HEPH CONDORCET

Catégorie Agronomique

Rue Paul Pastur, 11 – BP 7800 Ath

☏ : +32 (068) 26 46 61 🖷 : +32 (0)68 26 46 62

@ : secr.agro@condorcet.be

www.condorcet.be

Mise en place et analyse de techniques innovantes permettant la production d'agrumes sous contrainte HLB en Guadeloupe.

Travail de fin d'études présenté par

ANTOINE TOULMONDE

en vue de l'obtention du grade académique

de Master en Sciences de l'ingénieur industriel en agronomie

Orientation : Agronomie

Option : Développement International

Promoteur : DOMINIQUE DANHIER

Maître de TFE : YOURI UNEAU

Année académique 2017 – 2018

Mise en place et analyse de techniques innovantes permettant la production d'agrumes sous contrainte HLB en Guadeloupe.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma plus sincère reconnaissance aux différentes personnes qui, de près ou de loin, ont collaboré à la réalisation de ce travail de fin d'études.

Plus particulièrement, il me tient à cœur de remercier :

Mon Maître de TFE, Youri Uneau, Responsable technique de l'ASSOFWI, ainsi que les différents acteurs de la structure, Frédéric Bourseau (Président), Maeva Marcin (Conseillère en agroécologie), Muguette Albert (Responsable administrative) et les ouvriers agricoles Marie-Aimée Françisque, Christian Bienvenu, Michel Lewis et Jonathan Rosier pour le bon accueil, les conseils avisés et l'accompagnement durant ces 13 semaines de stage.

Mon Promoteur, Ir. Dominique Danhier, Maître-Assistant à la Haute Ecole de la Province de Hainaut (HEPH-Condorcet), pour son soutien et ses conseils durant le stage et la rédaction, malgré la distance et le décalage horaire.

Le bureau des Relations Internationales de la HEPH-Condorcet, plus particulièrement Claire Avril, Maître assistant et chargée des relations internationales et Laura Morthier, pour leur soutien dans les démarches administratives et leurs bons conseils quant à mes différentes mobilités réalisées durant mon cursus.

Le corps professoral et les secrétariats de la Mendel University (Brno) et de la HEPH-Condorcet (Maffle et Ath), pour ces nombreuses années d'apprentissage, pour leurs expériences et connaissances qu'ils ont partagées avec conviction.

Les personnes ayant vécu à mes côtés, amis, colocataires, étudiants et membres de la communauté Erasmus en Belgique, République tchèque et Guadeloupe pour l'entraide et la bienveillance, ainsi que pour tous les instants fabuleux passés ensemble.

La Fraternité Champagnat à Habay-La-Vieille pour leur accueil des étudiants en période de blocus, leur fournissant un cadre et une alimentation propice aux longues journées d'étude.

Mes parents, mes grands-parents, mes frères et ma sœur, ainsi que les autres membres de ma famille, pour leur soutien moral m'ayant permis d'arriver au terme de mes années d'études.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ..... **III**

LISTE DES FIGURES ..... **VI**

LISTE DES TABLEAUX ..... **VII**

LISTE DES ABRÉVIATIONS ..... **VIII**

GLOSSAIRE ..... **IX**

1. INTRODUCTION **1**

2. CONTEXTE THÉORIQUE **4**

2.1. CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE 4

2.1.1. Contexte géographique *4*

2.1.2. Contexte climatologique *5*

2.1.3. Contexte pédologique *7*

2.1.4. Contexte phytosanitaire *7*

2.1.5. Le projet PARADE *8*

Objectifs du projet PARADE 9

Partenaires du projet 9

Actions prévues 10

2.2. LES AGRUMES 13

2.2.1. Origine des agrumes *13*

2.2.2. Production d'agrumes *14*

2.3. LA MALADIE 16

2.3.1. Histoire et origine *16*

2.3.2. Situation mondiale *17*

2.3.3. Impact d'HLB *19*

2.3.4. Symptômes *19*

2.4. LA BACTÉRIE 21

2.4.1. Mesures phytosanitaires *22*

2.5. L'INSECTE VECTEUR 23

2.5.1. Classification *23*

2.5.2. Biologie *23*

2.5.3. Plantes hôtes *26*

2.5.4. Détection *26*

2.5.5. Vecteur du Citrus Greening *26*

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES **28**

3.1. ATELIERS DE CO-CONCEPTION 28

3.2. SUIVI DE PARCELLES EXPÉRIMENTALES 28

3.3. TEST PAILLAGE 33

3.3.1. Définition, types de paillage et avantages. 33
3.3.2. Objectifs et propriétés du paillage 33
3.3.3. Intérêt du paillage pour l'agrumiculture en Guadeloupe. 34
3.3.4. Choix des matériaux utilisés sur les parcelles d'expérimentation 34
3.3.5. Composition des paillages 36
3.3.6. Mise en place du paillage 37
3.3.7. Variables mesurées 37

4. RÉSULTATS 39

4.1. ANALYSE DES DONNÉES RELATIVES AUX PARCELLES EXPÉRIMENTALES 39
4.1.1. Taux de mortalité et état général de l'arbre 39
4.1.2. Symptômes HLB 45
4.1.3. Croissance des arbres 47
Influence des porte-greffes sur les greffes. 48
Influence des greffes sur les porte-greffes. 51
4.2. TESTS DE PAILLAGE. 53
4.3. ATELIER DE CO-CONCEPTION. 55

5. DISCUSSIONS 58

7. PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS 59

8. BIBLIOGRAPHIE 61

8.1. BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE 61
8.2. BIBLIOGRAPHIE UTILISÉE POUR L'ÉLABORATION DES ITK INNOVANTS : 64

9. SITOGRAPHIE 65

10. ANNEXES 66

10.1. SUIVI DE LA PARCELLE « PETITS AGRUMES » 66
10.1.1. Plan de la parcelle 66
10.1.2. Données brutes 67
10.2. SUIVI DE LA PARCELLE « MANDARINES ». 68
10.2.1. Plan de la parcelle 68
10.2.2. Données brutes 69
10.3. TEST KHI² DE L'ÉTAT GÉNÉRAL DES ARBRES ET DU TAUX DE MORTALITÉ 69
10.3.1. Sur les blocs expérimentaux. 69
10.3.2. Sur les greffes. 70
10.3.3. Sur les porte-greffes. 72

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Carte de l'archipel guadeloupéen. (Site de Gwadaplans consulté en 2018) 4

Figure 2 Pluviométrie annuelle en Guadeloupe en 2016. (Météo France, 2018**)**.. 6

Figure 3 Diagramme ombrothermique de Basse Terre. (Site de climate-data, consulté en 2018)..... 6

Figure 4 Carte des sols de Guadeloupe. (Site du CIRAD, 2018)..... 7

Figure 5 Zones d'origine et de diversification des espèces du genre Citrus sur le continent asiatique. (Luro et al., 2013) 13

Figure 6 : L'origine des agrumes cultivés : quelques exemples en images (Luro 2013)..... 14

Figure 7 Graphique de la production mondiale d'agrumes entre 2008 et 2015 (FAO, 2016)..... 15

Figure 8 Distribution mondiale de Candidatus Liberibacter sp et de ses insectes vecteurs (National Academy of Science, 2010)..... 17

Figure 9 Carte de distribution d'HLB en Guadeloupe en 2013 et 2014 (Source : Merle, T., 2015)..... 18

Figure 10 Symptômes d'HLB à différents stades. Les premières feuilles présentent seulement quelques marbrures asymétriques légères et on observe un jaunissement presque total de la dernière feuille. Photo : A. Toulmonde..... 19

Figure 11 Symptômes d'HLB sur orange (OEPP, 2014)..... 20

Figure 12 Micrographies électroniques de Ca. L. asiaticus. Micrographie : M. Garnier, 2006. 21

Figure 13 Diaphorina citri adulte. Photo : D. Hall. 23

Figure 14 Schéma des différents stades de développement de D. citri. a. : œuf, b. : 1er stade larvaire, c. : 2ème stade larvaire, d. : 3ème stade larvaire, e. : 4ème stade larvaire, f. : 5ème stade larvaire, g. : adulte (Aubert, 2009)..... 24

Figure 15 Développement de l'œuf au stade adulte de D. citri en fonction de la température (Hall, 2008). 25

Figure 16 Carte des parcelles expérimentales (GoogleMaps). 29

Figure 17 Vue aérienne des parcelles expérimentales de l'ASSOFWI (GoogleMaps). 31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Chiffres clefs de la production d'agrumes en Guadeloupe. Source : Statistique Agricole Annuelle et Douanes. 2

Tableau 2 Tableau présentant les productions mondiales d'agrumes des dernières années (FAO, 2016)..... 14

Tableau 3 Taille et description des larves de D. citri. (Hall, 2008). 24

Tableau 4 Répartition des PG et G sur les différentes parcelles. 30

Tableau 5 Composition de la bagasse d'après différents auteurs (Davina M., 2013). 36

Tableau 6 Composition du bois (Sarpap & Cecil Industries, 2018)..... 36

Tableau 7 Composition détaillée du BRF (Sitionon M., 2013) 36

Tableau 8 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les différents blocs. 40

Tableau 9 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les variétés de greffes..... 41

Tableau 10 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les différents PG. 42

Tableau 11 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les couples PG/G. 44

Tableau 12 Diamètres moyens des PG en 2017 et 2018 avec les écart-types... 47

Tableau 13 Diamètres moyens des G en 2018 avec les écart-types. 48

Tableau 14 Diamètres moyens des G en 2017 avec les écart-types. 48

Tableau 16 Tableau présentant les résultats ANOVA de l'influence des PG sur les G. 48

Tableau 17 Tableau présentant les résultats ANOVA de l'influence des G sur les PG. 51

Tableau 18 Influence des variétés Ca²N et VaRR sur la croissance des PG en 2017. 51

Tableau 19 Influence des variétés NaTe, FiNa, MaTe, TaNo et MaFa sur la croissance des PG en 2017. 52

Tableau 20 Tableau présentant les minimas, maximas, la moyenne et l'écart type pour les % de surface envahie par les plantes adventices, à 3 dates différentes. ... 53

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ASSOFWI : Association des producteurs de fruits et christophines de Guadeloupe

Ca. L. asiaticus : Candidatus Liberibacter asiaticus

CAC : Conformité Agricole Communautaire.

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CLas : Candidatus Liberibacter asiaticus

Fredon : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

G : Greffe

HLB : Huanglongbing

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

IT_2 : Institut Technique Tropical

ITK : Itinéraire technique.

PG : Porte-greffe

SICA : Société d'Intérêts Collectifs Agricoles

SICACFEL : Société d'Intérêts Collectifs Agricoles Caraïbéenne de Fruits Et Légumes

SICAPAG : Société d'Intérêts Collectifs Agricoles des Producteurs Agricoles de la Guadeloupe

T. radiata : Tamarixia radiata

WP : Work package

GLOSSAIRE

ANOVA ou analyse de variance : Test paramétrique permettant la comparaison des moyennes des populations, à partir d'échantillons aléatoires et indépendants prélevés dans chacune d'elles. Pour qu'une ANOVA puisse être réalisée, trois hypothèses doivent être vérifiées : l'indépendance, l'homogénéité et la normalité.

Norme Conformité Agricole Communautaire (CAC) : directive communautaire garantissant l'identité variétale, la qualité sanitaire et physiologique des plants produits dans le respect du cahier des charges.

1. INTRODUCTION

Tout le long de ma formation en Sciences de l'Ingénieur Industriel en Agronomie au sein de la Haute Ecole Provinciale de Hainaut Condorcet, j'ai pu découvrir de nombreux pays comme le Burundi (Stage d'immersion professionnelle avec B. Host, doctorant de l'ULB étudiant la granulométrie du tube digestif des termites humivores), la Chine (découverte agronomique du pays organisée par l'Ir F. Serneels), Madagascar (découverte agroécologique du pays organisée par Mme B. Lefevre) et la République tchèque (mobilité Erasmus, 1er quadrimestre de la 2ème année de master).

L'agriculture belge étant déjà bien développée, j'ai préféré me tourner vers le Master en Agronomie, option Développement International afin de découvrir d'autres méthodes de cultures soumises à des contraintes parfois semblables à celles rencontrées en Belgique mais souvent bien différentes de la réalité de nos productions. Les cours de phytopathologie, enseignés par l'Ir. D. Danhier, ont éveillé ma curiosité et j'ai décidé de réaliser mon TFE dans ce domaine afin d'approfondir mes connaissances. À la suite de nombreux échanges par mail, je suis entré en contact avec M. Youri Uneau, responsable technique de l'ASSOFWI (voir la rubrique « Partenaires du Projet »), association basée en Guadeloupe, qui a accepté ma demande de TFE.

La Guadeloupe est touchée depuis 2012 par une crise phytosanitaire très grave avec l'émergence du Citrus Greening (aussi appelé HLB, Huanglongbing). Cette maladie bactérienne (*Candidatus liberibacter ssp.*) est transmise par le psylle asiatique (*Diaphorina citri Kuwayama*). La bactérie ainsi que le psylle sont repris comme organismes de quarantaine listés par l'EPPO (Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes).

La Guadeloupe importe énormément de fruits comestibles (13807 tonnes en 2016, pour un budget de presque 19 millions d'euros), dont environ 50% d'agrumes (Agreste Guadeloupe, Memento 2017). La chute de la production après l'apparition de la maladie sur l'île a entrainé de lourdes pertes économiques pour les grands et petits producteurs (voir graphe ci-dessous). De nombreux cas de reconversion vers d'autres cultures ont été enregistrés. Le tableau ci-dessous présente l'évolution des chiffres liés à la production d'agrumes en Guadeloupe de 2005 à 2015.

Année	2005	2010	2015
Superficie (ha)	357	338	308
Rendement (T/ha)	17	17	5
Production (T)	6225	5781	1597
Importation (T)	1035	4864	6484
Consommation (T)	7260	10645	8081

Tableau 1 Chiffres clefs de la production d'agrumes en Guadeloupe. Source : Statistique Agricole Annuelle et Douanes.

Aucune méthode curative n'a encore été découverte à ce jour et la lutte préventive est peu efficace, car une seule piqûre de psylle contaminé suffit à rendre l'arbre malade.

Le projet PARADE HLB piloté par l'ASSOFWI (structure dans laquelle le TFE a été réalisé) est mené pour relancer l'agrumiculture en Guadeloupe sous la contrainte HLB, en collaboration avec les producteurs et les autres acteurs de la filière (organismes de recherche, instituts techniques, organisations de producteurs). La relance de l'agrumiculture est d'une importance primordiale d'un point de vue économique, ainsi que patrimonial. Le défi majeur est d'assurer une production en qualité et quantité suffisante pour relancer la machine économique agrumicole.

Les objectifs de ce TFE sont

- L'évaluation de porte-greffes et de greffes (avec suivi photographique).
- La création d'un itinéraire technique adapté à l'agrumiculture avec la contrainte HLB et évaluation de ces techniques.
- Établir un état des lieux du Citrus Greening en Guadeloupe et dans le Monde.

Une transition de l'itinéraire technique conventionnel (qui n'est plus viable) vers un itinéraire technique de production innovant et viable sous contrainte HLB est nécessaire. Les différentes pratiques culturales doivent être adaptées aux nouvelles conditions dans lesquelles se trouvent désormais les plantes.

Dans le cadre du projet PARADE se déroulaient des ateliers de co-conception réunissant les producteurs et les acteurs de la filière. Ces ateliers m'ont permis de cerner les contraintes que les producteurs rencontraient sur le terrain ainsi que leurs attentes. L'objectif de ces ateliers est l'élaboration d'un nouvel itinéraire technique, incluant des pratiques culturales innovantes permettant d'améliorer la qualité des productions et la longévité de l'arbre malgré la présence de la maladie.

Pour ce faire, j'ai réalisé une recherche bibliographique sur les potentielles solutions innovantes employées dans les différents pays touchés par HLB, en intégrant aussi les suggestions des producteurs et des organismes partenaires ayant participé à une enquête.

Deux parcelles d'évaluation variétale ont été plantées en juin et juillet 2015. Différents couples porte-greffes/variétés sont testés afin de déterminer quelle association est la plus adaptée à la production sous contrainte HLB. L'objectif à terme étant de diffuser les variétés sélectionnées aux professionnels.

Lors de cette étude, j'ai réalisé un suivi épidémiologique et de croissance sur ces parcelles. Les premiers résultats relatifs à ces parcelles se trouvent dans ce rapport. Cependant, l'agrumiculture étant une culture pérenne, certaines données sont encore manquantes, comme le rendement. J'ai également fait un suivi photographique des arbres testés. Grâce à cette bibliothèque photographique, de précieuses informations pourront être obtenues pour les arbres retenus et ce, à différents stades de leur développement.

J'ai effectué un test comparatif de différents paillages mis en place sur ces parcelles expérimentales, utilisant des ressources disponibles et à bon marché. Le but est de proposer aux producteurs un paillage adapté pour placer les arbres dans d'idéales conditions.

2. CONTEXTE THÉORIQUE

2.1. Contexte général de l'étude

2.1.1. Contexte géographique

La Guadeloupe est située dans l'hémisphère nord, entre le tropique du Cancer et l'Equateur. La Guadeloupe est un département et une région d'outre-mer français situé dans les Caraïbes. C'est un archipel de 1702 km² constitué de 5 groupes d'îles : la Basse-Terre (848km²), la Grande-Terre (590 km²), les Saintes (14km²), la Désirade (22km²) et Marie-Galante (158km²). La Basse-Terre et la Grande-Terre forment la Guadeloupe continentale et sont séparées par un bras de mer appelé La Rivière Salée (voir cartographie ci-dessous).

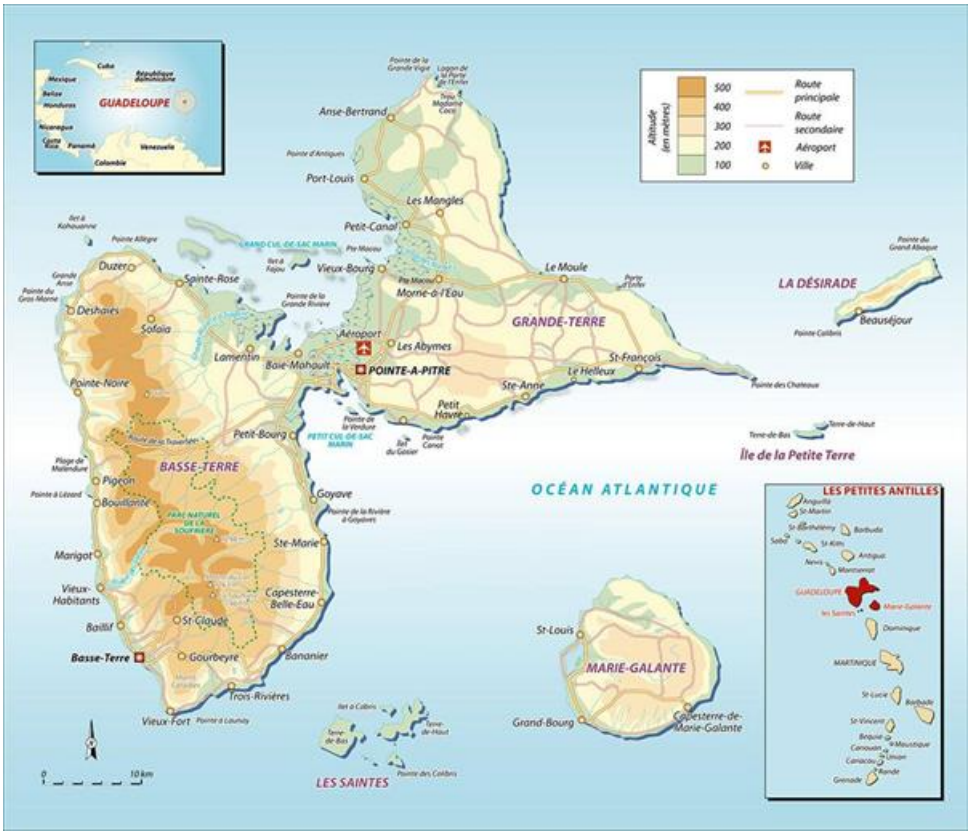


Figure 1 Carte de l'archipel guadeloupéen. (Site de Gwadaplans consulté en 2018)

Le point culminant de la Guadeloupe est le volcan de la Soufrière, atteignant 1467m. La Guadeloupe est entourée par la Mer des Caraïbes et l'Océan Atlantique Nord. La structure dans laquelle le stage se déroule est basée à Vieux-Habitants, à quelques kilomètres au Sud de la ville de Basse-Terre.

2.1.2. Contexte climatologique

En Guadeloupe, 3 types de climat de la classification de Köppen sont présents : Am (dominant), Af et Aw, correspondant respectivement au climat tropical à mousson, climat équatorial et climat de savane à hiver sec (Isabelle Veltz, 2014 et sites de climate-data, consulté en 2018).

Le code « A » (1ère lettre) représente le climat tropical caractérisé par une température moyenne pour chaque mois de l'année supérieure à 18°C, une absence de saison hivernale et de fortes précipitations annuelles, supérieures à l'évaporation annuelle.

Le code « m » (2ème lettre) représente un climat de mousson, avec des précipitations annuelles supérieures à 1500mm. Les précipitations du mois le plus sec sont inférieures à 60mm et supérieures à [100-(précipitations annuelles moyennes) /25].

Le code « f » (2ème lettre) représente un climat humide, avec des précipitations tous les mois de l'année, dont celles du mois le plus sec supérieures à 60mm (climat de la forêt tropicale).

Le code « w » (2ème lettre) représente un climat ayant une saison sèche en hiver, avec les précipitations du mois le plus sec inférieures à [100-(précipitations annuelles moyennes) /25] et inférieures à 60mm (climat de la savane).

Les facteurs géographiques variés de la Guadeloupe influent sur la pluviométrie qui est la variable différenciant les climats cités ci-dessus (voir cartographie ci-dessous). Ces facteurs géographiques sont entre autres, la présence de l'océan à proximité, le volcan de la Soufrière culminant à 1467m, la végétation, l'urbanisation… Le climat à Vieux Habitants, ville où s'est déroulé le TFE, présente un climat de type Am, avec une température moyenne de 26,0°C et des précipitations de 1527mm par an.

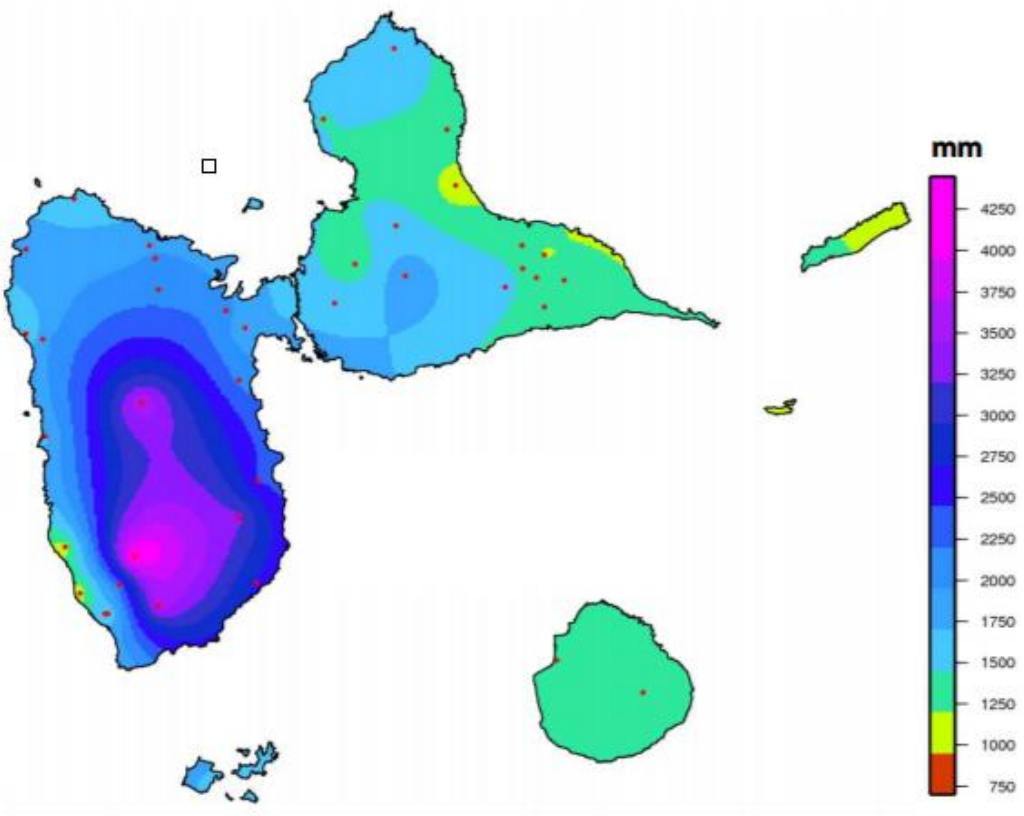


Figure 2 Pluviométrie annuelle en Guadeloupe en 2016. (Météo France, 2018).

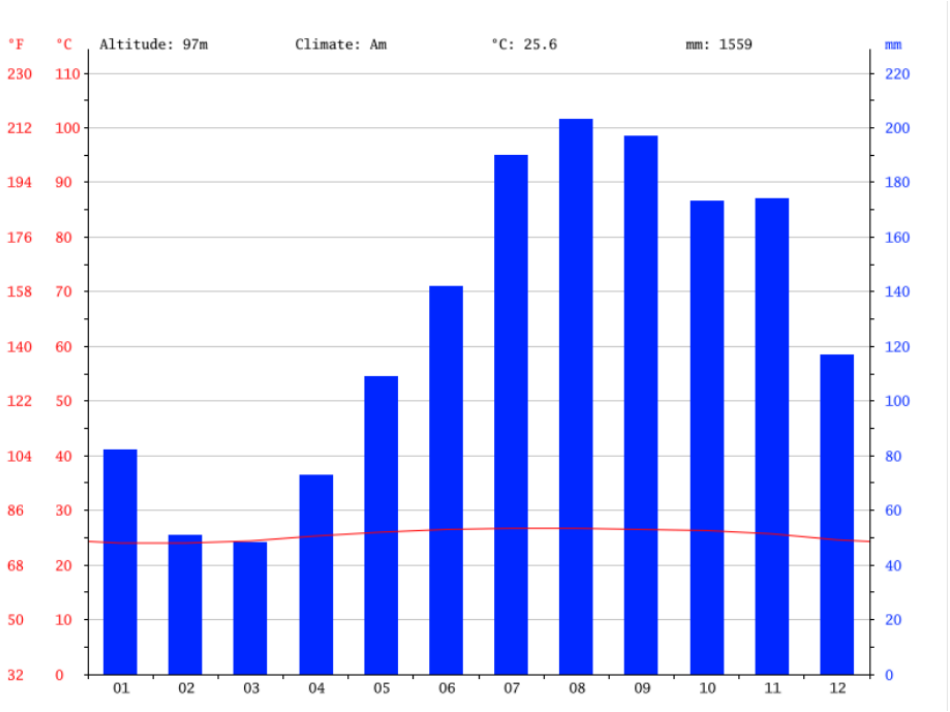


Figure 3 Diagramme ombrothermique de Basse Terre. (Site de climate-data, consulté en 2018).

2.1.3. Contexte pédologique

Les principaux types de sols retrouvés en Guadeloupe sont les suivants : les oxisols, les vertisols, les sols à allophane (andosols), les sols brun-rouille à halloysite, les sols d'alluvions et les sols dérivés de calcaires coralliens. (CIRAD, 2008)

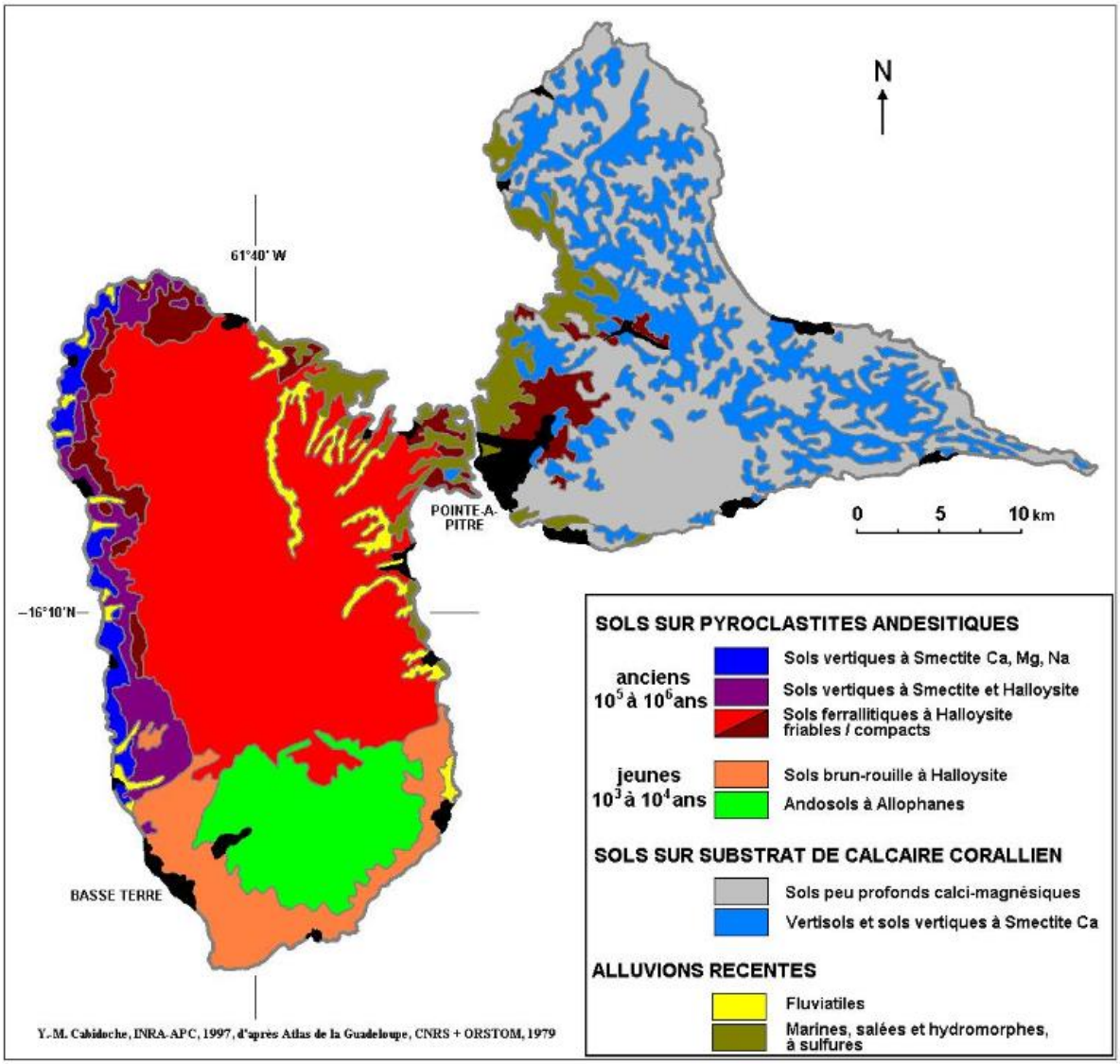


Figure 4 Carte des sols de Guadeloupe. (Site du CIRAD, 2018)

2.1.4. Contexte phytosanitaire

La Guadeloupe est touchée depuis 2012 par une crise phytosanitaire très grave avec l'émergence du Citrus Greening (aussi appelé HLB, Huanglongbing), maladie bactérienne (Candidatus Liberibacter asiaticus) transmise par le psylle asiatique

(Diaphorina citri Kuwayama). L'insecte vecteur, la bactérie et la maladie sont présentés en détail dans la suite du document (pages 13 16 et 21).

La majorité des producteurs se sont donc reconvertis à d'autres productions fruitières. La région Guadeloupe et la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt se sont mobilisées pour indemniser les producteurs et pépiniéristes en encourageant l'assainissement des parcelles contaminées.

En raison de la contrainte HLB, les agrumes consommés en Guadeloupe proviennent majoritairement de l'importation. Cependant, la filière agrume en Guadeloupe représente une source non-négligeable de développement pour l'économie locale.

D'autres contraintes biotiques importantes sont également identifiées (maladies virales, fongiques et ravageurs) comme la Tristeza (Citrus tristeza virus, CTV), le phytophthora (*P.citrophthora*, *P. palmivora* et *P. parasitica*), les charançons, les cochenilles, les aleurodes et les fourmis manioc (*Acromyrmex octospinosus*). Les principales contraintes abiotiques sont les sols calcaires, les vertisols, les ressources en eau limitées et les conditions météorologiques violentes.

2.1.5. Le projet PARADE

La réalisation du TFE se déroule dans le cadre du projet PARADE HLB (**P**ratiques innov**A**ntes et sélection variétale pour la **R**elance de l'**A**grumiculture Gua**D**eloupénne sous contraint**E** HLB), répondant à l'appel à projet RITA (Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole dans les départements d'outre-mer) en Guadeloupe. Ce projet est financé par le FEADER sur la mesure 16.1 du Plan de Développement Rural de Guadeloupe 2014-2020. Le projet PARADE HLB sera conduit sur 3 ans, avec une prolongation nécessaire. En effet, l'agrumiculture est une culture pérenne et nécessite donc un minimum de 6 ans d'évaluation en verger afin d'obtenir des résultats solides.

Objectifs du projet PARADE

Le projet PARADE s'inscrit dans une démarche agroécologique intégrant du matériel végétal et des techniques innovantes destinées à relancer la production d'agrumes. Les objectifs visés sont :

- L'évaluation des porte-greffes et variétés d'agrumes potentiellement plus tolérants au HLB : j'ai effectué plusieurs collectes de données (voir méthodologie page 28) et les résultats relatifs se trouvent à la suite (page 39).
- La mise en place d'une filière de diffusion de plants d'agrumes sains et certifiés aux normes CAC.
- Le développement des itinéraires techniques limitant l'impact du HLB sur les vergers et pouvant améliorer les rendements et la qualité des nouvelles variétés testées (voir page 28). Les pratiques culturales et la lutte biologique y sont abordées.
- Le développement des populations d'auxiliaires visant à réguler les populations de psylles asiatiques et autres parasites.
- L'établissement de protocoles de biocontrôle du psylle asiatique.
- L'assainissement : destruction des vergers et arbres contaminés.
- La communication avec les producteurs et particuliers. J'ai moi-même échangé avec de nombreux producteurs, en essayant de les conseiller au mieux.

Partenaires du projet

Le projet est coordonné par l'ASSOFWI (Association des producteurs des fruits et christophines de Guadeloupe), association existant depuis 2003 et localisée à Vieux Habitants (Route du Bouchu 97119).

Les principales activités de l'ASSOFWI sont :

- L'appui technique et administratif aux producteurs adhérents
- La formation (depuis 2010)
- L'expérimentation de pratiques agricoles durables
- La vente directe de produits de terroir

En 2018, 50 producteurs adhérent à l'association, ce qui représente 250 ha majoritairement en arboriculture et maraichage. L'ASSOFWI est localisée sur un site

expérimental de 14ha (anciennement occupé par le CIRAD) dont 6.8 ha sont certifiés en Agriculture Biologique.

Les partenaires du projet sont :

- Le CIRAD : Le centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement
- L'IT2 : L'institut Technique Tropical
- La Fredon : La Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles
- La SICA les Alizées : La Société d'Intérêts Collectifs Agricoles les Alizées
- LA SICAPAG : La Société d'Intérêts Collectifs Agricoles des Producteurs Agricoles de la Guadeloupe
- La SICACFEL : La Société d'Intérêts Collectifs Agricoles Caraïbéenne de Fruits Et Légumes
- La Chambre d'Agriculture de la Guadeloupe
- L'INRA : L'institut National de Recherche Agronomique

Actions prévues

Le projet est structuré en « WP » (Work Package), chacun d'eux est mené par les partenaires du projet. Le WP1 est achevé, et les WP2/3 sont en cours actuellement.

WP0 : gestion et coordination du projet

Le responsable de cette action est l'ASSOFWI. L'enjeu est de coordonner les différents acteurs du projet multi-partenarial, de suivre l'avancée des différentes actions, de réunir les partenaires si nécessaire et d'assurer la communication liée au projet en interne et en externe.

WP1 : Conservation et production de plants sains d'agrumes

Le responsable de cette action est l'IT2 (Institut Technique Tropical). L'enjeu est la production de matériel végétal sain et de qualité pour limiter la diffusion de la maladie. La conservation des variétés locales d'agrumes sélectionnées naturellement (« Mitte », « Bourbon », « orange à grosse peau ») a débutée en 2014.

Les résultats sont :

✓ Production de matériel végétal

- Fonctionnement d'une serre de quarantaine pour introduire du nouveau matériel végétal.
- Fonctionnement d'une serre de confinement insect-proof pour la conservation des variétés commerciales destinées à alimenter le parc à bois en variétés locales.
- Fonctionnement de 2 serres de confinement insect-proof (Parc à bois et bloc d'amplification collectif) pour la production de plants d'agrumes de qualité (greffons et plants) à la norme CAC[1].

✓ Agrément et certification des pépiniéristes

Formation d'un agent technique local pour assurer le suivi et le contrôle de la norme CAC, ainsi que l'accompagnement des professionnels pour l'obtention de l'agrément CAC. Cette action est portée par l'IT2.

✓ Recensement, assainissement et préservation des variétés locales

Inventaire, évaluation et préservation des variétés locales. Les variétés intéressantes seront intégrées dans le schéma de diffusion.

WP2 : Itinéraires techniques innovants et durables

Aucune lutte chimique efficace et durable n'existe à ce jour contre HLB. Les objectifs de ce WP sont de concevoir et expérimenter des systèmes de cultures agrumicoles innovants et de développer la lutte biologique à l'aide de l'auxiliaire *Tamarixia radiata (abrégé en T. radiata).* Ce WP est mené par l'ASSOFWI.

✓ Co-construction et validation de systèmes de cultures innovants.

Des ateliers participatifs sont mis en place pour consulter les producteurs et les structures partenaires. Les systèmes de culture innovants seront testés en station expérimentale et en milieu producteur. L'aspect technico-économique sera étudié et

[1] La norme Conformité Agricole Communautaire (CAC) garantit l'identité variétale, la qualité sanitaire et physiologique des plants produits dans le respect du cahier des charges de la norme.

des fiches techniques de production de fruits en système innovant seront éditées. Les ateliers sont désormais terminés, un itinéraire technique est proposé à la section résultat de l'Atelier de co-conception. (page 55). Le test de paillage sur les parcelles expérimentales fait partie de ce WP (résultats page 53). Les tests en milieu producteur vont être mis en place : les producteurs choisiront les techniques de l'itinéraire technique (ITK) adaptées à leurs contraintes avec l'aide de l'ASSOFWI.

- ✓ Lutte biologique contre les psylles :

Production de *T. radiata* et d'autres auxiliaires généralistes. Les producteurs seront accompagnés pour l'utilisation de la lutte biologique.

WP3 : Evaluation variétale de matériel végétal innovant

Ce WP est mené par le CIRAD. L'objectif est la recherche et la caractérisation de variétés et de porte-greffes présentant une moindre sensibilité au HLB. Ces essais seront réalisés sur différents sites pour mieux appréhender les interactions génotypes/environnement dans la réponse au HLB et pour pouvoir conseiller les producteurs en fonction de leur zone de production. Les résultats collectés durant les 3 premières années de culture se trouvent en page 39.

- ✓ Evaluation de variétés de petits agrumes

Sélection et évaluation de 5 variétés de petits agrumes qui doivent répondre à la demande du marché et être adaptées à HLB. Cette action se réalise sur 2 parcelles expérimentales.

- ✓ Evaluation de variétés d'orangers

Sélection et évaluation de variétés d'oranges assurant une production continue durant l'année : 5 variétés d'orangers et un Tangor seront évalués sur 2 parcelles expérimentales. Voir résultats page 39.

- ✓ Evaluation de porte-greffes tétraploïdes sous contrainte HLB

Evaluation de 5 portes greffes tétraploïdes pour leur comportement face à HLB et à la chlorose ferrique en comparaison avec les portes greffes diploïdes traditionnels.

2.2. Les agrumes

2.2.1. Origine des agrumes

Le terme « Agrume » vient du latin acrumen, qui désignait dans l'antiquité des arbres aux fruits acides (Benediste et Baches, 2002). Le terme agrume désigne les espèces du genre *Citrus* (la majorité des agrumes), *Fortunella* (les Kumquats) et *Poncirus*, appartenant à la sous-famille des *Aurantioideae* de la famille des *Rutaceae.*

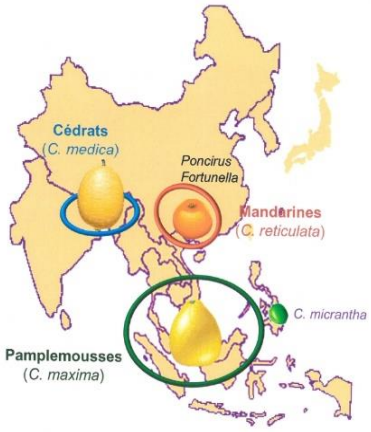


Figure 5 Zones d'origine et de diversification des espèces du genre Citrus sur le continent asiatique. (Luro et al., 2013)

Le centre d'origine des agrumes se situe dans le Sud-Est Asiatique (Praloran, 1971). L'hybridation naturelle est très fréquente chez les agrumes dans cette région, ce qui a favorisé l'apparition de certaines espèces dans des sites différents (Parfonry, 2001).

Les agrumes ont été diffusés au Moyen-Orient puis dans les pays méditéranéens par les échanges commerciaux de l'antiquité jusqu'à nos jours. À la fin du XVI siècle, les agrumes, à l'exception du mandarinier, s'étaient répandus dans presque toutes les régions tropicales et subtropicales (Parfonry, 2001).

La récente étude « *Genomic of the origin and evolution of Citrus* » (parue dans la revue « Nature » le 7 février 2018) s'intéresse à la classification des agrumes. Un nouveau modèle évolutif du genre Citrus est présenté, en analysant à nouveau le séquençage du génome de 60 variétés et formes sauvages. Parmi les 60 variétés analysées, on retrouve 10 vraies espèces biologiques issues d'une longue évolution. Quatre de ces espèces (*Citrus reticulata, C. maxima, C. medica et C. micrantha*) forment 4 groupes d'agrumes, plus connus sous les noms respectifs de mandariniers, pamplemoussiers, cédratiers et papeda. Par hybridation interspécifique, on obtient la majorité des variétés cultivées (orangers, pomelos, citronniers, limettiers…).

Certains agrumes proviennent d'hybridations directes entre ces espèces ; par exemple, les bigaradiers (C. maxima x C. reticulata), le limettier « Mexicain » (C. micrantha x C. medica) … En revanche, d'autres agrumes sont obtenus par des croisements plus complexes, notamment le citronnier qui est issu d'une hybridation entre le bigaradier et le cédratier. L'oranger serait issu de C. reticulata x C. maxima mais son origine n'est pas encore claire.

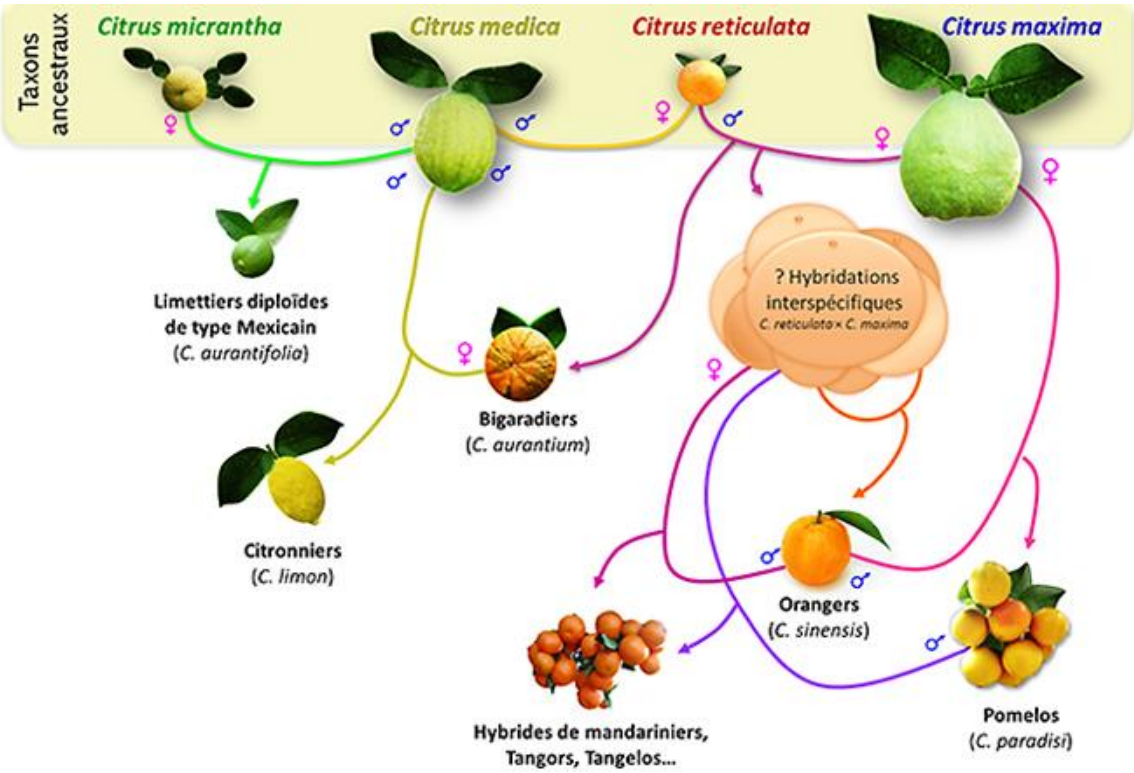


Figure 6 : L'origine des agrumes cultivés : quelques exemples en images (Luro 2013).

2.2.2. Production d'agrumes

Année	Oranges (x10³ T)	Mandarines (x10³ T)	Citrons et Limes (x10³ T)	Pamplemousses (x10³ T)	Production totale (x10³ T)
2008	69090	23375	16491	7171	116128
2009	67660	24951	15726	7203	115541
2010	69261	26477	14367	7335	117441
2011	70523	31278	14535	7486	123824
2012	67917	33077	14247	7759	123002
2013	71473	34529	14908	7699	128611
2014	70333	37707	15006	8659	131707
2015	68600	38305	15490	8550	130947

Tableau 2 Tableau présentant les productions mondiales d'agrumes des dernières années (FAO, 2016)

Les agrumes sont produits à des fins commerciales dans environs 140 pays. Les principaux producteurs sont le Brésil, la Chine, l'Inde, les USA et l'Espagne. Les agrumes occupent la première place dans la valeur commerciale parmi tous les fruits. (Norberg, 2008, UNCTAD, 2009). Les oranges sont les principaux agrumes cultivés et représentent environ 70% de la production d'agrumes.

Il existe deux marchés principaux : le marché des fruits frais et le marché des fruits transformés (principalement en jus d'orange, produit par les Etats-Unis et le Brésil). Le commerce international du jus d'orange se fait sous forme de concentré congelé pour réduire le volume, diminuant ainsi les coûts de transports et de stockage. (Thomas H. Spreen, 2010).

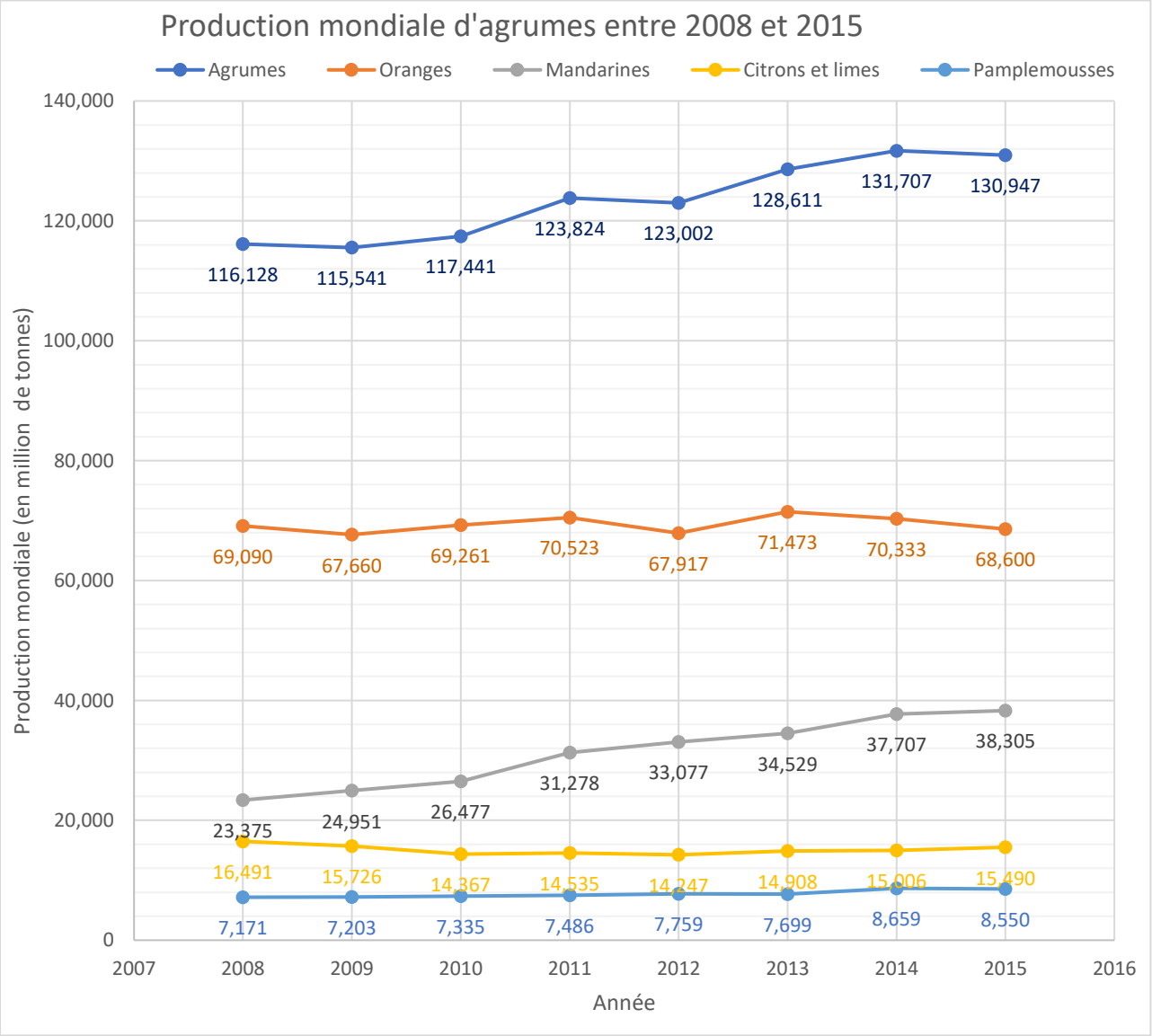


Figure 7 Graphique de la production mondiale d'agrumes entre 2008 et 2015 (FAO, 2016)

2.3. La maladie

Le virus de la tristeza des agrumes (*Citrus Tristeza Virus, CTV)* a été longtemps considéré comme la maladie la plus sérieuse pour la production d'agrumes, causant la perte de 100 millions d'arbres (Román et al., 2004). Cependant, la maladie du dragon jaune (traduction littérale de Huanglongbing), aussi appelée HLB ou Citrus Greening, a causé de sérieux dégâts en Asie et en Afrique durant plusieurs décennies (Aubert, 1993) et elle s'est propagée en Amérique. Les pertes totales dépassent désormais celles liées au CTV.

2.3.1. Histoire et origine

Depuis de nombreuses années, l'origine du HLB était considérée comme étant la Chine (Zhao, 1981). À la fin du XIXème siècle, les producteurs du Sud de la Chine observaient un jaunissement des feuilles des arbres et ont introduit le terme « Huanglonbing » (Yellow Shoot Disease, maladie des pousses jaunes).

En Inde, le terme « Citrus Die-Back » était utilisé depuis le XVIIIème siècle (Capoor, 1963) et il a été prouvé en 1969 que ce terme indiquait la maladie HLB (Raychaudhuri et al., 1969), même si le « Citrus Die-Back » pouvait être causé par de nombreux facteurs.

Au nord de l'Afrique du Sud, en 1928 et 1929, les symptômes observés par les producteurs étaient appelés « Yellow Branch » ou « greening » et l'hypothèse fut émise que la cause était une carence en minéraux ou une toxicité (Van Der Merwe & Andersen, 1937).

Mais d'où venait la bactérie qui a infecté les agrumes ? La bactérie existait évidement depuis des millions d'années. La culture d'agrumes a commencé en Chine il y a 4000 ans et peu de temps après en Inde (Singh et al., 2002). Cependant, la maladie est seulement décelée durant le siècle dernier, il est donc clair que les agrumes n'étaient pas les premières plantes hôtes. La sévérité des symptômes et l'absence apparente de tolérance ou résistance conforte cette théorie.

En Afrique, *Candidatus Liberibacter africanus* a été détectée sur deux plantes indigènes de la famille des Rutacées, *Vepris undulata* et *Clausena nisata* (Korsten et

al., 1996). Toutes deux ont été identifiées comme probables hôtes initiaux pour *Trioza erytreae,* le psylle africain des agrumes.

Les rutacées asiatiques, signalées comme hôtes potentiels pour *Ca. L. asiaticus* (abrégé en *Ca. L. asiaticus* ou encore *CLas)* sont *Severinia buxifolia*, la pomme à coque (*Limonia acidissima)* et le wampi *(Clausena lansium)* (Ding et al., 2005) mais il n'y a aucun argument pour démontrer que l'une de ces plantes est l'hôte d'origine.

2.3.2. Situation mondiale

Depuis les premiers enregistrements en Inde (1927) et en Afrique du Sud (1928/1929), la maladie s'est propagée dans tous les sites majeurs de production d'agrumes, exception faite des pays méditerranéens et de l'Australie. La maladie s'est propagée lors de transport d'agrumes infectés par la maladie et par le transport involontaire de psylles.

Dès lors, des mesures de contrôle ont été instaurées au niveau des douanes pour éviter le transfert de végétaux contaminés vers les zones non touchées par la maladie.

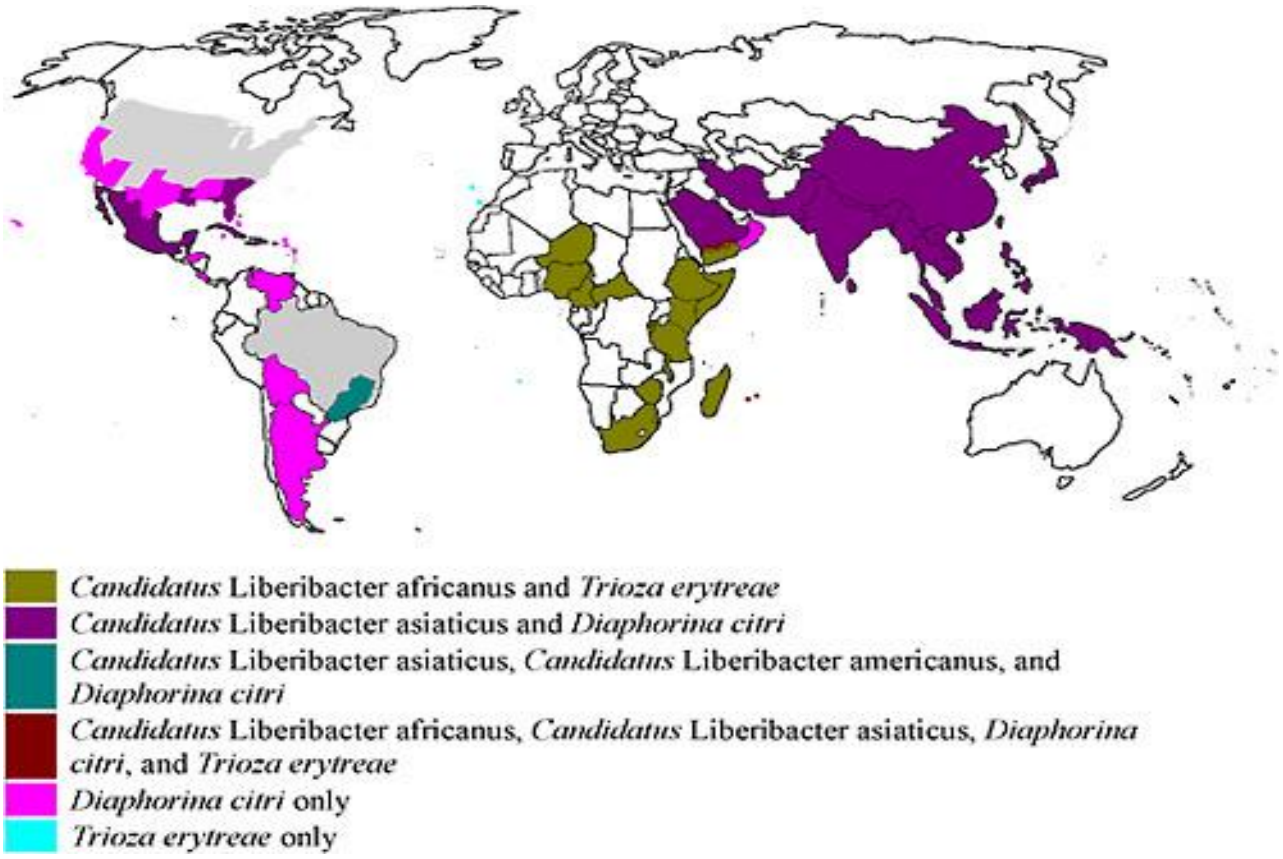


Figure 8 Distribution mondiale de Candidatus Liberibacter sp et de ses insectes vecteurs (National Academy of Science, 2010).

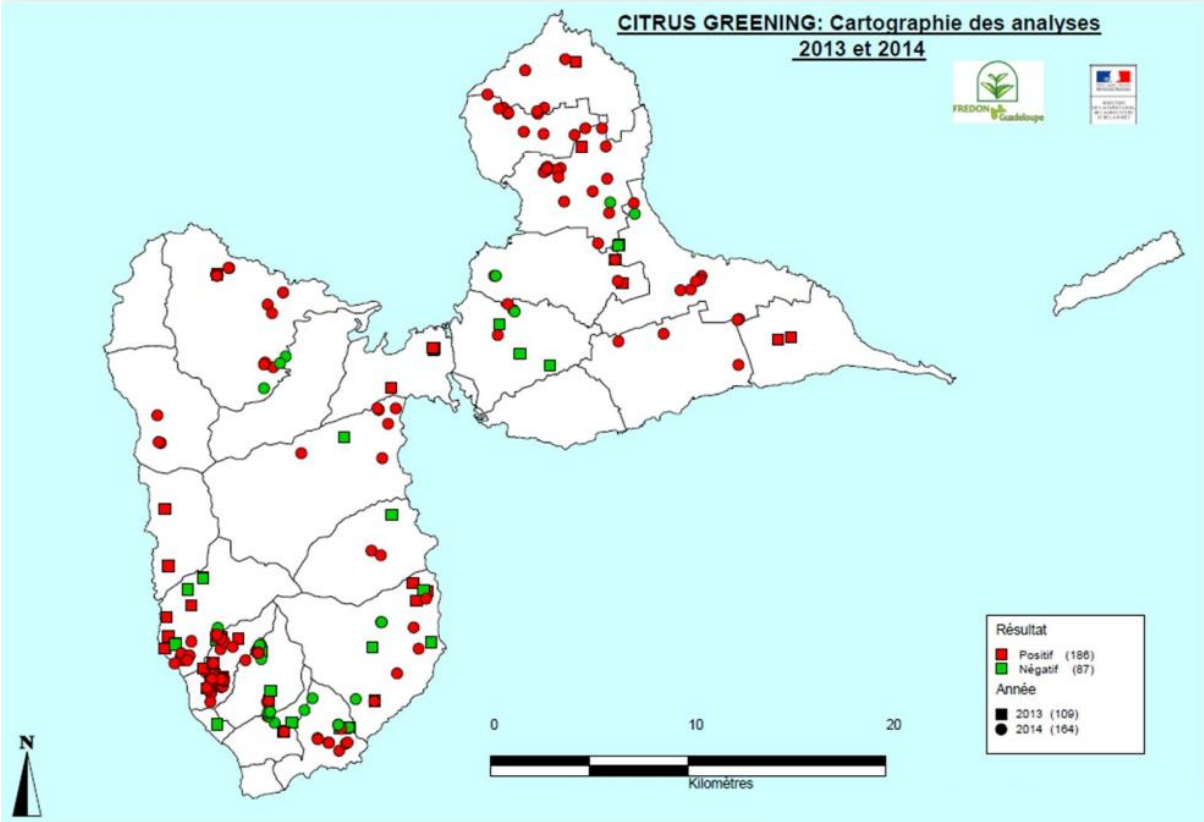


Figure 9 Carte de distribution d'HLB en Guadeloupe en 2013 et 2014 (Source : Merle, T., 2015)

Sur la carte, on retrouve deux foyers d'infection, l'un dans le sud de la Basse Terre et l'autre dans le nord dans la Grande Terre.

Des négociations sont menées par les groupements de producteurs et la Chambre d'Agriculture : ils demandent aux pouvoirs publics d'indemniser les producteurs après la parution de l'arrêté préfectoral imposant l'arrachage et la destruction des vergers contaminés. En 2015, une aide a été octroyée pour encourager l'assainissement. L'année suivante, 53 producteurs sinistrés ont été indemnisés avec des aides régionales pour les aider à se reconvertir. Pour ce faire, l'ASSOFWI a proposé avec d'autres structures des procédures pour l'assainissement, reprenant les coûts pour les producteurs. Ces procédures ont été évaluées à partir d'expériences de producteurs ayant déjà assaini leurs parcelles.

- Arrachage + broyage : 8000€/ha
- Coupe + dévitalisation par solarisation : 6000€/ha
- Coupe + dévitalisation chimique : 9000€/ha
- Coupe + broyage + dévitalisation chimique : 11000€/ha

2.3.3. Impact d'HLB

HLB est une maladie destructive et probablement la maladie la plus sérieuse des oranges, mandarines et pamplemousses et ce indépendamment des variétés, qu'il s'agisse d'arbres greffés ou de semis. Le rendement des arbres atteints est non seulement réduit considérablement par la chute continue des fruits, le dépérissement et le rabougrissement des arbres, mais aussi par la mauvaise qualité des fruits qui restent sur l'arbre. La maladie entraine une mort rapide des arbres.

On estime que près de 100 millions d'arbres sont affectés par HLB dans le monde entier. Les pertes sont colossales : coût de nouvelles stratégies mises en œuvre pour prendre soin des agrumes, perte de revenu et d'emplois pour les producteurs (à cause de la perte de production)… (FAO, 2013).

2.3.4. Symptômes

Les symptômes peuvent être observés sur la plupart des espèces d'agrumes. Les symptômes principaux sont observés sur les feuilles, les nouvelles pousses et les fruits.

Sur les feuilles, on observe une décoloration en marbrure : les nervures et zones adjacentes sont plus jaune que le reste du limbe. La décoloration est irrégulière et asymétrique par rapport aux nervures. Les symptômes sur feuille peuvent être confondus avec une carence en Zinc (Zn) (ASSOFWI, 2012).

Figure 10 Symptômes d'HLB à différents stades. Les premières feuilles présentent seulement quelques marbrures asymétriques légères et on observe un jaunissement presque total de la dernière feuille. Photo : A. Toulmonde.

Le développement des fruits est ralenti. Le verdissement (greening) est visible sur les fruits qui ne mûrissent que du côté exposé au soleil, l'autre côté reste vert olive terne. Les pépins avortent souvent (Commonwealth Department of Health, 1982). Les fruits symptomatiques sont petits, asymétriques avec un axe du fruit courbé.

Figure 11 Symptômes d'HLB sur orange (OEPP, 2014).

Il n'y a pas de symptômes apparents sur le tronc et les branches.

D'un point de vue histologique, on retrouve des zones localisées de phloème nécrotique dans le système vasculaire, une accumulation importante d'amidon dans les plastes, une activité anormale du cambium et une formation excessive de phloème. En proliférant, la bactérie perturbe le transport de la sève élaborée dans le phloème : les plasmodesmes qui connectent les cellules compagnes, le parenchyme longitudinal et les tubes criblés présentent une forte accumulation de calloses (Koh, E.-J. et al., 2011).

2.4. La bactérie

L'agent pathogène du HLB est la bactérie *Candidatus Liberibacter spp.*, appartenant à la section des α-protéobactéries (bactérie Gram- : paroi cellulaire membraneuse contenant des peptidoglycanes) (Bové, 2006). Le génome de la bactérie a été séquencé et mesure environ 1.22 Mbp ($1{,}22.10^6$ paires de base) (Duan et al., 2009). Ces bactéries sont allongées, en forme de bâtonnets de 0.15 à 0.25µm. On peut les observer au microscope électronique au niveau des tubes criblés des arbres malades.

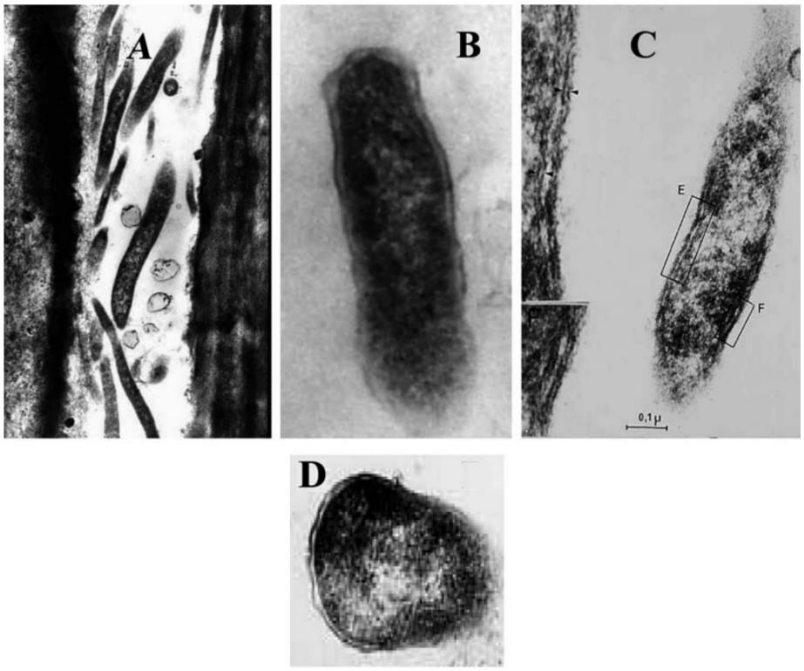


Figure 12 Micrographies électroniques de Ca. L. asiaticus. Micrographie : M. Garnier, 2006.

- A. Bactérie dans le tube criblé d'une feuille d'oranger.
- B. Mise en évidence de la paroi cellulaire.
- C. Mise en évidence de la bicouche lipidique de la membrane plasmique.
- D : Mise en évidence de la paroi cellulaire.

Trois espèces ont été identifiées, causant chacune les mêmes symptômes mais avec des propriétés différentes :

- *Ca. L. asiaticus* est présente en Asie, dans certaines îles de l'Océan Indien et en Amérique. Cette espèce est transmise par le psylle asiatique des agrumes, *Diaphorina citri* et est une bactérie tolérante à la chaleur.

- *Ca. L. africanus* est présente en Afrique et transmise par le psylle africain des agrumes, *Trioza erytreae*. Cette bactérie est sensible à la chaleur et est donc retrouvée à une altitude minimale de 700m où les températures ne dépassent pas les 30°C pour une longue durée.
- *Ca. L. americanus*, encore très peu connue.

De nombreux essais ont été menés pour cultiver les bactéries sur milieu artificiel mais en vain (organisme auxotrophe pour certains acides aminés et capacité limitée pour la respiration aérobie). Dès lors, le second postulat de Koch n'a pas pu être vérifié et l'établissement du lien de causalité entre l'agent pathogène et la maladie n'a pas été validé, d'où l'utilisation du terme « *Candidatus* » dans la nomenclature. Ce terme est utilisé pour les bactéries qui ne sont pas encore cultivées en milieu artificiel.

2.4.1. Mesures phytosanitaires

L'OEPP suggère l'interdiction de l'importation de matériel végétal provenant de pays où la bactérie ou l'un des vecteurs sont présents. La bactérie figure sur la liste d'organismes de quarantaine A1 de l'OEPP depuis 1988. La COSAVE (Comite Regional de Sanidad Vegetal del Cono Sur), la CPPC (Carabbean Plant Protection Commission) et l'IAPSC (Inter-African Phytosanitary Council) la considèrent également comme un organisme de quarantaine.

2.5. L'insecte vecteur

2.5.1. Classification

En Guadeloupe, le vecteur de la maladie est le psylle asiatique des agrumes (*Diaphorina citri* Kuwayama) faisant partie du sous-ordre des Homoptères, de la famille des Psyllidae. On ne retrouve pas *Trioza erytrae* en Guadeloupe.

Figure 13 Diaphorina citri adulte. Photo : D. Hall.

Le genre *Diaphorina* regroupe 74 espèces décrites (Loginova, 1975). Deux autres espèces du genre *Diaphorina* se développent et se nourrissent sur les agrumes : *D. communis* Mathur (Inde) et *D. auberti* (Archipel des Comores) (Aubert, 1987).

2.5.2. Biologie

Les psylles adultes mesurent 2.7 à 3.3 mm de long avec des ailes tachetées de brun. Les adultes sont des insectes actifs, pouvant sauter ou voler. Les adultes se nourrissent sur les feuilles avec leur tête sur la surface de la feuille et leur corps en oblique, à 45° par rapport à la surface de la feuille. Le psylle est un insecte suceur : il introduit ses pièces buccales dans les tissus pour se nourrir. Les adultes se nourrissent sur les jeunes tiges et sur les feuilles à tout stade de développement. La ponte des œufs et le développement des larves se font sur les jeunes pousses qui sont plus tendres et appétentes (Hall et Albrigo, 2007).

Après l'éclosion, les larves de *D. citri* passent par 5 stades larvaires. Les larves secrètent de manière continue du miellat en grande quantité par l'anus (Tsai et Liu, 2000).

La taille moyenne des œufs est de 0.31 mm de long et 0.14 mm de large (Tsai et Liu, 2000), de forme allongée et ovale. Les œufs sont jaune clair quand ils viennent d'être pondus et deviennent orange vif avec deux points rouges à maturité. Les larves sont vertes ou oranges ternes.

	Longueur (mm)	**Largeur (mm)**	**Description**
1er stade larvaire	0.3	0.17	Corps rose clair et paire d'yeux composés rouge
2ème stade larvaire	0.45	0.25	Ébauches alaires rudimentaires visibles sur le second segment thoracique
3ème stade larvaire	0.74	0.43	Ébauches alaires bien développées et segmentation des antennes, avec une soie par antenne
4ème stade larvaire	1.01	0.7	Deux soies par antenne
5ème stade larvaire	1.6	1.02	Trois soies par antenne

Tableau 3 Taille et description des larves de D. citri. (Hall, 2008).

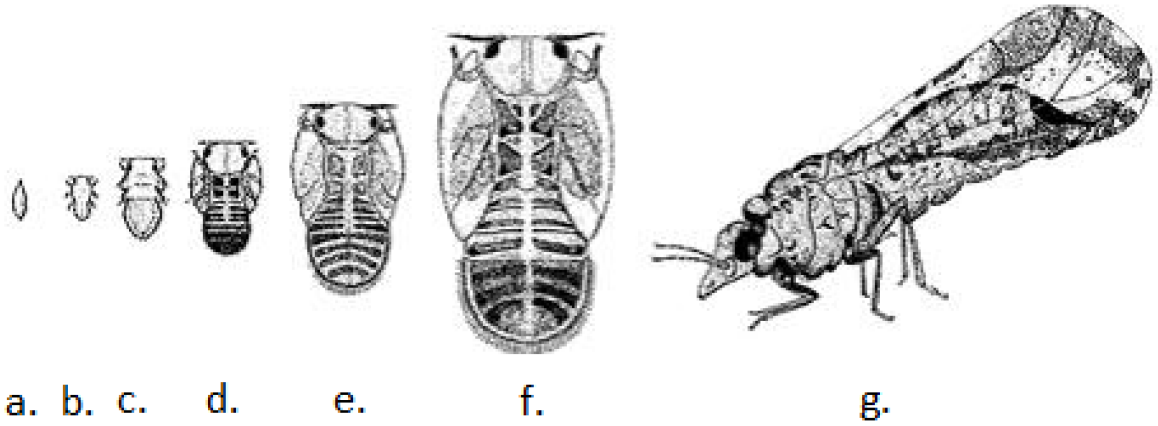


Figure 14 Schéma des différents stades de développement de D. citri. a. : œuf, b. : 1er stade larvaire, c. : 2ème stade larvaire, d. : 3ème stade larvaire, e. : 4ème stade larvaire, f. : 5ème stade larvaire, g. : adulte (Aubert, 2009).

La croissance de la population est optimale pour des températures comprises entre 24 et 28°C (Tsai et Liu, 2000, Fung and Chen, 2006). La durée de développement des œufs et des larves varie avec la température : à 25°C, le stade imago est atteint après 17 jours : 4 jours pour l'éclosion de l'œuf et 13 pour le développement larvaire. Le développement de l'œuf à l'adulte à 15°C se fait en 49.3 jours et à 28°C en 14.1 jours. Les nouveaux adultes atteignent la maturité sexuelle après 2 ou 3 jours, et la ponte s'effectue 1 ou 2 jours après l'accouplement (Wenninger et Hall, 2007). Le développement est impossible à des températures inférieures à 10°C et supérieures à 33°C.

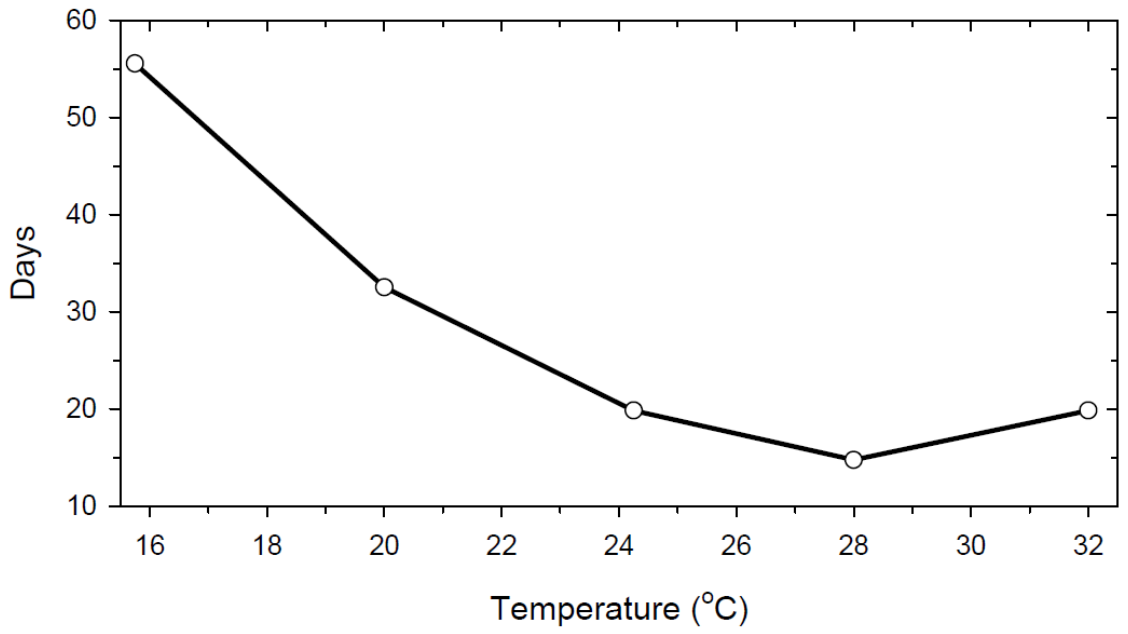


Figure 15 Développement de l'œuf au stade adulte de D. citri en fonction de la température (Hall, 2008).

La longévité des adultes à 24°C est de 21 à 25 jours pour les mâles et de 31 à 32 jours pour les femelles. La longévité varie en fonction de la température et de l'humidité relative, elle est de 51 jours à 30°C et le maximum de 117 jours est atteint à 15°C (Nava et al., 2007).

Les mâles et les femelles se retrouvent pour s'accoupler en utilisant des sons vibratoires transmis par le substrat. De plus, des preuves comportementales indiquent que la femelle émet une phéromone sexuelle mais cette dernière n'a pas encore été identifiée. L'accouplement, l'oviposition et d'autres activités de mouvement sont restreintes aux heures de clarté (Wenninger et al., 2008). Le rapport des sexes est de 51% de femelles et 49% de mâles (Aubert et Quilici, 1988).

Une femelle peut pondre en moyenne entre 250 et 400 œufs par mois, avec un maximum observé de 850 œufs par mois. La ponte des œufs est dépendante de l'humidité relative et de la température. Si l'humidité relative est inférieure à 40%, la production d'œufs est réduite (Nava et al., 2007). Quand les températures excèdent 34°C durant 5 jours, les femelles adultes cessent de pondre ; une fois que les températures redescendent, elles recommencent à pondre progressivement après 2 à 3 semaines (Skelley et Hoy, 2004).

Les fluctuations rencontrées dans les populations de *D. citri* sont en corrélation directe avec l'apparition des nouvelles pousses produites par les agrumes car les œufs sont pondus dessus et les larves s'y développent exclusivement.

D. citri peut voler à chaque moment de la journée cependant, les vols sont favorisés durant les après-midis (16 à 18h) chauds, ensoleillés et sans vent. Les psylles sont également transportés par le vent sur des distances de 0.5 à 1km (Aubert et Hua, 1990).

2.5.3. Plantes hôtes

Le psylle asiatique des agrumes a une gamme restreinte de plantes hôtes comme *Citrus ssp., Murraya paniculata* (L.) Jack, *Murraya koenigii* (L.) Sprengel, *Severinia buxifolia* (Poiret) et d'autres plantes de la famille des Rutacées (Mead, 1977, Halbert et Manjunath, 2004). Halbert et Manjunath ont établis une liste de 59 espèces identifiées comme plantes hôtes. La longévité, le développement et la reproduction de *D. citri* varient en fonction des plantes hôtes. *D. citri* n'a pas de préférence par rapport à l'hôte (Tsai et al., 2002). Cependant, la production continue de jeunes pousses par *Murraya paniculata* jouerait un rôle important dans le maintien d'importantes populations de psylle quand les nouvelles pousses ne sont pas disponibles sur les agrumes (Tsai et al., 2002). *M. paniculata* est considéré plus tolérant que les agrumes aux dommages directs causés par l'alimentation des psylles.

2.5.4. Détection

Les producteurs et chercheurs ont besoin de méthodes de détection et de surveillance des populations. Des inspections visuelles par des personnes habilitées à reconnaitre les psylles et leur stade larvaire peuvent être le moyen le plus rapide pour détecter une infestation. Les anciennes feuilles seront examinées pour la présence des adultes et les nouvelles pousses pour tous les stades de développement. L'utilisation de pièges jaunes collants aide aussi à la surveillance des psylles (Hall et al., 2008).

2.5.5. Vecteur du Citrus Greening

Les larves se développant sur les arbres atteint du HLB peuvent assimiler le pathogène durant les stades larvaires 4 et 5. Une fois adultes, ces larves transmettent

la bactérie directement. A partir du stade 4, les larves sont capables de transmettre l'agent pathogène (Xu et al., 1988). Les adultes acquièrent le pathogène en se nourrissant sur les arbres infectés après un délai variant de 30 à 300 minutes (Capoor et al., 1974).

La bactérie est capable de se multiplier dans le psylle asiatique, les adultes restent donc infectieux toute leur vie. Après l'infection d'un psylle, une période de latence est nécessaire avant que l'adulte puisse transmettre le pathogène. Cette période de latence a été étudiée par Capoor et al. en 1974 ainsi que par Moll et Van Vuuren en 1977, rapportant des durées respectives de 8 à 12 jours et de 21 jours. Les larves provenant des psylles atteints du pathogène ne sont pas porteuses de la maladie (pas de transmission transovarienne) (Hung et al., 2004).

En Guadeloupe, *D. citri* a été détecté pour la première fois en 1998. Aucun parasitisme naturel n'a été trouvé en Guadeloupe et seulement un champignon, *Hirsutella citriformis* Speare, a prouvé une efficacité à réguler les populations de psylle sous certaines conditions. En tenant compte de la réussite de l'introduction de *Tamarixia radiata* à la Réunion en 1978, un millier de *T. radiata* a été dispersé sur la Guadeloupe en 1999. Désormais, le parasitoïde est établi et présent dans la plupart des vergers guadeloupéens (Etienne et al., 2000).

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1. Ateliers de co-conception

Le principe de co-conception (ou co-design) est relatif au développement d'un produit ou service (dans le cas de cette étude, l'élaboration d'un nouvel itinéraire technique) impliquant l'utilisateur final : les producteurs qui appliqueront les techniques reprises dans l'itinéraire technique mis à jour. Les ateliers sont menés en collaboration avec les producteurs et les partenaires compétents du projet, en les mettant sur un pied d'égalité : la co-conception se veut collaborative et non hiérarchisée.

Dans un premier temps, les contraintes de production rencontrées par les agriculteurs ont été ciblées. Parmi ces contraintes, évoquons la problématique HLB qui est récurrente.

3.2. Suivi de parcelles expérimentales

Dans le cadre du projet PARADE HLB (Pratiques innovAntes et sélection variétale pour la Relance de l'Agrumiculture GuaDeloupénne sous contraintE HLB), des variétés de porte-greffes et de greffes potentiellement plus tolérantes à HLB (pas de résistance découverte à ce jour) ont été plantées en juin et juillet 2015 sur 4 sites différents : 2 parcelles à l'ASSOFWI, une au CIRAD et une chez un producteur, sur les hauteurs de Trois Rivières. La parcelle chez le producteur (Jean-Marc Petit) devait être initialement géré par la Chambre de l'Agriculture mais cette dernière s'est désistée. L'ASSOFWI a décidé de corriger le tir et de planter la parcelle chez un producteur partenaire. Cette parcelle fut plantée en avril 2016 (une année après les autres parcelles) et les données pour cette parcelle sont encore à prélever. Cette parcelle ne fera donc pas un objet d'étude pour ce TFE. Le producteur est soumis à des contraintes comme la tenue d'un registre de suivi mais dispose des récoltes (pas de rémunération).

Figure 16 Carte des parcelles expérimentales (GoogleMaps).

Sur ces parcelles d'évaluation, on retrouve 4 porte-greffes (abrégé en PG suivi d'un numéro) :

- PG1 : FlhorAG1.
- PG2 : Citrumelo 4475 diploïde (2n).
- PG3 : Citrumelo 4475 tétraploïde (4n).
- PG4 : Volkameriana.

Sur ces porte-greffes se trouvent 11 variétés différentes (3 tangelos, 2 mandariniers, 5 orangers et 1 tangor). Les tangelos (de *Tangerine* et *Pomelo* en anglais*)* proviennent de l'hybridation entre un mandarinier *(Citrus reticulata)* et un pamplemoussier *(Citrus maxima*). Les fruits des tangelos sont appelés Ugli et

Mineola. Les tangors (de *Tangerine* et *Orange Tree* en anglais) proviennent de l'hybridation entre un oranger *(Citrus sinensis)* et une tangerine (*Citrus* x *tangerina)*.

La tangerine est un agrume proche du mandarinier commun *(Citrus reticulata)* et est un parent utilisé dans de nombreux croisements.

- TaJa : Tangelo Jackson (SRA472).
- TaTr : Tangelo Triumph (SRA474).
- TaNo : Tangelo Nova (SRA158).
- MaTe : Mandarine Temple (SRA348).
- MaFa : Mandarine Fallglo (SRA759).
- NaTe : Orange Navelate.
- NiNa : Orange Navelina.
- FiNa : Orange Fisher Navel.
- Ca²N : Orange Cara Navel.
- VaRR : Orange Valencia Rhode Red.
- TaEl : Tangor Ellendale.

Le matériel végétal utilisé a été fourni par le Centre de Ressources Biologiques (CRB) INRA/CIRAD de Corse.

Ces essais sont multisites. Pour les parcelles « mandarine » et « producteur », il y a 18 possibilités de couples PG/G. Ces parcelles sont divisées en 3 blocs et chacun contient 3 répétitions des couples PG/G, ce qui donne un total de 162 arbres par parcelle. Pour les parcelles « petits agrumes » et « CIRAD », il y a 15 possibilités de couples PG/G. Ces parcelles sont également divisées en 3 blocs et chacun contient 2 répétitions des couples PG/G, ce qui donne un total de 90 arbres par parcelle. Au total, 504 arbres sont évalués.

	ASSOFWI : parcelle mandarine	**Producteur**	**ASSOFWI : parcelle petits agrumes**	**CIRAD**
PG	PG1 PG2 PG4	PG1 PG2 PG4	PG1 PG2 PG3	PG1 PG2 PG3
G	NaTe NiNa FiNa Ca²N VaRR TaEl	NaTe NiNa FiNa Ca²N VaRR TaEl	TaJa TaTr TaNo MaTe MaFa	TaJa TaTr TaNo MaTe MaFa

Tableau 4 Répartition des PG et G sur les différentes parcelles.

Ce TFE ne traitera que les données des parcelles de l'ASSOFWI, dont voici une vue aérienne :

Figure 17 Vue aérienne des parcelles expérimentales de l'ASSOFWI (GoogleMaps).

Les données collectées sont les suivantes :

- La croissance de l'arbre : diamètre du tronc : données collectées avec un pied à coulisse, à raison d'une fois par an. On mesure le diamètre du PG 10 cm au-dessous du point de greffe et le diamètre de la G 10 cm au-dessus.
- Le stade de développement : floraison, nouaison et fructification. Ces données ne sont pas traitées statistiquement mais elles seront précieuses lorsqu'un choix aura été fait dans les couples PG/G pour déterminer quand l'arbre a commencé à fleurir et à produire des fruits. En effet, certains porte-greffes, greffes et association PG/G peuvent être plus précoces que d'autres. Il faut compter environ 3 ans pour que l'arbre commence à produire ses premiers fruits. Il est prévu que l'opérateur prenne environ 20 secondes par arbre pour observer la présence ou non de floraison, nouaison ou fructification.
- Taux de mortalité : arbre vivant ou mort. Ces données sont récoltées chaque fois que d'autres mesures sont prises.
- État général de l'arbre : bon état, état normal ou mauvais état. L'opérateur observe quelques secondes l'arbre à une distance de 2-3m. Les éléments à observer sont le feuillage (couleur, densité…), la présence de symptômes de

phytopathologie(s), la présence de branches cassées, le port général de l'arbre…

- Suivi épidémiologique HLB : pas de symptômes HLB observés, symptômes potentiels ou symptômes certains. Les symptômes s'observent principalement sur le feuillage avec les marbrures asymétriques et peuvent être confondus avec des carences, ce qui justifie la classe « symptômes potentiels » quand l'opérateur n'est pas sûr de ce qu'il observe. Des prélèvements sur le terrain sont réalisés et analysés en laboratoire pour confirmer ou non la contamination à HLB.
- Suivi épidémiologique Phytophthora : pas de symptômes observés, quelques symptômes discrets, symptômes sur une à quelques branches et symptômes présents sur plus de 75% de l'arbre.

3.3. Test paillage

3.3.1. Définition, types de paillage et avantages.

Le paillage est une technique utilisée depuis plusieurs siècles en agriculture et toujours employée de nos jours. Elle consiste à couvrir le sol autour des végétaux cultivés avec un matériau appelé paillis dans le but de protéger le terrain et les plantes. Le paillis peut être d'origines diverses :

- Matières inorganiques (ardoise, gravier, sable, argile…)
- Matières organiques (paillettes de lin, déchets de tonte, BRF…)
- Matières plastiques (films, toiles, bâches...).

3.3.2. Objectifs et propriétés du paillage

Le paillage présente des intérêts environnementaux, sociaux et économiques.

Il permet de limiter la germination et le développement des plantes adventices. Les plantes cultivées et les adventices sont en compétition pour l'eau, les nutriments, la lumière, l'espace aérien et souterrain. Le paillage intercepte le rayonnement solaire ce qui empêche la germination et la croissance des adventices. Il permet donc de réduire la compétition entre plantes cultivées et adventices. De plus, si les adventices sont mieux contrôlées, la charge de travail requise pour le désherbage est diminuée.

Le paillage permet également de maintenir l'humidité du sol en réduisant l'évaporation de l'eau (provenant des précipitations et de l'irrigation) dans l'atmosphère, ce qui réduit la consommation en eau d'arrosage. Il assure une protection physique du sol contre le tassement (causé par le piétinement, l'arrosage et les précipitations) et l'érosion (causée par la pluie, le vent).

Il permet d'entretenir la matière organique du sol s'il est d'origine organique ainsi que la microfaune et microflore. De plus, il évite d'endommager les racines superficielles lors des opérations de sarclage ou binage.

Le choix des matériaux utilisés pour le paillage est important car ils présentent des propriétés différentes, en fonction de leur composition et de leur forme. Ils peuvent être naturels ou synthétiques, minéraux ou organiques et auront donc des impacts différents.

3.3.3. Intérêt du paillage pour l'agrumiculture en Guadeloupe.

Dans le cas de l'agrumiculture en Guadeloupe, le désherbage est une technique demandant de la main d'œuvre et du temps de travail considérables étant donné qu'il est pratiqué principalement avec des débroussailleuses et pas des véhicules mobiles ou des herbicides. Certains producteurs utilisent cependant des herbicides pour faciliter le désherbage aux pieds des arbres mais ces pratiques sont de moins en moins ancrées dans les mœurs (scandale sanitaire du chlordécone en Guadeloupe, transition vers l'agriculture biologique…).

De plus, de nombreuses parcelles sont équipées de systèmes d'irrigation pour résister aux températures élevées de l'archipel. En couplant la technique du paillage avec l'irrigation, on peut diminuer la quantité d'eau apportée aux champs.

En agrumiculture, les racines des arbres sont sujettes aux larves de charançons et d'hannetons qui s'en nourrissent. Si le paillage est suffisamment dense, il constituera une barrière physique empêchant les adultes de pondre au pied des arbres.

Enfin, le paillage est repris dans l'ITK (itinéraire technique) adapté à la culture sous HLB (voir page 55). L'idée est de mettre les arbres dans des conditions optimales pour qu'il puisse tolérer la maladie.

3.3.4. Choix des matériaux utilisés sur les parcelles d'expérimentation

Plusieurs modalités ont été testées dans le cadre de cette étude :

1. BRF : Bois Raméal Fragmenté

Il est constitué de branches broyées de diamètre inférieur à 7cm (Lemieux, 1986). Ce diamètre est choisi car 75% des nutriments dans un arbre sont situés dans les branches de moins de 7 centimètres de diamètre (Hendrickson, 1987). La fragmentation est réalisée avec un broyeur pour obtenir des copeaux dont la taille a une importance significative. Elle doit être comprise entre 2 et 5 cm^3 (Tissaux, 1996).

En Guadeloupe, de nombreux arbres tropicaux ont une croissance rapide, ce qui permet une bonne disponibilité en biomasse pour la production du BRF. Avec le

cyclone Maria, de nombreuses branches ont été cassées mais n'ont pas été utilisées. Une valorisation de ces déchets verts est donc réalisable.

Les prix des broyeurs varient énormément, allant d'une centaine d'euros pour les plus petits modèles électriques, 8 à 10.000 euros pour les modèles sur prise de force et 25-30.000 euros pour les modèles professionnels motorisés. Ce type d'outillage est également disponible en location (100€/heure environ).

Le BRF utilisé pour le paillage des parcelles étudiées provient des stocks de l'ASSOFWI. Ces stocks ont été générés en louant un broyeur (100€/h), avec le travail de 4 ouvriers durant 4h, pour obtenir 5m³ de BRF. On obtient un prix élevé/m³ : l'objectif ici était de disposer de suffisamment de matière pour la réalisation des essais.

2. Bagasse

La bagasse est un résidu fibreux de l'industrie de la canne à sucre et du rhum obtenu après extraction du jus de la tige. Par tonne de matière sèche (MS) de cannes broyées, 300kg de MS de bagasse sont récupérés (Archimède H. et al., 2011).

La canne à sucre est la culture principale en Guadeloupe, en terme de surface (13100ha) et production (750.000 tonnes). La canne est destinée à la fabrication du sucre (2 sucreries sur le territoire guadeloupéen) et du rhum (9 distilleries). Une partie de la bagasse est utilisée pour la production d'énergie au sein des entreprises, l'autre partie peut être mise à disposition gratuitement, en fonction des accords obtenus. La bagasse peut être achetée pour 13€/tonne.

La bagasse utilisée pour le paillage des parcelles étudiées provient de la distillerie Bologne, implantée à une dizaine de kilomètres du site expérimental.

3. Sol nu

Un bloc de la parcelle est conservé sans paillage, il s'agit de la modalité témoin.

3.3.5. Composition des paillages

Le tableau ci-dessous reprend la composition chimique de la bagasse, d'après différents auteurs.

Composants	Pourcentages selon ICIDCA, 1990 (%)	Pourcentages selon Dinu, 2006 (%)	Pourcentages selon Berndt et Hodzic, 2007 (%)
Cellulose	*45*	*30-39*	*40-50*
Hémicellulose	*33*	*24-30*	*25-35*
Lignine	*20*	*18-22*	*15-35*

Tableau 5 Composition de la bagasse d'après différents auteurs (Davina M., 2013).

Le BRF pouvant provenir d'essences d'arbres différentes, sa composition est variable. La composition du bois de manière générale est présentée dans le tableau ci-dessous :

Composants	**%**
Cellulose	*30-55*
Hémicellulose	*20-30*
Lignine	*20-35*
Autres molécules organiques	*6-12*

Tableau 6 Composition du bois (Sarpap & Cecil Industries, 2018)

Le tableau suivant présente la composition générale du BRF :

Composition générale du BRF	
Rapport C/N	54.46
Densité (Kg de matière fraiche/m³)	492
Matière Sèche (MS) (% Matière fraiche)	34.65
Matière Organique (MO) (%MS)	75.02
Azote total N (%MS)	0.81
Azote ammoniacal N-NH_4 (%MS)	0.018
Potasse (%MS)	0.41
Phosphore (P_2O_5) (%MS)	0.26
Magnésie (MgO) (%MS)	0.16
Calcium (CaO) (%MS)	1.4

Tableau 7 Composition détaillée du BRF (Sitionon M., 2013)

3.3.6. Mise en place du paillage

Le paillage a été mis en place au sein des parcelles expérimentales de l'ASSOFWI le 29 et 30 mars 2018. Les parcelles concernées sont les parcelles de variétés innovantes pour la relance de l'agrumiculture (projet PARADE).

Le paillage a été mis en place sur deux parcelles de 3240m² et 1800m² (environ un demi hectare au total). Le schéma de ces parcelles se trouvent en annexe.

Afin de réaliser le paillage des parcelles, un véhicule disposant d'un plateau d'une contenance de 2.5m³ a été utilisé pour apporter la bagasse et le BRF sur la parcelle.

Un type de paillage est installé par bloc : BRF, bagasse ou témoin. On retrouve donc les 3 modalités sur la parcelle « mandarine » et « petits agrumes ». La parcelle « mandarine » présente 3 répétitions des couples PG/G par bloc (54 arbres/bloc) et la parcelle « petits agrumes » en présente 2 (30 arbres/bloc). La répartition des PG et G se trouve dans la partie « matériel et méthode ». Il est évident que les arbres morts n'ont pas été paillés.

Pour le paillage de 168 arbres, un total de 25h de travail effectué par une personne a été nécessaire. Un volume de 0.08m³ de paillis a été déposé au pied de chaque arbre (volume d'une brouette standard) et étalé sur un cercle de 0.8m de rayon. La hauteur du paillage est donc de 4cm et la surface couverte de 2m².

Un désherbage mécanique (à l'aide d'une débroussailleuse) a été effectué une dizaine de jours avant la mise en place du paillage. L'irrigation sur les parcelles présentait quelques petits soucis techniques (surpression, asperseurs non fixés, pas de gestion du volume d'eau apporté…) qui ont menés à une quantité d'eau importante disponible pour les plantes adventices (en particulier les poacées qui ont très vite repoussé). Il a donc fallu effectuer un second débroussaillage, à la machette, au pied des arbres pour avoir une surface la plus propre possible.

3.3.7. Variables mesurées

- Concurrence herbacée : le pourcentage de surface du paillage envahi par les adventices (monocotylédones et dicotylédones) est estimé par classe. 10 classes sont utilisées, de 0 à 100%. Cette variable a été relevée à 3 reprises avec une semaine d'intervalle.

- Croissance des plants : mesure du diamètre du porte-greffe et du greffon. La mesure est réalisée à l’aide d’un pied à coulisse de manière annuelle. La mesure est prise 10cm en dessous du point de greffe pour le porte-greffe et 10 cm au-dessus pour le greffon. Étant donné que le paillage a été mis en place il y a peu de temps, on observera son influence sur la croissance et la vigueur des arbres en 2019.

4. RÉSULTATS

4.1. Analyse des données relatives aux parcelles expérimentales

4.1.1. Taux de mortalité et état général de l'arbre

Sur la parcelle nommée « Petits Agrumes » se trouvent 90 arbres (15 couples PG/G répétés 6 fois). Sur ces 90 arbres, 19 sont morts et 71 sont toujours en vie, ce qui nous donne un taux de mortalité global de 21.11%. Sur la parcelle nommée « Mandarine » se trouvent 162 arbres (16 couples PG/G répétés 9 fois). Sur ces 162 arbres, 29 sont morts et 133 sont toujours en vie, ce qui donne un taux de mortalité global de 17.90%.

Ces taux de mortalité sont assez proches mais élevés et sont interprétés grâce à divers facteurs : d'une part, les contraintes abiotiques et biotiques du milieu sont à mettre en cause. Les larves de hannetons et de charançons qui s'attaquent aux racines peuvent être très dommageables surtout au début de la plantation et donc peuvent provoquer la mort de l'arbre. HLB affaiblit l'arbre de manière importante en bloquant la circulation du phloème, cumulé ou non à d'autres phytopathologies, cela peut mener à la mort de l'arbre. Les conditions climatiques sont aussi à mettre en cause : l'ouragan Maria a causé des dégâts considérables (branches cassées, arbres déracinés…). Une irrigation mal gérée a inondé les parcelles durant quelques semaines, ce qui provoque un pourrissement des racines et l'absence d'O_2 dans le sol (l'eau remplace l'air dans les porosités du sol durant de longues périodes : condition anaérobie).

Cependant, il ne faut pas oublier que 4 porte-greffes (PG) et 11 variétés de greffes (G) sont évalués, il est donc normal que tous les couples PG/G ne soient pas adaptés à l'agrumiculture en Guadeloupe sous contrainte HLB.

Pour obtenir un classement objectif, une nouvelle valeur est introduite : la valeur α. C'est un indice global qui permet une lecture lisible des données en intégrant les données de mortalité et d'état de l'arbre. Elle est sans unité. On la calcule de manière suivante : un coefficient est attribué en fonction de l'état de l'arbre et de la mortalité : 0 pour les arbres morts, 1 pour les arbres en mauvais état, 2 pour les arbres en état normal et 3 pour les arbres en bon état. On additionne la multiplication de chaque coefficient avec le nombre d'arbres de chaque catégorie et on divise le tout

par le nombre d'arbres. Sa valeur est comprise entre 0 (100% des arbres morts) et 3 (100% des arbres en bon état).

Par exemple, pour le bloc 1 de la parcelle Petits agrumes, le calcul permettant d'obtenir la cote est le suivant :

Valeur α = (0x7 arbres morts + 1x7 arbres en mauvais états + 2x10 arbres en état normal + 3x6 arbres en bon état) / 30 = 1.50

Le taux de mortalité est calculé avec la formule suivante (unité : %) :

$$Taux\ de\ mortalité = \frac{nombre\ d'arbres\ morts}{nombre\ d'arbres\ morts + nombre\ d'arbres\ vivants} x100$$

Chaque parcelle est divisée en 3 blocs, sur lesquels les PG et G sont répartis (voir répartition dans le tableau de la section Suivi de parcelles expérimentales du chapitre Méthodologie et les plans parcellaires en annexe), avec 2 répétitions de 5G et 3PG pour la parcelle Petits agrumes et 3 répétitions de 6G et 3 PG pour la parcelle Mandarine.

	Nombre d'arbres	**Nombre d'arbres morts**	**Nombre d'arbres en mauvais état**	**Nombre d'arbre en état normal**	**Nombre d'arbre en bon état**	**Total des arbres vivants**	**Taux de mortalité (%)**	**Valeur α**
Parcelle Petits agrumes								
Bloc 1	30	7	7	10	6	23	23.33	1.50
Bloc 3	30	8	6	8	8	22	26.67	1.53
Bloc 2	30	4	8	13	5	26	13.33	1.63
Total	90	19	21	31	19	71	/	/
Parcelle Mandarine								
Bloc 2	54	16	1	34	3	38	29.63	1.44
Bloc 3	54	10	8	36	0	44	18.52	1.48
Bloc 1	54	3	5	35	11	51	5.56	2.00
Total	162	29	14	105	14	133	/	/

Tableau 8 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les différents blocs.

On constate un taux de mortalité et des valeurs α différents en fonction du bloc sur lequel se trouvent les arbres. D'un point de vue théorique, ces valeurs devraient être égales, car les arbres sont censés se trouver dans les mêmes conditions. Sur le

terrain, les parcelles sont relativement homogènes, disposant les arbres dans des conditions identiques. En pratique, on constate une légère différence dans les chiffres. Si le nombre d'arbres par parcelle était plus élevé, le taux de mortalité et l'état des plants seraient plus représentatifs et on observerait sans doute moins de différences.

Notons le bon score du bloc 1 de la parcelle Mandarine. Elle se trouve en bordure de chemin, juxtaposée à une parcelle de manguiers. L'hypothèse a été émise lors de plusieurs études que les manguiers repoussent *Diaphorina citri*, le vecteur de la maladie. Seuls quelques espèces de manguiers seraient concernées. Cependant, d'autres études s'opposent à cette théorie. Une étude approfondie de ce sujet serait une belle opportunité pour l'ASSOFWI.

Pour pousser l'analyse un peu plus loin, un test KHI carré a été réalisé, en comparant les effectifs observés et théoriques. Avec un risque d'erreur de 5%, on retrouve des différences relatives entre chaque bloc. Les détails de l'analyse se trouvent en annexe.

Onze variétés différentes de greffons ont été testées. Le tableau ci-dessous reprend des valeurs qui ne tiennent pas compte des variétés de porte-greffes sur lesquels les greffes croissent.

	Nombre d'arbres	**Nombre d'arbres morts**	**Nombre d'arbres en mauvais état**	**Nombre d'arbre en état normal**	**Nombre d'arbre en bon état**	**Total des arbres vivants**	**Taux de mortalité (%)**	**Valeur α**
MaFa	18	6	2	9	1	12	33.33	1.28
TaNo	18	2	9	4	3	16	11.11	1.44
NiNa	27	6	4	15	2	21	22.22	1.48
TaJa	18	5	3	5	5	13	27.78	1.56
NaTe	27	8	3	15	3	19	29.63	1.56
VaRR	27	6	2	18	2	21	22.22	1.63
TaTr	18	4	4	4	6	14	22.22	1.67
FiNa	27	4	0	23	0	23	14.81	1.70
Ca²N	27	6	3	14	5	21	22.22	1.70
TaEl	27	4	2	20	2	23	14.81	1.78
MaTe	18	2	2	10	4	16	11.11	1.89

Tableau 9 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les variétés de greffes.

Les greffes TaEl et MaTe présentent de faibles taux de mortalité avec une bonne valeur α. La greffe MaFa présente une valeur α basse et un haut taux de mortalité. Elle ne fera pas partie des greffes sélectionnées dans cette étude.

À nouveau, un test KHI carré a été réalisé (détail en annexe). On observe des différences relatives entre les valeurs observées et théoriques pour les greffes TaNo, TaJa, TaTr et FiNa.

4 variétés de porte-greffes ont été testées. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs qui ne tiennent pas compte des variétés de greffes portées par ces porte-greffes. On constate une différence de 10 % entre les valeurs du taux de mortalité du PG1 et PG3, mais au vu du nombre proche d'arbres morts (5 et 8), il est difficile de tirer des conclusions.

	Nombre d'arbres	Nombre d'arbres morts	Nombre d'arbres en mauvais état	Nombre d'arbre en état normal	Nombre d'arbre en bon état	Total des arbres vivants	Taux de mortalité (%)	Valeur α
PG1	84	24	16	37	7	60	28.57	1.32
PG3	30	5	10	10	5	25	16.67	1.50
PG4	54	8	6	33	7	46	14.81	1.72
PG2	84	10	4	56	14	74	11.90	1.88

Tableau 10 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les différents PG.

Les porte-greffes Volkameriana (PG4) et Citrumelo diploïde (PG2) sont retenus comme étant les deux meilleurs. Le PG1 n'est pas à retenir vu sa faible valeur α et un taux élevé de mortalité. Les taux de mortalité des PG 3, 4 et 2 sont similaires.

Une analyse KHI carré a été réalisée et le détail se trouve en annexe. Des différences relatives sont présentes pour les PG1, 2 et 3. Pour le PG1, on constate un nombre observé trop élevé du nombre d'arbre en mauvais comparé aux valeurs théoriques (15 en théorie et 24 en pratique). Pour le PG3, le nombre d'arbres observé en état normal est trop important (4 en théorie et 10 en pratique) et pour le PG2, le nombre d'arbres observés en état normal est trop faible (12 en théorie et 4 en pratique).

Le tableau à la page suivante présente le taux de mortalité des couples PG/G. Les taux de mortalité sont nuls pour certaines associations, comme PG2/TaNo, PG2/MaTE, PG3/TaTr, mais sont à l'opposé très élevés, comme pour l'association PG2/MaFa.

		Nombre d'arbres	Nombre d'arbres morts	Nombre d'arbres en mauvais état	Nombre d'arbre en état normal	Nombre d'arbre en bon état	Total des arbres vivants	Taux de mortalité (%)	Valeur α
PG3	**TaNo**	6	1	5	0	0	5	16.67	0.83
PG1	**NiNa**	9	3	3	3	0	6	33.33	1.00
PG1	**TaTr**	6	2	2	2	0	4	33.33	1.00
PG1	**VaRR**	9	4	1	3	1	5	44.44	1.11
PG1	**TaNo**	6	1	3	2	0	5	16.67	1.17
PG2	**MaFa**	6	3	0	2	1	3	50.00	1.17
PG1	**NaTe**	9	3	2	3	1	6	33.33	1.22
PG1	**Ca²N**	9	4	0	3	2	5	44.44	1.33
PG1	**MaFa**	6	2	0	4	0	4	33.33	1.33
PG1	**TaJa**	6	2	2	0	2	4	33.33	1.33
PG3	**MaFa**	6	1	2	3	0	5	16.67	1.33
PG4	**NiNa**	9	2	1	6	0	7	22.22	1.44
PG1	**FiNa**	9	2	0	7	0	7	22.22	1.56
PG4	**NaTe**	9	2	1	5	1	7	22.22	1.56
PG1	**TaEl**	9	1	1	7	0	8	11.11	1.67
PG2	**TaJa**	6	1	1	3	1	5	16.67	1.67
PG3	**MaTe**	6	1	1	3	1	5	16.67	1.67
PG3	**TaJa**	6	2	0	2	2	4	33.33	1.67
PG2	**FiNa**	9	1	0	8	0	8	11.11	1.78
PG2	**TaEl**	9	1	0	8	0	8	11.11	1.78
PG4	**FiNa**	9	1	0	8	0	8	11.11	1.78
PG4	**VaRR**	9	1	1	6	1	8	11.11	1.78
PG1	**MaTe**	6	1	0	4	1	5	16.67	1.83
PG2	**Ca²N**	9	0	1	8	0	9	0.00	1.89
PG2	**NaTe**	9	1	0	7	1	8	11.11	1.89
PG4	**Ca²N**	9	1	2	3	3	8	11.11	1.89
PG4	**TaEl**	9	1	1	5	2	8	11.11	1.89
PG2	**NiNa**	9	1	0	6	2	8	11.11	2.00
PG2	**TaTr**	6	2	0	0	4	4	33.33	2.00
PG2	**VaRR**	9	0	0	9	0	9	0.00	2.00
PG3	**TaTr**	6	0	2	2	2	6	0.00	2.00
PG2	**MaTe**	6	0	1	3	2	6	0.00	2.17
PG2	**TaNo**	6	0	1	2	3	6	0.00	2.33

Tableau 11 Tableau présentant l'état général de l'arbre, le taux de mortalité et la valeur alpha pour les couples PG/G.

Sans surprise, on observe de bons résultats pour les couples avec le PG2. La variété MaFa sur le couple PG2 est cependant à éviter. Les couples PG2 avec TaNo, MaTe, VaRR, TaTr, NiNa sont dans le haut de cette classification. Le TaTr se porte également très bien sur le PG3. Le Ca²N et le TaEl sont les greffes idéales pour le PG4.

Dans le classement des variétés de greffes, on constate que la variété TaNo se situe en dernière position, mais une fois associée au PG2, on la retrouve en première position pour le classement PG/G. Ce résultat justifie ce type d'étude : on observe des affinités (ou pas) entre les PG et les G. L'étude de l'interaction entre PG et G se trouve dans la suite du document, dans les résultats de croissance.

On observe que les valeurs α sont proches entre elles, il n'y a pas de différence significative si on prend des valeurs adjacentes dans le tableau (toutes les valeurs sont égales entre elles). Si on compare les valeurs les plus faibles et les plus élevées, il y a dans ce cas une différence entre les chiffres. Un seuil fixé de manière arbitraire à 2 pour la valeur α permet de sélectionner les couples pour lesquels les arbres sont en bon état général avec un faible taux de mortalité.

La survie des arbres et l'état général est un facteur très important à prendre en compte pour la sélection d'un couple PG/G, mais d'autres données comme la croissance, le rendement, la qualité des fruits…sont indispensables afin de faire un choix judicieux. La croissance fait l'objet d'une analyse statistique à la section suivante.

4.1.2. Symptômes HLB

Les symptômes HLB ont été observés sur les arbres en 2017 et 2018. Les arbres ont été répertoriés en 3 classes : pas de symptômes HLB observés, symptômes potentiels (les symptômes HLB ne peuvent pas être identifiés avec certitude car ils sont discrets et peuvent être confondus avec des carences) et symptômes certains. Chaque classe est représentée par un chiffre de 0 à 2. Plus le couple PG/G présente une moyenne HLB élevée, plus ses symptômes sont visibles.

Ces données seront vérifiées avec les tests en laboratoire pour valider ou pas ces identifications. On a constaté que des erreurs de collecte de données sur le terrain sont apparues : certains arbres jugés asymptomatiques sont atteints et certains arbres

jugés symptomatiques ne sont pas atteints. Il est donc difficile d'identifier la présence de la maladie uniquement sur le terrain : il vaut mieux se fier aux analyses de laboratoire. Les résultats n'étant pas exploitables, les tableaux ne sont pas présentés pour cette partie.

Une évaluation sanitaire des parcelles pour HLB n'est donc pas possible via cette méthode, il est impératif de passer par des analyses plus approfondies au laboratoire.

Sur 36 arbres échantillonnés, 26 se sont révélés positifs à HLB et 10 négatifs. Ces résultats ne sont cependant pas représentatifs car les arbres n'ont pas été choisis par hasard : des arbres ont été choisis car ils ne présentaient pas de symptômes et on voulait vérifier si les arbres étaient réellement sains. Les erreurs de diagnostic visuel (faux positifs et négatifs) concernent 5 couples PG/G échantillonnés (PG1/VaRR, PG4/TaEl, PG1/TaTr, PG1/TaJa et PG3/MaFa). Les échantillons positifs à HLB prélevés sur des arbres visuellement asymptomatiques peuvent être expliqués si une infection récente a eu lieu : la bactérie est présente mais les symptômes ne le sont pas encore. Les échantillons négatifs à HLB prélevés sur des arbres visuellement symptomatiques peuvent être expliqués par la confusion entre les symptômes HLB et les symptômes de carences diverses (dont Zn).

Des prélèvements représentatifs de la population devraient être analysés au laboratoire pour obtenir une vision globale sur l'état sanitaire des parcelles. Ces prélèvements doivent être aléatoire et comporter un nombre analysable statistiquement parlant pour chaque couple PG/G.

4.1.3. Croissance des arbres

La croissance des arbres est une mesure relevée chaque année, au niveau du diamètre du porte-greffe et de la greffe (mesurés 10cm au-dessous et au-dessus du point de greffe). Les G et PG étant de diamètre identique au départ (matériel végétal fourni par le Centre de Ressources Biologiques CIRAD / INRA de corse) on peut utiliser la valeur du diamètre pour avoir une estimation de la croissance : plus la valeur est grande, plus l'arbre présentera une croissance élevée et inversement.

Les tableaux suivants présentent les moyennes des diamètres des PG et G (PG seul, G seul et couples PG/G).

L'écart type (racine carrée de la variance) est calculé selon la formule suivante :

Écart-type (S) = $\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)}}$ où $\bar{x}$ est la moyenne de l'échantillon, x la moyenne générale et n la taille de l'échantillon.

	2017		2018	
	Moyenne (cm)	**Ecart-type (cm)**	**Moyenne (cm)**	**Ecart-type (cm)**
PG1	3.3	1.0	4.3	1.3
PG3	3.5	0.9	4.9	1.0
PG4	3.7	0.9	4.9	1.2
PG2	3.9	1.0	5.4	1.5

Tableau 12 Diamètres moyens des PG en 2017 et 2018 avec les écart-types.

En 2017, on observe des moyennes de diamètres proches (6mm entre le minimum et le maximum : ces différences sont accentuées en 2018 (11mm entre le minimum et le maximum : quasiment le double). Plus les arbres seront âgés, plus les croissances fluctuantes des arbres se feront ressentir dans les chiffres.

Les PG 3 et 4 en 2018 se valent et sont dépassés par le PG2 qui a le plus gros diamètre moyen. Le diamètre moyen du PG2 (diploïde) est plus gros que celui du PG3 (tétraploïde). En théorie, les individus tétraploïdes présentent des cellules plus grosses contenant plus d'eau. Ceci n'est pas encore observé dans les résultats mais la croissance des individus tétraploïdes est sans doute plus faible au début puis plus importante.

Le classement reste identique d'une année à l'autre, avec un rapprochement des PG3 et 4.

Les tableaux suivants présentent les diamètres moyens des G en 2017 et 2018 :

	2017	
	Moyenne (cm)	Ecart-type (cm)
NaTe	2.2	0.6
Tano	2.2	0.8
NiNa	2.4	0.7
Ca²N	2.4	0.8
VaRR	2.4	0.8
FiNa	2.5	0.7
TaJa	2.5	0.7
MaTe	2.5	0.5
TaEl	2.6	0.8
MaFa	2.6	0.8
TaTr	2.8	0.7

Tableau 14 Diamètres moyens des G en 2017 avec les écart-types.

	2018	
	Moyenne (cm)	Ecart-type (cm)
NaTe	2.8	1.0
Tano	2.9	0.9
NiNa	3.0	0.9
Ca²N	3.1	1.0
MaTe	3.1	0.7
TaEl	3.2	0.9
FiNa	3.2	0.9
MaFa	3.2	0.8
VaRR	3.5	1.2
TaJa	3.6	1.1
TaTr	3.9	0.8

Tableau 13 Diamètres moyens des G en 2018 avec les écart-types.

Les G VaRR et TaJa ont bien évolué durant cette année : elles passent de diamètres moyens respectifs de 2.4cm et 2.5cm (parmi les plus faibles) à 3.5cm et 3.6cm (parmi les plus élevés). Le classement change peu d'une année à l'autre. La variété TaTr présente le plus gros diamètre moyen en 2018.

Influence des porte-greffes sur les greffes.

Les données de croissance ont été analysées, avec des ANOVA (analysis of variance) pour déterminer sur les PG ont une influence sur les G et inversement. Les données ont été relevées en 2017 et 2018.

Influence du PG sur les G.	**2017**				**2018**			
	F	**Fα**	**p-value**	**H0/RH0**	**F**	**Fα**	**p-value**	**H0 ou RH0**
PG1	4.140	1.966	$1,604 \times 10^{-4}$	RH0	2.6579	2.0302	$1,122 \times 10^{-2}$	RH0
PG2	1.117	1.975	$3,624 \times 10^{-1}$	H0	1.6105	1.9846	$1,241 \times 10^{-1}$	H0
PG3	$8,716 \times 10^{-1}$	2.795	$4,959 \times 10^{-1}$	H0	3.0350	2.8660	$4,159 \times 10^{-2}$	RH0
PG4	1.954	2.408	$1,026 \times 10^{-1}$	H0	2.4097	2.4494	$5,313 \times 10^{-2}$	H0

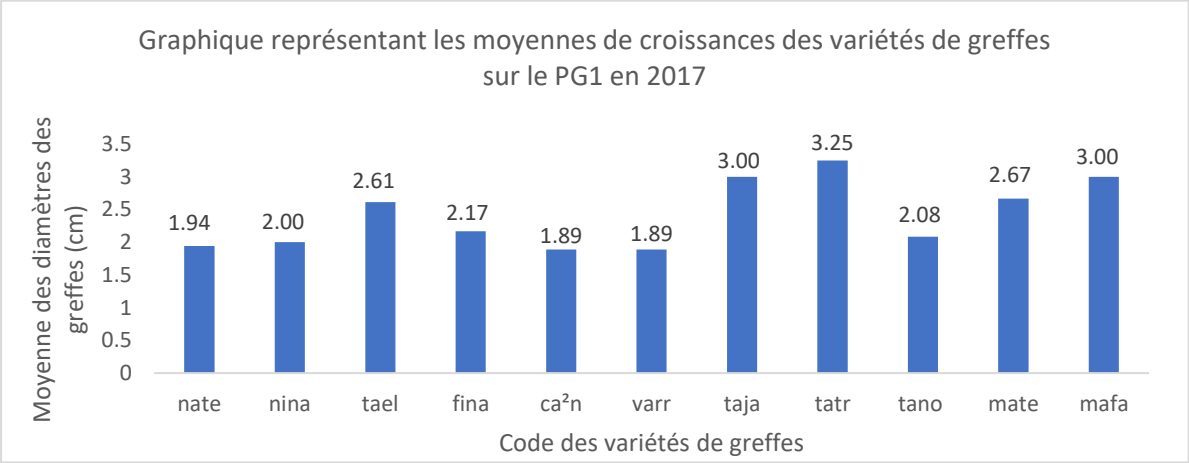
Tableau 15 Tableau présentant les résultats ANOVA de l'influence des PG sur les G.

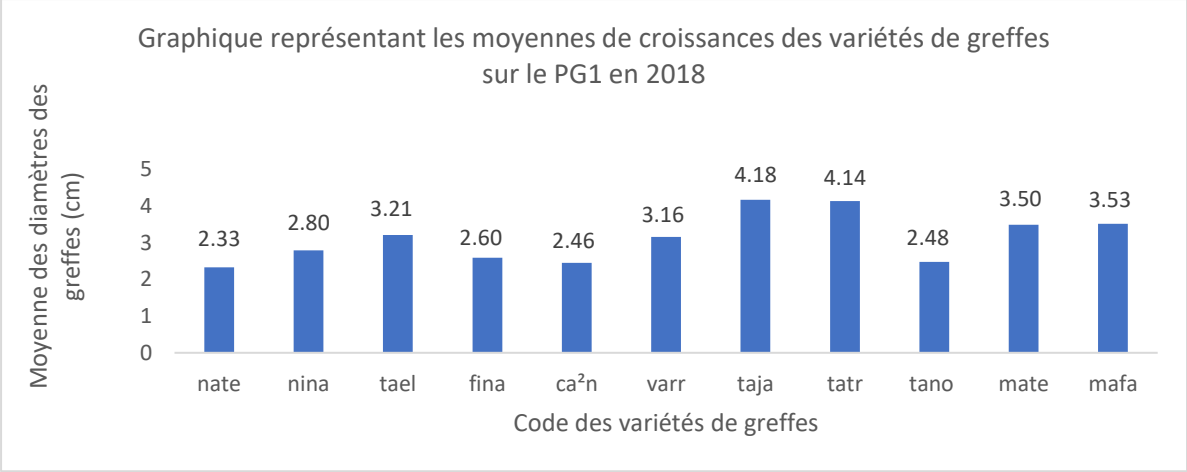
- F représente le rapport de la variance inter-groupes sur la variance intra-groupe.

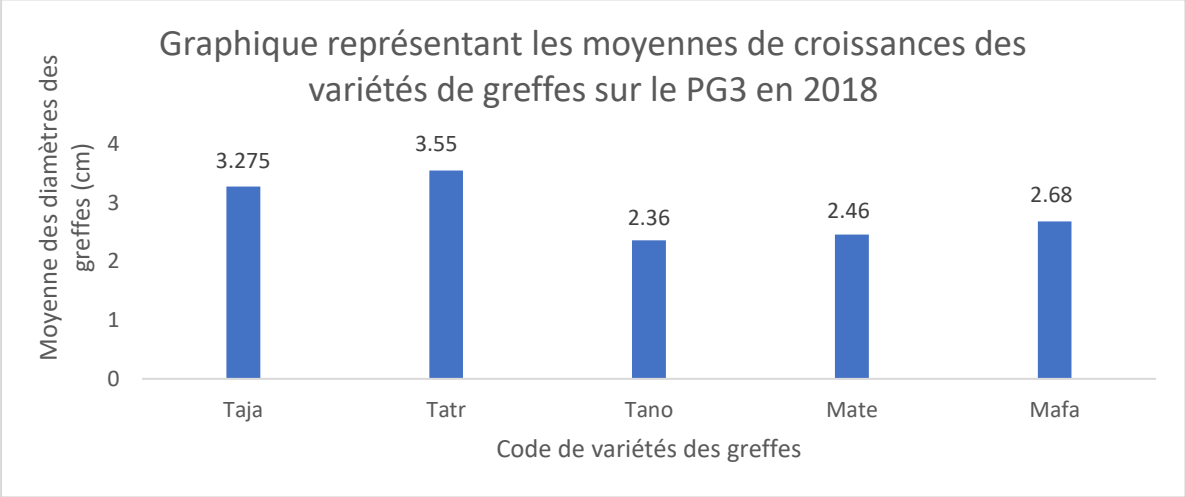
- Fα représente la valeur critique pour F, obtenue de manière théorique dans des tables.
- P-value : probabilité de se tromper en affirmant le rejet ou l'acceptation de l'hypothèse nulle.
- H0 : hypothèse nulle : tous les échantillons ont la même moyenne. Dans ce cas-ci, il s'agit de dire que les moyennes des croissances des différents types de greffes sur le PG sont identiques.
- RH0 : les moyennes ne sont pas égales. Dans ce cas-ci, il s'agit de dire que les moyennes des croissances des différents types de greffes sur le PG sont différentes.

Nous constatons que les greffes croissent de manière significativement différente sur le PG1 et PG3. Cette différence de croissance est observée dès 2017 pour le PG1 et seulement en 2018 pour le PG3. Aucune différence de croissance des variétés greffées n'est observée sur le PG2 et PG4. Cela veut dire que les variétés greffées sur les porte-greffes 2 et 4 grandiront de manière identique.

Il est alors intéressant d'observer pour le PG1 et 3 les moyennes des diamètres des greffes afin de ressortir celles qui présentent une croissance optimale.




Graphique représentant les moyennes de croissances des variétés de greffes sur le PG1 en 2018
Moyenne des diamètres des greffes (cm)
5
4
3
2
1
0
2.33
2.80
3.21
2.60
2.46
3.16
4.18
4.14
2.48
3.50
3.53
nate
nina
tael
fina
ca²n
varr
taja
tatr
tano
mate
mafa
Code des variétés de greffes


Graphique représentant les moyennes de croissances des variétés de greffes sur le PG3 en 2018
Moyenne des diamètres des greffes (cm)
4
3
2
1
0
3.275
3.55
2.36
2.46
2.68
Taja
Tatr
Tano
Mate
Mafa
Code de variétés des greffes

Influence des greffes sur les porte-greffes.

La démarche est la même que pour l'influence des porte-greffes sur les greffes (ANOVA).

Influence de la G sur les PG.	2017				2018			
	F	Fα	p-value	H0/RH0	F	Fα	p-value	H0 ou RH0
NaTe	2.746	3.422	$8,515x10^{-2}$	H0	3.911	3.554	$3.884x10^{-2}$	RH0
NiNa	1.496	3.422	$2,450x10^{-1}$	H0	1.382	3.554	$2.762x10^{-1}$	H0
TaEl	1.717	3.422	$2.016x10^{-1}$	H0	2.135	3.466	$1.431x10^{-1}$	H0
FiNa	1.979	3.422	$1.609x10^{-1}$	H0	4.580	3.492	$2.303x10^{-2}$	RH0
Ca²N	4.206	3.402	$2.715x10^{-2}$	RH0	3.039	3.521	$7.157x10^{-2}$	H0
VaRR	4.380	3.402	$2.389x10^{-2}$	RH0	1.376	3.521	$2.766x10^{-1}$	H0
TaJa	1.529	3.682	$2.484x10^{-1}$	H0	$3.243\ x10^{-1}$	4.102	$7.303x10^{-1}$	H0
TaTr	$2,413x10^{-1}$	3.738	$7.887x10^{-1}$	H0	1.601	3.885	$2.417x10^{-1}$	H0
Tano	2.983	3.738	$8.332x10^{-2}$	H0	6.278	3.805	$1.235x10^{-2}$	RH0
MaTe	3.307	3.738	$6.660x10^{-2}$	H0	4.559	3.805	$3.159x10^{-2}$	RH0
MaFa	1.696	3.885	$2.224x10^{-1}$	H0	5.192	4.256	$3.166x10^{-2}$	RH0

Tableau 16 Tableau présentant les résultats ANOVA de l'influence des G sur les PG.

En 2017, on observe des moyennes différentes pour les PG sur lesquels sont greffés les variétés Ca²N et VaRR. Cette différence s'efface en 2018 et les moyennes redeviennent statistiquement identiques.

PG	Moyenne	Variance
	Ca²N	
PG1	3.1667	0.2500
PG2	3.6111	1.1111
PG4	4.1667	0.2500
	VaRR	
PG1	2.666666667	0.625
PG2	3.444444444	1.152777778
PG4	3.944444444	0.777777778

Tableau 17 Influence des variétés Ca²N et VaRR sur la croissance des PG en 2017.

Les PG se comportent de manière similaire pour les 2 variétés de greffes : le 1 et 4 ont une faible variance (donc des valeurs proches de la moyenne) mais le PG 2 montre une forte variance : certains arbres sont bien développés tandis que d'autres ne le sont pas. Dans un but d'homogénéité dans les plantations, ce n'est pas l'idéal. Cependant, comme les productions sont très faibles en ce moment en Guadeloupe, il est peut-être intéressant de prendre le couple PG2 avec Ca²N et VaRR pour sélectionner les plus robustes et éliminer les plus faibles.

Plus intéressant, des différences de moyennes sont observées en 2018 pour les PG sur lesquels sont greffés les variétés FiNa, TaNo, MaTe, NaTe et MaFa. Ces résultats sont plus cohérents, car si les écarts de croissance peuvent être plus discrets au début du développement de l'arbre, ils seront plus marqués avec le temps.

	PG	***Moyenne***	***Variance***
NaTe	PG1	3.5500	0.4990
	PG4	4.1143	1.2714
	PG2	5.1375	1.5741
FINA	PG1	3.7714	1.2757
	PG4	5.1750	0.7364
	PG2	5.4500	1.8714
MaTe	PG3	4.2600	0.2430
	PG1	4.4400	0.2830
	PG2	5.8333	1.9547
TaNo	PG1	3.4000	1.6150
	PG3	4.4000	0.7550
	PG2	6.0500	2.2110
MaFa	PG3	4.6200	0.7270
	PG1	6.2250	0.4292
	PG2	6.5000	1.7100

Tableau 18 Influence des variétés NaTe, FiNa, MaTe, TaNo et MaFa sur la croissance des PG en 2017.

Tous les individus présentant le PG 1 couplé à la variété NaTe présentent une mauvaise croissance avec une variance faible. Le PG1 sur MaFa présente une bonne croissance.

4.2. Tests de paillage.

Le tableau suivant présente les minimas, maximas, les moyennes et les écarts-types de la surface envahie par les adventices aux pieds des arbres aux différentes dates de relevés des données. Pour les arbres non-paillés, la surface envahie par les adventices est estimée à 100%, ce qui reflète bien les observations sur le terrain.

	Minimum (%)	Maximum (%)	Moyenne (%)	Ecart-type
BRF (16/04/18)	0	40	10,5	1.012
BRF (24/04/18)	0	50	19,6	1.246
BRF (02/05/18)	0	60	24,5	1.417
Bagasse (16/04/18)	0	60	22,2	1.545
Bagasse (24/04/18)	0	70	28,9	1.574
Bagasse (02/05/18)	10	70	31,3	1.515
Témoin (16/04/18)	90	90	90	0
Témoin (24/04/18)	90	90	90	0
Témoin (02/05/18)	90	90	90	0

Tableau 19 Tableau présentant les minimas, maximas, la moyenne et l'écart type pour les % de surface envahie par les plantes adventices, à 3 dates différentes.

On constate une différence entre le paillage BRF et bagasse au niveau de toutes les valeurs. Un test T de Student a été réalisé pour définir si cette différence est significative ou pas pour les moyennes.

	t	df[2]	p-value	Valeur critique
16/04/18	-5.265	131	5.584×10^{-7}	1.97
24/04/18	-3.829	131	1.982×10^{-4}	1.97
02/05/18	-2.680	131	8.297×10^{-3}	1.97

Pour chaque date, la valeur absolue de t est supérieure à la valeur critique, la différence est donc significative.

On constate que les moyennes sont plus faibles pour le BRF que pour la bagasse dans le premier tableau de cette section, ce qui reflète une meilleure efficacité du BRF contre la repousse des adventices. Les maximas de pourcentage de surface envahie pour la bagasse sont plus élevés que ceux pour le BRF. Les valeurs t de Student deviennent de plus en plus petites au fil du temps et l'évolution de ce paillage après un laps de temps plus important donnerait peut-être une différence non-significative

[2] Df signifie degree of freedom en anglais, traduit en degré de liberté (ddl) en français.

entre les paillages : la dégradation des paillages mènera a une efficacité réduite de ceux-ci contre les plantes adventices. L'entretien du paillage peut se faire en apportant un volume élevé de matière lors de sa mise en place et le renouvellement de ce paillage une à deux fois par an.

Le paillage présentant les meilleurs résultats est donc le BRF.

Il pourrait être intéressant d'étudier l'impact du volume de BRF ou de bagasse sur l'efficacité du paillage en appliquant des volumes différents aux pieds des arbres. On pourrait alors mettre en place ce type de paillage avec le volume présentant un résultat optimal.

Lors de la mise en place du paillage, une attention particulière a été portée pour éviter le phénomène de faim d'azote. Ce phénomène est lié à la dégradation de la matière organique apportée lors du paillage par les bactéries et champignons du sol. Les micro-organismes ont besoin d'azote pour dégrader la fraction carbonée et c'est dans le sol qu'ils vont le puiser, pouvant entrainer une carence en azote. Une fertilisation azotée a donc été réalisée peu de temps après la mise en place du paillage. La fertilisation a aussi été apportée au pied des arbres non paillés, ce qui favorise le développement des plantes adventices autour des arbres.

Les paillages ont permis de limiter le développement de certaines plantes adventices mais les plus vigoureuses arrivaient à traverser le paillage. Les espèces concernées sont le chiendent pied de poule *(Cynodon dactylon)*, le blé de Dekkan *(Echinochloa colona)*, l'herbe duvet *(Paspalum paniculatum)* et l'herbe de Guinée *(Panicum maximum).* Ces espèces font toutes parties de la famille des *Poaceae*.

4.3. Atelier de co-conception.

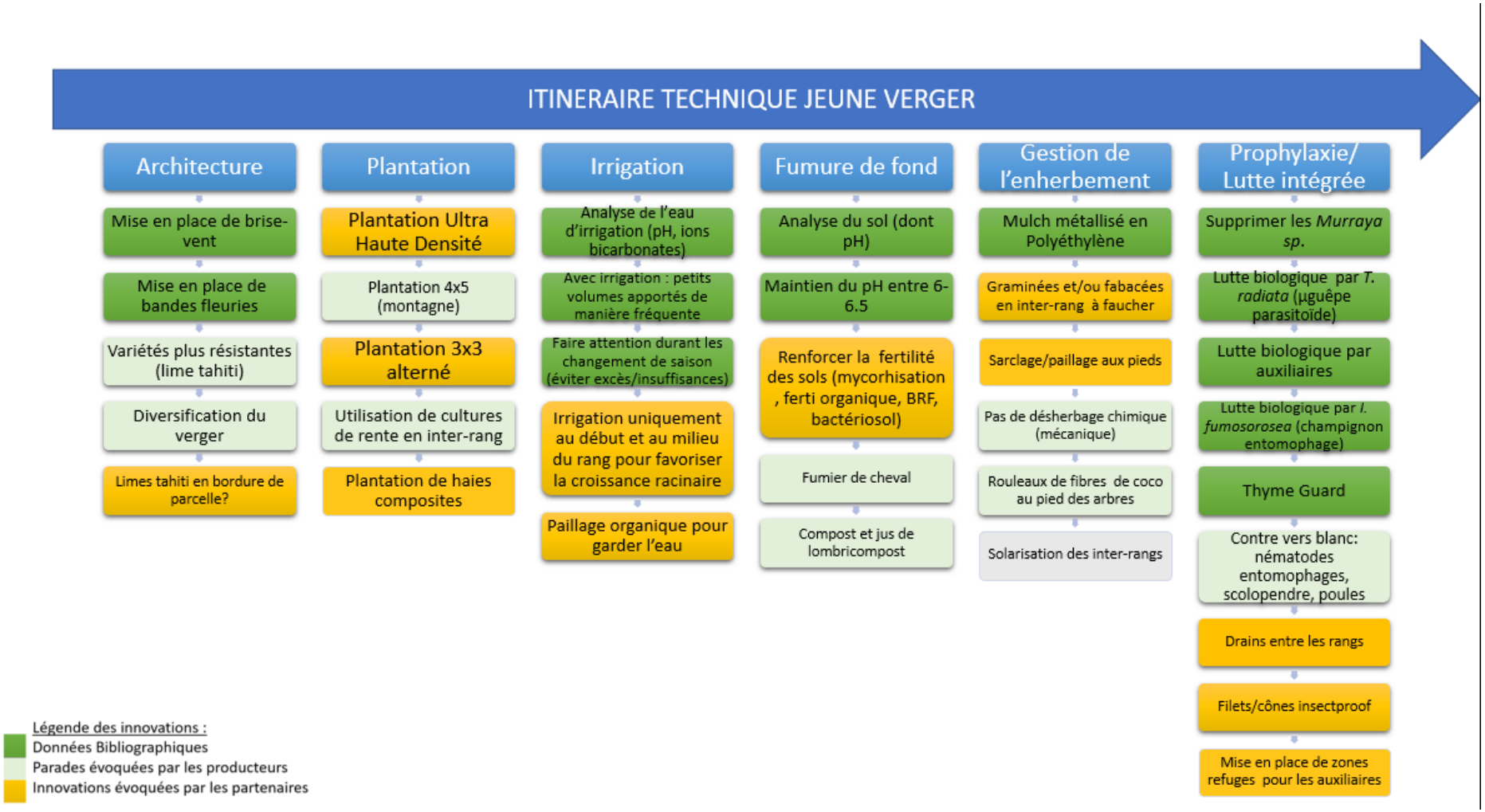
Après avoir ciblé les contraintes des producteurs, une enquête a été menée pour réaliser un listing des techniques culturales adaptées entrant dans le nouvel itinéraire technique (ITK).

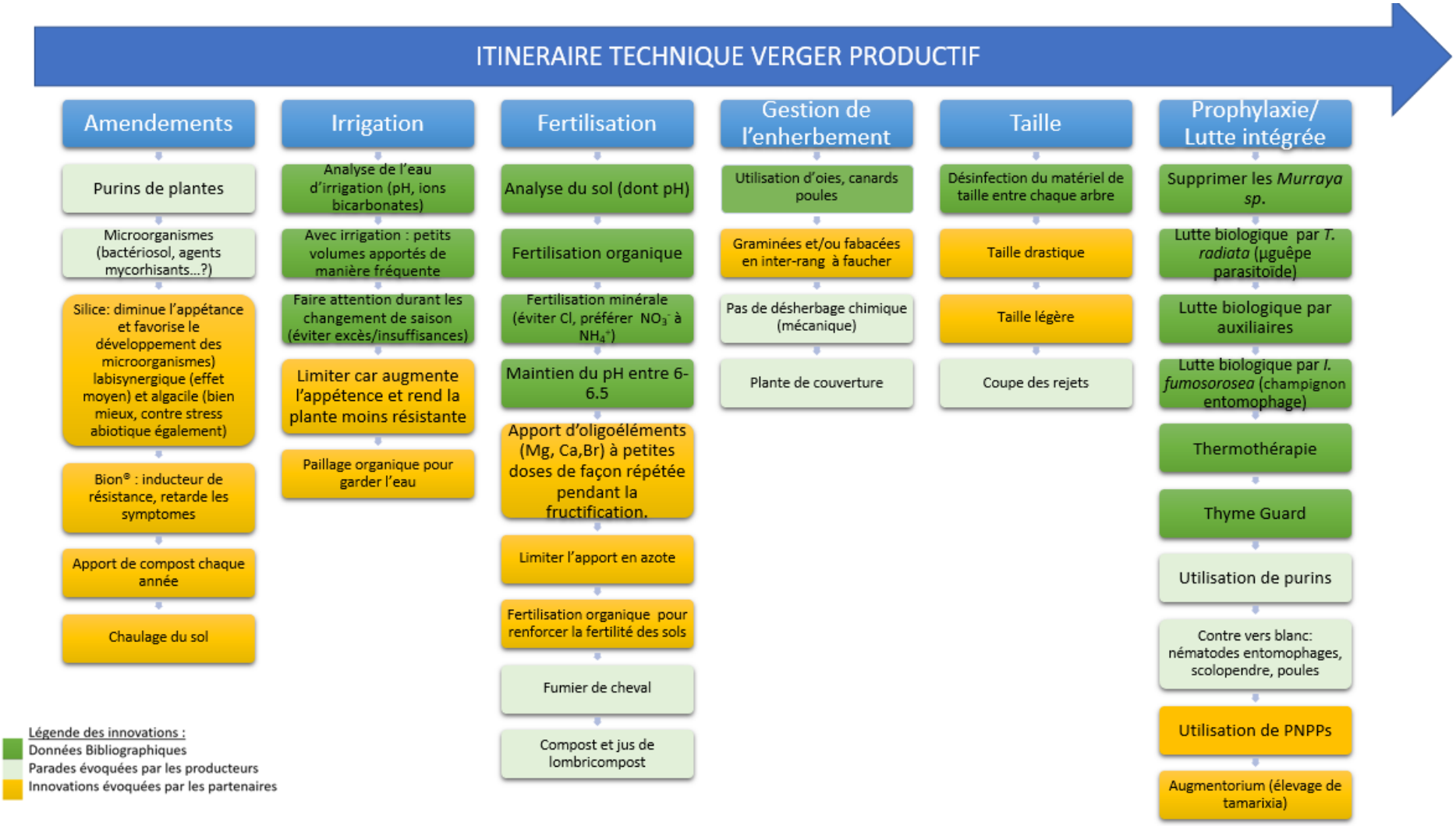
Toutes ces techniques ne sont pas à employer en même temps : le producteur, épaulé par les techniciens de l'ASSOFWI, sélectionnera dans cet ITK les techniques adaptées à sa plantation, en fonction de ses besoins, son budget, ses exigences (l'agriculture biologique ne permet pas l'utilisation de fertilisant minéral par exemple).

Deux itinéraires techniques ont été créés : l'un pour un jeune verger et l'autre pour un verger déjà en place depuis quelques années. En effet, les techniques culturales ne seront pas les mêmes en fonction de l'âge du verger. La bibliographie pour l'élaboration de ces tableaux est disponible en fin de document.

La mise en place de ces techniques débutera prochainement chez les producteurs et elles seront évaluées par la suite.

Certaines techniques permettent de contrôler les populations de psylles, de favoriser le développement des populations de *T. radiata,* de proposer des conditions optimales pour la croissance et le développement de l'arbre… Ces techniques culturales sont parfois déjà adoptées par certains producteurs en Guadeloupe et parfois adoptées par des producteurs d'autres pays que la Guadeloupe. Des mesures ont déjà prouvé leur efficacité, comme l'utilisation de la micro guêpe *T. radiata* à la Réunion.


ITINERAIRE TECHNIQUE JEUNE VERGER
Architecture
Mise en place de brise-vent
Mise en place de bandes fleuries
Variétés plus résistantes (lime tahiti)
Diversification du verger
Limes tahiti en bordure de parcelle?
Plantation
Plantation Ultra Haute Densité
Plantation 4x5 (montagne)
Plantation 3x3 alterné
Utilisation de cultures de rente en inter-rang
Plantation de haies composites
Irrigation
Analyse de l'eau d'irrigation (pH, ions bicarbonates)
Avec irrigation : petits volumes apportés de manière fréquente
Faire attention durant les changement de saison (éviter excès/insuffisances)
Irrigation uniquement au début et au milieu du rang pour favoriser la croissance racinaire
Paillage organique pour garder l'eau
Fumure de fond
Analyse du sol (dont pH)
Maintien du pH entre 6-6.5
Renforcer la fertilité des sols (mycorhisation , ferti organique, BRF, bactériosol)
Fumier de cheval
Compost et jus de lombricompost
Gestion de l'enherbement
Mulch métallisé en Polyéthylène
Graminées et/ou fabacées en inter-rang à faucher
Sarclage/paillage aux pieds
Pas de désherbage chimique (mécanique)
Rouleaux de fibres de coco au pied des arbres
Solarisation des inter-rangs
Prophylaxie/ Lutte intégrée
Supprimer les Murraya sp.
Lutte biologique par T. radiata (µguêpe parasitoïde)
Lutte biologique par auxiliaires
Lutte biologique par I. fumosorosea (champignon entomophage)
Thyme Guard
Contre vers blanc: nématodes entomophages, scolopendre, poules
Drains entre les rangs
Filets/cônes insectproof
Mise en place de zones refuges pour les auxiliaires
Légende des innovations :
Données Bibliographiques
Parades évoquées par les producteurs
Innovations évoquées par les partenaires


ITINERAIRE TECHNIQUE VERGER PRODUCTIF
Amendements
Purins de plantes
Microorganismes (bactériosol, agents mycorhisants…?)
Silice: diminue l'appétance et favorise le développement des microorganismes) labisynergique (effet moyen) et algacile (bien mieux, contre stress abiotique également)
Bion® : inducteur de résistance, retarde les symptomes
Apport de compost chaque année
Chaulage du sol
Irrigation
Analyse de l'eau d'irrigation (pH, ions bicarbonates)
Avec irrigation : petits volumes apportés de manière fréquente
Faire attention durant les changement de saison (éviter excès/insuffisances)
Limiter car augmente l'appétence et rend la plante moins résistante
Paillage organique pour garder l'eau
Fertilisation
Analyse du sol (dont pH)
Fertilisation organique
Fertilisation minérale (éviter Cl, préférer NO_3^- à NH_4^+)
Maintien du pH entre 6-6.5
Apport d'oligoéléments (Mg, Ca,Br) à petites doses de façon répétée pendant la fructification.
Limiter l'apport en azote
Fertilisation organique pour renforcer la fertilité des sols
Fumier de cheval
Compost et jus de lombricompost
Gestion de l'enherbement
Utilisation d'oies, canards poules
Graminées et/ou fabacées en inter-rang à faucher
Pas de désherbage chimique (mécanique)
Plante de couverture
Taille
Désinfection du matériel de taille entre chaque arbre
Taille drastique
Taille légère
Coupe des rejets
Prophylaxie/ Lutte intégrée
Supprimer les Murraya sp.
Lutte biologique par T. radiata (µguêpe parasitoïde)
Lutte biologique par auxiliaires
Lutte biologique par I. fumosorosea (champignon entomophage)
Thermothérapie
Thyme Guard
Utilisation de purins
Contre vers blanc: nématodes entomophages, scolopendre, poules
Utilisation de PNPPs
Augmentorium (élevage de tamarixia)
Légende des innovations :
Données Bibliographiques
Parades évoquées par les producteurs
Innovations évoquées par les partenaires

5. DISCUSSIONS

Ce TFE présente les premiers résultats du projet PARADE, visant la relance de l'agrumiculture en Guadeloupe. Il est une bonne source d'informations pour les producteurs et les partenaires du projet. Une présentation orale s'est déroulée en mai à la fin de mon séjour en Guadeloupe pour partager certains aspects de mon travail. Malheureusement, peu de producteurs ont pu y assister.

Afin d'apporter quelques critiques à ce travail, j'aimerais relever les quelques points suivants. Le désherbage n'était pas optimal avant la mise en place du paillage sur les parcelles, ce qui peut fausser les résultats (efficacité réduite du paillage car certaines adventices étaient encore présentes et ont rapidement récupéré leur vigueur).

Pour chaque couple PG/G, il y avait peu de répétitions sur le terrain (parfois 6 arbres seulement), ce qui rend les résultats moins représentatifs de la réalité en comparaison avec ceux obtenus pour des nombres élevés de répétitions. Une piste pour palier à ce problème est d'utiliser les données du CIRAD et de la parcelle chez le producteur qui seront disponibles.

J'aurais pu établir des objectifs plus définis et précis en arrivant en Guadeloupe pour éviter d'exploiter des pistes qui parfois ne menaient à rien de pertinent pour cette étude. Le temps gagné m'aurait permis de tester d'autres techniques que le paillage (parmi les techniques figurant dans le nouvel itinéraire de conduite culturale). La quantité importante de données et résultats chiffrés, lié à l'utilisation de nombreux couples PG/G, rend parfois indigeste la lecture de ce document.

Il est difficile de prédire comment l'agrumiculture se portera les prochaines années en Guadeloupe et comment la maladie évoluera dans les pays où elle est présente. Les agrumes sont des plantes pérennes, ce qui allonge fortement les recherches (minimum 5 ans).

7. PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS

Comme vous aurez pu le comprendre lors de cette lecture, la problématique HLB menace l'agrumiculture les pays où le Citrus Greening est présent mais également les pays méditéranéens et l'Australie où la maladie n'est pas encore présente. Il faut à tout prix éviter que le Citrus Greening n'atteigne ces pays en continuant les contrôles douaniers, en interdisant les transferts de matériel végétal et animal (psylles) pouvant servir d'inoculum primaire. Et la menace est bien réelle : le psylle asiatique a été repéré dans la péninsule Arabique.

Pour les pays où HLB est présent, de nombreuses études doivent encore être réalisées (notamment sur la bactérie) : Est-il possible d'assurer une production malgré la maladie permettant un développement économique (ce document présente des pistes de réponses) ? Est-il possible avec nos connaissances actuelles en biotechnologie d'introduire un gène de résistance aux agrumes pour que la maladie ne les affecte plus ? Est-il possible de contrôler le vecteur de manière efficace sur de grands territoires ?

Les perspectives pour ce TFE sont diverses : mise en place chez les producteurs et évaluation des techniques culturales intégrées dans le nouvel itinéraire technique, récolte et analyse données de rendement/ha pour les couples PG/G pour sélectionner un arbre greffé apte à produire de manière suffisante malgré HLB…

Ce TFE traite de l'agrumiculture en Guadeloupe, avec la présence d'une maladie qui donne du fil à retordre tant aux scientifiques qu'aux producteurs. Autour du projet PARADE HLB gravitent de nombreux éléments, j'ai eu l'occasion d'apporter ma collaboration dans la création de nouveaux itinéraires techniques adaptés à l'agrumiculture sous la contrainte HLB, de tester une pratique culturale de ces ITK (le test de paillage) et de réaliser une évaluation globale de parcelles expérimentales testant des variétés innovantes (collecte de données et analyse).

Pour la sélection des PG et G, quelques conclusions peuvent déjà être tirées : les PG 2, 3 et 4 sont à garder et, au vu des piètres résultats agronomiques du PG1, ce PG n'est pas à mettre en avant. Les greffes TaTr, VaRR, FiNa, TaEl, MaTe, Ca^2N semblent intéressantes d'un point de vue croissance, mortalité et état général de

l’arbre. Il faudra encore attendre les données de rendement et de qualité des fruits pour pouvoir décider quelles variétés seront choisies.

Les itinéraires techniques théoriques seront d’une grande aide pour les producteurs qui pourront adapter leurs techniques culturales afin d’assurer une production malgré la présence de la maladie, et je l’espère avec l’une des variétés citées ci-dessus.

Les tests de paillage semblent efficaces à court terme. Cependant, il faut rester réaliste, ils se dégradent assez vite et le problème d’enherbement ne peut être résolu entièrement en utilisant uniquement cette méthode. Un volume plus important devrait être testé (0,15m³/arbre par exemple) en adaptant l’apport azoté pour éviter une faim d’azote, ou un apport répété de paillage à intervalle régulier (une à deux fois par an).

À ce jour, on ne peut absolument pas dire que l’agrumiculture guadeloupéenne se porte bien, mais les opportunités de solutions sont vastes, les études à ce sujet avancent et de nombreux organismes y travaillent d’arrache-pied. J’espère pouvoir revenir un jour observer des vergers verdoyants, tachetés de couleur orange grâce à des fruits de qualité en quantité.

8. BIBLIOGRAPHIE

8.1. Bibliographie générale

Archimède H. et al., 2011 : *La canne à sucre et ses co-produits dans l'alimentation animale*. Dans Innovations Agronomiques 16, pp. 165-179.

ASSOFWI, 2012 : *Le Citrus Greening : détection et moyens de lutte envisageables.*

Aubert B., 2009 : *Nouvelle menace sur les agrumes de Méditerranée.* Dans FRuiTRoP N°168 Juin 2009.

Aubert, B. 1987. Trioza erytreae del Guercio and Diaphorina citri Kuwayama (Homoptera: Psylloidea), the two vectors of citrus greening disease: Biological aspects and possible control strategies. Fruits 42: 149-162.

Aubert, B., and X. Y. Hua. 1990. *Monitoring flight activity of Diaphorina citri on citrus and Murraya canopies,* pp. 181-187 In B. Aubert, S. Tontyaporn, and D. Buangsuwon [eds.], Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. 4th International Asia Pacific Conference on Citrus Rehabilitation, Chiang Mai, Thailand 4-10 Feburary 1990. FAO-UNDP, Rome.

Aubert. B. and S. Quilici. 1988. *Monitoring adult psyllas on yellow traps in Reunion Island.* In: Garnsey, S. M., Timmer, L. W. and Dodds, J. A. (eds.), Proceedings of the 10th Conference of International Organization of Citrus Virologists. International Organization of Citrus Virologists, Riverside, CA, pp. 249-254.

Benediste A. et Baches M., 2002. *Agrumes.* Ed. Ugen Ulmer, PARIS, n° 132, p.96.

Bové, J.M.; Calavan, E.D.; Capoor, S.P.; Cortez, R.E.; Schwarz, R.E. (1974) : Influence of temperature on symptom of Californian stubborn, South African greening, Indian citrus decline and Philippines leaf mottling disease. In: Proceedings of the 6th Conference of the International Organization of CitrusVirologists (Ed. by Weathers, L.G.; Cohen, M.), pp. 12-15. University of California, Berkeley, Etats-Unis.

Capoor, S. P., D. G. Rao and S. M. Visvanath. 1974. *Greening disease of citrus in the Deccan Trap country and its relationship with the vector, Diaphorina citri Kuwayama.* p. 43-49. In: Proc. 6th Conf. IOVC, Univ. Calif., Div. Agri. Sci., Richmond.

CIRAD, 2008 : *Conditions climatiques de la Guadeloupe* (http://caribfruits.cirad.fr).

Davina M., 2013 : *évaluation du potentiel fibreux et textile de la canne à sucre (Saccharum officinarum L.).* Matériaux. Université de Haute Alsace – Mulhouse.

Étienne, J., Quilici, S., Marival, D., & Franck, A. (2001). Biological control of Diaphorina citri (Hemiptera: Psyllidae) in Guadeloupe by imported Tamarixia radiata (Hymenoptera: Eulophidae). Fruits, 56(5), 307-315.

FAO, 2013 : *Managing Huanglongbing/Citrus greening disease in the Caribbean*. (http://www.fao.org/3/a-ax739e.pdf).

FAO, 2016 : Citrus Fruit (Fresh and processed), Statistical bulletin.

FAO, 2016 : *Citrus fruits – Fresh and Processed- Statistical Bulletin 2016*. (http://www.fao.org/3/a-i8092e.pdf).

Fung, Y.-C., and C.-N. Chen. 2006. Effects of temperature and host plant on population parameters of the citrus psyllid (Diaphorina citri Kuwayama). Formosan Entomol. 26: 109- 123.

Garnier, M.; Danel, N.; Bové, J.M. (1984) : Etiology of citrus greening disease. Annales de Microbiologie (Institut Pasteur) 153A, pages169-179.

Halbert, S. E. and K. L. Manjunath. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. Fla. Entomol. 87 (3): 330-353.

Hall, D. G. and L. G. Albrigo. 2007. Estimating the relative abundance of flush shoots in citrus, with implications on monitoring insects associated with flush. HortScience. 42: 364-368.

Hall, D. G., M. G. Hentz and R. C. Adair, Jr. 2008. Population ecology and phenology of Diaphorina citri (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. Environ. Entomol.

Koh, E.-J. et al., 2011 : *Callose deposition in the phloem plasmodesmata and inhibition of phloem transport in citrus leaves infected with "Candidatus Liberibacter asiaticus"*.

Loginova, M. M. 1975. Psyllids of the subfamily Diaphorininae (Psyllidae, Homoptera). Zool. Zh. 54:543-551.

Luro F., Jacquemond C. et Curk F. 2013. *La clémentine dans la diversité génétique des agrumes, dans : Les clémentiniers et autres petits agrumes.* Quae Éditions Collection Savoir-Faire Versailles, France, pp. 17-36.

Mead, F.W. 1977. *The Asiatic citrus psyllid, Diaphorina citri Kuwayama (Homoptera: Psyllidae).* Entomology Circular 180. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry. 4 pp.

Meteo France, 2018 : *Bulletin climatique annuel 2018* (http://www.meteofrance.fr/documents/10192/64119161/BSH_1807.pdf)

Ministère de l'Outre-mer, 2007 : *Géographie de la Guadeloupe.* (http://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/bin/export/Guadeloupe/G%C3%A9ographie+de+la+Guadeloupe?format=pdf&pdftoc=0, consulté en 2018).

Moll, J. N. and S. P. Van Vuuren. 1977. *Greening disease in Africa.* Proc. Int. Soc. Citriculture. 3: 903-912.

National Academy of Science, 2010 : *Strategic planning for the Florida citrus Industry addressing Citrus Greening disease*.

Nava, D. E., M. L. G. Torres, M. D. L. Rodrigues, J. M. S. Bento, and J. R. P. Parra. 2007. *Biology of Diaphorina citri (Hem., Psyllidae) on different hosts and at different temperatures.* J. Appl. Entomol. 131: 709-715.

OEPP, 2014: *Fiche informative sur les organismes de quarantaine*, from https://gd.eppo.int/download/doc/521_ds_LIBESP_fr.pdf, consulté le 20/03/18.

Parfonry R., 2001. *Plantes à fruits.* In : Raemaekers H. (éd), Agriculture en Afrique tropicale, Direction générale de la Coopération internationale, Bruxelles, p. 555-588.

Praloran C., 1971. *Les agrumes.* Ed. editeur 8348, Paris, n° 5, p. 25.

Sarpap & Cecil Industries, 2018, *Traitons du bois : Résistance à l'eau et aux rayonnements solaires.* In http://www.traitons-du-bois.com/, consulté en 2018.

Sitionon M., 2013 : *Effet de l'utilisation du BRF dans la culture de fraise d'été*. Groupe conseil Agro Bois Francs, Victoriaville.

Skelley, L. H. and M. A. Hoy. 2004. A synchronous rearing method for the Asian citrus psyllid and its parasitoids in quarantine. Biol. Control 29: 14-23.

Thomas H. Spreen. 2010. *Projections of World Production and Consumption of Citrus to 2010.*

Tsai, J.H. and Y.H. Liu. 2000. Biology of Diaphorina citri (Homoptera: Psyllidae) on four host plants. J. Econ. Entomol. 93 (6): 1721-1725.

Tsai, J.H., J. J. Wang & Y.H. Liu. 2002. Seasonal abundance of the asian citrus psyllid, Diaphorina citri (Homoptera: Psyllidae) in southern Florida. Florida Entomologist. 85 (3): 446-451.

Veltz I., 2014 : *Les climats du globe (*http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm).

Wenninger, E. J. and D. G. Hall. 2007. Daily timing of and age at mating in the Asian citrus psyllid, Diaphorina citri (Hemiptera: Psyllidae). Fla. Entomol. 90: 715-722.

Wenninger, E. J., D. G. Hall, and R. W. Mankin. 2008. *Vibrational communication between the sexes in Diaphorina citri (Hemiptera: Psyllidae).* Annals Entomol. Soc. America. (submitted).

Wenninger, E., L. L. Stelinski, and D. G. Hall. 2008. Behavioral evidence for a female-prodluced sex attractant in in Diaphorina citri (Hemiptera: Psyllidae). Entomol. Experi. et Appli. (submitted).

Xu, C. F., Y. H. Xia, K. B. Li and C. Ke. 1988. *Further study of the transmission of citrus huanglongbing by a psyllid, Diaphorina citri Kuwayama.* In: Timmer, L. W., Garnsey, S. M., and L. Navarro (eds.), Proceedings of the 9th Conference of International Organization of Citrus Virologists. International Organization of Citrus Virologists, Valencia, Spain, pp. 100-108.

8.2. Bibliographie utilisée pour l'élaboration des ITK innovants :

Ehsani, R., et al., 2013 : *The potential of thermotherapy in combating HLB.* Citrus Industry, Septembre 2013.

Fan, G. et al., 2016 : *Evalutation of thermotherapy against Huanglongbing (citrus greening) in the greenhouse*, Journal of Integrative Agriculture, January 2016, pp. 111-119.

Iftikhar, Y. et al., 2014 : *Huanglongbing : Pathogen detection system for integrated disease management*, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Vol. 15, janvier 2016, pp 1-11.

Johnson, E., 2014 : *Surprising find :* *UF/IFAS discovers citrus greening affects roots before leaves*. News of University of Florida.

Lajeunesse, M., 2016 *:* *Product Description*, AgroResearch International.

Majeed, M. Z. et al., 2017 : *Entomopathogenicity of three muscardine fungi, beauveria bassiana, isaria fumosorosea and metarhizium anisopliae, against the asian citrus psyllid, diaphorina citri kuwayama (Hemiptera: Psyllidae).*

Moudgil B. et al., 2015 : *Colored clays for agricultural and toher industrial applications*, University of Florida.

Stansly, P., Croxton, S., Sherrod, J., 2016 : *Big boost in young tree growth and yield from insecticides and metalized mulch.* Citrus Industry News.

Stuchi, E., Girardi, E., 2010 : *Use of horticultural practices in citriculture to survivre Huanglongbing*, Documentos 189 : ISSN 1809-4996, décembre 2010.

Vashisth, T., Vincent, C., 2018 : *Living with Yellow Dragon Disease*, Citrus Industry.

9. SITOGRAPHIE

http://www.eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/climat/climats-de-la-terre

http://www.gwadaplans.com

http://www.inra.fr/

http://www.inra.fr/

https://www.fr.climate-data.org/location/25108/

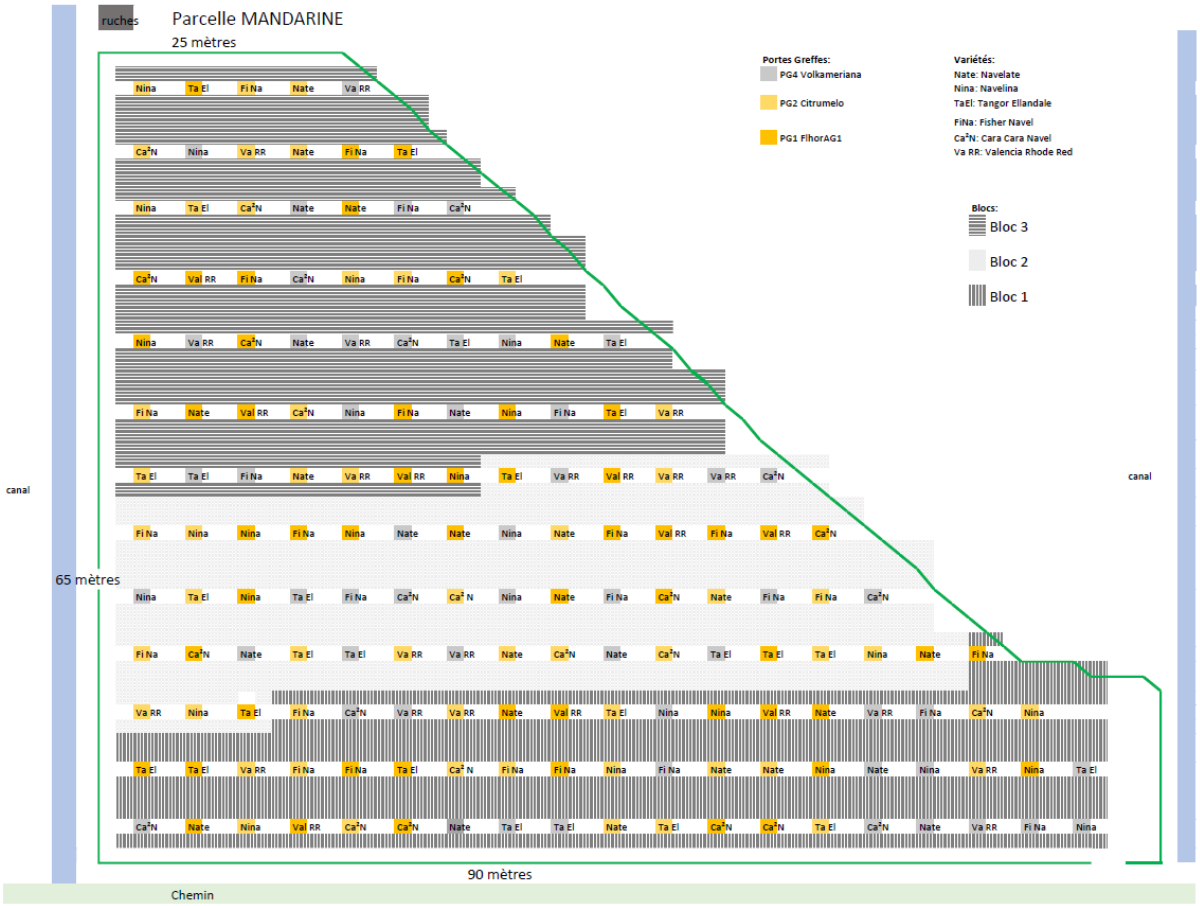
https://www.mapquest.com

https://www.maps.google.be/

10. ANNEXES

10.1. Suivi de la parcelle « Petits agrumes »

10.1.1. Plan de la parcelle



10.1.2. Données brutes

Bloc 3						Bloc 2						Bloc 1					
		Avril 2017		Mars 2018				Avril 2017		Mars 2018				Avril 2017		Mars 2018	
Porte greffe	greffe	Diam. PG	Diam. G	Diam. PG	Diam. G	Porte greffe	greffe	Diam. PG	Diam. G	Diam. PG	Diam. G	Porte greffe	greffe	Diam. PG	Diam. G	Diam. PG	Diam. G
PG3	TaJa	3.50	2.00	4.70	2.50	PG3	TaJa	5.00	3.00	6.50	3.20	PG3	TaJa	2.50	2.00	4.70	3.40
		1.50	1.00	nc	nc			3.00	2.00	nc	nc			4.00	3.00	5.70	4.00
	TaTr	3.00	2.00	4.00	2.60		TaTr	4.00	3.00	6.10	3.40		TaTr	3.00	2.00	5.10	3.40
		4.50	3.00	6.40	5.20			5.00	3.00	6.80	3.60			3.00	2.00	5.80	3.10
	TaNo	nc	nc	nc	nc		TaNo	4.50	2.50	5.20	3.10		TaNo	4.00	1.50	4.60	2.10
		3.50	2.50	4.00	2.70			2.50	1.50	3.10	1.60			4.00	1.50	5.10	2.30
	MaTe	3.50	2.00	4.30	2.80		MaTe	3.00	2.00	4.90	2.60		MaTe	3.50	2.50	4.00	3.00
		nc	nc	nc	nc			4.00	2.00	4.50	2.30			2.00	1.50	3.60	1.60
	MaFa	3.00	2.00	4.70	2.60		MaFa	3.00	1.50	3.40	1.80		MaFa	4.00	3.00	5.50	3.70
		5.00	2.00	5.30	2.90			3.50	2.00	4.20	2.40			4.00	3.00	nc	nc
PG2	TaJa	2.00	1.00	2.20	1.50	PG2	TaJa	4.00	3.50	7.00	5.50	PG2	TaJa	4.00	2.00	nc	nc
		4.00	3.00	5.30	3.90			3.50	2.00	5.80	2.70			3.50	2.50	5.60	3.50
	TaTr	2.50	2.00	5.60	3.70		TaTr	4.00	2.50	6.00	3.30		TaTr	nc	nc	nc	nc
		3.00	2.50	nc	nc			5.00	3.00	6.30	4.40			6.50	3.50	8.40	4.50
	TaNo	3.50	2.50	6.20	4.30		TaNo	3.50	2.00	4.60	2.70		TaNo	2.50	2.00	4.00	2.70
		5.00	4.00	7.90	4.40			6.00	3.00	6.50	3.40			3.50	2.00	7.10	4.10
	MaTe	4.00	2.50	4.60	2.90		MaTe	4.50	3.00	6.00	3.90		MaTe	3.50	2.50	4.50	3.00
		6.00	3.00	6.50	4.00			4.00	3.00	5.20	3.30			6.00	2.50	8.20	3.40
	MaFa	nc	nc	nc	nc		MaFa	3.50	3.00	5.60	3.80		MaFa	5.00	3.00	nc	nc
		6.00	4.00	8.00	4.30			4.00	2.00	5.90	3.00			3.00	2.00	nc	nc
PG1	TaJa	5.00	3.00	5.20	3.60	PG1	TaJa	3.50	2.50	6.00	3.40	PG1	TaJa	3.50	3.00	6.00	5.20
		3.50	3.00	nc	nc			5.00	3.50	6.20	4.50			4.50	3.00	nc	nc
	TaTr	2.50	2.00	3.80	2.90		TaTr	4.00	3.00	6.40	4.80		TaTr	4.00	3.00	5.40	4.10
		4.50	4.00	5.20	4.40			4.50	3.50	5.80	4.50			5.00	4.00	nc	nc
	TaNo	2.00	1.50	nc	nc		TaNo	4.00	3.50	4.80	3.70		TaNo	3.00	2.00	3.30	2.20
		2.50	2.00	3.40	2.40			3.00	2.50	4.10	2.80			1.00	1.00	1.40	1.30
	MaTe	2.50	2.00	3.70	2.60		MaTe	4.50	3.00	4.90	4.20		MaTe	3.00	3.00	5.00	4.40
		2.50	2.00	4.20	3.40			5.00	3.50	nc	nc			4.00	2.50	4.40	2.90
	MaFa	4.50	3.00	6.70	3.50		MaFa	nc	nc	nc	nc		MaFa	4.00	2.00	5.40	2.40
		nc	nc	nc	nc			6.00	3.00	6.80	3.70			5.00	4.00	6.00	4.50

10.2. Suivi de la parcelle « Mandarines »

10.2.1. Plan de la parcelle

10.2.2. Données brutes

Bloc 3					
		Avril 2017		Mars 2018	
Porte greffe	greffe	Diam. PG	Diam. G	Diam. PG	Diam. G
PG4	Nate	3.00	3.00	4.10	3.90
		4.00	3.00	nc	nc
		5.00	2.50	5.80	4.90
	Nina	4.00	3.00	6.50	4.10
		2.00	2.00	nc	nc
		4.00	4.50	nc	nc
	TaEl	5.00	4.00	5.00	4.60
		3.50	3.00	4.20	3.60
		3.00	3.00	3.50	3.40
	FiNa	5.50	4.00	6.20	4.20
		5.00	4.00	5.70	5.20
		3.00	2.50	4.60	3.10
	Ca^2N	4.00	4.00	nc	nc
		4.00	2.50	5.00	3.00
		4.00	3.00	6.10	3.40
	VaRR	4.00	3.00	5.40	4.00
		3.00	3.00	nc	nc
		5.00	5.00	6.80	6.60
PG2	Nate	5.00	3.00	7.00	5.00
		4.00	3.00	7.00	3.30
		4.00	2.00	5.20	2.70
	Nina	4.00	2.00	6.40	2.80
		6.00	3.00	8.00	4.00
		3.00	2.00	3.50	2.10
	TaEl	nc	nc	nc	nc
		5.00	3.00	6.70	4.10
		4.00	2.00	6.70	3.40
	FiNa	5.00	3.00	7.30	4.30
		nc	nc	nc	nc
		3.00	2.00	3.80	2.60
	Ca^2N	5.00	3.50	7.20	3.70
		5.00	3.00	7.10	3.00
		2.00	1.50	2.50	1.60
	VaRR	5.00	2.50	6.70	3.40
		3.50	2.50	4.80	2.70
		2.00	1.50	3.10	1.90
PG1	Nate	3.00	2.00	3.80	2.70
		2.00	1.00	3.10	1.80
		3.00	1.50	3.40	2.10
	Nina	4.00	2.00	6.30	5.20
		4.00	2.00	nc	nc
		4.00	2.50	nc	nc
	TaEl	5.00	4.00	6.00	4.50
		4.00	4.00	6.00	4.30
		4.00	2.50	nc	nc
	FiNa	1.50	1.00	2.20	1.20
		5.00	3.00	nc	nc
		3.50	2.00	nc	nc
	Ca^2N	3.00	1.00	nc	nc
		3.00	3.00	nc	nc
		2.50	1.50	3.00	2.00
	VaRR	1.50	1.00	nc	nc
		3.50	2.00	4.60	4.20
		2.50	2.00	nc	nc

Bloc 2					
		Avril 2017		Mars 2018	
Porte greffe	greffe	Diam. PG	Diam. G	Diam. PG	Diam. G
PG4	Nate	2.50	2.50	2.80	2.60
		4.00	3.00	nc	nc
		3.00	1.50	3.50	2.00
	Nina	5.00	2.50	5.80	4.20
		3.50	3.00	4.80	3.20
		4.50	4.00	6.10	4.80
	TaEl	2.50	2.00	3.70	2.20
		3.50	3.00	3.80	3.30
		3.00	2.00	3.70	2.50
	FiNa	4.00	3.00	5.40	3.50
		4.00	3.00	4.90	3.70
		2.00	2.00	nc	nc
	Ca^2N	5.00	4.00	7.20	4.50
		5.00	3.00	7.20	4.80
		4.00	3.00	7.40	4.60
	VaRR	4.00	3.00	6.00	4.80
		4.00	3.00	4.90	4.00
		3.00	3.00	4.80	4.50
PG2	Nate	3.50	2.00	3.80	2.20
		nc	nc	nc	nc
		3.00	2.00	4.20	2.20
	Nina	nc	nc	nc	nc
		4.00	2.00	5.10	2.30
		4.50	2.50	6.40	2.90
	TaEl	6.00	3.00	7.10	4.00
		4.00	3.00	4.60	3.40
		3.50	2.50	5.00	3.10
	FiNa	5.00	2.00	6.50	3.20
		4.00	2.00	6.20	4.00
		5.00	2.00	6.20	2.40
	Ca^2N	4.00	2.00	6.10	3.80
		2.50	1.50	3.80	2.10
		3.00	2.00	4.40	2.50
	VaRR	3.00	2.00	5.00	4.10
		3.50	2.00	5.30	2.60
		5.00	3.00	8.40	3.70
PG1	Nate	3.00	2.00	nc	nc
		4.00	3.00	nc	nc
		3.50	2.00	nc	nc
	Nina	3.50	1.50	3.70	2.30
		3.00	2.00	4.00	2.10
		2.50	2.00	3.10	2.60
	TaEl	2.50	1.50	2.80	1.80
		2.00	2.00	2.80	2.30
		2.50	2.00	2.80	2.60
	FiNa	4.00	3.00	4.70	3.70
		4.00	2.50	5.70	3.20
		3.00	2.00	3.50	2.80
	Ca^2N	4.00	2.00	4.40	2.50
		3.00	2.00	nc	nc
		3.00	2.00	4.50	2.60
	VaRR	2.00	2.00	nc	nc
		3.00	2.00	3.60	2.60
		2.50	2.00	nc	nc

Bloc 1					
		Avril 2017		Mars 2018	
Porte greffe	greffe	Diam. PG	Diam. G	Diam. PG	Diam. G
PG4	Nate	3.50	2.00	5.10	3.50
		2.50	2.00	2.90	2.20
		3.00	2.00	4.60	3.20
	Nina	4.00	2.50	5.00	3.00
		4.00	2.00	4.70	3.00
		3.00	2.50	3.20	2.70
	TaEl	4.00	4.00	4.90	4.50
		2.00	1.50	2.50	2.10
		3.00	2.50	nc	nc
	FiNa	3.00	3.00	4.20	3.90
		5.00	3.00	6.30	4.10
		3.50	2.50	4.10	3.10
	Ca^2N	4.00	3.00	4.70	4.00
		3.50	3.00	4.40	4.00
		4.00	4.00	4.40	4.20
	VaRR	3.00	2.50	3.40	2.80
		4.00	3.00	5.50	4.80
		5.50	4.00	5.80	4.20
PG2	Nate	3.00	1.00	4.80	1.70
		4.00	2.00	5.10	2.40
		3.50	2.00	4.00	2.50
	Nina	4.50	2.50	4.80	2.70
		4.00	2.50	5.30	3.10
		2.50	1.50	3.20	2.00
	TaEl	4.00	1.50	4.40	1.80
		2.50	1.50	2.90	1.80
		3.50	2.00	4.00	2.40
	FiNa	3.00	2.00	3.50	2.50
		3.00	2.00	4.50	2.80
		4.00	2.50	5.60	2.60
	Ca^2N	3.00	1.50	3.70	1.70
		4.00	2.50	5.80	2.80
		4.00	2.00	5.40	2.70
	VaRR	2.50	2.00	4.10	2.40
		4.00	2.00	4.10	2.80
		2.50	2.00	2.80	2.50
PG1	Nate	3.00	2.50	4.50	3.30
		3.00	2.50	4.00	2.70
		2.00	1.00	2.50	1.40
	Nina	2.50	2.00	nc	nc
		2.50	2.00	3.40	2.00
		4.00	2.00	4.70	2.60
	TaEl	4.00	3.00	5.40	4.40
		2.00	2.00	3.50	2.50
		3.50	2.50	4.20	3.30
	FiNa	2.00	2.00	3.70	2.60
		2.00	2.00	3.10	2.30
		2.50	2.00	3.50	2.40
	Ca^2N	3.00	2.00	4.00	3.30
		3.00	1.50	3.60	1.90
		4.00	2.00	nc	nc
	VaRR	3.00	2.00	3.70	3.00
		2.00	1.00	2.40	1.70
		4.00	3.00	5.70	4.30

10.3. Test KHI² de l'état général des arbres et du taux de mortalité

10.3.1. Sur les blocs expérimentaux.

Effectifs observés :

		Nombre d'arbres morts	Nombre d'arbres en mauvais état	Nombre d'arbre en état normal	Nombre d'arbre en bon état	Total
Petits agrumes	**Bloc 1**	7	7	10	6	30
	Bloc 3	8	6	8	8	30

	Bloc 2	4	8	13	5	30
Mandarine	**Bloc 2**	16	1	34	3	54
	Bloc 3	10	8	36	0	54
	Bloc 1	3	5	35	11	54
	Total	48	35	136	33	252

Effectifs théoriques :

		Nombre d'arbres morts	**Nombre d'arbres en mauvais état**	**Nombre d'arbre en état normal**	**Nombre d'arbre en bon état**	**Total**
Petits agrumes	**Bloc 1**	5.71428571	4.16666667	16.1904762	3.92857143	30
	Bloc 3	5.71428571	4.16666667	16.1904762	3.92857143	30
	Bloc 2	5.71428571	4.16666667	16.1904762	3.92857143	30
Mandarine	**Bloc 2**	10.2857142	7.5	29.1428571	7.07142857	54
	Bloc 3	10.2857142	7.5	29.1428571	7.07142857	54
	Bloc 1	10.2857142	7.5	29.1428571	7.07142857	54
	Total	48	35	136	33	252

Différences relatives :

		Nombre d'arbres morts	**Nombre d'arbres en mauvais état**	**Nombre d'arbre en état normal**	**Nombre d'arbre en bon état**
Petits agrumes	**Bloc 1**	0.28928571	1.92666667	2.36694678	1.09220779
	Bloc 3	0.91428571	0.80666667	4.14341737	4.21948052
	Bloc 2	0.51428571	3.52666667	0.62871148	0.29220779
Mandarine	**Bloc 2**	3.17460317	5.63333333	0.80952381	2.34415584
	Bloc 3	0.00793650	0.03333333	1.61344538	7.07142857
	Bloc 1	5.16071428	0.83333333	1.17717087	2.18253968

- P Value : 9.03×10^{-6}
- Seuil à 0.05 : 24.99
- Seuil à P Value (somme des différences relatives) : 50.76

➔ RH0

10.3.2. Sur les greffes.

Effectifs observés :

	Nombre d'arbres morts	**Nombre d'arbres en mauvais état**	**Nombre d'arbre en état normal**	**Nombre d'arbre en bon état**	**Total**
MaFa	6	2	9	1	18
TaNo	2	9	4	3	18

NiNa	6	4	15	2	27
TaJa	5	3	5	5	18
NaTe	8	3	15	3	29
VaRR	6	2	18	2	28
TaTr	4	4	4	6	18
FiNa	4	0	23	0	27
Ca²N	6	3	14	5	28
TaEl	4	2	20	2	28
MaTe	2	2	10	4	18
Total	53	34	137	33	257

Effectifs théoriques :

	Nombre d'arbres morts	**Nombre d'arbres en mauvais état**	**Nombre d'arbre en état normal**	**Nombre d'arbre en bon état**	**Total**
MaFa	3.71206226	2.38132296	9.59533074	2.31128405	18
TaNo	3.71206226	2.38132296	9.59533074	2.31128405	18
NiNa	5.56809339	3.57198444	14.3929961	3.46692607	27
TaJa	3.71206226	2.38132296	9.59533074	2.31128405	18
NaTe	5.98054475	3.83657588	15.459144	3.72373541	29
VaRR	5.77431907	3.70428016	14.92607	3.59533074	28
TaTr	3.71206226	2.38132296	9.59533074	2.31128405	18
FiNa	5.56809339	3.57198444	14.3929961	3.46692607	27
Ca²N	5.77431907	3.70428016	14.92607	3.59533074	28
TaEl	5.77431907	3.70428016	14.92607	3.59533074	28
MaTe	3.71206226	2.38132296	9.59533074	2.31128405	18
Total	53	34	137	33	257

Différences relatives :

	Nombre d'arbres morts	**Nombre d'arbres en mauvais état**	**Nombre d'arbre en état normal**	**Nombre d'arbre en bon état**
MaFa	1.41017546	0.06106152	0.03693658	0.74394398
TaNo	0.78963039	18.3960288	3.26280844	0.20522344
NiNa	0.03350219	0.05128727	0.02559952	0.62068589
TaJa	0.4468631	0.16073472	2.20076464	3.12778236
NaTe	0.68191105	0.18241766	0.0136368	0.14066331
VaRR	0.00882041	0.78411209	0.63305648	0.70788485
TaTr	0.02233479	1.10027721	3.26280844	5.88704162
FiNa	0.44160841	3.57198444	5.14698367	3.46692607
Ca²N	0.00882041	0.133902	0.0574569	0.54879394
TaEl	0.54520855	0.78411209	1.72481874	0.70788485

MaTe	0.78963039	0.06106152	0.01706634	1.23384297

- P Value : 0.00027431
- Seuil à 0.05 : 43.7729718
- Seuil à P Value (somme des différences relatives) : 64.23

➔ RH0

10.3.3. Sur les porte-greffes.

Effectifs observés :

	Nombre d'arbres morts	Nombre d'arbres en mauvais état	Nombre d'arbre en état normal	Nombre d'arbre en bon état	Total
PG1	24	16	37	7	84
PG3	5	10	10	5	30
PG4	8	6	33	7	54
PG2	10	4	56	14	84
Total	47	36	136	33	252

Effectifs théoriques :

	Nombre d'arbres morts	Nombre d'arbres en mauvais état	Nombre d'arbre en état normal	Nombre d'arbre en bon état	Total
PG1	15.6666667	12	45.3333333	11	84
PG3	5.5952381	4.28571429	16.1904762	3.92857143	30
PG4	10.0714286	7.71428571	29.1428571	7.07142857	54
PG2	15.6666667	12	45.3333333	11	84
Total	47	36	136	33	252

Différences relatives :

	Nombre d'arbres morts	Nombre d'arbres en mauvais état	Nombre d'arbre en état normal	Nombre d'arbre en bon état
PG1	4.43262411	1.33333333	1.53186275	1.45454545
PG3	0.0633232	7.61904762	2.36694678	0.29220779
PG4	0.4260385	0.38095238	0.5105042	0.0007215
PG2	2.04964539	5.33333333	2.50980392	0.81818182

- P Value : 0.00028198
- Seuil à 0.05 : 16.91
- Seuil à P Value (somme des différences relatives) : 31.12

➔ RH0