviter des infestations futures. En cas de replantation ou de plantation dans des vergers infestés, il est recommandé de planter des porte-greffes résistants. D'autres méthodes comme la fumigation peuvent être envisagées mais se trouvent être souvent trop onéreuses.

Plusieurs sources de résistance aux espèces de *Meloidogyne* ont été mises en évidence chez les porte-greffes *Prunus* et il existe beaucoup de porte-greffes résistants aux différentes espèces de nématodes à galles dont *M. incognita* et *M. arenaria* que l'on trouve dans les vergers infestés en France.

Trois gènes majeurs de résistance ont été identifiés chez les *Prunus*, le gène *Ma* chez le prunier Myrobolan (Claverie et al., 2011), le gène *RMia* chez le pêcher (Duval et al., 2014) et le gène *RMja* chez l'amandier (Duval et al., 2018). Le gène *Ma* contrôle toutes les espèces de *Meloidogyne*, alors que les deux autres gènes ne contrôlent que les espèces *incognita* et *arenaria* pour *RMia* et les espèces *javanica* et *arenaria* pour *RMja* (Duval et al., 2019).

Si la plupart des porte-greffe *Prunus* résistants portent ces gènes de résistance, il existe d'autres gènes qui n'ont pas été identifiés notamment dans les francs abricotiers et les porte-greffes issus de *Prunus davidiana*, comme Cadaman.

II.6. La résistance au pourridié

Le pourridié désigne une maladie des racines des ligneux. Elle est caractérisée par la décomposition du bois par un champignon. Ces champignons sont des saprophytes facultatifs qui effectuent une partie de leur cycle sur du bois mort. Ils prolifèrent sur des plants affaiblis mais peuvent également attaquer des plantes saines et causer la mort de l'arbre. Pour la production de fruits à noyau française, le pathogène *Armillaria mellea* est responsable de l'essentiel des pourridiés. Plus rarement *Armillaria tabescens* et *Rosellinia necatrix* peuvent être retrouvés en verger de fruits à noyau. L'armillaire se propage dans le sol par le développement de rhizomorphes et par la croissance de son mycélium dans les racines de l'arbre hôte (Figure 3) (Thomas, 1934 ; Guillaumin, 2005).

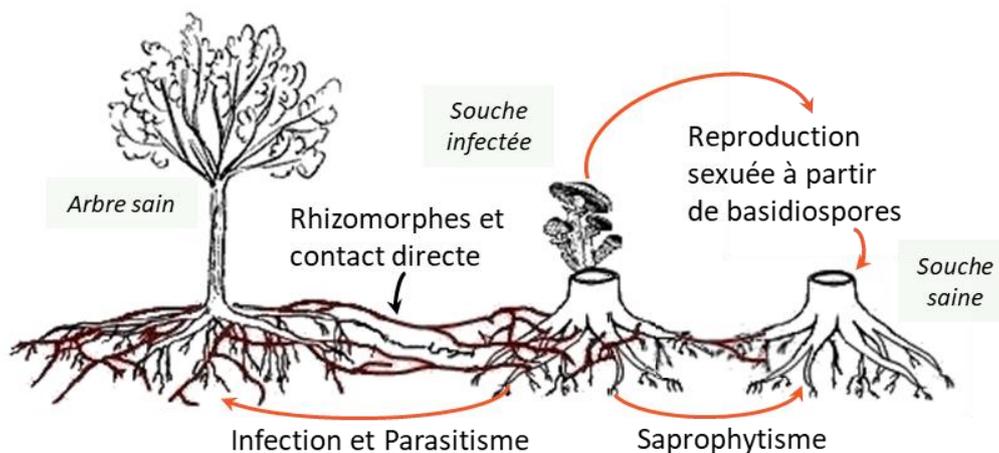


Figure 3 : Cycle biologique de l'armillaire
d'après Guillaumin, 2005

Le champignon infecte la plante en colonisant les racines de taille moyenne et grande et le collet de l'arbre. Il peut également se propager par contact d'une racine infectée avec une racine saine et sa stratégie biologique repose principalement sur le parasitisme. Le bois contaminé, des souches d'arbres morts présents sur la parcelle ou adjacents à celle-ci sont les principales sources d'inoculum.

La progression du pourridié est donc limitée à la parcelle et à la contamination d'arbres de proche en proche. Néanmoins, pour les parcelles atteintes elle pose un problème sévère à la culture des arbres fruitiers, le pourridié entraînant le plus souvent la mort rapide en un ou deux ans de l'arbre par la destruction progressive de son système racinaire.

Il n'existe pas de résistance à l'armillaire mais de manière générale les pruniers sont moins sensibles à la maladie et peuvent permettre une culture économiquement viable. A l'inverse les pêchers, amandiers et abricotiers sont sensibles au champignon. Généralement, en exploitation, lorsque les taux de mortalité sur une parcelle dépassent les 20-25% le verger est arraché et une jachère ou une culture annuelle est mise en place. En verger l'armillaire touche notamment le Sud Est de la France ou est concentrée la majorité des productions de fruits à noyau (Guillaumin, 2005).

Le développement de la maladie est principalement favorisé par la quantité d'inoculum initial et de bois mort présent dans la parcelle à la plantation. Le stress hydrique, et donc indirectement les sols sableux, favoriseraient également le développement du pourridié (Wiensczyk et al., 1997 ; Mallett, Maynard, 1998) mais peu de données précises existent sur le comportement de *Armillaria mellea* dans différents environnements (Guillaumin, 2005).

Les pratiques culturales peuvent avoir des effets contradictoires sur le développement de la maladie. La fertilisation, favorisant un développement plus rapide des racines peut faciliter l'inoculation d'arbres sains mais améliorer la survie d'arbres malades (Hood et al., 1991). De même la taille sensibilise la plante d'une part mais ralentit le développement de la maladie en limitant le développement racinaire (Stahel, 1950).

Les méthodes de lutte les plus efficaces restent les rotations, la fumigation et le dessouchage afin de limiter l'inoculum initial. Pour les zones avec un précédent l'utilisation de porte-greffes tolérants représente également une option intéressante (Guillaumin, 2005).

II.7. Problématiques et objectifs du stage

Le porte-greffe est un composant clé de la structure des vergers car il interagit avec l'ensemble des éléments de la production ; de l'adaptabilité à l'environnement au mode de conduite à la qualité des fruits. Or, comme présenté dans les paragraphes précédents, ces interactions sont souvent complexes et dans la plupart des parcelles la problématique n'est pas unique mais le porte-greffe choisi doit répondre à un ensemble de contraintes. Pour qu'une exploitation soit économiquement viable il est donc impératif que le porte-greffe choisi soit à la fois adapté aux stress biotiques et abiotiques auxquels il peut faire face ; le choix d'un porte-greffe mal adapté pouvant soit impacter négativement les rendements, soit être à l'origine du décès progressif du verger (Beckman, Lang, 2003 ; Gainza et al., 2015).

Il existe une grande diversité de porte-greffes potentiellement utilisables au sein du genre *Prunus* ce qui devrait à priori représenter une opportunité pour les producteurs. Or, il est important de rappeler que seul un nombre restreint des porte-greffes est réellement utilisé par les agriculteurs (Rubio-Cabetas, 2012).

La durée de vie d'un verger variant entre 15 et 25 ans l'adoption de nouvelles pratiques et de nouveaux porte-greffes est lente. Également, la durée d'évaluation d'un programme de sélection de porte-greffes est rarement inférieure à dix ans et les évaluations ne couvrent généralement pas l'ensemble des contextes régionaux dans lesquels un porte-greffe pourrait être utilisé. De plus, les essais d'évaluation ne sont pas uniformisés et il est difficile d'obtenir des données comparables (Beckman, Lang, 2003).

Le choix d'un porte-greffe à l'installation du verger est donc difficile pour les agriculteurs, d'une part à cause de la complexité et du nombre de facteurs à prendre en compte, et d'autre part à cause d'une faible disponibilité et d'une distribution inégale de l'information concernant les porte-greffes. Cette difficulté d'appréhender le choix du porte-greffe pourrait en partie expliquer que les agriculteurs se tournent souvent vers des porte-greffes qu'ils maîtrisent, même si d'autres variétés pourraient être plus intéressantes dans leur contexte. En outre, le réchauffement climatique et la volonté de la filière de s'étendre en dehors des zones de productions traditionnelles mettent les porte-greffes face à des contextes pédoclimatiques nouveaux (Rubio-Cabetas, 2012).

Dans ce contexte il y a donc un besoin d'étudier et mettre en avant les informations disponibles sur le comportement agronomique des porte-greffes des fruitiers à noyau.

L'objectif de stage est donc de caractériser le comportement agronomique des différents porte-greffes communément utilisés ou commercialisés en France pour la culture des *Prunus* et de synthétiser ces informations.

Dans une étape ultérieure au stage les résultats et données recueillis doivent être mis à disposition dans un outil en ligne accessible aux agriculteurs, afin de les aider dans le choix du porte-greffe pour l'installation de nouveaux vergers.

Cet objectif est divisé en plusieurs parties :

Il s'agit premièrement d'effectuer une méta-analyse et une étude qualitative de la littérature afin de comparer les performances des porte-greffes et l'influence de différents indicateurs environnementaux pour les thématiques abordées. L'étude de la littérature doit permettre d'une part de déterminer les facteurs à prendre en compte pour le choix du porte-greffe et d'autre part la méta-analyse doit permettre de recueillir des informations sur les performances des porte-greffes pour être en mesure de les comparer.

Dans une deuxième étape une enquête a été menée auprès d'arboriculteurs du Gard, de la Drôme et des Bouches-du-Rhône en région PACA afin de recueillir des observations de terrain sur l'utilisation et les performances de quelques porte-greffes et les comparer aux résultats décrits dans la littérature. Cette enquête doit également permettre de faire remonter les difficultés liées aux porte-greffes rencontrées par les producteurs de fruits à noyau dans le Sud-Est de la France.

Finalement, un objectif supplémentaire a consisté à identifier les besoins d'expérimentation via l'étude de la littérature et des enquêtes de terrain. Au vu des résultats obtenus au cours de ce travail il s'agit notamment de faire ressortir les connaissances manquantes sur les porte-greffes utilisés tout comme les impasses auxquelles les agriculteurs sont confrontés. Cela afin de définir d'une part les essais qui nécessiteraient d'être mis en place pour combler ces lacunes de connaissances et d'autre part pour déterminer les manques et les besoins pour de nouveaux porte-greffes.

III. Matériel et Méthodes

III.1. Récolte des données et méta-analyse

Un premier volet du stage consiste en une synthèse bibliographique et une méta-analyse. La recherche de publications a été effectuée par l'intermédiaire de Google Scholar et Web of Science. A ces publications s'ajoutent des documents d'essais en champ et de retour d'expérience du Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL) et de la Station d'Expérimentation Fruits Rhône-Alpes (SEFRA) disponibles à l'INRA d'Avignon.

Les publications ont été retenues pour la méta-analyse si les conditions expérimentales étaient suffisamment décrites, notamment pour les essais en parcelle la description de la texture du sol et du pH était souhaitée. Également, ont été retenues pour l'analyse uniquement les publications qui comparaient plusieurs porte-greffes, dont au moins un couramment utilisé en France ; les publications plus axées sur la recherche fondamentale et n'incluant qu'un seul porte-greffe ont été écartées à l'exception de celles dont l'objectif premier était de décrire le porte-greffe lui-même.

L'objectif de cette méta-analyse est de cerner les performances agronomiques des différents porte-greffes dans le but de les comparer. Il s'agira également de mettre en évidence les traits environnementaux et cultureux qui ont un impact sur les performances des porte-greffes.

Le nombre de publications et d'essais retenus pour la méta-analyse est présenté Tableau 1. Une publication peut contenir plusieurs essais. P.ex. deux modalités distinctes d'une même étude, comme l'exploration de la tolérance au calcaire d'un panel de porte-greffes dans des solutions nutritives différentes, sont considérées comme deux essais malgré leur apparition dans la même publication.

Tableau 1 : Nombre d'essais et de publications retenus pour les analyses

	Compatibilité	Calcaire	Asphyxie	Bactériose	Nématodes	Pourridié
Documents	32	10	4	6	9	7
Essais	/	32	4	45	9	20

Le nombre d'essais et de publications par thématique est relativement faible, à l'exception des essais sur la bactériose. Également, peu d'essais présentent les mêmes porte-greffes.

De plus, des méthodes différentes sont appliquées dans ces publications, ce qui résulte en une grande diversité de contextes et de valeurs explicatives représentés (Tableau 2). Or, au vu du faible nombre de données disponibles, de leur grande diversité et du grand nombre de porte-greffes étudiés (Annexe 4) la comparaison par une méthode statistique n'a pas été possible du fait de la faible puissance statistique des tests sur les jeux de données étudiés.

Tableau 2 : Variables explicatives représentées dans la littérature par thématique

Compatibilité	Calcaire	Asphyxie	Bactériose	Nématodes	Pourridié
Notation visuelle du point greffe	[Fe] fleurs	Taux d'arbres vivant	Notation visuelle	Présence du gène MA	% d'arbres morts
Notation visuelle de l'arbre	[Fe] feuilles	Jours de survie après inondation	% d'arbres malades	Présence du gène Mia	
Coupes du point de greffe	[Chlorophylle] feuilles	[Chlorophylle]	% d'arbres morts	Résistance à <i>M. arenaria</i>	
	Mesures SPAD	Mesures SPAD	Nombre de points de gomme	Résistance à <i>M. incognita</i>	
	Intensité de chlorose	Activité photosynthétique		Résistance à <i>M. javanica</i>	
	Ratio FCR après 1 jour [FCR]	Surface foliaire % de défoliation		Résistance à <i>P. vulnus</i>	

Une approche plus qualitative que quantitative a donc été tentée. Les données ont été synthétisées dans des tableaux de résultats. Une mise en classe des résultats des publications est effectuée en tentant de prendre en compte les conditions expérimentales qui peuvent impacter ces résultats, les conclusions et les impressions des auteurs. Un exemple est apporté Tableau 3. Les seuils sont fixés par rapport à la littérature ou pour le cas des taux de mortalité sur le retour des agriculteurs enquêtés.

Tableau 3 : Conversion des notations bactériose des publications à la mise en classe utilisée pour la synthèse des données

R – résistant ; T – tolérant ; PT – peu tolérant ; MS – moyennement sensible ; S – sensible ; TS – très sensible

Notation	R	T	PT	MS	S	TS
notation SEFRA	0	1	2	3	4	5
points de gomme	0	1 à 2	3 à 4	5 à 6	7 à 8	9 à 10
% arbres malades	0%	1% - 20%	21% - 40%	41% - 60%	61% - 80%	81% - 100%
% arbres morts	0%	1% - 10%	11% - 20%	20% - 30%	30% - 49%	50% - 100%

Les hypothèses testées au cours de ces traitements restent néanmoins les mêmes et sont que tous les porte-greffes n'ont pas la même tolérance aux stress biotiques et abiotiques en fonction de leur matériel génétique, donc la variété et l'espèce à laquelle ils appartiennent.

Les traitements de données ont été effectués sous R version 3.5.3. et RStudio version 1.1.463. Les données ont été analysées par thématique et regroupés par porte-greffe et par espèce.

III.2. L'Enquête de terrain

L'étude de la littérature est complétée par des enquêtes de terrains menées auprès des producteurs de fruits à noyaux. Les agriculteurs ont été choisis parmi les adhérents du réseau du GRCETA de Basse Durance. Le GRCETA compte plus de 200 adhérents répartis entre les régions Provence-Alpes-Côtes d'Azur, Rhône-Alpes et Languedoc-Roussillon et est situé à Saint-Rémy-de-Provence. Les agriculteurs enquêtés ont été sélectionnés à partir de la base de données des parcelles des adhérents du GRCETA, en consultant les analyses de sols disponibles et sur avis des conseiller GRCETA pour la présence de problématiques sur les exploitations, notamment la présence de bactériose. Les arboriculteurs ont été sélectionnés pour présenter des sols et contextes variés, une certaine diversité de porte-greffes et au moins une des thématiques qui est abordée dans ce travail. L'échantillonnage ne vise donc pas à être forcément représentatif des agriculteurs de Sud-Est de la France mais à cibler des situations où les agriculteurs seraient en difficulté.

L'objectif de cette enquête est de faire remonter les besoins des agriculteurs pour de nouveaux porte-greffes et de comparer les performances des porte-greffes dans les vergers professionnels avec les résultats de la synthèse bibliographique. Il s'agit notamment de mieux cibler les enjeux autour de l'utilisation et le choix des porte-greffes du point de vue des agriculteurs.

Parmi les 31 agriculteurs contactés 7 ont accepté de participer à l'enquête. A ces agriculteurs s'ajoutent deux agriculteurs en dehors des adhérentes au GRCETA et une parcelle d'essai de l'INRA de Gotheron (Tableau 4). Les informations recueillies concernent le choix du porte-greffe et le comportement des différentes variétés et espèces de porte-greffe, avec un focus sur les principales difficultés rencontrées par les producteurs.

Tableau 4 : Localisation des producteurs enquêtés

Ville	Département	Producteurs GRCETA	Producteurs autres	Parcelles INRA
St Gilles	Gard	5	1	
Valence	Drôme	1		1
Sorgues	Vaucluse	1		
Avignon	Vaucluse		1	

La méthode choisie pour cette enquête est celle de l'enquête par entretien. Cette méthode présente l'avantage par rapport à un questionnaire de favoriser des réponses plus spontanées et surtout plus nuancées, le désavantage étant que le traitement des réponses s'en retrouve compliqué (Lugen, 2015). L'opinion et la perception de l'agriculteur étant un point important de cette enquête et l'échantillon étant petit, ce qui facilite le traitement, cette méthode a été retenue.

Les entretiens étaient principalement libres et n'ont nécessité que très ponctuellement d'être dirigés les agriculteurs développant souvent eux-mêmes les points que nous souhaitions aborder. Un questionnaire basique a été préparé afin de guider les « enquêteurs » s'il s'avérait nécessaire de diriger l'entretien. Ce questionnaire n'a toutefois pas été présenté aux agriculteurs. Les questions préparées sont présentées ici-bas :

Quels sont les principales problématiques sur l'exploitation (reliées ou non aux porte-greffes) ?

Avez-vous des parcelles touchées par la bactériose, le pourridié ou les nématodes ?

Si oui pour quelles productions ?

Pour chaque parcelle concernée :

- *Quel est l'âge du verger ?*
- *Quelles variétés sont plantés sur la parcelle ?*
- *Sur quelles porte-greffe les arbres ont été plantés ?*
- *A quelle hauteur les arbres sont-ils greffés ?*
- *A quelle fréquence observez-vous des symptômes ?*

Quelles pratiques agricoles mettez-vous en place pour lutter contre la bactériose ?

Comment jugez-vous l'efficacité de ces pratiques ?

Quels porte-greffes considérez-vous comme étant les plus sensibilisants ?

Comment qualifieriez-vous vos sols ?

- *Quelle est la texture de sol ?*
- *Quel est le pH du sol ?*
- *Quelle est la situation hydrique et d'asphyxie de la parcelle l'hiver ?*

Si tous les agriculteurs n'ont pas su répondre à toutes les questions la forme libre de l'entretien a permis d'obtenir des informations sur les pratiques agricoles, les porte-greffes et les attentes des agriculteurs qui dépassent le questionnaire préparé.

IV. Résultats et discussion

IV.1. Résumé des enquêtes

Les enquêtes menées ont permis de mieux cerner l'utilisation que font les agriculteurs des porte-greffes et les enjeux qui y sont rattachés.

Dans le choix des porte-greffes l'échantillon d'agriculteurs enquêtés est proche des pratiques globales présentés en introduction (Annexe 3). On observe sur le Tableau 5 que la majorité des agriculteurs n'utilise qu'un nombre limité de porte-greffes, notamment du pêcher, Montclar® et GF305, et du pêcher-amandier, GF677, dans les sols légers et plutôt des porte-greffes prunier, Ishtara® et Myrobolan, sur des sols plus profonds.

Tableau 5 : Porte-greffes utilisés par les agriculteurs enquêtés

¹nombre d'exploitations

²principale signifie qu'une large majorité du verger est planté sur ce ou ces porte-greffes

³secondaire signifie que ces porte-greffes ne sont présents que sur une ou deux parcelles ou sur une parcelle

Sols légers (8 exploitants)			Sols limoneux (2 exploitants)					
Culture	Porte-Greffe	n ¹	Culture	Porte-Greffe	n			
Abricotier	Principal ²	Montclar®	Abricotier	Principal	Ishtara®	1		
		GF305			Myrobolan et Montclar®	1		
		Montclar® et GF305			Secondaire	Myrobolan	1	
		Ishtara®				Ishtara®	1	
		GF8-1				GF8-1	1	
		Secondaire ³		Rubira	Pêcher	Principal	GF677	1
				Myrobolan	Cerisier	Principal	Tabel® et Gisela 6	1
				Manicot				
				GF43				
				GF677				
Pêcher	Principal	GF677, Montclar®, Cadaman®						
		Ishtara®						
		Gamme Rootpac®						
	Secondaire	GF677						
		Cadaman®						
		Garnem						
Cerisier	Principal	Tabel®, Gisela 5						
		Tabel®, Ste Lucie 64,						
		Maxma®14						

Les autres porte-greffes ne sont présents que rarement dans les vergers et souvent uniquement sur une ou deux parcelles, généralement en essai.

Il est important de noter que parmi les agriculteurs enquêtés plus de la moitié n'est pas satisfaite des performances de ces autres porte-greffes, la principale critique étant le manque de vigueur et la faible production, notamment pour GF43 et Rubira, alors que Cadaman est critiqué pour son arrêt de végétation trop précoce, le rendant moins performant pour les pêchers de mi-saison et tardifs.

Concernant les principaux freins rencontrés par les agriculteurs la bactériose est le problème le plus représenté (Tableau 6). Elle touche gravement trois exploitants sur les dix enquêtés et est présente chez trois autres. L'asphyxie racinaire, la chlorose et le pourridié sont également des problématiques rencontrées lors des enquêtes. Aucun exploitant enquêté n'a mentionné des problèmes de nématodes. Néanmoins les agriculteurs ont mentionné d'autres problématiques plus présentes sur les exploitations, notamment la faible production de certaines variétés avec des grands besoins en froid et des difficultés sanitaires, principalement des contaminations d'enroulement chlorotique qui pousse toutes les années les agriculteurs à arracher des arbres. Or ces problématiques touchent plus aux variétés greffées qu'aux porte-greffes.

Tableau 6 : Problématiques liées à l'utilisation du porte-greffe impactant les vergers

Problématique (10 exploitants)		n ¹	
Importante	Asphyxie	1	¹ nombre d'exploitants rencontrant cette problématique de manière importante (arrachage de vergers, baisse de rendements) ou ponctuellement (quelques arbres atteints)
	Bactériose	3	
	Chlorose	1	
Secondaire	Asphyxie	1	² Les arbres de fruits à noyau ont des besoins en froid pour fructifier
	Bactériose	3	
	Chlorose	1	³ Enroulement chlorotique de l'abricotier, phytoplasme transmis par le psylle
	Pourridié	1	
Non reliée au Porte-Greffe	Manque de Froid ²	3	⁴ Maladie virale de quarantaine disséminée par les pucerons
	ECA ³	5	
	Sharka ⁴	1	

Toutefois le nombre d'agriculteurs ayant participé aux enquêtes est faible, notamment pour les agriculteurs cultivant dans des sols plus lourds ou uniquement deux exploitations ont pu être enquêtées. Si cette enquête permet de mettre en évidence certaines tendances dans l'utilisation des porte-greffes et dans les enjeux y étant associés, le contexte étudié reste restreint.

Finalement, sur les dix exploitants enquêtés uniquement deux ont des difficultés à trouver des porte-greffes adaptés parmi ceux existant. Dans les autres cas les difficultés proviennent soit d'un essai peu concluant ou d'un mauvais choix de porte-greffe. Ces situations et les performances agronomiques des porte-greffes au sein des enquêtes sont abordées plus en détail dans les chapitres suivants.

IV.2. Résultats de la synthèse bibliographique et des enquêtes

IV.2.1. Compatibilité au greffage

La compatibilité des différentes espèces de porte-greffes *Prunus* est présentée dans le Tableau 7. Au-delà des variétés qui sont compatibles avec des espèces génétiquement proches, comme le pêcher (*P. persica*) avec les porte-greffes de type pêcher et pêcher-amandier (*P. persica x P. dulcis*), on observe que des espèces différentes sont inter-compatibles, notamment les porte-greffes de type pêcher et pêcher-amandier avec les abricots et les porte-greffes de type prunier japonais (*P. salicina*) ou bien prunier de Damas (*P. insititia*) qui sont compatibles avec la plupart des fruits à noyau.

Tableau 7 : Compatibilité au greffage des différentes espèces de fruits à noyau

C = compatible, I = incompatible, C/I = compatible ou incompatible selon les variétés

Espèce du Porte-Greffe	Abricotier	Pêcher	Amandier	Merisier	Griottier	Prunier japonais	Prunier domestique	Références
<i>persica</i>	C/I	C	C					
<i>persica x dulcis</i>	C/I	C	C			C	C/I	
<i>domestica</i>		C				C	C	Loreti, Massai, 2006
<i>insititia</i>	C	C	C			C		Salazar et al., 2018
<i>cerasifera</i>	C/I	C/I				C/I	C/I	Moreno et al., 1993
<i>hybrides cerasifera</i>	C/I	C/I				C/I		Beckman, Lang, 2003
<i>avium</i>		I	I	C				Vachun, 1995
<i>avium x pseudocerasus</i>				C/I				Hrotkó, 2016 ; 2008
<i>mahaleb</i>				C/I	C			Long, Kaiser, 2010
<i>cerasus</i>				C/I	C			Rubio Cabetas, 2016
<i>cerasus x canescens</i>				C				Rom, 1991
<i>armeniaca</i>	C	C/I						Lapins, 1959

Or, la compatibilité n'est pas garantie avec toutes les variétés (Annexe 5, Annexe 6, Annexe 7, Annexe 8, et Annexe 9), et encore moins dans le cas de greffes interspécifiques. Les porte-greffes de type myrobolan et leurs hybrides en particulier ne sont pas compatibles avec toutes les variétés d'une même espèce. Dans les cas où les variétés greffées sont exigeantes au greffage les porte-greffes d'une espèce plus proche sont donc à privilégier.

Au cours des enquêtes, uniquement deux cas d'incompatibilité, de RootpacR avec Crystal (nectarine) et de GF305 avec Magicot (abricot), ont été décrits par les agriculteurs et ce généralement à une petite échelle, soit quelques arbres qui meurent. Plusieurs agriculteurs ont également mentionné ne pas utiliser Rubira ou GF677 pour leur faible compatibilité avec certains abricotiers.

Avec les porte-greffes de type prunier il est possible de procéder à un greffage intermédiaire pour éviter l'incompatibilité avec certaines variétés et cette pratique est courante auprès des agriculteurs enquêtés. C'est notamment le cas pour la production d'abricots de GF8-1 avec un intermédiaire Reine-Claude ou GF677 avec un intermédiaire pêcher

Quoique les incompatibilités puissent limiter l'utilisation de porte-greffes intéressants il est apparu pendant les enquêtes qu'il s'agit là d'une problématique maîtrisée par les agriculteurs, les conseillers et les pépiniéristes. La difficulté principale réside dans l'appréciation de la compatibilité des nouvelles variétés arrivant annuellement sur le marché et qui n'ont pas forcément pu être testées avec tous les porte-greffes.

IV.2.2. Tolérance au calcaire

Les résultats de méta-analyse sont peu concluants pour cette thématique en partie à cause des données. La faible taille des échantillons (Tableau 8), la majorité des porte-greffes présente un échantillon inférieur à 4 individus, et le grand nombre de variables explicatives aux échelles différentes décrites dans la littérature rendent la comparaison difficile. Les données d'essais en champ et en hydroponie se contredisent pour certains porte-greffes, entre autres GF305 et Torinel® et aucune différence significative du test de Wilcoxon n'a pu être observée entre les différents porte-greffes, à l'exception de GF677 qui sert de référence dans les essais et dont l'échantillon est plus important.

Également les deux types d'essais présentent des conditions très différentes. Les essais d'hydroponie sont effectués sur des porte-greffe de moins d'un an, non-greffées et dans des solutions nutritives alors que les essais en champ incluent des vergers de plus de dix ans et dans des sols hétérogènes. Dans l'ensemble les résultats des essais en champ paraissent plus exploitables car plus proches des conditions des agriculteurs. Même si les résultats ne sont pas interprétables en tant que tels, l'analyse de la littérature a permis de faire ressortir des points intéressants sur les méthodes choisies dans les essais.

L'hydroponie présente notamment l'avantage d'être beaucoup plus rapide que les essais en champ. Les arbres n'étant pas greffés les mesures sur feuille telles que les mesures de SPAD, les mesures de concentration en fer et de concentration en chlorophylle, sont peu pertinentes pour la comparaison car les différentes espèces de porte-greffes présentent des feuillages aux caractéristiques distinctes (Jiménez et al., 2008). Les mesures de l'activité enzymatique de FCR sont plus intéressantes, et souvent plus discriminantes que les mesures sur feuilles. Or les mesures d'activité enzymatique se corrélaient difficilement avec les mesures sur feuilles, notamment à cause des différences d'échelles (Mestre et al., 2015).

Les essais en hydroponie représentent une opportunité intéressante pour étudier la tolérance au calcaire des porte-greffes sur un pas de temps restreint mais les modalités doivent être améliorées et standardisées afin de rendre possible la comparaison entre essais.

Tableau 8 : Tolérance au calcaire des porte-greffes dans des essais en hydroponie et en champ

¹La tolérance au calcaire est calculée par rapport à GF677. Une tolérance > 1 signifie que le porte-greffe est plus tolérant que GF677, une tolérance < 1 qu'il est plus sensible, n représente le nombre d'essais dans lequel le porte-greffe est évalué.

Porte-Greffe	Espèce	Hydroponie		Champ	
		Tolérance ¹ calcaire	n	Tolérance calcaire	n
Torinel®	<i>domestica x spinosa</i>	0,59	1	1,59	1
Krymsk 86	<i>cerasifera x persica</i>		0	1,55	1
Rootpac®Replantpac	<i>cerasifera x dulcis</i>		0	1,40	2
Myrobolan 29C	<i>cerasifera</i>	1,15	2	1,30	2
GF305	<i>persica</i>	1,16	2	1,28	2
Felinem	<i>dulcis x persica</i>	0,80	1	1,27	4
Evrica	<i>salicina x besseyi</i>		0	1,20	2
Krymsk 5	<i>fruticosa x serrulata</i>	0,65	1	1,14	1
Gisela 5	<i>cerasus x canescens</i>	0,50	1	1,13	1
Tetra	<i>domestica</i>		0	1,04	4
GF677	<i>dulcis x persica</i>	1,00	14	1,00	18
Garnem	<i>dulcis x persica</i>	0,65	1	0,89	4
Cadaman®Avimag	<i> davidania x persica</i>	0,50	1	0,85	4
Rootpac®70 Purplepac	<i>(persica x davidiana) x (dulcis x persica)</i>		0	0,79	2
Krymsk 1	<i>cerasifera x tomentosa</i>	0,62	1	0,76	3
Rootpac®40 Nanopac	<i>(dulcis x persica) x (dulcis x persica)</i>		0	0,66	1
Semis Pecher	<i>persica</i>	1,12	2	0,61	3
Nemaguard	<i>davidiana x persica</i>	0,51	4		0
St Julien A	<i>insititia</i>	0,90	4		0

champ : (Zarrouk et al., 2005 ; Jiménez et al., 2008 ; Assimakopoulou et al., 2011 ; Jiménez et al., 2011 ; Karagiannidis et al., 2008 ; Cinelli et al., 2004 ; Mestre et al., 2015)

hydroponie : (Jiménez et al., 2008 ; Assimakopoulou et al., 2011 ; ROMERA et al., 1991a ; 1991b ; Cinelli, Viti, 1995)

La chlorose induite en fer a pu être observée auprès de plusieurs des agriculteurs enquêtés. Toutefois uniquement deux exploitants ont des problèmes réguliers de chlorose, dont un a des vergers particulièrement touchés. Les agriculteurs compensent la chlorose induite par le calcaire en épandant des chélates de fer même s'ils considèrent cette pratique coûteuse. Un verger installé sur des sols sableux présentait des symptômes légers de chlorose sur l'ensemble des arbres, et sur différents porte-greffes dont les pêchers x amandiers GF677 et Garnem pourtant considérés tolérants au calcaire, mais également sur Montclar®, Manicot. De plus la parcelle est décrite comme ayant un pH légèrement acide, voir neutre mais pas basique. Une hypothèse est que ces sols très sableux sont pauvres en fer, induisant une chlorose par manque de fer et non par présence de fer peu assimilable.

Dans ce cas de figures le choix du porte-greffes tolérants au calcaire ne permet pas de lutter efficacement contre la chlorose. Néanmoins des analyses de sol plus fines seraient requises afin de mieux identifier ces situations. Malgré des traces de chloroses le rendement et la qualité des fruits n'est pas impactée et l'agriculteur est satisfait des productions, notamment sur Montclar, malgré sa sensibilité à la chlorose ferrique.

IV.2.3. Tolérance à l'asphyxie racinaire

L'asphyxie racinaire est une problématique rencontrée chez plusieurs agriculteurs au cours des enquêtes mais seulement un exploitant, sur sol limoneux, la considère un enjeu majeur, et un deuxième la considère une problématique secondaire. Sur des sols plus profonds les agriculteurs utilisent principalement des porte-greffes de type prunier comme Ishtara®, Myrobolan et GF8-1 pour l'abricotier. Si tous les sols limoneux ne sont pas asphyxiant le choix du porte-greffe sur ces sols tranche néanmoins avec celui fait sur sols léger, largement dominé par les porte-greffes de pêcher plus adaptés à la sécheresse mais peu tolérant à l'asphyxie. Cette situation a également pu être observé au cours des enquêtes sur une parcelle limoneuse à tendance asphyxiante plantés avec des abricotiers greffés sur Myrobolan et Montclar®, ces derniers présentant des feuilles jaunissantes alors que les Myrobolan ne présentent aucun symptôme.

La synthèse de la littérature va également dans ce sens. Dans l'ensemble des données les Myrobolans (*P. cerasifera*) et leurs hybrides comme Marianna 2624 (variante américaine de GF8-1) ou Myrobolan 29C présentent la meilleure tolérance à l'asphyxie, alors que les pêchers x amandiers (*P. persica x P. dulcis*) comme GF677 sont les plus sensibles (Tableau 9 et Tableau 10).

Les porte-greffes de type cerisiers (*P. avium*) comme Maxma®14 et Colt semblent occuper une place intermédiaire dans les essais (Tableau 11) et tolèrent des sols légèrement asphyxiants.

Tableau 9 : Temps de survie à la submersion du système racinaire de différents porte-greffes

T = tolérant, S = sensible, I = intermédiaire

Porte-Greffe	Espèce	Temps Survie (jours)	Tolérance
Marianna 2624	<i>cerasifera x munsoniana</i>	34	T
Myrobolan 29C	<i>cerasifera</i>	17	I
Rootpac® 40 Nanopac	<i>(dulcis x persica) x (dulcis x persica)</i>	16,5	I
Rootpac® Replantpac	<i>cerasifera x dulcis</i>	16	I
Gisela 5	<i>cerasus x canescens</i>	15,5	I
Rootpac® 70 Purplepac	<i>(persica x davidiana) x (dulcis x persica)</i>	12	I
Garnem (GN15)	<i>dulcis x persica</i>	10	S
Rootpac® 90 Greenpac	<i>(persica x davidiana) x (dulcis x persica)</i>	10	S
GF677	<i>dulcis x persica</i>	7	S

(Pinochet, 2010 ; Pinochet et al., 2011)

Tableau 10 : Taux de photosynthèse de différents porte-greffes en condition d'asphyxie racinaire

Les porte-greffes ont été submergés 24 jours. Le taux de photosynthèse est calculé par rapport à une référence non submergée.

T = tolérant, S = sensible

Porte-Greffe	Espèce	Taux Photosynthèse	Tolérance
Myrotop®	<i>cerasifera</i>	0,753	T
GF677	<i>dulcis x persica</i>	0,184	S
Felinem (GN22)	<i>dulcis x persica</i>	0	S
Garnem (GN15)	<i>dulcis x persica</i>	0	S

(Dichio et al., 2004)

Les porte-greffes de type prunier représentent donc une opportunité intéressante pour la culture de pêches et abricots, généralement cultivés sur des sols plus séchants, sur des sols plus lourds. Néanmoins peu d'essais d'asphyxie racinaire sont disponibles dans la littérature et encore moins avec des porte-greffes utilisés en France. Certaines espèces, notamment les pruniers japonais (*P. salicina*) et prunier de Damas (*P. insititia*) tout comme les pêcheurs sont absents des essais maintenus pour l'analyse.

Les enquêtes ont également permis de mettre en évidence l'importance de mieux caractériser les sous-sols des exploitations. Deux agriculteurs, dont les sols sont très caillouteux et drainants mais aux sous-sols irréguliers et argileux décrivent des phénomènes d'asphyxie de manière localisé sur l'exploitations.

Tableau 11 : Taux de survie de différents porte-greffes du cerisier en condition d'asphyxie racinaire

Les porte-greffes ont été submergés 14 jours.

T = tolérant, S = sensible, I = intermédiaire

Porte-Greffe	Espèce	% Survie	Tolérance
Marianna 2624	<i>cerasifera x munsoniana</i>	100	T
Colt	<i>pseudocerasus x avium</i>	66	I
Maxma Delbard® 14	<i>mahaleb x avium</i>	66	I
Garnem (GN15)	<i>dulcis x persica</i>	20	S
F12/1	<i>avium</i>	0	S
Maxma Delbard® 60	<i>mahaleb x avium</i>	0	S

(Pimentel et al., 2014)

Ces « tâches » d'asphyxie rendent le choix du porte-greffe difficile par la double nature des sols, drainant et séchant en été mais asphyxiant en hiver, pousse les agriculteurs à opter pour des porte-greffes de pruniers, plus tolérants à l'asphyxie racinaire. Or ces mêmes porte-greffes sont également plus sensibilisants à la bactériose.

IV.2.4. La Bactériose (Chancre bactérien)

La tolérance à la bactériose est la problématique touchant au porte-greffe la plus représentée dans les enquêtes, avec trois exploitants qui la considère une problématique majeure. Deux des agriculteurs sur des sols sableux-limoneux drainant ont essayé Ishtara® avec Pricia (abricot précoce). Dans un cas, pour sa meilleure adaptation à l'asphyxie de Ishtara® car le terrain présentait un sous-sol peu drainant et asphyxiant l'hiver et dans le deuxième cas pour obtenir une meilleure production d'abricots, Ishtara® induisant généralement un gain de calibre. Dans les deux cas les vergers ont connu des pertes importantes, autour de 50% des arbres étant sévèrement touchés par la bactériose, et les deux agriculteurs considèrent que l'ensemble de leurs parcelles respectives seront mortes l'an prochain.

Dans ces mêmes vergers, d'autres parcelles plantées sur Montclar® et Rubira ne subissaient pas d'attaques, notamment sur les plants greffés haut. Cette observation a également été faite par un troisième exploitant chez qui les plants greffés sur GF677 subissaient des attaques régulières de bactériose alors que les plants sur des porte-greffes de pêcher greffés haut paraissent moins sensibles.

L'effet du sous-sol est également important. Comme mentionné précédemment, des parcelles présentant des tâches dues à un sous-sol asphyxiant en hiver ont été décrites comme étant plus susceptibles à la bactériose (Annexe 10). Or il est très difficile pour l'agriculteur de trouver un porte-greffe adapté dans ces conditions particulières.

Les porte-greffes de type pêcher résistant à la bactériose sont susceptibles à l'asphyxie et les porte-greffes de type prunier tolérants à l'asphyxie sont tout de même susceptibles à la bactériose sur ces sols. A l'inverse sur les sols limoneux plus profonds les agriculteurs utilisant du Ishtara® ou du Myrobolan n'observent pas de bactériose.

L'étude des données bibliographiques est en accord avec les observations du terrain. On remarque notamment sur les sols légers une meilleure tolérance des porte-greffes de type pêcher comparée au porte-greffes et hybrides de type prunier (Tableau 12). Ces tendances s'effacent sur des sols plus lourds (Annexe 11) dans lesquels les porte-greffes de myrobolans paraissent plus tolérants que sur les sols squelettiques. On constate une tendance similaire pour les porte greffes de type abricotier (*P. armeniaca*) et de pêcher x amandier qui présentent une tolérance intermédiaire.

Les données de la littérature confirment également l'intérêt de la greffe haute pour la tolérance à la bactériose (Annexe 12). Avec des hauteurs de greffage de 1m20 même des porte-greffes plus sensibles tels que les myrobolans, GF677 ou *P. dasycarpa* sont tolérantes à la bactériose. Ces observations ont également été faites par les agriculteurs qui ont essayés des variétés greffées hautes, notamment sur Montclar® et Rubira. Néanmoins les agriculteurs sont réticents à adopter cette pratique car les porte-greffes greffés haut ont une vigueur et productivité légèrement réduite, notamment ceux greffés à 1m20. Également les porte-greffes greffés à 1m20 sont plus difficiles à obtenir chez les pépiniéristes et nécessitent deux à trois ans en pépinière contre un à deux ans pour un porte-greffe classique.

L'INRA de Gothenon mène actuellement un essai sur la culture d'abricotiers greffés haut, et compense la perte de vigueur et productivité en augmentant la densité de plantation. Les résultats préliminaires montrent qu'il est possible d'obtenir des rendements équivalents voir supérieurs à la référence agriculteur tout en conservant la qualité (Millan et al., 2019).

Finalement, il paraît important de noter que les données présentées offrent une tendance des différentes familles et non un classement absolu des performances des différents porte-greffes.

De plus les données ont été acquises sur différentes années et donc avec des pressions de bactériose différentes ; on peut noter notamment l'écart important entre les données sur sols squelettiques superficiels du Tableau 12 et les sols sableux de l'Annexe 11, alors que les deux types de sols sont en réalité très proches, le climat des années étudiées lui varie grandement.

De plus, certains porte-greffes sont testés dans des conditions peu optimales pour leur développement, notamment les pruniers, sensibles à la sécheresse, dans des sols sableux ou superficiels et des porte-greffes de type pêcher et amandier dans des sols lourds potentiellement asphyxiants. Il faut donc lire ces résultats comme des tendances globales des espèces plus que des résultats individuels des variétés de porte-greffes étudiés.

Tableau 12 : Tolérance à la bactériose sur différents types de sols

R = résistant, T = tolérant, PT = peu tolérant, MS = moyennement sensible
S = sensible, TS = très sensible. ¹Hauteur de greffage, hauteur standard = 20cm

Porte-Greffe	Espèce	Tolérance
<i>Sols argilo-limoneux et limono-argileux</i>		
<i>Abricotiers</i>		
Manicot	<i>armeniaca</i>	PT
Dasycarpa P2315	<i>dasycarpa</i>	S-MS
<i>Pêchers et hybrides de pêchers</i>		
Rubira	<i>persica</i>	PT
GF677	<i>dulcis x persica</i>	MS
Citation®Zaipime	<i>salicina x persica</i>	S-MS
<i>Myrobolans et hybrides de myrobolans</i>		
Myrobolan B	<i>cerasifera</i>	S-MS
GF8-1	<i>cerasifera x munsoniana</i>	S
Jaspi®Fereley	<i>spinosa x (cerasifera x salicina)</i>	TS
Ishtara®Ferciana	<i>belsiana x (cerasifera x persica)</i>	MS-PT
<i>Hybrides de prunier domestique</i>		
Julior®Ferdor	<i>domestica x insititia</i>	S
Torinel®	<i>domestica x spinosa</i>	S-MS
<i>Sols squelettiques superficiels (gress caillouteux et diluvium)</i>		
<i>Abricotiers</i>		
Semis Abricotier	<i>armeniaca</i>	T
Manicot	<i>armeniaca</i>	TS
<i>Pêchers et hybrides de pêchers</i>		
GF305	<i>persica</i>	S
Montclar®	<i>persica</i>	PT
Montclar® 60cm ¹	<i>persica</i>	T
Rubira	<i>persica</i>	MS
Rubira 60cm	<i>persica</i>	T
GF677 60cm	<i>dulcis x persica</i>	PT-T
<i>Myrobolans et hybrides de myrobolans</i>		
P1254 60cm	<i>cerasifera</i>	TS
Krymsk 86	<i>cerasifera x persica</i>	TS
GF31	<i>cerasifera x salicina</i>	S
GF8-1 60cm	<i>cerasifera x munsoniana</i>	MS-PT
Ishtara®Ferciana 60cm	<i>belsiana x (cerasifera x persica)</i>	TS

(Sefra, 2000 ; Duquesne, Gall, 1975 ; Sefra, 2017 ; Chamet, 2018)

IV.2.5. Sensibilité aux nématodes

Les principales données de littérature sur la résistance des porte-greffes aux nématodes (Tableau 13) concernent la résistance aux nématodes à galles.

Pour les porte-greffe de type prunier, les porte-greffes Myrobolan, Myrotop® et Myrobolan 29C portent le gène de résistance Ma et induisent une résistance contre toutes les espèces de Meloidogyne. Le porte-greffe GF8-1 est aussi immun à toutes les espèces de Meloidogyne. Les porte-greffes Amygdalus (pêcher et amandier) sont sensibles aux Meloidogyne, sauf ceux qui portent le gène *RMia*, ce qui est le cas des hybrides pêcher x amandier Garnem et Felinem. L'hybride Cadaman® est aussi résistant aux nématodes à gales ce qui représente un atout par rapport à GF677 si l'on doit choisir un porte-greffe vigoureux avec des risques de nématodes.

Tableau 13 : Sensibilité aux nématodes de différents porte-greffes

Gene R : gène de résistance de la variété si connu

R = résistant, MS = moyennement sensible, S = sensible

Porte-greffe	Espèce Prunus	Gène R	Meloidogyne			P. vulnus
			<i>arenaria</i>	<i>incognita</i>	<i>javanica</i>	
Montclar®	<i>persica</i>		S	S	S	
Rubira	<i>persica</i>		S	S		
Cadaman®Avimag	<i>dauriana x persica</i>		R	R	R	
Nemaguard	<i>dauriana x persica</i>	RMia	R	R	S	S
GF677	<i>dulcis x persica</i>		S	S	S	S
Garnem	<i>dulcis x persica</i>	RMia	R	R	S	
Felinem	<i>dulcis x persica</i>	RMia	R	R	S	
Ishtara®Ferciana	<i>balsiana x (cerasifera x persica)</i>		S ?	S ?	R	
Myran®Yumir	<i>balsiana x persica</i>		S?	S?	S?	
Myrobolan B	<i>cerasifera</i>		S	MS	S	
Myrocal®	<i>cerasifera</i>		S	S	S	
P1254	<i>cerasifera</i>		S	S	S	
Myrotop®	<i>cerasifera</i>	Ma	R	R	R	
Myrobolan 29C	<i>cerasifera</i>	Ma	R	R	R	
GF43	<i>domestica</i>		S	S	S	
GF8-1	<i>cerasifera x munsoniana</i>		R	R	R	S
Torinel®	<i>domestica x spinosa</i>		R	R	R	MS
Jaspi®Fereley	<i>spinosa x salicina</i>		S	S	S	

(Scotto La Massese, 1989 ; Marull et al., 1991 ; Fernandez et al., 1994 ; Esmenjaud et al., 1994 ; 1997 ; Pinochet, 1995 ; Pinochet et al., 1999 ; Nyczepir, Esmenjaud, 2008)

Les enquêtes ne présentaient pas de cas d'attaque de nématodes.

IV.2.6. Tolérance au pourridié

Les données de la littérature permettent d’apprécier la tolérance relative de différents porte-greffes à l’*Armillaria* (Tableau 14). Les données concernent principalement *Armillaria mellea* qui est le pathogène de pourridié le plus présent en France.

Tableau 14 : Tolérance au pourridié de différents porte-greffes

T = tolérant, PT = plutôt tolérant, MS = moyennement sensible, S = sensible, TS = très sensible
La mortalité est la médiane du pourcentage d’arbres morts dans les différents essais étudiés

Porte-Greffe	Espèce	Mortalité (%)	Tendance
GF43	domestica	0,0	T
GF8-1	cerasifera x munsoniana	0,0	T
Jaspi®Fereley	spinosa x salicina	0,0	T
Reine-Claude vraie	domestica	2,0	T
GF31	cerasifera x salicina	2,8	T
Ishtara®Ferciana	belsiana x (cerasifera x persica)	14,6	PT-MS
Myran®Yumir	belsiana x persica	15,1	PT-MS
St Julien 53-7	insititia	16,7	PT-MS
Franc Merisier	avium	28,0	MS-S
Krymsk 1	cerasifera x tomentosa	35,0	MS-S
Krymsk 86	cerasifera x persica	37,5	MS-S
GF305	persica	35,7	S-TS
Adara	cerasifera	50,0	TS
Cadaman®avimag	dauidania x persica	54,5	TS
Semis Abricotier	armeniaca	56,0	TS
GF677	dulcis x persica	62,0	TS
Ste Lucie 64	mahaleb	77,7	TS
Nemaguard	dauidiana x persica	92,3	TS
Semis Amandier	dulcis	100,0	TS

(Guillaumin et al., 1991 ; Beckman, 1998 ; Beckman, Pusey, 2001 ; Baumgartner et al., 2018 ; Nicolas, Bonet, 1989 ; Duquesne et al., 1977 ; 1974)

Les porte-greffes de type prunier domestique, Reine-Claude et GF43 sont très tolérants, alors que les pruniers myrobolans et leurs hybrides ont des tolérances très inégales, GF8-1 est tolérant alors que Adara et Krymsk 1 et 86 sont plus sensibles. Les hybrides de prunier japonais Jaspi® et GF31 sont également tolérants.

Un léger effet du sol est visible (Annexe 13), les sols sableux présentent des taux de mortalité plus importants mais des essais dédiés à la comparaison des effets du sol seraient nécessaires pour confirmer cette tendance. Au cours des enquêtes deux des exploitants rencontrés mentionnaient le pourridié mais seulement un le considérait une problématique. Il notait que Cadaman® semblait satisfaisant dans ces conditions tout comme GF8-1 alors que GF677 est sensible alors que Cadaman® et GF677 sont plutôt sensibles dans la littérature, en particulier sur les sols lourds (Annexe 11).

D'autres agriculteurs ayant essayé GF43 confirment sa bonne tolérance au pourridié mais regrette son manque de productivité dans ces conditions. De même dans les vergers peu atteints la tendance est de favoriser des porte-greffes vigoureux comme Montclar et GF677 afin que la croissance de l'arbre compense les attaques de pourridié. Néanmoins en cas d'attaques plus sévères des porte-greffes plus adaptés tel que GF8-1 sont nécessaires.

IV.3. Discussion

IV.3.1. Limites de l'étude des propriétés agronomiques des porte-greffes

La synthèse bibliographique des performances agronomiques des différents porte-greffes ne permet pas aujourd'hui de classer de manière certaine les différentes variétés de porte-greffes. La disponibilité limitée des données, notamment pour les porte-greffes les moins utilisés et la grande hétérogénéité n'a pas permis un traitement statistique des données et beaucoup de données sont absentes.

En effet, chaque tableau de résultats ne contient que peu de porte-greffes parmi ceux pouvant être utilisés en France (Annexe 4). Par exemple, pour la bactériose certains porte-greffes de type prunier ou hybrides de prunier utilisés en culture d'abricotier tels que Myrotop®, Julior® ou Myrocal® sont absents. Ces porte-greffes étant de type prunier, et donc potentiellement sensibilisant à la maladie, leurs performances auraient été intéressantes. Ce constat est généralisable à l'ensemble des données récoltées.

L'étude de l'asphyxie en particulier ne contient que peu de porte-greffes alors qu'elle touche l'ensemble des productions. Dans l'étude de la résistance aux nématodes les données des porte-greffes Myran® et Ishtara® ne permettaient pas de conclure et peu d'évaluation sur les espèces de nématodes *Pratylenchus* existent. Dans ce sens, l'étude ne permet pas d'obtenir des résultats exhaustifs sur les porte-greffes les moins plantés.

Également, la faible répétition des observations concernant les performances des porte-greffes pousse à une interprétation prudente des données récoltées. L'étude bibliographique a permis de faire remonter des tendances dans les performances des différentes espèces de porte-greffes. Toutefois cette échelle paraît insuffisante pour une comparaison fine des porte-greffes, car une variabilité existe au sein d'une même espèce, p.ex. au sein des *P. cerasifera*. Cette variabilité est exacerbée pour les porte-greffes hybrides qui cumulent les caractéristiques de plusieurs espèces. Dans le cas d'un porte-greffe hybride interspécifique, il est difficile d'extrapoler les performances du porte-greffe à partir des espèces de ses parents.

Le travail de ce stage est donc à considérer comme une synthèse bibliographique et non comme une méta-analyse à proprement parler.

Toutefois l'exploration de contextes variés a permis de mieux faire ressortir certains effets de l'environnement et notamment de l'importance des sols. La connaissance des effets du sol sur le comportement agronomique des porte-greffes est un élément indispensable au choix d'un porte-greffe à l'installation d'un verger.

L'étude de l'asphyxie racinaire, et dans une moindre mesure de la tolérance au calcaire, ont permis de mettre en avant une grande variabilité dans l'adaptation des différentes espèces de porte-greffes aux caractéristiques du sol. Une analyse plus fine des propriétés des sols, notamment du pH et du taux de calcaire actif pour les sols calcaires, et de la texture, du coefficient de ruissellement et de la profondeur du sous-sol pour les sols asphyxiants, est nécessaire afin de mieux en corréliser les caractéristiques avec les performances des porte-greffes.

L'effet sensibilisant des sols légers communs dans les régions de production fruitière du Sud-Est de la France à la bactériose, le pourridié et éventuellement la chlorose pour les sols sableux a également pu être observé. Cette interaction entre les sols et l'incidence des stress biotiques est particulièrement visible dans l'étude de la sensibilité à la bactériose, montrant que les sols lourds sont presque exempts de bactériose, et dans une moindre mesure dans l'étude de la sensibilité au pourridié où l'on observe une augmentation globale des attaques sur les sols sableux.

Ces tendances observées pour les espèces sont donc intéressantes pour l'étude des effets environnementaux sur les porte-greffes à défaut de permettre de départager plus finement les variétés.

IV.3.2. L'apport des enquêtes auprès des agriculteurs

Les résultats recueillis au cours des enquêtes sont en accord avec la littérature. Les entretiens ont permis de cerner les avis et besoins des agriculteurs en rapport à l'utilisation des porte-greffes. Ce qui est ressorti majoritairement au cours des enquêtes est l'emphase mise sur la vigueur des arbres. Beaucoup de porte-greffes intéressants pour leur adaptation aux sols lourds ou au pourridié comme GF8-1 se retrouvent souvent écartés parce qu'ils manquent de vigueur, la vigueur déterminant la croissance de l'arbre tout comme la production fruitière.

Dans ce sens, pour qu'un porte-greffe soit adopté par les agriculteurs, il doit impérativement cumuler à la fois des traits de résistance et des traits de croissance et production comparables à ceux des porte-greffes actuels, notamment Montclar®.

La problématique touchant le plus les arboriculteurs enquêtés est l'ECA, provoquée par un phytoplasme qui oblige annuellement l'arrachage de 2 à 5 % des arbres des vergers. Dans un cas d'infection plus grave 20% du verger a dû être arraché. Or, les études actuelles sur la tolérance à l'ECA se concentrent majoritairement sur les interactions avec les variétés greffées et les pratiques agricoles et non sur le rôle des porte-greffes (Sauvion et al., 2012 ; Merlet et al., 2016).

La deuxième problématique la plus évoquée par les agriculteurs est la bactériose. Cela est attendu dans la mesure où les agriculteurs adhérents au GRCETA ont été contactés parce que leurs parcelles présentaient des signes de la maladie. Malgré un échantillon fortement dominé par des agriculteurs du Gard, installés sur des sols légers, l'enquête a permis d'explorer des situations différentes en ce qui concerne les problématiques étudiées. Les entretiens ont permis d'éclairer les pratiques agricoles et les besoins des arboriculteurs confrontés à des problèmes de chlorose, d'asphyxie, de pourridié et impactés par le chancre bactérien.

Il est courant que 2 à 5 % des arbres meurent de bactériose dans les vergers par an. Pour les 2 agriculteurs enquêtés qui ont connu des pertes c'était dû au choix d'un porte-greffe mal adapté, Ishtara®, qui a sensibilisé les arbres et causé la mort du verger. Dans ces deux cas les agriculteurs remarquent qu'ils auraient souhaité connaître la sensibilité d'Ishtara® avant l'implantation. Pour un d'eux la problématique est double car les parcelles souffrent de bactériose mais également d'asphyxie en hiver à cause d'un sous-sol imperméable.

Une solution alternative repose sur l'adaptation des pratiques agricoles (Tableau 15). Pour la bactériose le greffage haut des porte-greffes est une solution potentielle. Les agriculteurs enquêtés remarquent l'efficacité de la pratique mais sont réticents à l'adopter car elle surélève l'arbre ce qui modifie les pratiques de taille et de cueillette et la greffe haute tend à réduire la vigueur. Pour que cette technique soit rentable en vergers commerciaux elle demande de densifier les arbres et éventuellement de changer le système de taille des arbres afin de passer d'une taille en gobelet à une taille en Y ou une taille en palissade.

Tableau 15 : Pratiques agricoles visant à compenser les faiblesses des porte-greffes chez les agriculteurs enquêtés.

Problématiques	Pratiques agricoles mises en place
Asphyxie	Culture sur butte, drainage
Calcaire	Amendements de chélates de fer
Bactériose	Greffage haut
Nématodes et Pourridié	Rotations, jachère de un à deux ans, fumigation

Ces modalités sont en essai à l'INRA de Gotheron au sein du projet « Expe DEPHY Ecophyto CAP-ReD » avec des résultats positifs (Millan et al., 2019).

Les enquêtes mettent en évidence que les difficultés rencontrées par les agriculteurs dans le choix des porte-greffes relèvent également de la transmission de l'information. La sensibilité de Ishtara® à la bactériose p.ex. est un élément connu dans la littérature mais cette information n'était pas connue par les exploitants. Dans l'ensemble les exploitants enquêtés maîtrisaient mal les porte-greffes alors qu'ils connaissent très bien les variétés greffées. Une autre difficulté rencontrée par les agriculteurs est le manque de connaissances scientifiques qui persistent aujourd'hui autour des porte-greffes, entre autres sur la bactériose de l'abricotier. Si l'on sait distinguer des éléments influant sur la sensibilité à cette maladie comme le type de sol ou la hauteur de greffage, les explications des mécanismes qui entrent en jeu dans son développement restent encore des hypothèses à confirmer.

Dans plusieurs cas le porte-greffe choisi par les agriculteurs n'était pas optimal. On dénotera surtout l'implantation de Ishtara® sur des parcelles favorables au développement de la bactériose, le choix de Montclar® et GF677 sur une parcelle asphyxiante et le choix de Montclar et GF677 sur des parcelles sableuses très chlorosantes. Dans tous ces cas l'utilisation d'un porte-greffe erroné provient d'un manque d'information de l'agriculteur (tolérance de Ishtara®), d'un manque de connaissances sur la parcelle (nature du sous-sol, fer présent sur une parcelle sableuse) ou d'un manque de connaissances scientifique (fonctionnement de la bactériose).

Ces éléments étant mal maîtrisés, il est difficile de choisir un porte-greffe adapté lorsque les parcelles présentent des caractéristiques défavorables aux cultures.

V. Conclusion et Perspectives

L'étude de la littérature menée au cours de ce stage a permis de résumer les caractéristiques agronomiques des principales espèces de porte-greffes *Prunus*. Les résultats obtenus ont permis de mettre en avant certains facteurs à prendre en compte pour le choix du porte-greffe, principalement la texture des sols, la nature du sous-sol et la hauteur de greffage. D'autres facteurs liés à la chlorose, notamment le pH du sol et le taux de calcaire actif, n'ont cependant pas pu être mis en évidence. Également, **les résultats obtenus sur les variétés de porte-greffes sont encore insuffisants et ne répondent pas aux exigences d'un outil d'aide à la décision.**

Si la création de nouveaux porte-greffes plus performants est une solution possible il ressort des enquêtes que des solutions alternatives, passant par une remise en question des pratiques agricoles, existent (Tableau 15). Dans l'ensemble, les arboriculteurs maintiennent les mêmes porte-greffes, notamment Montclar®, qu'ils considèrent viables et productifs dans la majorité des situations, alors que les nouveaux porte-greffes peinent à être adoptés. Cette situation est également souhaitée par les pépiniéristes qui préfèrent gérer un nombre limité de porte-greffes.

Ainsi, **d'autres leviers représentent un intérêt majeur pour faciliter et optimiser le choix et l'utilisation des porte-greffes** dans les vergers de fruits à noyau. Ces leviers sont notamment axés sur **une meilleure compréhension des interactions entre les porte-greffes et leur environnement**, en particulier les sols et sous-sols, et **une meilleure transmission des informations disponibles à la filière sur les porte-greffes actuels.**

Pour approfondir le travail initié au cours de ce stage une étude des sols et sous-sols peut être effectuée directement chez les agriculteurs. Cette approche présente différents intérêts. Premièrement, elle permet d'explorer des contextes pédoclimatiques variés et profiter de la diversité des situations auxquelles les exploitants du Sud-Est de la France sont confrontés. Deuxièmement, elle permet de bénéficier de l'expertise et des observations des agriculteurs sur le comportement des arbres sur leur parcelle. Troisièmement, une caractérisation des sous-sols bénéficie directement aux agriculteurs et peut permettre de les encourager à s'investir dans les recherches qui y sont associées.

Une approche d'enquête par entretien peut aussi permettre de récolter des avis plus précis sur le comportement agronomique des porte-greffes. Cet aspect est développé dans ce stage mais pourrait être complété en ciblant d'autres agriculteurs.

En particulier des agriculteurs qui participent à des essais de porte-greffes ou qui ont planté des porte-greffes moins représentés comme Myrotop®, Myrocal® ou Citation®, qui étaient absent de notre enquête, seraient intéressants. D'autres acteurs qui influencent les pratiques agricoles, dont le choix du porte-greffe, peuvent être inclus dans ces enquêtes. Parmi ces acteurs on peut retenir les pépiniéristes, dont dépend la production et la distribution des porte-greffes et qui participent en partie à orienter le choix des agriculteurs.

Également des essais peuvent être mis en place pour mieux définir les caractéristiques des porte-greffes (Tableau 16). En effet il est très difficile aujourd'hui d'avoir des données précises sur les limites des porte-greffes comme le pH ou le pourcentage de calcaire actif à partir duquel un porte-greffe décroche. Connaître ces limites au moins pour les porte-greffes les plus utilisés permettrait de mieux identifier les parcelles où des porte-greffes alternatifs doivent être proposés.

Tableau 16 : Essais de caractérisation des limites des porte-greffes pouvant être mis en place

Problématique	Essais à mettre en place	Porte-greffes ciblés en priorité
Calcaire	Détermination d'un taux limite de pH et calcaire actif pour l'utilisation du porte-greffe	Montclar, GF677
Asphyxie	Taux limite d'argile dans le sol, profondeur de sol et coefficient de ruissèlement pour l'utilisation du porte-greffe	Cadaman, GF677
ECA	Déterminer s'il existe un effet du porte-greffe	Montclar, Myrobolan, GF677, Julior

Un frein majeur à la recherche en arboriculture est le temps nécessaire pour implanter les vergers d'essais et obtenir des résultats. Néanmoins des avancées récentes comme les essais in-vitro et le génotypage devraient permettre d'accélérer la recherche sur les porte-greffes. Des génomes de référence sur les espèces *Prunus* sont déjà disponible ; le génome du pêcher est disponible depuis 2010, le génome du cerisier depuis 2017, le génome de l'amandier depuis 2018 et le séquençage du génome de l'abricotier est en cours (Jung et al., 2019).

Dans le cas de la résistance aux nématodes l'identification de gènes de résistance permet le génotypage des porte-greffes avec des marqueurs moléculaires afin d'en identifier les résistances (Duval et al., 2019). Pour les porte-greffes myrobolan (*P. cerasifera*), il est possible de différencier les résistants porteurs du gène Ma comme Myrotop® des porte-greffes sensibles comme Myrocal® n'ayant pas le gène Ma. Il existe d'autres gènes de résistance à caractériser comme ceux présents dans GF8-1 et Cadaman®, et il sera plus facile à l'avenir de les identifier grâce aux nouveaux outils de séquençage et à la mise à disposition de génomes de référence.

Suite aux enquêtes et à la bibliographie et pour avancer sur la connaissance de l'interaction de *Pseudomonas syringae* avec la plante, une réflexion a été menée sur une expérimentation à mettre en place. L'essai viserait notamment à étudier les liens entre la hauteur de greffage, les sols, les températures hivernales, le porte-greffe et l'impact de la bactériose dans le but de mieux comprendre les mécanismes physiologiques et biochimiques qui déterminent la sensibilité des arbres à la maladie. L'hypothèse à valider est de montrer que plus la teneur en eau dans la plante est élevée, plus les risques de bactériose sont importants. Il s'agira de déterminer quels porte-greffes augmentent le plus la teneur en eau des tissus aériens de l'arbre en hiver.

Des techniques d'évaluation in-vitro de la tolérance au calcaire par des mesures l'activité enzymatique de FCR dans les racines permettent aujourd'hui d'évaluer de porte-greffes âgés de moins d'un an (Gogorcena et al., 2005). Ces techniques, en plus de faciliter la caractérisation de porte-greffes peu décrits dans la littérature, pourraient abrégé l'évaluation d'individus lors d'essais de sélection variétale. Des techniques d'évaluation in-vitro de la tolérance des porte-greffes au pourridié ont également été développées récemment et doivent permettre d'identifier des gènes de résistance au champignon (Baumgartner et al., 2018).

Les avancées en génétique devraient permettre de faciliter et généraliser les évaluations des porte-greffes (Lambert et al., 2009 ; Rubio-Cabetasa, 2012). Elles représentent également un atout intéressant pour l'amélioration variétale en ouvrant la voie à des porte-greffes avec des résistances plus importantes et plus durables par pyramidage de gènes, c.à.d. en cumulant plusieurs gènes de résistance différents.

Indépendamment des techniques et méthodes retenues pour les futures évaluations des porte-greffe une standardisation de ces essais est souhaitable afin de pouvoir comparer les résultats et transmettre aux agriculteurs des informations plus précises pour les guider dans leur choix de porte-greffes (Beckman, Lang, 2003). A la réunion annuelle du groupe porte-greffe *Prunus* coordonnée par le CTIFL en avril 2019, il a été constaté le même besoin d'homogénéisation des protocoles et il a été proposé de mettre en place un essai de plus grande envergure regroupant un ensemble de porte-greffes à la place des essais actuels plus nombreux mais de petite taille.

Une standardisation des essais et la progression de la génomique et son application pour l'étude des porte-greffes permettent donc d'être optimiste quant aux avancées des connaissances sur les porte-greffes *Prunus* et quant à la possibilité dans un futur proche de créer un outil d'aide à la décision visant à guider les arboriculteurs dans le choix du porte-greffe

Bibliographie :

- ALONI, B., COHEN, R., KARNI, L., AKTAS, H. et EDELSTEIN, M., 2010. Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. In : *Scientia Horticulturae*. 8 décembre 2010. Vol. 127, n° 2, p. 119-126. DOI 10.1016/J.SCIENTA.2010.09.003.
- ALONI, Roni, 2010. The induction of vascular tissues by auxin. In : DAVIES, Peter J. (éd.), *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* Dordrecht : Springer Netherlands. p. 485-518. ISBN 9781402026867.
- ARBONA, Vicent, LÓPEZ-CLIMENT, María F., PÉREZ-CLEMENTE, Rosa M. et GÓMEZ-CADENAS, Aurelio, 2009. Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. In : *Environmental and Experimental Botany*. 1 avril 2009. Vol. 66, n° 1, p. 135-142. DOI 10.1016/j.envexpbot.2008.12.011.
- ASSIMAKOPOULOU, Anna, HOLEVAS, Constantin D. et FASSEAS, Konstantinos, 2011. Relative susceptibility of some prunus rootstocks in hydroponics to iron deficiency. In : *Journal of Plant Nutrition*. 4 mai 2011. Vol. 34, n° 7, p. 1014-1033. DOI 10.1080/01904167.2011.555583.
- BAILEY-SERRES, J. et VOESENEK, L.A.C.J., 2008. Flooding Stress: Acclimations and Genetic Diversity. In : *Annual Review of Plant Biology*. 29 juin 2008. Vol. 59, n° 1, p. 313-339. DOI 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752.
- BAUMGARTNER, Kendra, FUJIYOSHI, Phillip, LEDBETTER, Craig, DUNCAN, Roger et KLUEPFEL, Daniel A., 2018. Screening Almond Rootstocks for Sources of Resistance to Armillaria Root Disease. In : *HortScience*. janvier 2018. Vol. 53, n° 1, p. 4-8. DOI 10.21273/hortsci12038-17.
- BECKMAN, T. G., 1998. Developing Armillaria resistant rootstocks for peach. In : *Acta Horticulturae*. avril 1998. Vol. 465, n° 465, p. 219-224. DOI 10.17660/ActaHortic.1998.465.26.
- BECKMAN, T. G. et LANG, G. A., 2003. Rootstock breeding for stone fruits. In : *Acta Horticulturae*. S.l. : s.n. août 2003. p. 531-551.
- BECKMAN, T. G. et PUSEY, P. L., 2001. Field testing peach rootstocks for resistance to armillaria root rot. In : *HortScience*. 2001. Vol. 36, n° 1, p. 101-103.
- BERNHARD, R et CLAVERIE, J, 1986. Rooting of semi-ligneous branches. Application to several stone fruit species. In : *Cinquième Colloque sur les Recherches Fruitières (France)*. S.l. : s.n. 1986. p. 229-236.
- BYRNE, D H, BACON, T et EGILLA, J N, 1989. Developing peach rootstocks for calcareous soils. In : *Compact fruit tree*. 1989. Vol. 22, p. 87-90.
- BYRNE, David H., 1988. Comparative growth of two peach seedling rootstocks under alkaline soil conditions. In : *Journal of Plant Nutrition*. décembre 1988. Vol. 11, n° 12, p. 1663-1669. DOI 10.1080/01904168809363923.
- CALVO-POLANCO, Mónica, SEÑORANS, Jorge et ZWIAZEK, Janusz J, 2012. Role of adventitious roots in water relations of tamarack (*Larix laricina*) seedlings exposed to flooding. In : *BMC Plant Biology*. 27 juin 2012. Vol. 12, n° 1, p. 99. DOI 10.1186/1471-2229-12-99.
- CAO, Tiesen, A. SHACKEL, Kenneth, C. KIRKPATRICK, Bruce, M. DEJONG, Theodore et A. DUNCAN, Roger, 2013. Effect of calcium and nitrogen fertilization on bacterial canker susceptibility in stone fruits. In : *Fruits*. 5 mai 2013. Vol. 68, n° 3, p. 245-254. DOI 10.1051/fruits/2013071.
- CAO, Tiesen, KIRKPATRICK, Bruce C., SHACKEL, Kenneth A. et DEJONG, Theodore M., 2013. Effect of leaf scar age, chilling and freezing-thawing on infection of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* through leaf scars and lenticels in stone fruits. In : *Fruits*. 22 mars 2013. Vol. 68, n° 2, p. 159-169. DOI 10.1051/fruits/2013060.
- CAO, Tiesen, M. DEJONG, Theodore, A. SHACKEL, Kenneth, C. KIRKPATRICK, Bruce, JOHNSON, R. Scott, C. KIRKPATRICK, Bruce et A. SHACKEL, Kenneth, 2013. Influence of rootstock, temperature and incubation duration on bacterial canker severity caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* in peach. In : *Fruits*. 16 janvier 2013. Vol. 68, n° 1, p. 45-55. DOI 10.1051/fruits/2012050.
- CHAMET, Christophe, 2018. *Abricotier 2018 Essai de porte-greffe vis-à-vis de la bactériose à Beaumont Montoux*. S.l.
- CHIN, Siew Wai, SHAW, Joey, HABERLE, Rosemarie, WEN, Jun et POTTER, Dan, 2014. Diversification of almonds, peaches, plums and cherries - Molecular systematics and biogeographic history of *Prunus* (Rosaceae). In : *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 1 juillet 2014. Vol. 76, n° 1, p. 34-48. DOI 10.1016/j.ympev.2014.02.024.
- CHRISTENHUSZ, Maarten J.M. et BYNG, James W., 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase. In : *Phytotaxa*. 20 mai 2016. Vol. 261, n° 3, p. 201-217. DOI 10.11646/phytotaxa.261.3.1.
- CINELLI, F. et VITI, R., 1995. Practical Use of Root Cation Exchange Capacity as a Predictive Marker of Lime-Induced Chlorosis Tolerance in *Prunus Cerasifera* L. Rootstocks. In : *Journal of Plant Nutrition*. janvier 1995. Vol. 18, n° 1, p. 65-75. DOI 10.1080/01904169509364885.
- CINELLI, Fabrizio, IACONA, Calogero et TAMANTINI, Ivano, 2004. Nutritional (Fe-Mn) interactions in 'Big Top' peach plants as influenced by the rootstock and by the soil CaCO₃ concentration. In : *Soil Science and Plant Nutrition*. février 2004. Vol. 50, n° 7, p. 1097-1102. DOI 10.1080/00380768.2004.10408580.
- CLAVERIE, Michel, DIRLEWANGER, Elisabeth, BOSSELUT, Nathalie, VAN GHELDER, Cyril, VOISIN, Roger, KLEINHENTZ, Marc, LAFARGUE, Bernard, ABAD, Pierre, ROSSO, M.-N., CHALHOUB, Boulos et ESMENJAUD, Daniel, 2011. The Ma Gene for Complete-Spectrum Resistance to Meloidogyne Species in *Prunus* Is a TNL with a Huge Repeated C-Terminal Post-LRR Region. In : *PLANT PHYSIOLOGY*. 1 juin 2011. Vol. 156, n° 2, p. 779-792. DOI 10.1104/pp.111.176230.

- COHEN, Ron, BURGER, Yosef, HOREV, Carmela, KOREN, Amnon et EDELSTEIN, Menahem, 2007. Introducing Grafted Cucurbits to Modern Agriculture: The Israeli Experience. In : *Plant Disease*. 2007. Vol. 91, n° 8, p. 916-923. DOI 10.1094/pdis-91-8-0916.
- CTIFL, 2017. *La certification fruitière française Liste des pépiniéristes agréés et cultivars 2016-2017*. 2017. S.l. : s.n.
- DAS, Biswajit, AHMED, N et SINGH, Pushkar, 2011. Prunus diversity-early and present development: a review. In : *International Journal of Biodiversity and Conservation*. 2011. Vol. 3, n° 14, p. 721-734.
- DEBBAGH, Nabil El, 2016. *Analyse de la diversité de processus de développement racinaire chez les Prunus : aptitude au bouturage et réponses à la contrainte hydrique*. S.l. : Université d'Avignon.
- DENGLER, Nancy G., 2001. *Regulation of vascular development*. 4 juillet 2001. S.l. : Springer-Verlag.
- DICHIO, B., XILOYANNIS, C., CELANO, G., VICINANZA, L., ESMENJAUD, D., GÓMEZ-APARISI, J. et SALESSES, G., 2004. PERFORMANCE OF NEW SELECTIONS OF PRUNUS ROOTSTOCKS, RESISTANT TO ROOT KNOT NEMATODES, IN WATERLOGGING CONDITIONS. In : *Acta Horticulturae*. octobre 2004. n° 658, p. 403-405. DOI 10.17660/ActaHortic.2004.658.59.
- DIRLEWANGER, E., COSSON, P., HOWAD, W., CAPDEVILLE, G., BOSSELUT, N., CLAVERIE, M., VOISIN, R., POIZAT, C., LAFARGUE, B., BARON, O., LAIGRET, F., KLEINHENTZ, M., ARÚZ, P. et ESMENJAUD, D., 2004. Microsatellite genetic linkage maps of myrobalan plum and an almond-peach hybrid - Location of root-knot nematode resistance genes. In : *Theoretical and Applied Genetics*. 6 août 2004. Vol. 109, n° 4, p. 827-838. DOI 10.1007/s00122-004-1694-9.
- DOMINGO, Rafael, PÉREZ-PASTOR, Alejandro et RUIZ-SÁNCHEZ, Ma Carmen, 2002. Physiological responses of apricot plants grafted on two different rootstocks to flooding conditions. In : *Journal of Plant Physiology*. 1 janvier 2002. Vol. 159, n° 7, p. 725-732. DOI 10.1078/0176-1617-0670.
- DUQUESNE, J. et GALL, H., 1975. L'influence des porte-greffe sur la sensibilité de l'abricotier aux bactérioses. In : *Phytoma - Défense des cultures*. 1975. n° 268, p. 22-26.
- DUQUESNE, J., GALL, H. et JM, Delmas, 1977. Nouvelles observations réalisées sur la sensibilité différentielle au pourridié à armillaire (*Armillaria mellea*) de quelques portes-greffes de l'abricotier. In : *La Pomologie Française*. 1977. Vol. 19, n° 6, p. 95-98.
- DUQUESNE, J, 1969. Etude de la compatibilité de greffe de quelques cultivars de *Prunus armeniaca* (Koehne) sur divers types de *Prunus*. In : *Am. Amélior. Plantes*. 1969. Vol. 19, n° 4, p. 419-441.
- DUQUESNE, J, GALL, H et JM, Delmas, 1974. Etude bibliographique sur le pourridié à armillaire et observations réalisées sur la sensibilité différentielle de quelques porte-greffes de l'abricotier. In : *La Pomologie Française*. 1974. Vol. 16, n° 5, p. 87-102.
- DUVAL, H., 2015. Use of *Prunus* genetic diversity for peach rootstocks. In : XILOYANNIS, C. (Cristos), INGLESE, Paolo et MONTANARO, G. (Giuseppe) (éd.), *Acta Horticulturae*. mai 2015. Vol. 1084, n° 1084, p. 277-282. DOI 10.17660/ActaHortic.2015.1084.39.
- DUVAL, H., VAN GHELDER, C., CALLOT, C. et ESMENJAUD, D., 2018. Characterization of the RMja resistance gene to root-knot nematodes from the 'Alnem' almond rootstock. In : *Acta Horticulturae*. octobre 2018. n° 1219, p. 325-330. DOI 10.17660/actahortic.2018.1219.49.
- DUVAL, Henri, HOERTER, Mathilde, POLIDORI, Joël, CONFOLENT, Carole, MASSE, Martin, MORETTI, André, VAN GHELDER, Cyril et ESMENJAUD, Daniel, 2014. High-resolution mapping of the RMia gene for resistance to root-knot nematodes in peach. In : *Tree Genetics and Genomes*. 3 avril 2014. Vol. 10, n° 2, p. 297-306. DOI 10.1007/s11295-013-0683-z.
- DUVAL, Henri, VAN GHELDER, Cyril, PORTIER, Ulysse, CONFOLENT, Carole, MEZA, Pablo et ESMENJAUD, Daniel, 2019. New Data Completing the Spectrum of the *Ma*, *RMia*, and *RMja* Genes for Resistance to Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.) in *Prunus*. In : *Phytopathology*. 25 avril 2019. Vol. 109, n° 4, p. 615-622. DOI 10.1094/PHYTO-05-18-0173-R.
- EGILLA, J N et BYRNE, D H, 1989. The search for peach rootstocks tolerant to alkalinity. In : *Fruit varieties journal (USA)*. 1989. Vol. 43, n° 1, p. 7-11.
- ELSTNER, Erich F., OSSWALD, W., VOLPERT, R. et SCHEMPP, H., 1994. PHENOLIC ANTIOXIDANTS. In : *Acta Horticulturae*. décembre 1994. n° 381, p. 304-335. DOI 10.17660/ActaHortic.1994.381.39.
- ERMEL, F. F., POËSSEL, J. L., FAUROBERT, M. et CATESSON, A. M., 1997. Early scion/stock junction in compatible and incompatible pear/pear and pear/quince grafts: A histocytological study. In : *Annals of Botany*. 1 mai 1997. Vol. 79, n° 5, p. 505-515. DOI 10.1006/anbo/79.5.505.
- ERMEL, Fabienne F., CATESSON, Anne Marie et POËSSEL, Jean Luc, 1993. Néof ormation cambiale et incompatibilité de greffe chez les associations poirier/cognassier. In : *Acta Botanica Gallica*. janvier 1993. Vol. 140, n° 4, p. 363-370. DOI 10.1080/12538078.1993.10515608.
- ERREA, P., FELIPE, A. et HERRERO, M., 1994. Graft establishment between compatible and incompatible *Prunus* spp. In : *Journal of Experimental Botany*. 1 mars 1994. Vol. 45, n° 3, p. 393-401. DOI 10.1093/jxb/45.3.393.
- ERREA, P, TREUTTER, D et FEUCHT, W, 1992. Specificity of individual flavan-3-ols interfering with the grafting stress of apricots. In : *Angewandte Botanik*. 1992. Vol. 66, p. 21-24.

- ESMENJAUD, D, MINOT, J C, VOISIN, R, PINOCHET, J, SIMARD, M H et SALESSES, G, 1997. Differential response to root-knot nematodes in prunus species and correlative genetic implications. In : *Journal of nematology*. septembre 1997. Vol. 29, n° 3, p. 370-80.
- ESMENJAUD, D, MINOT, J C, VOISIN, R, SALESSES, G, SIMARD, M H et PINOCHET, J, 1994. Porte-greffes fruitiers: la résistance aux nématodes. In : *L'Arboriculture fruitière*. 1994. Vol. 471, p. 17-22.
- FAUST, Miklos et TIMON, Bela, 2011. *Origin and Dissemination of Prunus Crops*. Leuven (Belgium) : International Society for Horticultural Science (ISHS). ISBN 9789066054363.
- FERNANDEZ, C., PINOCHET, Jorge, ESMENJAUD, Daniel, SALESSES, George et FELIPE, Antonio, 1994. Resistance among new Prunus rootstocks and selections to root-knot nematodes in Spain and France. In : *HortScience*. 1994. Vol. 29, n° 9, p. 1064-1067. DOI 10.21273/HORTSCI.29.9.1064.
- FEUCHT, W. et TREUTTER, D., 1991. Phenol gradients in opposing cells of Prunus heterografts. In : *Advances in Horticultural Science*. 1991. Vol. 5, p. 107-111. DOI 10.2307/42881595.
- FEUCHT, Walter, TREUTTER, Dieter et SCHMID, Paul, 1988. Inhibition of growth and xylogenesis and promotion of vacuolation in prunus callus by the flavanone prunin. In : *Plant Cell Reports*. mai 1988. Vol. 7, n° 3, p. 189-192. DOI 10.1007/BF00269320.
- FIDEGHELLI, C, 2003. The peach industry in Italy: State-of-art research and development. In : *Proceedings of the First Mediterranean Peach Symposium Agrigento*. Agrigento (Italy) : s.n. 2003. p. 1-2.
- FIHN, Oliver, WOHLGEMUTH, Gert, SCHOLZ, Martin, KIND, Tobias, LEE, Do Yup, LU, Yun, MOON, Stephanie et NIKOLAU, Basil, 2008. Quality control for plant metabolomics: Reporting MSI-compliant studies. In : *Plant Journal*. 4 février 2008. Vol. 53, n° 4, p. 691-704. DOI 10.1111/j.1365-313X.2007.03387.x.
- FRANCEAGRIMER, 2016. *Chiffres clés 2016: Fruits et Légumes*. 2016. S.l. : FranceAgriMer.
- FRANCEAGRIMER, 2019. *Fruits frais : fiche filière*. 2019. S.l. : FranceAgriMer.
- GAINZA, Felipe, OPAZO, Ismael, GUAJARDO, Verónica, MEZA, Pablo, ORTIZ, Mauricio, PINOCHET, Jorge et MUÑOZ, Carlos, 2015. Rootstock breeding in Prunus species: Ongoing efforts and new challenges. In : *Chilean journal of agricultural research*. août 2015. Vol. 75, p. 6-16. DOI 10.4067/s0718-58392015000300002.
- GAINZA, Felipe, OPAZO, Ismael et MUÑOZ, Carlos, 2015. Graft incompatibility in plants: Metabolic changes during formation and establishment of the rootstock/scion union with emphasis on Prunus species. In : *Chilean journal of agricultural research*. août 2015. Vol. 75, p. 28-34. DOI 10.4067/s0718-58392015000300004.
- GARNER, R. J. (Robert John), 2013. *The grafter's handbook*. 6th Editio. London : Octopus Publishing Group. ISBN 160358482X.
- GOGORCENA, Yolanda, ABADÍA, Javier et ABADÍA, Anunciación, 2005. A New Technique for Screening Iron-Efficient Genotypes in Peach Rootstocks: Elicitation of Root Ferric Chelate Reductase by Manipulation of External Iron Concentrations. In : *Journal of Plant Nutrition*. 2 janvier 2005. Vol. 27, n° 10, p. 1701-1715. DOI 10.1081/PLN-200026406.
- GONZALO, María José, MORENO, María Ángeles et GOGORCENA, Yolanda, 2011. Physiological responses and differential gene expression in Prunus rootstocks under iron deficiency conditions. In : *Journal of Plant Physiology*. 15 juin 2011. Vol. 168, n° 9, p. 887-893. DOI 10.1016/j.jplph.2010.11.017.
- GRADZIEL, Thomas M, 2011. Origin and Dissemination of Almond. In : *Horticultural Reviews*. S.l. : s.n. p. 23-81.
- GRASSELLY, Charles et DIRLEWANGER, Elisabeth, 2016. 1951-1981 / La création du porte-greffe GF 677. In : *INRA* [en ligne]. 16 décembre 2016. [Consulté le 15 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.bordeaux-aquitaine.inra.fr/Toutes-les-actualites/70-ans-porte-greffe-GF677>.
- GREGORY, Peter J., ATKINSON, Christopher J., BENGOUGH, A. Glyn, ELSE, Mark A., FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, Felicidad, HARRISON, Richard J. et SCHMIDT, Sonja, 2013. Contributions of roots and rootstocks to sustainable, intensified crop production. In : *Journal of Experimental Botany*. 1 mars 2013. Vol. 64, n° 5, p. 1209-1222. DOI 10.1093/jxb/ers385.
- GUILLAUMIN, J. J., PIERSON, J. et GRASSELLY, C., 1991. The susceptibility to Armillaria mellea of different Prunus species used as stone fruit rootstocks. In : *Scientia Horticulturae*. 1 février 1991. Vol. 46, n° 1-2, p. 43-54. DOI 10.1016/0304-4238(91)90091-C.
- GUILLAUMIN, Jean-Jacques, 2005. *L'armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux*. S.l. : Editions Quae. ISBN 2738012086.
- HALL, Robert D., 2006. *Plant metabolomics: From holistic hope, to hype, to hot topic*. 1 février 2006. S.l. : John Wiley & Sons, Ltd (10.1111).
- HALL, Robert D. et HARDY, Nigel W., 2011. Practical Applications of Metabolomics in Plant Biology. In : HARDY, N. et HALL R. (éd.), *Plant Metabolomics*. volume 860. S.l. : Humana Press. p. 1-10.

- HARBORNE, Jeffrey B. et ROBERTS, M. F., 1994. The Flavonoids, Advances in Research since 1986. In : *Phytochemistry*. 1994. Vol. 37, n° 3, p. 913.
- HASLAM, EDWIN et LILLEY, TERENCE H, 1986. Polyphenol complexation. In : *Groupe polyphenols: Bulletin de Liason*. S.l. : na. 1986. p. 352-357.
- HEDRICK, Ulysses Prentiss, 1917. *The Peaches of New York (Illustrations)*: S.l.: JB Lyon Company, printers. ISBN 9780781252355.
- HELL, Rüdiger et STEPHAN, Udo W., 2003. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. In : *Planta*. 2003. Vol. 216, n° 4, p. 541-551. DOI 10.1007/s00425-002-0920-4.
- HERRERO, J., 1951. Studies of Compatible and Incompatible Graft Combinations With Special Reference to Hardy Fruit Trees. In : *Journal of Horticultural Science*. 27 janvier 1951. Vol. 26, n° 3, p. 186-237. DOI 10.1080/00221589.1951.11513736.
- HOLZAPFEL, Eduardo A, PANNUNZIO, Alejandro, LORITE, Ignacio, SILVA DE OLIVEIRA, Aureo et FARKAS, István, 2009. Design and Management of Irrigation Systems. In : *Chilean journal of agricultural research*. 2009. Vol. 69, n° 1, p. 17-25. DOI 10.4067/s0718-58392009000500003.
- HOOD, I A, REDFERN, D B et KILE, G A, 1991. Armillaria in planted hosts. In : *Armillaria Root Disease*. S.l.: s.n. p. 122-149.
- INSAUSTI, Pedro et GORJÓN, Santiago, 2013. Floods affect physiological and growth variables of peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch), as well as the postharvest behavior of fruits. In : *Scientia Horticulturae*. 18 mars 2013. Vol. 152, p. 56-60. DOI 10.1016/j.scientia.2013.01.005.
- IVASCU, A., TOMA, S. et SEVERIN, V., 2002. The resistance to bacterial attack of some peach and nectarine varieties and hybrids in Romania. In : *Acta Horticulturae*. S.l.: s.n. novembre 2002. p. 675-679.
- JIMÉNEZ, Sergio, OLLAT, Nathalie, DEBORDE, Catherine, MAUCOURT, Mickael, RELLÁN-ÁLVAREZ, Rubén, MORENO SÁNCHEZ, María Ángeles et GOGORCENA AOIZ, Yolanda, 2011. Metabolic response in roots of *Prunus* rootstocks submitted to iron chlorosis. In : *Journal of Plant Physiology*. 15 mars 2011. Vol. 168, n° 5, p. 415-423. DOI 10.1016/j.jplph.2010.08.010.
- JIMÉNEZ, Sergio, PINOCHET, Jorge, ABADÍA, Anunciación, MORENO, María Ángeles et GOGORCENA, Yolanda, 2008. Tolerance Response to Iron Chlorosis of *Prunus* Selections as Rootstocks. In : *HortScience horts*. 2008. Vol. 43, n° 2, p. 304-309. DOI 10.21273/HORTSCI.43.2.304.
- JUNG, Sook, LEE, Taein, CHENG, Chun-Huai, BUBLE, Katheryn, ZHENG, Ping, YU, Jing, HUMANN, Jodi, FICKLIN, Stephen P, GASIC, Ksenija, SCOTT, Kristin, FRANK, Morgan, RU, Sushan, HOUGH, Heidi, EVANS, Kate, PEACE, Cameron, OLMSTEAD, Mercy, DEVETTER, Lisa W, MCFERSON, James, COE, Michael, WEGRZYN, Jill L, STATON, Margaret E, ABBOTT, Albert G et MAIN, Dorrie, 2019. 15 years of GDR: New data and functionality in the Genome Database for Rosaceae. In : *Nucleic acids research*. 8 janvier 2019. Vol. 47, n° D1, p. D1137-D1145. DOI 10.1093/nar/gky1000.
- KARAGIANNIDIS, N., THOMIDIS, T., ZAKINTHINOS, G. et TSIPOURIDIS, C., 2008. Prognosis and correction of iron chlorosis in peach trees and relationship between iron concentration and Brown Rot. In : *Scientia Horticulturae*. 1 octobre 2008. Vol. 118, n° 3, p. 212-217. DOI 10.1016/j.scientia.2008.06.005.
- KAVAK, H et ÇITIR, A, 1995. Malatya ili merkez ilçede kayisılarda görülen hastalıkların tanıları ve yaygınlık oranları üzerine araştırmalar. 7. In : *Fitopatoloji Kongresi Bildirileri*. 1995. p. 531-534.
- KENNELLY, Megan M., CAZORLA, Francisco M., DE VICENTE, Antonio, RAMOS, Cayo et SUNDIN, George W., 2007. *Pseudomonas syringae* Diseases of Fruit Trees: Progress Toward Understanding and Control. In : *Plant Disease*. 16 janvier 2007. Vol. 91, n° 1, p. 4-17. DOI 10.1094/pd-91-0004.
- KOEPKE, Tyson et DHINGRA, Amit, 2013. Rootstock scion somatogenetic interactions in perennial composite plants. In : *Plant Cell Reports*. 22 septembre 2013. Vol. 32, n° 9, p. 1321-1337. DOI 10.1007/s00299-013-1471-9.
- KOTAN, R. et ŞAHİN, F., 2002. First record of bacterial canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, on apricot trees in Turkey. In : *Plant Pathology*. 1 décembre 2002. Vol. 51, n° 6, p. 798. DOI 10.1046/j.1365-3059.2002.00768.x.
- KOZŁOWSKI, T. T. et PALLARDY, S. G., 1979. Stomatal Responses of *Fraxinus pennsylvanica* Seedlings during and after Flooding. In : *Physiologia Plantarum*. 1 juin 1979. Vol. 46, n° 2, p. 155-158. DOI 10.1111/j.1399-3054.1979.tb06549.x.
- KUEGER, Stephan, STEINHAUSER, Dirk, WILLMITZER, Lothar et GIAVALISCO, Patrick, 2012. High-resolution plant metabolomics: from mass spectral features to metabolites and from whole-cell analysis to subcellular metabolite distributions. In : *The Plant Journal*. 2012. Vol. 70, n° 1, p. 39-50.
- LAMBERT, P, DIRLEWANGER, E et LAURENS, F, 2009. *La sélection assistée par marqueurs (SAM) chez les arbres fruitiers: une approche prometteuse au service de l'innovation variétale*. S.l.

- LAMICHHANE, Jay Ram, VARVARO, Leonardo, PARISI, Luciana, AUDERGON, Jean Marc et MORRIS, Cindy E., 2014. Disease and frost damage of woody plants caused by *Pseudomonas syringae*: Seeing the forest for the trees. In : *Advances in Agronomy*. S.l. : Academic Press. p. 235-295. ISBN 9780128001325.
- LE PROVOST, Grégoire, SULMON, Cécile, FRIGERIO, Jean Marc, BODÉNÈS, Catherine, KREMER, Antoine et PLOMION, Christophe, 2012. Role of waterlogging-responsive genes in shaping interspecific differentiation between two sympatric oak species. In : *Tree Physiology*. 1 février 2012. Vol. 32, n° 2, p. 119-134. DOI 10.1093/treephys/tpr123.
- LEON-CHAPOUX, Magalie, DELAUNAY, Vincent, CHAMET, Christophe, FOURNIÉ, Jean-Luc, EXBRAYAT, Patrick, BRUN, Laurent et LICHOU, Jean, 2010. La bactériose de l'abricotier fait des dégâts. In : *Réussir Fruits et Légumes*. 2010. p. 32-35.
- LEONARDI, C. et ROMANO, D., 2004. Recent issues on vegetable grafting. In : *Acta Horticulturae*. S.l. : s.n. mars 2004. p. 163-174.
- LORETI, F. et MASSAI, R., 2006. STATE OF THE ART ON PEACH ROOTSTOCKS AND ORCHARD SYSTEMS. In : *Acta Horticulturae*. juillet 2006. n° 713, p. 253-268. DOI 10.17660/ActaHortic.2006.713.37.
- LUGEN, Marine, 2015. *Petit guide de méthodologie de l'enquête*. 2015. Bruxelles : Université libre de Bruxelles.
- MALLET, K. I. et MAYNARD, D. G., 1998. Armillaria root disease, stand characteristics, and soil properties in young lodgepole pine. In : *Forest Ecology and Management*. 15 juin 1998. Vol. 105, n° 1-3, p. 37-44. DOI 10.1016/S0378-1127(97)00294-6.
- MARÉNAUD, C, 1968. Mise en évidence, sur l'espèce abricotier, d'une incompatibilité intraspécifique due à la présence d'un virus du type Chlorotic Leaf Spot. In : *Ann. Epiphyties*. 1968. Vol. 19, p. 225-245.
- MARTÍNEZ-BALLESTA, M. Carmen, ALCARAZ-LÓPEZ, Carlos, MURIES, Beatriz, MOTA-CADENAS, César et CARVAJAL, Micaela, 2010. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. In : *Scientia Horticulturae*. 8 décembre 2010. Vol. 127, n° 2, p. 112-118. DOI 10.1016/j.scienta.2010.08.002.
- MARULL, J, PINOCHET, J, VERDEJO, S et SOLER, A, 1991. Reaction of Prunus Rootstocks to Meloidogyne-Incognita and M-Arenaria in Spain. In : *Journal of Nematology*. octobre 1991. Vol. 23, n° 4, p. 564-569. DOI 10.1016/j.est.2016.09.011.
- MERLET, Léa, SAUVION, Nicolas et MARIE-JEANNE, Véronique, 2016. Recherche des facteurs à l'origine des contaminations de pruniers par le phytoplasme de l'"Enroulement Chlorotique de l'abricotier". In : *8. édition of the Printemps de Baillarguet*. Montferrier-Sur-Lez, France : s.n. 2 juin 2016. p. 68.
- MESTRE, Lucía, REIG, Gemma, BETRÁN, Jesús A., PINOCHET, Jorge et MORENO, María Ángeles, 2015. Influence of peach-almond hybrids and plum-based rootstocks on mineral nutrition and yield characteristics of « Big Top » nectarine in replant and heavy-calcareous soil conditions. In : *Scientia Horticulturae*. 31 août 2015. Vol. 192, p. 475-481. DOI 10.1016/j.scienta.2015.05.020.
- MILLAN, M., BRUN, L., DEFERT, T., GALLIA, V., HOSTALNOU, E., MONTY, D., KOKÉ, E., LESNIAK, V., SEGARD, R. et SIMLER, O.RAMES, M-H., 2019. CAP ReD : Cerisier Abricotier Pruniers-Réduction des intrants et Durabilité des systèmes de production. In : *Innovations Agronomiques*. 2019. Vol. 76, n° 76, p. 311-335.
- MOING, A., CARBONNE, F. et GAUDILLÈRE, J. P., 1990. Growth and carbon partitioning in compatible and incompatible peach/plum grafts. In : *Physiologia Plantarum*. 1 juillet 1990. Vol. 79, n° 3, p. 540-546. DOI 10.1111/j.1399-3054.1990.tb02115.x.
- MOING, A. et GAUDILLÈRE, J. P., 1992. Carbon and nitrogen partitioning in peach/plum grafts. In : *Tree Physiology*. 1 janvier 1992. Vol. 10, n° 1, p. 93-100. DOI 10.1093/treephys/10.1.81.
- MOING, A. et SALESSES, G., 1988. PEACH/PLUM GRAFT INCOMPATIBILITY: STRUCTURAL, PHYSIOLOGICAL AND GENETIC ASPECTS. In : *Acta Horticulturae*. septembre 1988. n° 227, p. 57-62. DOI 10.17660/actahortic.1988.227.3.
- MORRIS, Cindy E, SANDS, David C, VINATZER, Boris A, GLAUX, Catherine, GUILBAUD, Caroline, BUFFIÈRE, Alain, YAN, Shuangchun, DOMINGUEZ, Hélène et THOMPSON, Brian M, 2008. The life history of the plant pathogen *Pseudomonas syringae* is linked to the water cycle. In : *ISME Journal*. 10 mars 2008. Vol. 2, n° 3, p. 321-334. DOI 10.1038/ismej.2007.113.
- MUDGE, Ken, JANICK, Jules, SCOFIELD, Steven et GOLDSCHMIDT, Eliezer E, 2009. A History of Grafting. In : *Horticultural reviews*. 2009. Vol. 35, n° 9.
- MYBURGH, P.A., 2017. Effect of Ridging on the Performance of Young Grapevines on a Waterlogged Soil. In : *South African Journal of Enology & Viticulture*. mai 2017. Vol. 15, n° 1, p. 3-8. DOI 10.21548/15-1-2274.
- NAGLE, W. G., LUCAS, R. J. et ROWE, R. N., 1992. Soil management for peach tree growth. In : *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. octobre 1992. Vol. 20, n° 4, p. 391-396. DOI 10.1080/01140671.1992.10418055.
- NEVES, Tainá Rodrigues das, MAYER, Newton Alex, UENO, Bernardo et UENO, Bernardo, 2017. Graft incompatibility in Prunus spp. preceded by SPAD index reduction. In : *Semina: Ciências Agrárias*. 2 mai 2017. Vol. 38, n° 2, p. 635. DOI 10.5433/1679-0359.2017v38n2p635.
- NICOLAS, J. et BONET, E., 1989. Pourrié et porte-greffes tolérants pour le pêcher en Roussillon. In : *Roussillon agricole*. 1989. Vol. 130, p. 15-21.

- NYCZEPIR, A.P. et ESMENJAUD, D., 2008. Nematodes. In : R. LAYNE, Desmond et BASSI, Daniele (éd.), *The Peach: Botany, Production and Uses*. S.I. : CABI. p. 615. ISBN 1845933869.
- PALMGREN, Michael G, 2001. Plant Plasma Membrane H + - ATPases: Powerhouses for Nutrient Uptake. In : *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 28 juin 2001. Vol. 52, n° 1, p. 817-845. DOI 10.1146/annurev.arplant.52.1.817.
- PETRI, Cesar, ALBURQUERQUE, Nuria, FAIZE, Mohamed, SCORZA, Ralph et DARDICK, Chris, 2018. Current achievements and future directions in genetic engineering of European plum (*Prunus domestica* L.). In : *Transgenic Research*. 12 juin 2018. Vol. 27, n° 3, p. 225-240. DOI 10.1007/s11248-018-0072-3.
- PIMENTEL, Paula, ALMADA, Rubén D., SALVATIERRA, Ariel, TORO, Guillermo, ARISMENDI, María J., PINO, María T., SAGREDO, Boris et PINTO, Manuel, 2014. Physiological and morphological responses of *Prunus* species with different degree of tolerance to long-term root hypoxia. In : *Scientia Horticulturae*. 17 décembre 2014. Vol. 180, p. 14-23. DOI 10.1016/j.scienta.2014.09.055.
- PINA, Ana et ERREA, Pilar, 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. In : *Scientia Horticulturae*. 3 août 2005. Vol. 106, n° 1, p. 1-11. DOI 10.1016/J.SCIEN.2005.04.003.
- PINOCHET, Jorge, 1995. Root-Knot Nematode resistance in stone fruit crops. In : *FAO - Nucleus newsletter*. 1995. Vol. 4, p. 9-11.
- PINOCHET, Jorge, 2010. 'Replantpac' (Rootpac® R), a Plum–almond Hybrid Rootstock for Replant Situations. In : *HortScience horts*. 2010. Vol. 45, n° 2, p. 299-301. DOI 10.21273/HORTSCI.45.2.299.
- PINOCHET, Jorge, BORDAS, M et TORRENTS, Joan, 2011. ROOTPAC R: un nuevo portainjerto de "Prunus" para situaciones de replante. In : *Revista de fruticultura*. 2011. n° 15, p. 4-10.
- PINOCHET, Jorge, CALVET, Cinta, HERNÁNDEZ-DORREGO, Adriana, BONET, Ariadna, FELIPE, Antonio et MORENO, Marian, 1999. Resistance of peach and plum rootstocks from Spain, France, and Italy to root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. In : *HortScience*. 1999. Vol. 34, n° 7, p. 1259-1262. DOI 10.21273/HORTSCI.34.7.1259.
- POËSSEL, J.L., FAUROBERT, M. et ERMEL-FONTAINE, F., 2000. Les incompatibilités de greffe chez les arbres fruitiers. In : CIRAD MONTPELLIER (FRANCE) (éd.), *Colloque Ste Catherine*. Orleans : s.n. 2000. p. 112-113.
- POTTER, Daniel, 2011. *Prunus*. In : KOLE, Chittaranjan (éd.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Temperate Fruits*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. p. 129-145. ISBN 9783642143878.
- POTTER, Daniel, 2012. Basic information on the stone fruit crops. In : KOLE, Chittaranjan et ABBOTT, Albert G. (éd.), *Genetics, genomics and breeding of stone fruits*. 1st Edition. Boca Raton : CRC Press New York, NY, USA. p. 1-21.
- PRUNIER, J. P. et COTTA, J., 1987. Le dépérissement bactérien (*Pseudomonas* spp.) de l'abricotier: situation en France. In : *EPP0 Bulletin*. 1 juin 1987. Vol. 17, n° 2, p. 251-256. DOI 10.1111/j.1365-2338.1987.tb00035.x.
- PRUNIER, J. P., JULLIAN, J. P. et AUDERGON, J. M., 1999. Influence of rootstock and the height of grafting on the susceptibility of apricot cultivars to bacterial canker. In : *Acta Horticulturae*. S.I. : s.n. mai 1999. p. 643-648.
- PRUNIER, Jean-Pierre, JULIAN, Jean-Pierre, MINODIER, René, CLAUZEL, Guy et MARTINS, Joao, 2005. Chancre bactérien sur abricotier - Eviter les dégâts par la mise en oeuvre de pratiques simples et raisonnées. In : *Arborticulture fruitière - L'Arbo performance*. 2005. p. 23-30.
- REHDER, Alfred, 1940. *Manual of Cultivated Trees and Shrubs Hardy in North America Exclusive of the Subtropical and Warmer Temperate Regions*. Second Ed. New York : Macmillan Publishing Co.
- REIGHARD, Gregory L., 2002. Current directions of peach rootstock programs worldwide. In : *Acta Horticulturae*. S.I. : s.n. novembre 2002. p. 421-427.
- REIGHARD, Gregory L. et LORETI, Filiberto, 2008. Rootstock Development. In : *The peach: botany, production and uses*. S.I. : CABI. p. 193-220. ISBN 1845933869.
- ROBINSON, Nigel J., PROCTER, Catherine M., CONNOLLY, Erin L. et GUERINOT, Mary Lou, 1999. A ferric-chelate reductase for iron uptake from soils. In : *Nature*. février 1999. Vol. 397, n° 6721, p. 694-697. DOI 10.1038/17800.
- ROGERS, Ewell, 1978. Iron chlorosis and mineral content of 'Fay Alberta', 'shippers Late Red' and 'Redhaven' peach trees as affected by iron chelates. In : *Journal American Society for Horticultural Science*. 1978. Vol. 103, p. 608-613.
- ROMERA, F.J., ALCÁNTARA, E. et GUARDIA, M.D. DE LA, 1991a. Characterization of the tolerance to iron chlorosis in different peach rootstocks grown in nutrient solution: I. Effect of bicarbonate and phosphate. In : *Plant and Soil*. S.I. : Springer. p. 115-119.
- ROMERA, F.J., ALCÁNTARA, E. et GUARDIA, M.D. DE LA, 1991b. Characterization of the tolerance to iron chlorosis in different peach rootstocks grown in nutrient solution: II. Iron-stress response mechanisms. In : *Plant and Soil*. S.I. : Springer. p. 121-125.
- ROTH, Morgane, 2013. *Recherche et validation de résistances génétiques au dépérissement bactérien causé par Pseudomonas syringae chez l'abricotier (Prunus armeniaca Linné)*. 2013. Rennes : s.n.
- RUBIO-CABETAS, M.J., 2012. PRESENT AND FUTURE TRENDS IN PEACH ROOTSTOCK BREEDING WORLDWIDE. In : *Acta Horticulturae*. S.I. : s.n. octobre 2012. p. 81-90.

- RUBIO-CABETAS, M, GÓMEZ-APARISI, J, ARÚS, P, XILOYANNIS, Cristos, DICHIO, Bartolomeo, DI VITO, M, KLEINHENTZ, Marc, DIRLEWANGER, Elizabet, POESSEL, J et ESMENJAUD, Daniel, 2005. Evaluación de Nuevas Selecciones de Patrones demelocotoneros resistentes a nematodos agalladores. In : *Fruticultura Profesional*. 2005. Vol. 152, n° 152, p. 53-58.
- RUBIO-CABETASA, M. J., 2012. Present and future trends in peach rootstock breeding worldwide. In : *Acta Horticulturae*. octobre 2012. Vol. 962, n° 962, p. 81-90. DOI 10.17660/ActaHortic.2012.962.10.
- RUBIO CABETAS, María José, 2016. Almond Rootstocks: Overview. In : *XVI GREMPA Meeting on almonds and pistachios: Meknes*. Meknes : CIHEAM. 2016.
- SALESSES, G. et BONNET, A., 1992. SOME PHYSIOLOGICAL AND GENETIC ASPECTS OF PEACH/PLUM GRAFT INCOMPATIBILITY. In : *Acta Horticulturae*. septembre 1992. n° 315, p. 177-186. DOI 10.17660/actahortic.1992.315.22.
- SALESSES, G., DIRLEWANGER, E., LECOULS, A.C., ESMENJAUD, D. et BONNET, A., 1998. INTERSPECIFIC HYBRIDIZATION AND ROOTSTOCK BREEDING FOR PEACH. In : *Acta Horticulturae*. avril 1998. n° 465, p. 209-218. DOI 10.17660/actahortic.1998.465.25.
- SAUVION, Nicolas, THÉBAUD, Gael, MARIE-JEANNE, Véronique, PEYRE, Josiane, BRUN, Laurent et LABONNE, Gerard, 2012. Enroulement chlorotique de l'abricotier (ECA). In : *Phytoma*. 2012. n° 654, p. 28-32.
- SCORTICHINI, Marco, 2006. Severe outbreak of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* on new apricot cultivars in central Italy. In : *Journal of Plant Pathology*. 2006. Vol. 88, n° May, p. S65-S70.
- SCOTTO LA MASSESE, C, 1989. Les problèmes posés par les nématodes phytophages à l'amandier. In : *AJ Felipe and R Socias*. 1989. p. 33-38.
- SEFRA, 2000. *Programme d'expérimentation sanitaire bactériose de l'abricotier et du cerisier*. S.I.
- SEFRA, 2017. *Essais Porte-greffes 2017*. S.I.
- STAHEL, M., 1950. Starkes Auftreten von Baumschwammen. In : *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau*. 1950. Vol. 59, p. 77-80.
- TAGLIAVINI, Massimo et ROMBOLÀ, Adamo Domenico, 2001. *Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems*. 1 octobre 2001. S.I. : Elsevier.
- THOMAS, H. E., 1934. Studies on *Armillaria mellea* (Vahl) Quel., infection, parasitism, and host resistance. In : *Journal of Agricultural Research*. 1934. Vol. 48, n° 3.
- TIEDEMANN, Regine, 1989. Graft Union Development and Symplastic Phloem Contact in the Heterograft *Cucumis sativus* on *Cucurbita ficifolia*. In : *Journal of Plant Physiology*. 1 juin 1989. Vol. 134, n° 4, p. 427-440. DOI 10.1016/S0176-1617(89)80006-9.
- VIGOUROUX, A. et BUSSI, C., 1998. A predisposing influence of pruning on the development of bacterial canker in the peach tree and its probable relation to stem water content in winter. In : *Acta Horticulturae*. avril 1998. Vol. 465, n° 465, p. 699-702. DOI 10.17660/ActaHortic.1998.465.87.
- VIGOUROUX, A., BUSSI, C., CHALVON, V. et GIRARD, T., 1997. Bactériose du pêcher et de l'abricotier. Influence combinée du froid et du sol. In : *Arboriculture Fruitière*. 1997. Vol. 511, n° 511, p. 35-40.
- VIGOUROUX, A., BUSSI, C. et GIRARD, T., 2006. BACTERIAL CANKER OF STONE FRUIT TREES: APRICOT SUSCEPTIBILITY AND WINTER ROOT RESPIRATION. In : *Acta Horticulturae*. février 2006. n° 701, p. 447-450. DOI 10.17660/ActaHortic.2006.701.75.
- VIGOUROUX, A., BUSSI, C. et GIRARD T, 2004. Chancre bactérien des arbres fruitiers à noyau - Influence de la respiration racinaire hivernale sur la sensibilité des arbres. In : *Arboriculture fruitière - L'Arbo performance*. 2004. p. 16-20.
- VIGOUROUX, André, BERGER, Jean-François et BUSSI, Claude, 1987. La sensibilité du pêcher au dépérissement bactérien en France : incidence de certaines caractéristiques du sol et de l'irrigation. Relations avec la nutrition*. In : *Agronomie*. 1987. Vol. 7, n° 7, p. 483-495. DOI 10.1051/agro:19870704.
- WATKINS, Ray, 1976. Cherry, plum, peach, apricot and almond. In : SIMMONDS, N.W. (éd.), *Evolution of Crop Plants*. LONGMAN. S.I. : Cambridge University Press. p. 242-247.
- WEBSTER, A. D., 1995. Temperate fruit tree rootstock propagation. In : *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. décembre 1995. Vol. 23, n° 4, p. 355-372. DOI 10.1080/01140671.1995.9513912.
- WEBSTER, A. D., 2001. Rootstocks for temperate fruit crops: Current uses, future potential and alternative strategies. In : *Acta Horticulturae*. S.I. : s.n. juillet 2001. p. 25-34.
- WEN, Jun, BERGGREN, Scott T., LEE, Chung-Hee, ICKERT-BOND, Stefanie, YI, Ting-Shuang, YOO, Ki-Oug, XIE, Lei, SHAW, Joey, POTTER, Dan, WEN, Jun, BERGGREN, Scott T., LEE, Chung-Hee, ICKERT-BOND, Stefanie, YI, Ting-Shuang, YOO, Ki-Oug, XIE, Lei, SHAW, Joey et POTTER, Dan, 2008. Phylogenetic inferences in *Prunus* (Rosaceae) using chloroplast *ndhF* and nuclear ribosomal ITS sequences. In : *Journal of Systematics and Evolution*. 25 avril 2008. Vol. 46, n° 3, p. 322-332. DOI 10.3724/SP.J.1002.2008.08065.
- WENNEKER, M., JANSE, J D et DE BRUINE, J A, 2011. Bacterial canker of plum trees, caused by *Pseudomonas syringae* pathovars, as a serious threat for plum production in the Netherlands. In : *Communications in agricultural and applied biological sciences*. 1 mai 2011. Vol. 76, n° 4, p. 575-8. DOI 10.4454/JPP.V94I1SUP.003.

WIENSCZYK, A M, DUMAS, M T et IRWIN, R N, 1997. Predicting Armillaria ostoyae infection levels in black spruce plantations as a function of environmental factors. In : *Canadian Journal of Forest Research*. 1997. Vol. 27, n° 10, p. 1630-1634. DOI 10.1139/x97-129.

YEOMAN, M. M., 1984. Cellular Recognition Systems in Grafting. In : *Cellular Interactions*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. p. 453-472.

YIN, Hao, YAN, Bo, SUN, Jing, JIA, Pengfei, ZHANG, Zijuan, YAN, Xiaosa, CHAI, Juan, REN, Zhizhong, ZHENG, Guochang et LIU, Heng, 2012. Graft-union development: A delicate process that involves cell-cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. In : *Journal of Experimental Botany*. 28 juin 2012. Vol. 63, n° 11, p. 4219-4232. DOI 10.1093/jxb/ers109.

ZARROUK, O., GOGORCENA, Y., GÓMEZ-APARISI, J., BETRÁN, J. A. et MORENO, M. A., 2005. Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. In : *Scientia Horticulturae*. 1 novembre 2005. Vol. 106, n° 4, p. 502-514. DOI 10.1016/j.scienta.2005.04.011.

ZARROUK, Olfa., APARICIO, J., GOGORCENA, Y., MORENO, M.A. et PINOCHET, J., 2006. GRAFT COMPATIBILITY FOR NEW PEACH ROOTSTOCKS IN NURSERY. In : *Acta Horticulturae*. juillet 2006. n° 713, p. 327-330. DOI 10.17660/ActaHortic.2006.713.47.

ZARROUK, Olfa, GOGORCENA, Yolanda, MORENO, Maria Angeles et PINOCHET, Jorge, 2006. Graft compatibility between peach cultivars and Prunus rootstocks. In : *HortScience*. 2006. Vol. 41, n° 6, p. 1389-1394. DOI 10.21273/HORTSCI.41.6.1389.

ZIEGLER, Victor H., PLOCHUK, Edmundo, WEIBEL, Antonio et INSAUSTI, Pedro, 2017. Short-term responses to flooding stress of three Prunus rootstocks. In : *Scientia Horticulturae*. 20 octobre 2017. Vol. 224, p. 135-141. DOI 10.1016/j.scienta.2017.06.009.

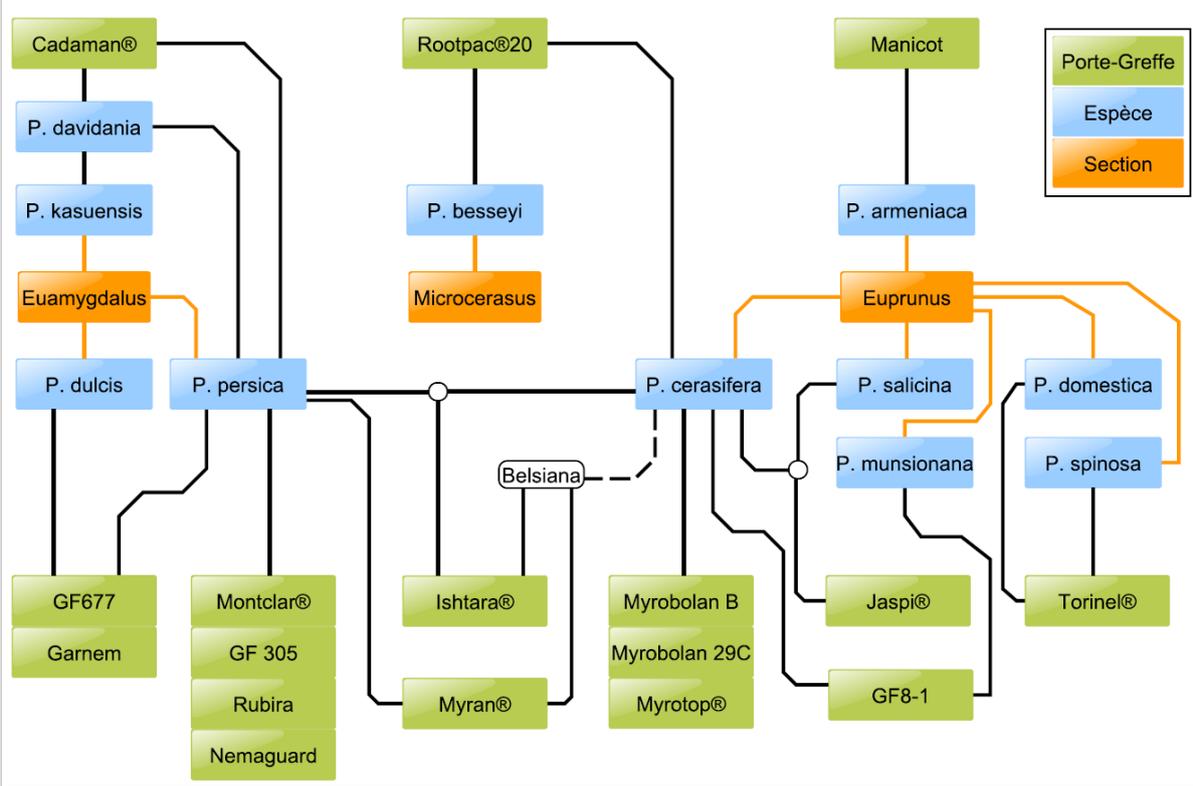
Annexes :

Annexe 1 : Genre *Prunus* suivant la classification de Rehder

Genre	Sous-Genre	Section	Espèce	
Prunus	1. <i>Prunus</i> (<i>Prunophora</i>)	1. <i>Prunus</i> (<i>Euprunus</i>) <i>Pruniers</i>	1. <i>Prunus spinosa</i>	4. <i>Prunus cerasifera</i>
			2. <i>Prunus insititia</i> <i>Prunier de Damas</i>	5. <i>Prunus salicina</i> <i>Prunier japonais</i>
			3. <i>Prunus domestica</i> <i>Prunier domestique</i>	6. <i>Prunus simonii</i>
		2. <i>Prunocerasus</i>	1. <i>Prunus subcordata</i>	8. <i>Prunus nigra</i>
			2. <i>Prunus maritima</i>	9. <i>Prunus hortulana</i>
			3. <i>Prunus alleghaniensis</i>	10. <i>Prunus munsoniana</i>
			4. <i>Prunus umbellata</i>	11. <i>Prunus reverchonii</i>
			5. <i>Prunus mexicana</i>	12. <i>Prunus angustifolia</i>
			6. <i>Prunus lanata</i>	13. <i>Prunus gracilis</i>
	3. <i>Armeniaca</i> <i>Abricotiers</i>	7. <i>Prunus americana</i>		
		1. <i>Prunus brigantina</i>	4. <i>Prunus armeniaca</i> <i>Abricotier domestique</i>	
		2. <i>Prunus mandshurica</i>	5. <i>Prunus mume</i>	
	2. <i>Amygdalus</i>	1. <i>Euamygdalus</i> <i>Amandiers et Pêchers</i>	1. <i>Prunus dulcis</i> <i>Amandier</i>	4. <i>Prunus mira</i>
			2. <i>Prunus persica</i> <i>Pêcher</i>	5. <i>Prunus tangutica</i>
			3. <i>Prunus davidiana</i>	6. <i>Prunus triloba</i>
		2. <i>Chamaeamygdalus</i>	1. <i>Prunus tenella</i>	
	Prunus	1. <i>Microcerasus</i>	1. <i>Prunus tomentosa</i>	5. <i>Prunus glandulosa</i>
			2. <i>Prunus incana</i>	6. <i>Prunus humilis</i>
			3. <i>Prunus jacquemontii</i>	7. <i>Prunus pumila</i>
			4. <i>Prunus japonica</i>	8. <i>Prunus besseyi</i>
3. <i>Cerasus</i>		2. <i>Pseudocerasus</i>	1. <i>Prunus canescens</i>	8. <i>Prunus conradinae</i>
			2. <i>Prunus incisa</i>	9. <i>Prunus concinna</i>
			3. <i>Prunus nipponica</i>	10. <i>Prunus serrula</i>
			4. <i>Prunus lobulata</i>	11. <i>Prunus yedoensis</i>
			5. <i>Prunus campanulata</i>	12. <i>Prunus sargentii</i>
			6. <i>Prunus rufa</i>	13. <i>Prunus serrulata</i>
			7. <i>Prunus subhirtella</i>	14. <i>Prunus sieboldii</i>
3. <i>Lobopetalum</i>		1. <i>Prunus cantabrigiensis</i>	2. <i>Prunus dielsiana</i>	
4. <i>Eucerasus</i> <i>Cerisiers</i>		1. <i>Prunus avium</i> <i>Merisier (Cerise douce)</i>	3. <i>Prunus fruticosa</i>	
		2. <i>Prunus cerasus</i> <i>Griottier (Cerise aigre)</i>		
		5. <i>Mahaleb</i>	1. <i>Prunus mahaleb</i>	3. <i>Prunus emarginata</i>
6. <i>Phyllocerasus</i>		2. <i>Prunus pennsylvanica</i>		
		1. <i>Prunus pilosiuscula</i>		
7. <i>Phyllomahaleb</i>		1. <i>Prunus maximowiczii</i>		
4. <i>Padus</i>			1. <i>Prunus serotina</i>	7. <i>Prunus virginiana</i>
			2. <i>Prunus alabamensis</i>	8. <i>Prunus ssiiori</i>
		3. <i>Prunus sericea</i>	9. <i>Prunus grayana</i>	
		4. <i>Prunus padus</i>	10. <i>Prunus maackii</i>	
		5. <i>Prunus pubigera</i>	11. <i>Prunus buergeriana</i>	
		6. <i>Prunus cornuta</i>		
5. <i>Laurocerasus</i>		1. <i>Prunus lusitanica</i>	2. <i>Prunus laurocerasus</i>	

D'après Rehder (1940) et Pl@ntUse

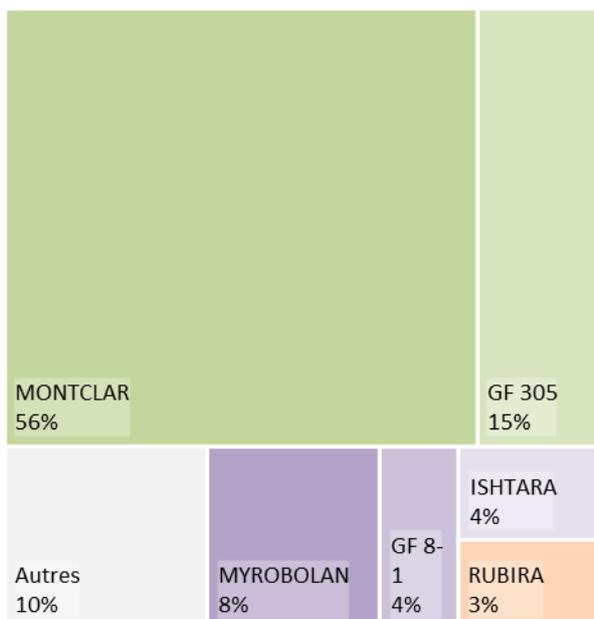
Annexe 2 : Parenté des différents porte-greffes



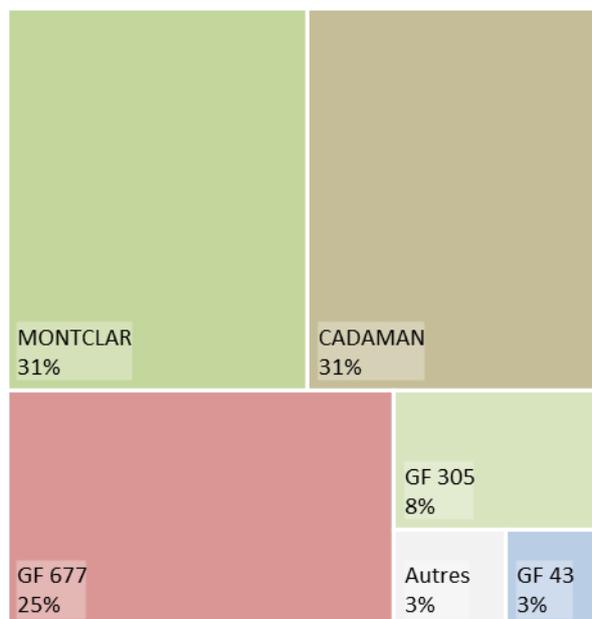
Annexe 3 : Répartition des porte-greffes plantés par type de production

Les surfaces dans les figures représentent le pourcentage de surfaces de porte-greffes plantées par type de production. Les figures ont été effectués avec deux jeux de données, une base des adhérents du GRCETA de Basse Durance et une base de l'Association d'Organisation de Producteurs (AOP) Pêches et Abricots de France qui regroupe le Gard, le Vaucluse, la Corse, les Rhône Alpes et le Roussillon.

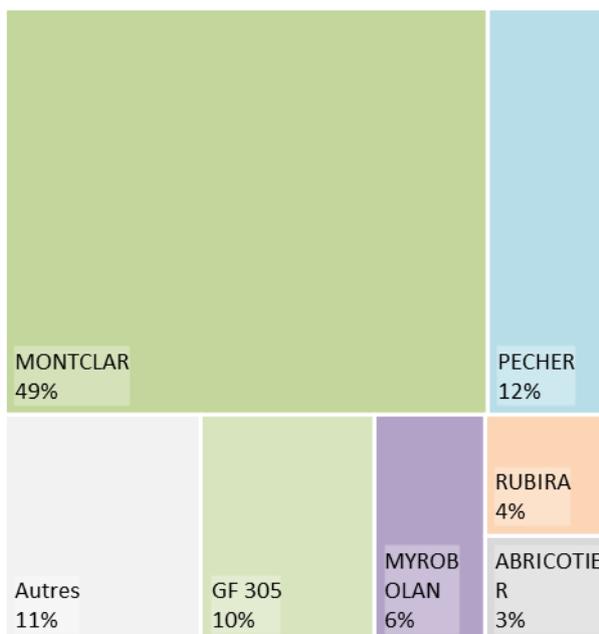
Culture Abricotier - GRCETA



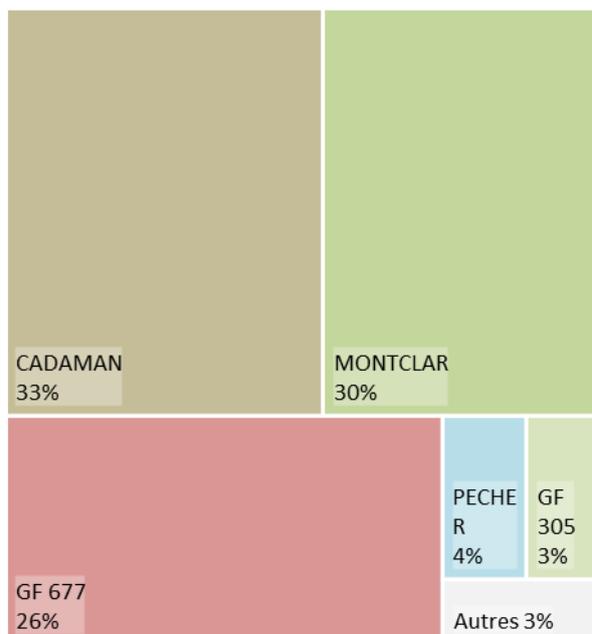
Culture Pêcher - GRCETA



Culture Abricotier - AOP



Culture Pêcher - AOP



Annexe 4 : Porte-greffes utilisables en France rencontrés dans la littérature

Porte-Greffe	Espèce	Porte-Greffe	Espèce
Adara	<i>cerasifera</i>	Montclar®	<i>persica</i>
Cadaman®Avimag	<i> davidania x persica</i>	Myran®Yumir	<i> belsiana x persica</i>
Ceravium®PHLA	<i> cerasus x avium</i>	Myrobolan 29C	<i> cerasifera</i>
Citation®Zaipime	<i> salicina x persica</i>	Myrobolan B	<i> cerasifera</i>
Colt	<i> pseudocerasus x avium</i>	Myrobolan de semis	<i> cerasifera</i>
Dasycarpa P2315	<i> dasycarpa</i>	Myrocal®	<i> cerasifera</i>
Evrica	<i> salicina x besseyi</i>	Myrotop®	<i> cerasifera</i>
F12/1	<i> avium</i>	Nemaguard	<i> davidiana x persica</i>
Felinem	<i> dulcis x persica</i>	P1254	<i> cerasifera</i>
Furtos	<i> cerasus</i>	Piku 1	<i> avium x (canescens x tomentosa)</i>
Garnem	<i> dulcis x persica</i>	Piku 3	<i> pseudocerasus x (canescens x incisa)</i>
GF305	<i> persica</i>	Reine-Claude vraie	<i> domestica</i>
GF31	<i> cerasifera x salicina</i>	Rootpac®20 Densipac	<i> besseyi x cerasifera</i>
GF43	<i> domestica</i>	Rootpac®40 Nanopac	<i> (dulcis x persica) x (dulcis x persica)</i>
GF677	<i> dulcis x persica</i>	Rootpac®70 Purplepac	<i> (persica x davidiana) x (dulcis x persica)</i>
GF8-1	<i> cerasifera x munsoniana</i>	Rootpac®90 Greenpac	<i> (persica x davidiana) x (dulcis x persica)</i>
Gisela 5	<i> cerasus x canescens</i>	Rootpac®Replantpac	<i> cerasifera x dulcis</i>
Gisela 6	<i> cerasus x canescens</i>	Rubira	<i> persica</i>
Gisela 12	<i> cerasus x canescens</i>	Semis Abricotier	<i> armeniaca</i>
Ishtara®Ferciana	<i> belsiana x (cerasifera x persica)</i>	Semis Amandier	<i> dulcis</i>
Jaspi®Fereley	<i> spinosa x salicina</i>	Semis Merisier	<i> avium</i>
Julior®Ferdor	<i> domestica x insititia</i>	Semis Pecher	<i> persica</i>
Krymsk 1	<i> cerasifera x tomentosa</i>	St Julien 53-7	<i> insititia</i>
Krymsk 5	<i> fruticosa x serrulata</i>	St Julien A	<i> insititia</i>
Krymsk 6	<i> cerasus x (cerasus x maackii)</i>	Ste Lucie 64	<i> mahaleb</i>
Krymsk 86	<i> cerasifera x persica</i>	Tabel®Edabriz	<i> cerasus</i>
Manicot	<i> armeniaca</i>	Tetra	<i> domestica</i>
Marianna 2624	<i> cerasifera x munsoniana</i>	Torinel®	<i> domestica x spinosa</i>
Maxma Delbard®14	<i> mahaleb x avium</i>	Weiroot 158	<i> cerasus</i>
Maxma Delbard®60	<i> mahaleb x avium</i>		

Annexe 5 : Compatibilité de différents porte-greffes avec l'abricotier

C = compatible, I = incompatible, C/I = compatible ou incompatible selon la variété, lorsque précisé : il = incompatibilité localisée, it = incompatibilité transloquée, si un seul type de compatibilité décrit : cl = compatibilité localisée, ct = compatibilité transloquée

Porte-Greffe	Espèce	Abricotier peu exigeant (ex: Bulida, Paviot, Bergeron)	Abricotier exigeant (ex: Moniqui, Canino)	Références
Citation®Zaipime	<i>salicina x persica</i>	C/il	C	
GF305	<i>persica</i>	C	C	
GF31	<i>cerasifera x salicina</i>	C/I	I	
GF677	<i>dulcis x persica</i>	C/I		
GF8-1	<i>cerasifera x munsoniana</i>	il	il	
Ishtara®Ferciana	<i>belsiana x (cerasifera x persica)</i>	C	C	Errea et al., 2001
Manicot	<i>armeniaca</i>	C	C	Reig et al., 2018a
Montclar®	<i>persica</i>	C	C	Salazar et al., 2018
Myrobolan 29C	<i>cerasifera</i>	cl/il	il	Monastra et al., 1981
Myrobolan B	<i>cerasifera</i>	cl/il	il	Cambra, 1986
PM105 AD	<i>insititia</i>	C	C	Pennone, Abbate, 2006
Rootpac®20 Densipac	<i>besseyi x cerasifera</i>		Ct	Lapins, 1959
Rootpac®40 Nanopac	<i>(dulcis x persica) x (dulcis x persica)</i>		Ct	
Rootpac®Replantpac	<i>cerasifera x dulcis</i>		Ct	
Rubira	<i>persica</i>	C	C/I	
Torinel®	<i>domestica x spinosa</i>	C	C	

Annexe 6 : Compatibilité de différents porte-greffes avec l'amandier

C = compatible, I = incompatible, C/I = compatible ou incompatible selon la variété, lorsque précisé : il = incompatibilité localisée, it = incompatibilité transloquée, si un seul type de compatibilité décrit : cl = compatibilité localisée, ct = compatibilité transloquée

Porte-Greffe	Espèce	Amandier	Références
GF677	<i>dulcis x persica</i>	C	
Montclar®	<i>persica</i>	C	
Rootpac®20 Densipac	<i>besseyi x cerasifera</i>	C	Salazar et al., 2018
Rootpac®40 Nanopac	<i>(dulcis x persica) x (dulcis x persica)</i>	C	Rubio-Cabetas et al., 2017
Rootpac®Replantpac	<i>cerasifera x dulcis</i>	C	

Annexe 7 : Compatibilité de différents porte-greffes avec le prunier

C = compatible, I = incompatible, C/I = compatible ou incompatible selon la variété, lorsque précisé : il = incompatibilité localisée, it = incompatibilité transloquée, si un seul type de compatibilité décrit : cl = compatibilité localisée, ct = compatibilité transloquée

Porte-Greffe	Espèce	Prunier japonais	Prunier domestique	Références
GF677	<i>dulcis x persica</i>	C	C/il	
GF8-1	<i>cerasifera x munsoniana</i>	il		
Ishtara®Ferciana	<i>belsiana x (cerasifera x persica)</i>	C	C	
Jaspi®Fereley	<i>spinosa x salicina</i>		C	
Myrobolan 29C	<i>cerasifera</i>	il	C	
Myrobolan B	<i>cerasifera</i>	il	C/il	Salazar et al., 2018
Myrocal®	<i>cerasifera</i>	C		Reig et al., 2018b
Rootpac®20 Densipac	<i>besseyi x cerasifera</i>	C		Pedersen, 2010
Rootpac®40 Nanopac	<i>(dulcis x persica) x (dulcis x persica)</i>	ct		
Rootpac®Replantpac	<i>cerasifera x dulcis</i>	ct		
St Julien A	<i>insititia</i>	C	C	
Tetra	<i>domestica</i>	C	C	
Torinel®	<i>domestica x spinosa</i>	il		

Annexe 8 : Compatibilité de différents porte-greffes avec le cerisier

C = compatible, I = incompatible, C/I = compatible ou incompatible selon la variété, lorsque précisé : il = incompatibilité localisée, it = incompatibilité transloquée, si un seul type de compatibilité décrit : cl = compatibilité localisée, ct = compatibilité transloquée

Porte-Greffe	Espèce	Merisier	Griottier	Références
Adara	<i>cerasifera</i>	C		
Ceravium®PHLA	<i>cerasus x avium</i>	C/I		
Colt	<i>pseudocerasus x avium</i>	C/I	C	
Furtos	<i>cerasus</i>	C		CTIFL
Gisela 12	<i>cerasus x canescens</i>	C		Sitarek, 2006
Gisela 5	<i>cerasus x canescens</i>	C/I		Boubennec, Rubio, 2019
Gisela 6	<i>cerasus canescens</i>	C		De Salvador et al., 2019
Krymsk 6	<i>cerasus x (cerasus x maackii)</i>	C		Usenik et al., 2008
Mahaleb	<i>mahaleb</i>	C/I	C	Pedersen, 2006
Maxma Delbard®14	<i>mahaleb x avium</i>	C		Wertheim et al., 1998
Maxma Delbard®60	<i>mahaleb x avium</i>	C		Moreno et al., 2001
Semis Merisier	<i>avium</i>	C	C	Webster, 1981
Piku 1	<i>avium x (canescens x tomentosa)</i>	C	C	Hrotkó, 2016
Piku 3	<i>pseudocerasus x (canescens x incisa)</i>	C		Edin, 1989
Ste Lucie 64	<i>mahaleb</i>	C		
Tabel®Edabriz	<i>cerasus</i>	C	C	
Weiroot 158	<i>cerasus</i>	C/I		

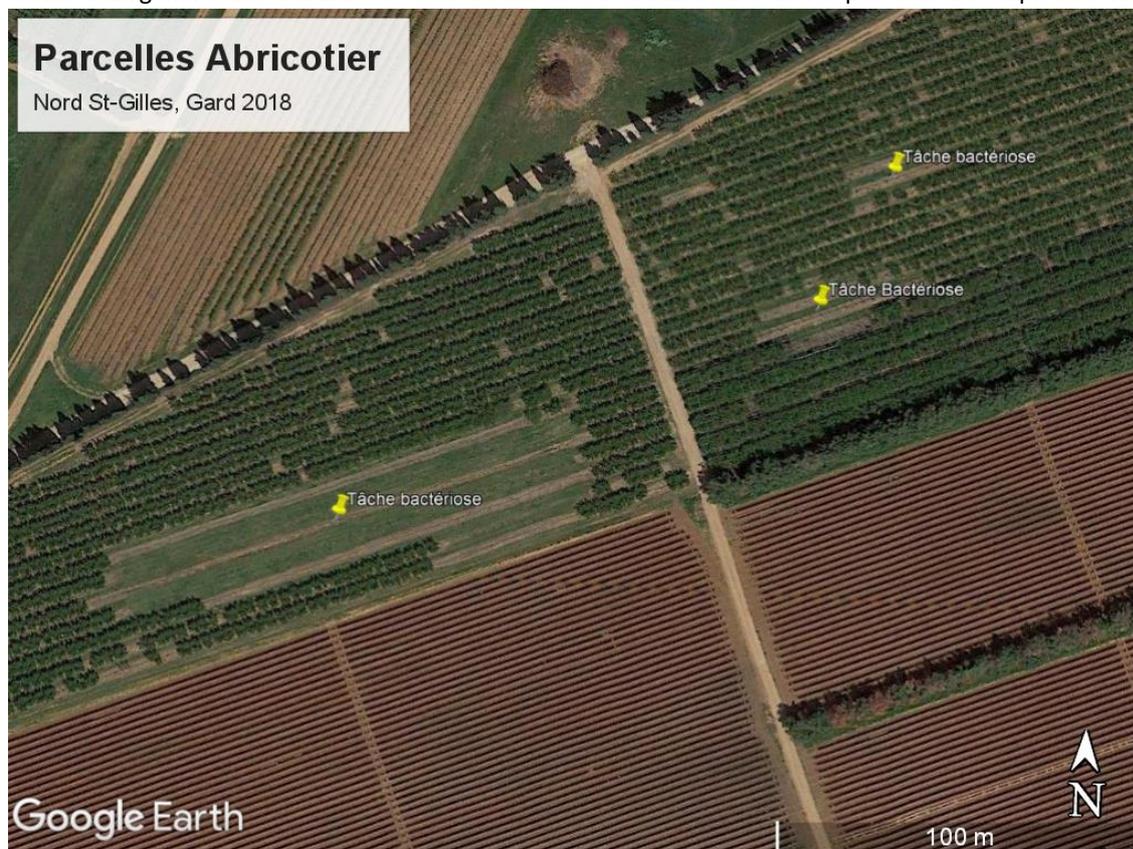
Annexe 9 : Compatibilité de différents porte-greffes avec le pêcher

C = compatible, I = incompatible, C/I = compatible ou incompatible selon la variété, lorsque précisé : il = incompatibilité localisée, it = incompatibilité transloquée, si un seul type de compatibilité décrit : cl = compatibilité localisée, ct = compatibilité transloquée

Porte-Greffe	Espèce	Pêcher			Références
		Nectarine exigeante (ex: Summergrand)	Nectarine peu exigeante (ex: Big Top)	Pêcher	
Cadaman® Avimag	<i> davidiana x persica </i>	ct	ct	C	
Citation® Zaipime	<i> salicina x persica </i>			I/C	
Garnem	<i> dulcis x persica </i>			C	
GF305	<i> persica </i>	C	C	C	
GF677	<i> dulcis x persica </i>	ct	C	C	
Ishtara® Ferciana	<i> belsiana x (cerasifera x persica) </i>	it			
Jaspi® Fereley	<i> spinosa x salicina </i>	C		I/C	Salazar et al., 2018
Marianna 2624	<i> cerasifera x munsoniana </i>			it	Neves et al., 2017
Montclar®	<i> persica </i>	C	C	C	Loreti, Massai, 2006
Myrobolan	<i> cerasifera </i>	it			Felipe, 2009
Myrobolan 29C	<i> cerasifera </i>	I		it	Zarrouk et al., 2006a
Rootpac® 20 Densipac	<i> besseyi x cerasifera </i>	ct	ct		Zarrouk et al., 2006b
Rootpac® 40 Nanopac	<i> (dulcis x persica) x (dulcis x persica) </i>	ct	ct		
Rootpac® Replantpac	<i> cerasifera x dulcis </i>	ct	ct		
Rubira	<i> persica </i>	C	C	I/C	
St Julien A	<i> insititia </i>	C	C	C	
Tétra	<i> domestica </i>	C			

Annexe 10: Image satellite des parcelles avec bactériose d'un exploitant enquêté

On observe notamment la présence de tâches de bactériose, qui persistent dans le temps et sur au moins deux générations d'arbres. Cette situation est observable sur d'autres parcelles de l'exploitation.



Annexe 11 : Tolérance à la bactériose en conditions peu sensibilisantes

R = résistant, T = tolérant, PT = peu tolérant, MS = moyennement sensible
S = sensible, TS = très sensible.

¹Hauteur de greffage, hauteur standard = 20cm

²Mesures effectuées des hivers peu gélifs défavorables à la bactériose

Porte-Greffe	Espèce	Tolérance
<i>Sols argileux et profonds</i>		
<i>Abricotiers</i>		
Dasycarpa P2315	<i>dasycarpa</i>	MS
Dasycarpa P2315 60cm ¹	<i>dasycarpa</i>	T
Dasycarpa P2315 120cm	<i>dasycarpa</i>	T
<i>Pêchers et hybrides de pêchers</i>		
Rubira	<i>persica</i>	T
Rubira 60cm	<i>persica</i>	T
Rubira 120cm	<i>persica</i>	T
<i>Myrobolans et hybrides de myrobolans</i>		
Myrobolan B	<i>cerasifera</i>	S-MS
Myrobolan B 60cm	<i>cerasifera</i>	T
Myrobolan B 120cm	<i>cerasifera</i>	T
GF31	<i>cerasifera x salicina</i>	T
<i>Sols sablo-limoneux et limono-sableux ²</i>		
<i>Abricotiers</i>		
Manicot	<i>armeniaca</i>	T
<i>Pêchers et hybrides de pêchers</i>		
GF305	<i>persica</i>	PT-T
Rubira	<i>persica</i>	PT-T
Citation®Zaipime	<i>salicina x persica</i>	T
<i>Myrobolans et hybrides de myrobolans</i>		
Myrobolan B	<i>cerasifera</i>	T
Myrocal®	<i>cerasifera</i>	T
Ishtara®Ferciana	<i>belsiana x (cerasifera x persica)</i>	T
<i>Hybrides de prunier domestique</i>		
Torinel®	<i>domestica x spinosa</i>	PT

(Sefra, 2000 ; Duquesne, Gall, 1975)

Annexe 12 : Tolérance à la bactériose pour différentes hauteurs de greffage

R = résistant, T = tolérant, PT = peu tolérant, MS = moyennement sensible

Porte-Greffe	Espèce	Tolérance
<i>Sol non renseigné</i>		
<i>Abricotiers</i>		
dasycarpa P2315	<i>dasycarpa</i>	S
dasycarpa P2315 60cm ¹	<i>dasycarpa</i>	T
dasycarpa P2315 120cm	<i>dasycarpa</i>	PT
<i>Pêchers et hybrides de pêchers</i>		
GF305	<i>persica</i>	S
GF305 120cm	<i>persica</i>	MS
Montclar®	<i>persica</i>	MS
Montclar® 60cm	<i>persica</i>	PT
Montclar® 120cm	<i>persica</i>	PT
Rubira	<i>persica</i>	PT
Rubira 60cm	<i>persica</i>	T
Rubira 120cm	<i>persica</i>	T
GF677	<i>dulcis x persica</i>	S
GF677 120cm	<i>dulcis x persica</i>	T
Citation®zaipime	<i>salicina x persica</i>	MS
<i>Myrobolans et hybrides de myrobolans</i>		
Myrobolan B	<i>cerasifera</i>	PT
Myrobolan B 60cm	<i>cerasifera</i>	T
Myrobolan B 120cm	<i>cerasifera</i>	T
Myrobolan de semis	<i>cerasifera</i>	MS
GF8-1	<i>cerasifera x munsoniana</i>	S
GF8-1 120cm	<i>cerasifera x munsoniana</i>	PT
<i>Hybrides de prunier domestique</i>		
Torinel®	<i>domestica x spinosa</i>	T

(Sefra, 2000 ; Prunier et al., 2005 ; Leon-Chapoux et al., 2010)

Annexe 13 : Mortalité due au pourridié de différents porte-greffes sur différents sols

Porte-Greffe	Espèce	Mortalité (%) par type de sol			
		Sableux	Sablo-Limoneux et Loam Sableux	Argileux	In Vitro
Cadaman®avimag	davidania x persica	38,0		71,0	
GF305	persica	42,1	30,9	85,0	
GF677	dulcis x persica	65,0	100,0	52,5	
Ishtara®Ferciana	belsiana x (cerasifera x persica)	0,0	35,7	7,5	
Myran®Yumir	belsiana x persica	8,0	24,6	18,0	
St Julien 53-7	insititia	0,0	33,3		
GF8-1	cerasifera x munsoniana	1,3	6,0	0,0	
Reine-Claude vraie	domestica	2,2			
Semis Abricotier	armeniaca	56,0			
GF31	cerasifera x salicina	2,8			
GF43	domestica	0,0	0,0	0,0	
Semis Amandier	dulcis		100,0		
Franc Merisier	avium		39,3		
Adara	cerasifera		50,0		
Ste Lucie 64	mahaleb		77,7		
Jaspi®Fereley	spinosa x salicina			0,0	
Nemaguard	davidiana x persica				84,5
Krymsk 86	cerasifera x persica				27,3
Krymsk 1	cerasifera x tomentosa				35,8

(Guillaumin et al., 1991 ; Beckman, 1998 ; Beckman, Pusey, 2001 ; Baumgartner et al., 2018 ; Nicolas, Bonet, 1989 ; Duquesne et al., 1977 ; 1974)

Exploration des caractères agronomiques et pédologiques pour le choix du porte-greffe à l'installation de vergers de fruits à noyaux (*Prunus* spp.)

Résumé :

La filière fruits représente un chiffre d'affaires de 3,1 milliards € en France. 23% du volume des fruits produits correspond aux fruits à noyaux : pêches, nectarines, prunes, abricots, cerises. Cette production ne serait aujourd'hui pas possible sans l'utilisation de porte-greffes. Le porte-greffe permet au verger de s'adapter aux conditions pédoclimatiques et aux facteurs biotiques de son environnement. Son choix est donc essentiel pour une exploitation et le greffage est une pratique indispensable dans les vergers modernes. Or, ce choix est difficile à cause de la faible disponibilité des données et les interactions nombreuses entre les porte-greffes et leur environnement. Ce travail aborde différents aspects : la compatibilité au greffage et la tolérance au calcaire, l'asphyxie racinaire, la bactériose à *Pseudomonas*, aux nématodes et au pourridié. Afin de proposer une information synthétisée et guider le choix des agriculteurs dans les nouveaux vergers de fruits à noyau une revue de la littérature et des enquêtes de terrain auprès de 10 agriculteurs dans le Gard, la Drôme et le Vaucluse ont été menées. La synthèse bibliographique a permis de résumer les différents degrés de tolérance des espèces de porte-greffes mais à cause de comportements différents selon les milieux, il a été difficile de décrire finement des variétés de porte-greffes distinctes. Les enquêtes ont permis de faire remonter un besoin d'acquérir des meilleures connaissances sur les porte-greffes et leurs interactions avec l'environnement, notamment le sol, et de mieux les transmettre aux agriculteurs pour les guider dans leurs choix à l'avenir.

Mots clés : Porte-greffe, Fruits à noyau, Prunus, Chancre bactérien, Abricot, Pêche

Exploration of agronomic and edaphic traits for the selection of rootstocks before planting of stone fruit (*Prunus* spp.) orchards.

Abstract:

Fruit production in France represents a turnover of 3.1 billion €. 23% of the produced fruit volume is composed by stone fruit: peaches, apricots, cherries and prunes. This stone fruit production would not be possible without the use of rootstocks. The rootstock allows for the adaption of the culture to its edaphic, climatic and biotic environment. The selection of a rootstock is therefore essential for a producer as grafting is indispensable in modern orchards. However low availability of data and the numerous interactions that exist between rootstocks and their environment make this choice difficult. This work focuses on certain of those aspects: graft compatibility, tolerance to calcareous soils, root asphyxia, bacterial canker, nematodes and Armillaria root rot. A review of the literature and a survey of 10 producers in the Gard, Drôme and Vaucluse was performed to propose synthesized information to help producers in the selection of rootstocks. The literature review allowed to clarify tendencies in the response of various rootstock species to biotic and abiotic stress but not to define very specifically the capabilities of each variety. The performed survey shed light on the need for acquiring better knowledge on rootstocks and their interaction with their environment as well as to better transmit that information to stone fruit producers to help them in rootstock selection in the future.

Key Words : Rootstock, Stone fruits, Prunus, Bacterial canker, Apricot, Peach