

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université du 20 Août 1955-Skikda
Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master

THÈME

« Monitoring du virus CTV dans Quelques vergers d'agrumes de la commune d'El-Hadaiek »

Présenté par :

Mokhbi Yassine

Zeglil Manel

Gadouche Aya

Lakhchine Raid Mohieddine

Encadré Par:

Prof, Larbi Djamila

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier الله Tout-Puissant qui nous a permis de mener à bien ce travail.

الحمد لله

Table de matières

Liste des tableaux.....	5
Liste des figures.....	6
Liste d'abréviations.....	7
Introduction.....	8-9
Revue de la littérature :	
CHAPITRE 1 : LES AGRUMES DANS LE MONDE ET EN ALGERIE.....	10-20
1.1 Histoire et origine des agrumes des agrumes.....	11-14
-1.1.1 Histoire Des Agrumes.....	11-12
-1.1.2 Origine Des Agrumes.....	13-14
1.2 Les agrumes dans le monde.....	15-17
1.3 Les agrumes en Algérie.....	18-19
1.4 Les agrumes dans la wilaya de Skikda.....	20-21
CHAPITRE 2 : ETUDE DES AGRUMES.....	22-33
2.1 Taxonomie des agrumes.....	23
- 2.1.1 Famille des Rutacées et Genre Citrus.....	23
- 2.1.2 Origine et Centres de Diversité.....	23
- 2.1.3 Classification et Identification des Agrumes.....	24
- 2.1.4 Importance de la Taxonomie dans l'Agrumiculture.....	25
- 2.1.5 Évolution et Hybridation.....	25
2.2 Les espèces et variétés des agrumes.....	25-27
2.3 Les portes greffes des agrumes.....	28-30
2.4 L'entretien et soins des agrumes.....	30-33
CHAPITRE 3 : LES MALADIES ET RAVAGEURS DES AGRUMES.....	34-45
3.1 Les Maladies.....	35
3.2 Les Maladies Abiotiques.....	35
- 3.2.1 Déficit hydrique et stress thermique.....	35
- 3.2.2 Salinité des sols.....	35
3.3 Les Maladies Biotiques.....	36
-3.3.1 Virale.....	36

-3.3.2 Viroïde.....	37
-3.3.3 Bactérien.....	38
-3.3.4 Champignons.....	39
-3.3.5 Phytoplasmes.....	40
3.4 Les Ravageurs.....	41
- 3.4.1 Pucerons.....	41
-3.4.2 Cochenilles.....	42
-3.4.3 Mineuse.....	42-43
3.5 Autres Organismes Nuisibles.....	44-45
-3.5.1 Nématodes.....	44-45
-3.5.2 Rats et souris.....	45
CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA TRISTEZA CTV.....	46-68
4.1 Historique et Distribution Mondiale du CTV.....	47-50
4.2 Cycle de Vie et Transmission du CTV.....	51-55
4.3 Symptômes et Diagnostic du CTV.....	56-59
4.4 Méthodes de Détection et de Surveillance.....	60-62
4.5 Stratégies de Prévention et de Contrôle.....	63-66
4.6 Impact du CTV sur la Production d’Agrumes.....	66-68
-4.6.1 Effets sur la Santé et la Vigueur des Arbres.....	66
-4.6.2 Effets sur le Rendement et la Qualité des Fruits.....	67
-4.6.3 Impact Économique.....	68
CHAPITRE : 5 LES MOYENS DE LUTTE.....	69-74
5.1 Méthodes de gestion intégrée des ravageurs.....	70-71
-5.1.1 Sélection de porte-greffes résistants.....	70
-5.1.2 Promotion des ennemis naturels des vecteurs.....	70
-5.1.3 Amélioration des pratiques culturales.....	70

-5.1.4 Surveillance et évaluation continue.....	71
5.2 Utilisation de porte-greffes résistants.....	71-72
-5.2.1 Sélection basée sur la résistance au CTV.....	71
-5.2.2 Avantages en termes de réduction de la charge virale.....	71
-5.2.3 Adaptation aux conditions locales.....	71
-5.2.4 Utilisation dans les programmes de replantation.....	72
5.3 Techniques de diagnostic et de surveillance.....	72-73
-5.3.1 Diagnostic visuel et symptômes.....	72
-5.3.2 Tests sérologiques.....	72
-5.3.3 Techniques moléculaires.....	72
-5.3.4 Tests biologiques.....	73
-5.3.5 Imagerie hyperspectrale et télédétection.....	73
5.4 Impact économique et gestion des pertes.....	73-74
-5.4.1 Pertes de production.....	73
-5.4.2 Coûts de remplacement des arbres.....	73
-5.4.3 Coûts de gestion de la maladie.....	74
-5.4.4 Répercussions sur l'industrie.....	74

Partie Expérimentale

1. Zone d'Étude.....	76
2. Matériels et Méthodes.....	77-82
-2.1 Matériel Végétale Utilise.....	77
-2.1.1 Caractéristiques des Vergers étudié.....	78
2.2 Méthode de travail	78
2.2.1 Prospection Sur les Vergers Présentent des Symptômes Associés à la maladie de la tristezza	78-79
-2.2.2 Échantillonnage et collecte des fleurs fermées.....	79-81
-2.2.3 Analyse Au laboratoire.....	81-82
3. Résultats et Discussion.....	82-86

Conclusion.....88

Références bibliographiques.....89-91

Liste des tableaux

Tableau 1 : classification des principaux producteurs et leur part 2016/2017 (USDA, 2016)

Tableau 2 : la production des agrumes pendant campagne 2007-2012 dans la wilaya de Skikda (Anonyme)

Liste des figures

Figure 1 : Répartition mondiale des agrumes. * Origine et zone de distribution principale. Zones de distribution secondaire et de diversification (Praloran, 1971)

Figure 2 : la production des agrumes dans le monde (FAO, 2013)

Figure 3 : Pays producteurs d'agrumes dans le monde (treatt.com/2022)

Figure 4 : Diagramme illustrant la production des agrumes en Algérie 2015-2023 (FAO,2023)

Figure 5 : Classification des agrumes et origine génétique des Citrus cultivés (Khelifi, 2015).

Figure 6 : Répartition mondiale du virus de la tristeza des agrumes. Cette carte inclut également les isolats européens (Source : base de données mondiale EPPO, www.eppo.int)

Figure 7 : Dépérissement des nervures et chlorose

Figure 8 : Pitting des tiges

Figure 9 : Anomalies des fruits

Figure 10 : Quick Decline, mort brutale affectant orangers et mandariniers bigaradier. F. Leblanc (Cirad)

Figure 09 : La situation Géographique de l'Université de Skikda 20 aout 1955

Figure 10 : Verger 1 de citronnier (photo originale)

Figure 11 : Différents symptômes associés à la tristeza (Roistacher 1991)

Figure 12 : Echantillonnage et contrôle sanitaire

Figure 13 : Les échantillons de fleurs fermées collectés

Figure 14 : Préparation des Sections de Fleurs

Figure 15 : Préparation des Membranes (Photo Originale)

Figure 16 : différents symptômes associés à la présence du virus de la tristeza (Roistacher, 1991)

Liste d'abréviations

- CTV - Citrus Tristeza Virus
- ELISA - Enzyme-Linked Immunosorbent Assay
- RT-PCR - Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction
- qPCR - Quantitative Polymerase Chain Reaction
- IPM - Integrated Pest Management

Introduction:

Les agrumes, avec leur diversité variétale et leur importance économique, occupent une place de choix dans le secteur agricole mondial, et particulièrement en Algérie. La commune d'El-Hadaiek, située dans la wilaya de Skikda, est réputée pour abriter des plantations historiques d'agrumes. Ces vergers, certains datant de plusieurs décennies, représentent un patrimoine agricole inestimable, témoignant de la riche tradition de culture des agrumes dans cette région. Toutefois, ces plantations font face à divers défis agronomiques, parmi lesquels le virus de la tristeza des agrumes (CTV) se distingue comme une menace majeure pour la santé des arbres et la productivité des cultures.

Ce travail de recherche se concentre spécifiquement sur la recherche du virus CTV dans les anciennes plantations d'agrumes à El-Hadaiek. En abordant cette problématique, ce projet vise à explorer en profondeur l'histoire et l'origine des agrumes, leur classification botanique, ainsi que les maladies et ravageurs qui les menacent. Un accent particulier sera mis sur l'étude détaillée de la tristeza CTV, en examinant son cycle de vie, ses modes de transmission, les symptômes qu'il induit chez les agrumes, et les stratégies actuelles de prévention et de contrôle qui sont mises en œuvre pour le combattre.

Le chapitre consacré à la tristeza CTV offrira une analyse complète de cette maladie virale dévastatrice. Il détaillera les différentes étapes de l'infection virale, les vecteurs impliqués dans sa propagation, et les impacts physiologiques sur les arbres infectés. Les symptômes caractéristiques, tels que le dépérissement rapide, le jaunissement des feuilles, et la réduction de la vigueur des arbres, seront décrits de manière exhaustive. De plus, les méthodes actuelles de lutte contre le CTV, y compris les approches culturelles, biologiques et chimiques, seront évaluées pour leur efficacité et leur applicabilité dans le contexte des vergers d'El-Hadaiek.

La partie expérimentale de cette thèse se déroulera principalement dans la zone d'étude d'El-Hadaiek, offrant un cadre concret pour la collecte et l'analyse des données. Les matériaux et méthodes utilisés pour la collecte des échantillons, leur préparation et leur analyse seront décrits en détail, garantissant une rigueur scientifique et une reproductibilité des résultats..

En conclusion, cette étude ambitionne de fournir des connaissances enrichies sur la gestion des maladies virales des agrumes, et plus particulièrement du virus de la tristezza des agrumes (CTV). Elle vise également à contribuer à la préservation et à la durabilité des ressources agricoles dans la région d'El-Hadaiek, tout en offrant des perspectives pour une meilleure gestion des vergers d'agrumes dans d'autres régions similaires. Par l'approfondissement de la compréhension des dynamiques virales et l'optimisation des stratégies de lutte, cette recherche aspire à soutenir les agriculteurs locaux et à promouvoir une agriculture durable et résiliente face aux défis phytosanitaires.

**CHAPITRE 1 : LES
AGRUMES DANS LE
MONDE ET EN
ALGERIE**

1.1 Histoire et origine des agrumes des agrumes

1.1.1 Histoire Des Agrumes

Les agrumes ont une histoire longue et riche qui remonte à des milliers d'années. Originaires d'Asie du Sud-Est, notamment des régions qui font aujourd'hui partie de l'Inde, de la Chine et de la Malaisie, les agrumes sont cultivés depuis l'Antiquité. La première mention enregistrée des agrumes remonte à environ 310 av. J.-C. dans la littérature chinoise, ce qui témoigne de leur importance dans les pratiques agricoles et les régimes alimentaires anciens (Colombe, 2004).

La diffusion des agrumes depuis leurs régions d'origine vers d'autres parties du monde a été facilitée par les routes commerciales et les explorations. Pendant l'époque de l'Empire romain, des agrumes tels que les citrons et les cédrats ont été introduits dans le bassin méditerranéen. Les Romains ont particulièrement apprécié ces fruits non seulement pour leurs utilisations culinaires, mais aussi pour leurs propriétés médicinales.

Pendant l'Âge d'or islamique, du VIII^e au XIV^e siècle, les commerçants arabes et les agriculteurs ont largement diffusé les agrumes à travers le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord et certaines parties de l'Europe. Les techniques de culture et les connaissances agricoles partagées par les Arabes ont considérablement influencé la dispersion et la diversité des variétés d'agrumes.

L'ère des grandes découvertes, aux XV^e et XVI^e siècles, marque une période significative pour la distribution mondiale des agrumes. Les explorateurs portugais et espagnols ont introduit les agrumes dans les Amériques, apportant des oranges, des citrons et des citrons verts dans le Nouveau Monde. Ces fruits se sont rapidement adaptés aux nouveaux climats et sont devenus essentiels dans les régimes alimentaires et les économies de diverses régions.

A l'époque moderne, la culture des agrumes est devenue une entreprise mondiale. Des pays comme le Brésil, les États-Unis (notamment la Floride et la Californie), la Chine et l'Inde sont aujourd'hui parmi les plus grands producteurs d'agrumes. Le développement de nouvelles variétés et l'amélioration des techniques de culture ont encore augmenté la production et élargi la disponibilité de ces fruits tout au long de l'année.

Les agrumes continuent d'être appréciés pour leurs bienfaits nutritionnels, notamment leur teneur élevée en vitamine C, en antioxydants et en autres nutriments essentiels. Leurs saveurs diverses et leurs utilisations en cuisine, dans les boissons et même dans des produits non alimentaires comme les huiles essentielles soulignent leur popularité durable et leur importance économique.

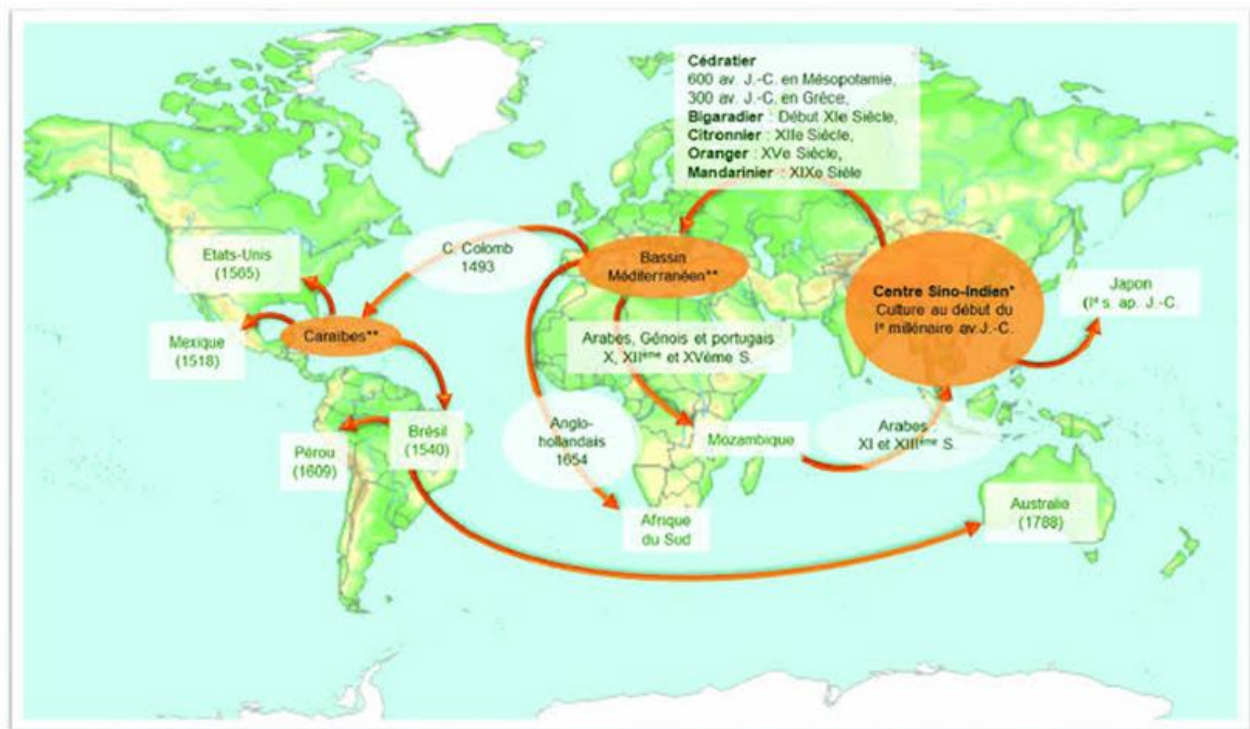


Figure 1 : Répartition mondiale des agrumes. * Origine et zone de distribution principale. Zones de distribution secondaire et de diversification (Praloran, 1971)

1.1.2 Origine Des Agrumes

L'origine des agrumes peut être retracée dans une région d'Asie du Sud-Est comprenant des parties du nord-est de l'Inde, du sud de la Chine et de la Malaisie. Ces zones sont considérées comme les centres primaires de diversité des espèces d'agrumes. Des études génétiques et des preuves archéologiques suggèrent que les agrumes sont cultivés et consommés dans ces régions depuis des milliers d'années.

Les agrumes appartiennent au genre *Citrus* de la famille des Rutacées. Les espèces les plus courantes et économiquement importantes, telles que les oranges (*Citrus sinensis*), les citrons (*Citrus limon*), les limes (*Citrus aurantiifolia*) et les pamplemousses (*Citrus paradisi*), sont censées avoir pour origine quelques ancêtres sauvages. Parmi ces espèces ancestrales, on trouve le cédrat (*Citrus medica*), la mandarine (*Citrus reticulata*) et le pomelo (*Citrus maxima*).

La domestication et la culture des agrumes ont probablement débuté avec le cédrat, l'une des premières espèces d'agrumes mentionnées dans les textes historiques. Des documents anciens chinois datant d'environ 310 av. J.-C. décrivent la culture des cédrats. Les mandarines et les pomelos ont suivi, des preuves de leur utilisation et de leur culture ayant été trouvées dans les civilisations anciennes chinoises et indiennes.

La diffusion des agrumes depuis l'Asie du Sud-Est vers d'autres parties du monde s'est étalée sur plusieurs millénaires, facilitée par le commerce, la migration et l'exploration. À mesure que les agrumes étaient introduits dans de nouvelles régions, ils étaient souvent hybridés avec des espèces locales, ce qui a conduit au développement de nouvelles variétés. Cette hybridation, associée à la sélection par les humains, a abouti à la diversité actuelle des agrumes que nous connaissons aujourd'hui.

A l'époque de l'Empire romain, des agrumes tels que les cédrats et les citrons étaient bien connus dans la région méditerranéenne. Les Romains ont joué un rôle essentiel dans la diffusion de la culture des agrumes à travers leur empire, y compris dans le sud de l'Europe et en Afrique du Nord. L'expansion islamique à partir du VIIe siècle a ensuite largement diffusé les agrumes à travers le Moyen-Orient, la Méditerranée et certaines parties de l'Europe. Les commerçants

arabes et les agriculteurs ont joué un rôle crucial dans l'amélioration des techniques de culture et l'expansion de la gamme d'agrumes.

Pendant l'ère des grandes découvertes, les explorateurs et les colonisateurs européens ont introduit les agrumes dans le Nouveau Monde. Les explorateurs espagnols et portugais ont introduit les agrumes en Amérique au XVe et XVIe siècles, où les fruits se sont rapidement adaptés aux climats favorables de régions comme la Floride, la Californie et les Caraïbes. Ces introductions ont marqué le début de la culture des agrumes à grande échelle dans l'hémisphère occidental.

Aujourd'hui, les agrumes sont cultivés dans des régions subtropicales et tropicales du monde entier. Les progrès réalisés dans les pratiques horticoles, la gestion des ravageurs et la technologie post-récolte ont permis de produire des agrumes de haute qualité tout au long de l'année. Des pays comme le Brésil, les États-Unis, la Chine et l'Inde figurent parmi les principaux producteurs d'agrumes, contribuant de manière significative à l'approvisionnement mondial de ces fruits nutritifs et polyvalents.

1.2 Les agrumes dans le monde

Les agrumes, originaires d'Asie du Sud-Est, jouent un rôle crucial dans l'économie agricole mondiale et sont cultivés dans des zones tropicales et subtropicales à travers le globe. Avec une production annuelle dépassant les 115 millions de tonnes (figure2), les agrumes, notamment les oranges, les mandarines, les citrons, les limes et les pamplemousses, sont essentiels à la fois pour leur valeur nutritionnelle et économique. La Chine est le leader mondial de la production d'agrumes, suivie par le Brésil, l'Inde, les États-Unis et le Mexique. La Chine se distingue par sa production variée, incluant oranges, mandarines et pomelos, tandis que le Brésil est particulièrement renommé pour ses oranges, principalement destinées à la production de jus. En Inde, la diversité des agrumes cultivés inclut les oranges, les citrons et les limes, avec une concentration notable dans les États de Maharashtra et Tamil Nadu.

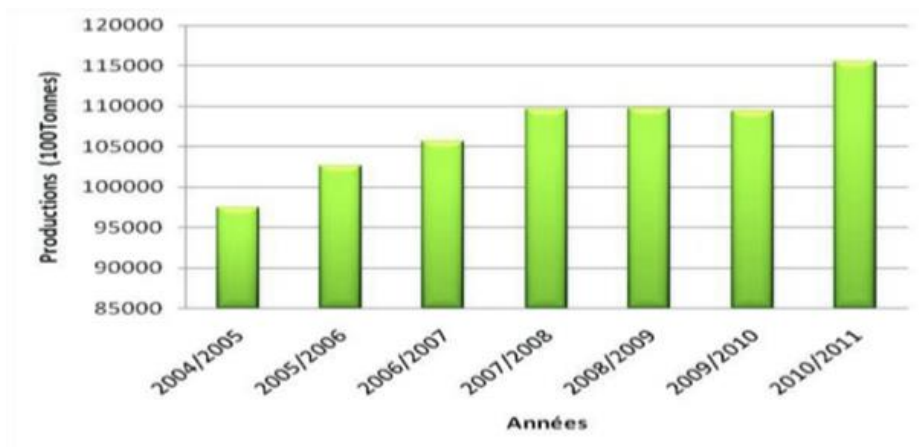


Figure 2 : la production des agrumes dans le monde (FAO, 2013)

Les États-Unis, notamment la Floride et la Californie, sont des acteurs majeurs dans la production d'oranges et de citrons, respectivement destinés à la consommation de jus et à la consommation fraîche. La Floride, par exemple, produit des oranges de novembre à juin, alors que la Californie s'étend sur une saison plus longue pour ses variétés Navel et Valencia. L'Espagne, quant à elle, est le principal producteur européen, exportant massivement des oranges et des mandarines, avec une saison de production de novembre à mai.

Tableau 1 : classification des principaux producteurs et leur part 2016/2017 (USDA, 2016)

Pays	Production en Tonnes	Part en %
Chine	29500000	34%
Brésil	19217000	22%
Union européen	10766101	13%
Mexique	6775000	7,9%
USD	4601311	5,4%
Egypte	3000000	3,5%
Maroc	2315040	2,7%
Turquie	1399000	1,6%

Le commerce international des agrumes est également significatif, avec des exportations majeures provenant du Brésil, de l'Espagne et des États-Unis, et des importations importantes en Union Européenne, aux États-Unis et au Japon. Les fluctuations des prix sur les marchés internationaux, influencées par les conditions climatiques, la demande et les politiques commerciales, posent des défis constants aux producteurs.

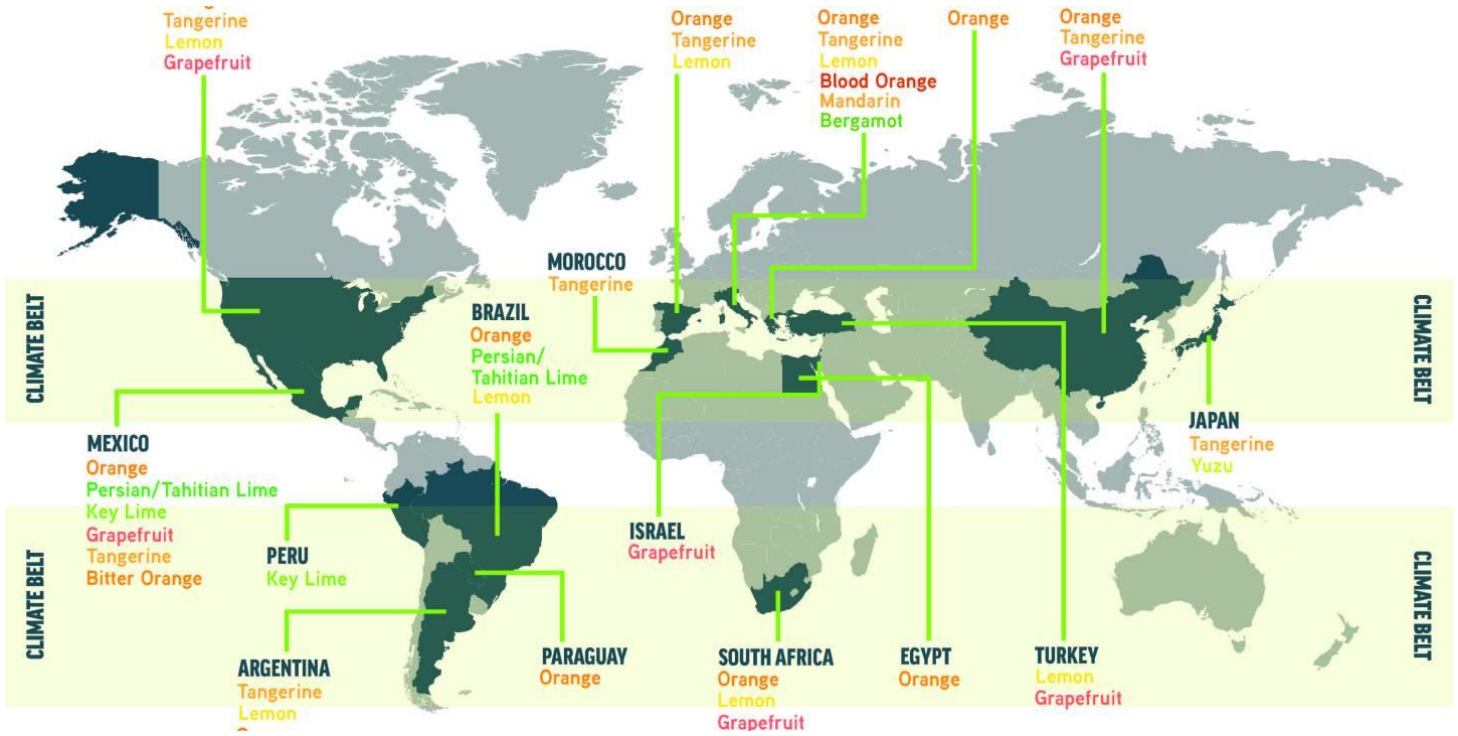


Figure 3 : Pays producteurs d'agrumes dans le monde (treatt.com/2022)

1.3 Les agrumes en Algérie

La culture des agrumes en Algérie a une longue histoire, marquée par plusieurs phases de développement significatives. À partir du XIV^{ème} siècle, l'arrivée des musulmans d'Andalousie a stimulé l'essor de cette agriculture. Au XIX^{ème} siècle, avec le déclin de l'agrumiculture espagnole, le commerce des produits agrumicoles en Algérie a pris son essor.

Dans les années soixante, l'Algérie exportait en moyenne 25% de sa production d'agrumes. Cependant, dans les années 1970 et 1980, la priorité s'est orientée vers la satisfaction de la demande du marché intérieur, entraînant une régression de l'agrumiculture marquée par un arrêt du développement et une perte de savoir-faire due au délaissement des vergers.

À partir de la fin des années 80 jusqu'en 1999, l'agrumiculture a subi une période de déclin, mais depuis l'avènement des programmes de relance à partir de 1999, le secteur agrumicole, tout comme d'autres filières agricoles, a bénéficié de mesures incitatives significatives sur les plans financiers, socio-économiques, technico-scientifique et organisationnels.

Le programme de renouvellement économique et rural vise à augmenter et améliorer la qualité de la production pour répondre aux besoins de la population et favoriser les exportations. Ces dernières années, un regain d'intérêt pour l'agrumiculture a été observé, soutenu par le programme national de développement agricole. Ainsi, la superficie agrumicole totale a augmenté, passant de 46,010 hectares en 2000 à 64,766 hectares en 2013, soit une progression de 30%, selon les données les plus récentes du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Cette expansion en superficie s'accompagne d'une augmentation notable de la production agrumicole. En 2013, la production totale d'agrumes a atteint 1, 204,801 tonnes, toutes variétés confondues (MADRP, 2013). Actuellement, l'agrumiculture en Algérie représente un secteur stratégique, couvrant une superficie totale d'environ 58,749 hectares et produisant environ 1, 203,752 tonnes d'agrumes par an, selon les dernières statistiques de la FAO (2016).

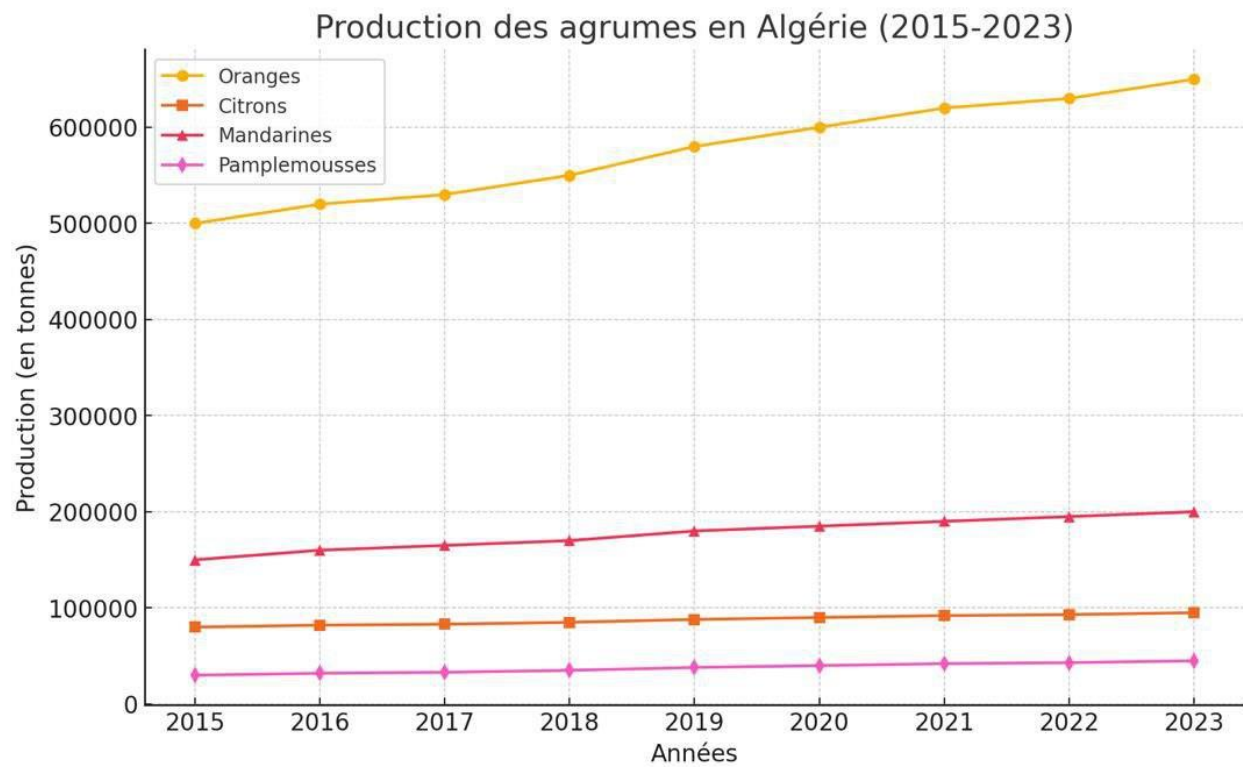


Figure 4 : Diagramme illustrant la production des agrumes en Algérie 2015-2023 (FAO,2023)

1.4 Les agrumes dans la wilaya de Skikda

La wilaya de Skikda, située dans le nord-est de l'Algérie, est renommée pour sa production d'agrumes. Historiquement, cette région a connu un essor notable dans la filière agrumicole durant la période coloniale et continue aujourd'hui de bénéficier d'un environnement propice à cette culture.

Skikda s'étend sur une superficie de 4137,68 km², avec 130 km de côtes, offrant des conditions pédoclimatiques idéales pour l'arboriculture fruitière. Le climat de la wilaya est subhumide, avec des variantes douces et tempérées sur le littoral, favorisant la culture des agrumes.

La filière agrumicole de Skikda a récemment connu une expansion significative. En 2024, la superficie consacrée à la culture des agrumes a atteint 3500 hectares, soit une augmentation de près de 800 hectares par rapport à l'année précédente. Cette extension a permis d'augmenter la production à plus de 630 000 quintaux, avec un rendement moyen de 220 quintaux par hectare.

Malgré ces progrès, la filière agrumicole de Skikda fait face à plusieurs défis. Les vergers vieillissants, les maladies cryptogamiques, et les ravageurs posent des menaces importantes pour les rendements. De plus, l'érosion génétique des variétés d'agrumes nécessite des efforts pour préserver et diversifier les espèces cultivées.

Pour soutenir et développer cette filière, plusieurs initiatives ont été mises en place. Les agriculteurs de la région de Ben Azzouz et du périmètre irrigué du Saf-Saf, par exemple, ont montré un intérêt croissant pour la culture des agrumes. Cet engagement local est crucial pour revitaliser la filière et améliorer la qualité et la quantité de la production agrumicole.

Tableau 2 : la production des agrumes pendant campagne 2007-2012 dans la wilaya de Skikda (Anonyme)

Année	Superficie (ha)	Production (qx)
2007-2008	2098	259700
2008-2009	2142	318900
2009-2010	2226	325265
2010-2011	2277	547500
2011-2012	2307	547700

CHAPITRE 2 : ETUDE DES AGRUMES

2.1 Taxonomie des agrumes

La taxonomie des agrumes est une branche de la botanique qui se concentre sur la classification scientifique des agrumes. Cette classification inclut l'identification, la description, la nomenclature et l'organisation des différentes espèces et variétés d'agrumes. La compréhension de cette taxonomie est cruciale pour la recherche, la culture et la conservation des agrumes

2.1.1 Famille des Rutacées et Genre Citrus

Les agrumes appartiennent à la famille des Rutacées, une grande famille de plantes dicotylédones qui inclut également les genres *Fortunella* (kumquats), *Poncirus* (orangers trifoliés) et *Microcitrus* (agrumes australiens). Le genre Citrus est le plus important et le plus connu au sein des Rutacées en raison de son importance économique et alimentaire.

2.1.2 Origine et Centres de Diversité

Les agrumes trouvent leur origine en Asie du Sud-Est, principalement dans les régions correspondant actuellement à la Chine, l'Inde et la Malaisie. Ces zones sont considérées comme les centres de diversité primaire des agrumes, où l'on trouve une grande variété de formes sauvages.

2.1.3 Classification et Identification des Agrumes

La classification des agrumes repose sur plusieurs critères, incluant des caractéristiques morphologiques (forme et taille des fruits, structure des feuilles, fleurs et graines), des analyses génétiques et des aspects chimiques (composition des huiles essentielles et du jus). Les principales espèces de *Citrus* sont :

Citrus sinensis : Orange douce

Citrus limon : Citron

Citrus aurantiifolia : Lime

Citrus reticulata : Mandarine

Citrus paradisi : Pamplemousse

Citrus medica : Cédrat

Citrus maxima : Pomelo

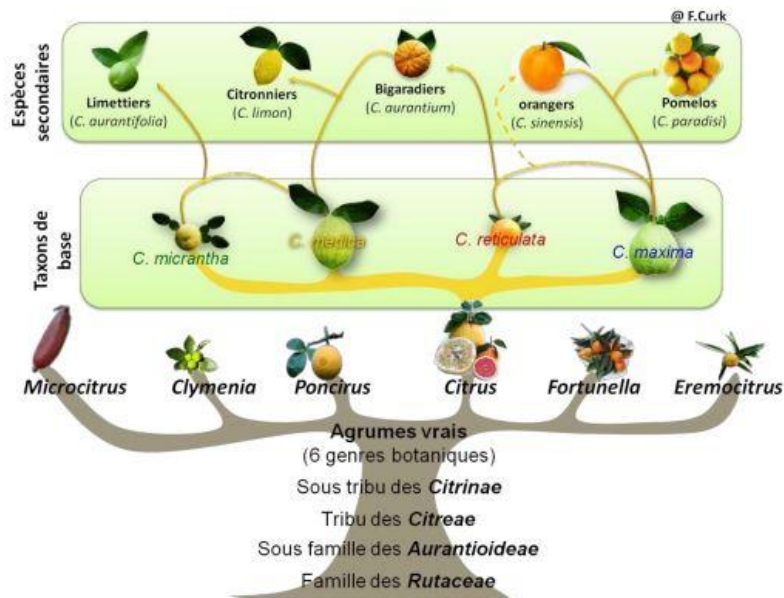


Figure 5 : Classification des agrumes et origine génétique des *Citrus* cultivés (Khelifi, 2015).

2.1.4 Importance de la Taxonomie dans l'Agrumiculture

La taxonomie des agrumes joue un rôle essentiel dans l'agriculture et la gestion des vergers. Elle permet de sélectionner des variétés adaptées aux conditions locales de culture, de contrôler les maladies et les ravageurs spécifiques à certaines espèces, et d'améliorer les techniques de culture pour maximiser les rendements et la qualité des fruits.

2.1.5 Évolution et Hybridation

Les agrumes ont une capacité naturelle à s'hybrider, ce qui a conduit à une grande diversité de variétés et d'hybrides. L'hybridation naturelle et dirigée par l'homme a permis de développer de nouvelles variétés avec des caractéristiques spécifiques, telles que la résistance aux maladies, une meilleure tolérance aux conditions climatiques variées, et des améliorations en termes de saveur

2.2 Les Espèces et Variétés des Agrumes

Les agrumes comprennent une diversité d'espèces et de variétés qui sont cultivées dans le monde entier pour leurs fruits comestibles. Cette section explore les principales espèces de Citrus et leurs variétés, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques distinctives et leur importance économique.

2.2.1 Citrus sinensis (Oranger Doux)

L'oranger doux, *Citrus sinensis*, est l'espèce la plus cultivée parmi les agrumes. Les oranges sont appréciées pour leur saveur sucrée et leur teneur élevée en vitamine C.

- **Variétés populaires :**
 - **Valencia** : Connue pour sa douceur et son jus abondant, utilisée principalement pour le jus.
 - **Navel** : Facile à peler avec peu de pépins, idéale pour la consommation en frais.

- **Blood Orange (Sanguine)** : Caractérisée par sa chair rougeâtre et sa saveur unique.

2.2.2 Citrus limon (Citronnier)

Le citronnier, Citrus limon, produit des citrons qui sont largement utilisés en cuisine, en médecine et dans l'industrie cosmétique.

- **Variétés populaires :**
 - **Eureka** : Une variété commune, disponible toute l'année.
 - **Lisbon** : Très similaire à l'Eureka mais plus résistant au froid.
 - **Meyer** : Un hybride entre un citron et une orange, avec une saveur plus douce.

2.2.3 Citrus aurantiifolia (Lime)

Le lime, Citrus aurantiifolia, est souvent utilisée pour son jus acide et aromatique dans les boissons et la cuisine.

- **Variétés populaires :**
 - **Key Lime** : Petite et très aromatique, couramment utilisée dans les desserts et les cocktails.
 - **Persian Lime** : Plus grande et sans pépins, souvent utilisée commercialement.

2.2.4 Citrus reticulata (Mandarinier)

Le mandarinier, Citrus reticulata, est connu pour ses fruits faciles à peler et à segmenter, appréciés pour leur douceur.

- **Variétés populaires :**
 - **Clementine** : Petite, sucrée, et facile à éplucher, très populaire comme collation.
 - **Tangerine** : Une variété de mandarine avec une peau plus fine et une saveur distincte.

2.2.5 Citrus paradisi (Pamplemoussier)

Le pamplemoussier, *Citrus paradisi*, produit des pamplemousses, qui sont appréciés pour leur saveur légèrement amère et leur teneur en vitamine C.

- **Variétés populaires :**
 - **Ruby Red** : Connu pour sa chair rougeâtre et sa saveur douce-amère.
 - **White** : Caractérisé par une chair pâle et une saveur plus acide.

2.2.6 *Citrus medica* (Cédratier)

Le cédratier, *Citrus medica*, est l'une des espèces d'agrumes les plus anciennes, souvent utilisé pour son zeste épais et parfumé.

- **Variétés populaires :**
 - **Etrog** : Utilisé principalement dans les rituels religieux juifs.
 - **Fingered Citron (Main de Bouddha)** : Connu pour sa forme unique et son arôme puissant.

2.2.7 *Citrus maxima* (Pamplemoussier)

Le pomelo, *Citrus maxima*, est le plus grand des agrumes et est souvent confondu avec le pamplemousse.

- **Variétés populaires :**
 - **Chandler** : Connu pour sa grande taille et sa saveur douce.
 - **Red Shaddock** : Caractérisé par une chair rosée et une saveur sucrée.

Et de texture des fruits.

2.3 Les Portes-Greffes des Agrumes

Les porte-greffes jouent un rôle crucial dans la culture des agrumes, influençant la croissance, la productivité, la résistance aux maladies et l'adaptation aux conditions environnementales. Le choix du porte-greffe peut grandement affecter la réussite d'une plantation d'agrumes. Cette section explore les principaux types de porte-greffes utilisés pour les agrumes et leurs caractéristiques.

2.3.1 Importance des Porte-Greffes

Les porte-greffes sont essentiels pour plusieurs raisons :

- **Adaptation au Sol** : Ils permettent aux agrumes de s'adapter à différents types de sols, qu'ils soient sablonneux, argileux ou calcaires.
- **Résistance aux Maladies** : Certains porte-greffes offrent une meilleure résistance aux maladies comme la tristeza, le Phytophthora et la gommose.
- **Vigueur et Croissance** : Ils influencent la vigueur de l'arbre, sa taille finale et sa capacité à absorber les nutriments.
- **Tolérance au Stress Environnemental** : Certains porte-greffes améliorent la tolérance des agrumes à la sécheresse, au froid ou à la salinité.

2.3.2 Types de Porte-Greffes Utilisés pour les Agrumes

1. **Poncirus trifoliata** : résistant au froid et aux maladies du sol, il est souvent utilisé dans les régions où les hivers sont rigoureux. Offre une bonne tolérance au Phytophthora et au

nématode des agrumes. Convient aux sols humides. Peut être moins tolérant aux sols salins et au calcaire. (la même chose les autres)

2. **Citrus aurantium (Bigaradier)** : Historiquement utilisé comme porte-greffe principal pour les agrumes. Résistant à la gommosse et à la tristeza. Adapté aux sols calcaires. Sensible au virus de la tristeza, ce qui limite son utilisation dans les zones infectées.

3. **Citrangle Carrizo** : Hybride entre *Poncirus trifoliata* et *Citrus sinensis*. Bon compromis entre tolérance au froid, résistance aux maladies et adaptation aux sols variés. Peut être sensible à la salinité élevée.

4. **Citrangle Troyer** : Similaire au Carrizo avec des différences mineures. Bonne tolérance au froid et au Phytophthora. Utilisé dans diverses conditions de sol. Moins adapté aux sols salins et alcalins.

5. **Citrus volkamerian** : **Connu** pour sa vigueur et sa croissance rapide. Utilisé pour sa tolérance à la sécheresse et à la salinité. Moins résistant au Phytophthora et à certaines maladies du sol.

2.3.3 Sélection du Porte-Greffe

La sélection du porte-greffe dépend de plusieurs facteurs :

- **Conditions Climatiques** : Les porte-greffes doivent être choisis en fonction de la température moyenne, des risques de gel et des conditions de précipitation.

- **Type de Sol** : La composition et la texture du sol, ainsi que sa capacité de rétention d'eau et sa salinité, influencent le choix du porte-greffe.
- **Prévalence des Maladies** : Les régions avec une forte incidence de certaines maladies nécessitent des porte-greffes résistants à ces pathogènes.
- **Objectifs de la Production** : Selon que l'objectif est une production rapide, une longévité accrue ou une résistance aux stress, le choix du porte-greffe peut varier.

2.4 L'entretien et soins des agrumes

L'entretien et les soins des agrumes sont des aspects essentiels pour garantir la santé, la productivité et la longévité des vergers. Les pratiques culturales appropriées, la gestion des ressources et la prévention des maladies et des ravageurs jouent un rôle crucial dans la réussite de la culture des agrumes.

2.4.1 Irrigation

Description : L'irrigation est indispensable pour les agrumes, particulièrement dans les régions où les précipitations naturelles sont insuffisantes pour répondre aux besoins en eau des arbres. Les agrumes nécessitent une quantité d'eau régulière et adéquate pour maintenir leur croissance, leur floraison et leur fructification. L'irrigation joue un rôle crucial dans la régulation de la température du sol et dans l'absorption des nutriments.

Techniques d'Irrigation:

- **Irrigation au Goutte-à-Goutte** : Fournit de l'eau directement aux racines des arbres, réduisant ainsi les pertes par évaporation et améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Ce système permet un contrôle précis de l'apport en eau et en nutriments, réduisant le stress hydrique et favorisant une croissance uniforme des arbres.

- **Irrigation par Aspersion** : Utilisée pour arroser uniformément les vergers, bien que moins efficace que le goutte-à-goutte en termes de conservation de l'eau. Cette technique est particulièrement utile pour les jeunes plantations et les pépinières où une couverture homogène est nécessaire.
- **Irrigation par Bassins** : Méthode traditionnelle consistant à inonder des bassins creusés autour des arbres, nécessitant une gestion précise pour éviter le gaspillage d'eau et l'engorgement des racines. Cette technique, bien que moins courante, peut être efficace dans des conditions spécifiques où l'eau est abondante.

2.4.2 Fertilisation

Description : Les agrumes ont besoin de nutriments essentiels pour leur croissance et leur production de fruits. La fertilisation vise à fournir ces nutriments de manière équilibrée pour optimiser la santé des arbres et la qualité des fruits. Une fertilisation adéquate améliore la résistance des arbres aux maladies et aux conditions environnementales stressantes.

Types de Fertilisants:

- **Engrais Organiques** : Comme le compost et le fumier, qui améliorent la structure du sol et la capacité de rétention d'eau. Ces engrais libèrent lentement les nutriments, favorisant une fertilité durable du sol.
- **Engrais Minéraux** : Fournissent des nutriments spécifiques tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Les formulations NPK (Azote-Phosphore-Potassium) sont couramment utilisées pour répondre aux besoins nutritionnels des agrumes. L'azote favorise la croissance végétative, le phosphore stimule le développement des racines et des fruits, et le potassium améliore la qualité des fruits et la résistance aux maladies.

Plan de Fertilisation :

Un plan de fertilisation bien élaboré prend en compte les analyses de sol et de feuilles pour déterminer les carences nutritionnelles et ajuster les doses d'engrais en conséquence. La fertilisation doit être effectuée à des moments clés du cycle de croissance, notamment avant la floraison et pendant le développement des fruits. L'utilisation de techniques de fertilisation foliaire peut également être bénéfique pour corriger rapidement les carences en nutriments.

2.4.3 Taille

Description : La taille des agrumes est une pratique culturelle importante visant à maintenir la forme des arbres, à améliorer la pénétration de la lumière et de l'air, et à augmenter la production de fruits. Une taille adéquate favorise une répartition équilibrée des branches et des fruits, réduisant ainsi le risque de cassure et de maladies.

Types de Taille:

- **Taille de Formation :** Réalisée sur les jeunes arbres pour établir une structure robuste et bien équilibrée. Cette taille permet de former un tronc solide et des branches principales bien espacées, facilitant les interventions futures et la récolte des fruits.
- **Taille d'Entretien :** Consiste à enlever les branches mortes, malades ou endommagées, ainsi que les rejets non productifs. Cette taille aide à prévenir la propagation des maladies et à améliorer la ventilation et l'ensoleillement de la canopée.
- **Taille de Production :** Vise à stimuler la production de fruits en réduisant la densité de la canopée et en favorisant la croissance de nouvelles pousses fructifères. Cette taille est essentielle pour maintenir un équilibre entre la croissance végétative et la production de fruits.

2.4.4 Protection Contre les Maladies et les Ravageurs

Description : La protection des agrumes contre les maladies et les ravageurs est cruciale pour maintenir la santé des arbres et assurer une production stable. Les agrumes sont sensibles à plusieurs maladies fongiques, bactériennes et virales, ainsi qu'à divers insectes ravageurs. Une gestion intégrée des maladies et des ravageurs est essentielle pour minimiser les pertes et les dommages.

Méthodes de Protection:

- **Surveillance et Diagnostic :** Une surveillance régulière des arbres pour détecter précocement les signes de maladies ou de ravageurs. Des diagnostics précis permettent une intervention rapide et efficace. L'utilisation de pièges à insectes, de tests de laboratoire et d'observations visuelles aide à identifier les problèmes à un stade précoce.
- **Méthodes de Contrôle Biologique :** Utilisation d'organismes bénéfiques tels que les prédateurs naturels et les parasitoïdes pour contrôler les populations de ravageurs. Par exemple, l'introduction de coccinelles pour lutter contre les pucerons ou l'utilisation de champignons entomopathogènes pour contrôler les insectes nuisibles.
- **Traitements Phytosanitaires :** Application de fongicides, insecticides et bactéricides appropriés, en respectant les doses recommandées et les périodes de sécurité pour minimiser l'impact sur l'environnement et la santé humaine. L'utilisation de produits phytosanitaires homologués et la rotation des substances actives sont des pratiques importantes pour éviter le développement de résistances.

Mesures Préventives :

L'adoption de pratiques culturales saines, telles que la rotation des cultures, l'élimination des débris végétaux infectés et le choix de variétés résistantes, contribue à réduire l'incidence des maladies et des ravageurs dans les vergers. L'utilisation de paillis organiques, la gestion de l'irrigation pour éviter l'excès d'humidité et la plantation de haies pour favoriser la biodiversité sont également des stratégies efficaces.

CHAPITRE 3 : LES
MALADIES ET
RAVAGEURS DES
AGRUMES

3.1 Les Maladies

Les agrumes sont vulnérables à un large éventail de maladies, qui peuvent être classées en deux catégories principales : les maladies abiotiques et les maladies biotiques. Chacune de ces catégories présente des défis distincts pour les producteurs d'agrumes, nécessitant une gestion attentive pour prévenir les pertes de rendement et maintenir la santé des vergers.

3.1.1 Les Maladies Abiotiques

Les maladies abiotiques des agrumes sont causées par des facteurs environnementaux non vivants. Elles peuvent avoir un impact significatif sur la croissance, la santé et la productivité des arbres.

- **Déficit hydrique et stress thermique** : Les agrumes sont sensibles aux périodes prolongées de sécheresse ainsi qu'aux variations extrêmes de température. Un déficit hydrique prolongé peut entraîner un stress hydrique sévère, compromettant la capacité des arbres à absorber l'eau et les nutriments essentiels du sol. De même, des températures élevées ou basses peuvent causer un stress thermique, affectant la physiologie des plantes et réduisant leur croissance et leur rendement.
- **Salinité des sols** : La salinité excessive dans le sol est un problème courant dans les zones arides et semi-arides où l'irrigation est nécessaire pour la culture des agrumes. L'accumulation de sels dans le sol peut affecter négativement la capacité des racines à absorber l'eau, entraînant un flétrissement des feuilles, une réduction de la croissance et une diminution de la qualité des fruits. La gestion de la salinité implique souvent des pratiques d'irrigation adaptées et l'utilisation de techniques de drainage pour réduire l'accumulation de sels.

3.1.2 Les Maladies Biotiques

Les maladies biotiques des agrumes sont causées par des organismes vivants tels que des champignons, des bactéries, et des virus. Ces maladies peuvent se propager rapidement dans les vergers et causer des pertes économiques significatives si elles ne sont pas contrôlées efficacement.

3.3.1 Maladies Virales

Les maladies virales représentent un défi majeur pour la culture des agrumes, affectant sévèrement la santé des arbres et la qualité des fruits. Ces maladies sont causées par des virus spécifiques aux agrumes, qui se propagent principalement par des vecteurs insectes, la greffe et le matériel de propagation contaminé. Voici une analyse approfondie des principales maladies virales des agrumes.

Virus de la Tristeza des Agrumes (CTV)

Le Virus de la Tristeza des Agrumes (CTV) est l'une des maladies virales les plus dévastatrices pour les agrumes. Ce virus, transmis par les pucerons, provoque divers symptômes tels que le dépérissement rapide, le jaunissement des feuilles et la réduction de la taille des fruits. Les arbres infectés par le CTV présentent souvent des problèmes de transport des nutriments, conduisant à une baisse significative de la productivité et, dans les cas graves, à la mort des arbres (Moreno et al. 2008).

Virus de la *Psorose*

La *psorose* est une maladie virale qui se manifeste par des lésions sur l'écorce des troncs et des branches, ainsi que par un déclin général de la vigueur de l'arbre. Les arbres atteints de psorose peuvent montrer des signes de dégénérescence progressive, avec des symptômes visibles souvent plusieurs années après l'infection initiale. La gestion de cette maladie nécessite une surveillance rigoureuse et l'élimination des arbres infectés pour prévenir la propagation (Duran-Vila et al. 1993).

3.3.2 Viroïde

Les viroïdes sont de petites molécules d'ARN non encapsidées qui infectent les plantes, provoquant divers symptômes et affectant la santé des agrumes. Contrairement aux virus, les viroïdes ne codent pas pour des protéines et ne sont pas enveloppés dans une capsidie protéique, ce qui les rend particulièrement difficiles à détecter et à contrôler (Flores et al. 2014).

Caractéristiques des Infections par Viroïdes

Les viroïdes interfèrent avec le métabolisme cellulaire des agrumes, perturbant la synthèse des protéines et l'expression des gènes. Ils sont souvent associés à des symptômes tels que la déformation des feuilles, la chlorose, la nécrose vasculaire, et des retards de croissance chez les agrumes infectés (Di Serio et al. 2018).

Principaux Viroïdes Affectant les Agrumes

***l'Exocortis* des Agrumes (CEVd)**

L'exocortis des agrumes (CEVd) est un viroïde qui cause des fissures profondes et des desquamations sur les troncs et les branches des arbres infectés. Il est principalement transmis par le matériel de greffe contaminé et peut survivre longtemps dans les pépinières et les vergers, rendant la gestion de cette maladie particulièrement difficile (Roistacher, 1991).

La Cachexie-Xyloporosis

Ce viroïde s'attaque principalement les porte-greffes et peut causer des symptômes variés allant du dépérissement des branches à la déformation des fruits. La transmission se fait par le matériel de propagation contaminé, et il n'existe actuellement aucun traitement efficace, ce qui souligne l'importance de l'utilisation de matériel de greffe sain et certifié (Müller & Garnsey, 1984).

3.3.3 Bactériens

Les maladies bactériennes des agrumes sont principalement causées par des pathogènes tels que les bactéries, qui affectent la santé et la productivité des arbres fruitiers. Ces infections peuvent se propager rapidement dans les vergers, nécessitant une gestion proactive pour minimiser les pertes économiques et maintenir la durabilité des cultures.

Principaux Pathogènes Bactériens Affectant les Agrumes

- *Xanthomonascitrisubsp. citri* (Xcc) : Xcc est l'agent causal de la maladie des taches noires des agrumes (*citrus canker*), caractérisée par des lésions nécrotiques sur les feuilles, les fruits et les tiges des agrumes. Cette maladie réduit la qualité des fruits et peut entraîner des restrictions commerciales sur le commerce international des agrumes (Graham et al. 2004).
- *Candidatus Liberibacter spp.* : Les bactéries du genre *Candidatus Liberibacter*, telles que *Candidatus Liberibacter asiaticus*, sont responsables de la maladie du *Huanglongbing* (HLB), ou le greening des agrumes. HLB entraîne un déclin rapide des arbres, une diminution de la production de fruits et une altération de la qualité des fruits, constituant une menace majeure pour l'industrie agrumicole mondiale (Bové, 2006).

Gestion des Maladies Bactériennes

La gestion des maladies bactériennes des agrumes implique des pratiques intégrées telles que la gestion de la plantation, le contrôle des vecteurs, l'utilisation de variétés résistantes, et des stratégies de quarantaine pour prévenir la propagation des pathogènes. Des méthodes de diagnostic précises et des interventions rapides sont essentielles pour limiter l'impact des maladies bactériennes sur les vergers (Graham et al. 2004).

3.3.4 Champignons

Les maladies fongiques sont parmi les plus courantes et destructrices pour les agrumes, causant des pertes de rendement importantes et affectant la qualité des fruits. Les champignons pathogènes infectent diverses parties de l'arbre, notamment les feuilles, les branches, les fruits et les racines.

Caractéristiques des Maladies Fongiques

Les agents pathogènes fongiques sont des organismes eucaryotes qui se propagent par des spores. Ils peuvent infecter les agrumes par des blessures ou des ouvertures naturelles, et leur propagation est favorisée par des conditions environnementales telles que l'humidité élevée et des températures modérées à chaudes.

Principales Maladies Fongiques des Agrumes

Les maladies fongiques des agrumes sont nombreuses, mais certaines des plus importantes incluent la pourriture brune, la fumagine et la gale verruqueuse.

- **Pourriture brune (causée par *Phytophthora spp.*)** : La pourriture brune est une maladie fongique majeure qui affecte les fruits, les racines et les troncs des agrumes. Les symptômes incluent des lésions brun foncé à noires sur les fruits, souvent associées à une odeur désagréable. Les infections du tronc peuvent entraîner la gommose, où une substance gommeuse suinte de l'écorce infectée. La pourriture des racines peut causer un

déclin progressif de l'arbre, aboutissant à la mort si elle n'est pas contrôlée. La maladie se propage par l'eau de surface, le sol contaminé et les outils agricoles (Whiteside, 1976).

- **Fumagine (causée par *Capnodiumcitri*)** : La fumagine se développe sur les exsudats sucrés produits par les insectes suceurs de sève tels que les pucerons et les cochenilles. Elle se manifeste par un dépôt noir fuligineux sur les feuilles et les fruits, ce qui réduit la photosynthèse et la qualité des fruits. Bien que la fumagine ne soit pas directement pathogène, elle indique souvent une infestation par des insectes nuisibles qui doivent être contrôlés pour gérer efficacement la fumagine (Graham & Feichtenberger, 2015).

3.3.5 Phytoplasmes

Les phytoplasmes sont des agents pathogènes à propagation limitée qui infectent les agrumes et provoquent divers symptômes débilissants. Ces organismes sont responsables de plusieurs maladies graves affectant la croissance, la santé et la productivité des arbres agrumicoles.

Principales Maladies Causées par les Phytoplasmes

- **Maladie du 'Witches' Broom' (Balai de Sorcière)** : Cette maladie est causée par *CandidatusPhytoplasmaaurantifolia* et se caractérise par une prolifération anormale des rameaux, formant des structures semblables à des balais de sorcière. Elle affecte la vigueur de l'arbre et réduit la qualité des fruits, entraînant des pertes significatives dans les vergers (Lee et al. 2000).

Gestion des Maladies Phytoplasmiques

La gestion des maladies phytoplasmiques repose sur des stratégies intégrées comprenant la surveillance précoce, l'utilisation de plants certifiés exempts de phytoplasmes, le contrôle des vecteurs, et parfois l'élimination des arbres infectés pour limiter la propagation. Les méthodes de diagnostic avancées, telles que la PCR quantitative, sont essentielles pour une détection rapide et précise des phytoplasmes dans les vergers (Lee et al. 2000).

3.4 Les Ravageurs

Les agrumes sont soumis à l'attaque de nombreux ravageurs qui peuvent causer des dommages considérables aux vergers, compromettant ainsi leur santé et leur productivité. Parmi les principaux ravageurs des agrumes, on trouve une variété d'insectes, d'acariens et d'autres organismes nuisibles, chacun ayant un impact spécifique sur les cultures

3.4.1.1 Pucerons

Les pucerons sont des insectes nuisibles courants dans les vergers d'agrumes. Ils appartiennent principalement aux genres *Aphis* et *Toxoptera*. Les pucerons causent des dégâts en suçant la sève des jeunes pousses, ce qui entraîne un affaiblissement général des arbres. De plus, ils excrètent du miellat, une substance collante qui favorise le développement de fumagine, un champignon noir qui réduit la photosynthèse.

Impact sur les Agrumes

Les infestations de pucerons peuvent provoquer la déformation des feuilles et des fruits, ainsi que la transmission de virus tels que le Citrus tristeza virus (CTV). La croissance des arbres infectés peut être sévèrement compromise, ce qui entraîne une diminution de la production de fruits (Michaud, 1998).

Méthodes de Contrôle

La lutte contre les pucerons peut être réalisée par plusieurs méthodes :

- **Biologique** : Introduction de prédateurs naturels comme les coccinelles et les larves de chrysopes qui se nourrissent de pucerons (Michaud, 1998).
- **Chimique** : Application d'insecticides spécifiques, bien que cette méthode nécessite une gestion prudente pour éviter la résistance et préserver les insectes bénéfiques (Tena et al. 2013).

3.4.1.2 Cochenilles

Les cochenilles, appartenant principalement aux familles des *Coccidae* et des *Diaspididae*, sont également des nuisibles majeurs des agrumes. Ces insectes se fixent sur les branches, les feuilles et les fruits, où ils sucent la sève des plantes.

Impact sur les Agrumes

Les cochenilles excrètent également du miellat, ce qui entraîne la formation de fumagine, réduisant la capacité photosynthétique de l'arbre. Les infestations sévères peuvent affaiblir considérablement les arbres, affectant la production et la qualité des fruits (Gill, 1997).

Méthodes de Contrôle

- **Biologique** : Utilisation de parasitoïdes, tels que **Aphytis melinus**, et de prédateurs comme les coccinelles pour réduire les populations de cochenilles (Michaud, 1998).
- **Chimique** : Traitements insecticides spécifiques. Les huiles horticoles sont également efficaces pour étouffer les cochenilles sans impact significatif sur les ennemis naturels (Tena et al., 2013).

3.4.1.3 Mineuses

Les mineuses, notamment la mineuse des agrumes (**Phyllocnistis citrella**), sont des ravageurs qui creusent des galeries dans les feuilles, affectant la capacité de l'arbre à photosynthétiser efficacement.

Impact sur les Agrumes

Les larves de mineuses se nourrissent du tissu foliaire, créant des mines qui apparaissent sous forme de lignes sinueuses sur les feuilles. Cela conduit à la déformation des feuilles, une

réduction de la croissance des jeunes pousses et une susceptibilité accrue aux infections secondaires (Knapp et al., 1995).

Méthodes de Contrôle

- **Biologique** : Introduction de parasitoïdes comme **Ageniaspis citricola** pour parasiter les larves de mineuses (Knapp et al., 1995).
- **Chimique** : Utilisation d'insecticides spécifiques pour contrôler les populations de mineuses, bien que cela nécessite une application soigneuse pour éviter la résistance (Tena et al., 2013).

3.4.1.4 Acariens

Les acariens sont de petits arthropodes qui peuvent causer des dégâts importants aux agrumes en se nourrissant de la sève des feuilles, des fruits et des jeunes pousses. Parmi les acariens nuisibles, on trouve notamment les acariens rouges et les acariens des agrumes.

Impact sur les Agrumes

Les acariens comme **Panonychus citri** (acariens rouges) et **Eutetranychus orientalis** causent des dégâts visibles sur les feuilles et les fruits, entraînant une décoloration, des taches argentées, et une réduction de la photosynthèse. Ces dommages peuvent provoquer la chute prématurée des feuilles et des fruits, ainsi qu'une diminution de la vigueur de l'arbre (Jeppson, Keifer, & Baker, 1975).

Méthodes de Contrôle

- **Biologique** : Introduction de prédateurs naturels des acariens, tels que les coccinelles et les typhlodromes, pour maintenir les populations d'acariens nuisibles à un niveau acceptable (McMurtry & Croft, 1997).
- **Cultural** : Pratiques culturales telles que la taille régulière des arbres pour améliorer la circulation de l'air et réduire les conditions favorables à la prolifération des acariens (Gerson & Weintraub, 2012).

- **Chimique** : Utilisation d'acaricides spécifiques pour contrôler les populations d'acariens. Cette méthode doit être utilisée de manière judicieuse pour éviter le développement de résistances et minimiser l'impact sur les insectes bénéfiques (Van Leeuwen et al., 2010).

3.5 Autres Organismes Nuisibles

3.5.1 Nématodes

Les nématodes sont des vers microscopiques qui attaquent les racines des agrumes, causant des dommages significatifs à la structure racinaire et affectant la capacité de l'arbre à absorber l'eau et les nutriments.

Impact sur les Agrumes

Les nématodes parasites tels que **Tylenchulus semipenetrans**, le nématode des agrumes, provoquent des galles racinaires, une décoloration des racines, et une réduction de la croissance de l'arbre. Ces effets conduisent à une diminution de la vigueur de l'arbre, une baisse de la production de fruits et une qualité de fruit médiocre (Duncan & Cohn, 1990).

Méthodes de Contrôle

- **Biologique** : Utilisation de nématodes prédateurs et de champignons nématophages pour réduire les populations de nématodes pathogènes (Stirling, 2014).
- **Cultural** : Rotation des cultures et plantation de variétés résistantes pour limiter l'accumulation de nématodes dans le sol (Kaplan & Noe, 1993).
- **Chimique** : Application de nématicides pour contrôler les populations de nématodes. Cette méthode doit être utilisée avec précaution pour éviter la contamination environnementale (Duncan & Cohn, 1990).

3.5.2 Rats et Souris

Les rats et les souris sont des rongeurs nuisibles qui peuvent causer des dégâts significatifs dans les vergers d'agrumes en s'attaquant aux fruits, aux jeunes pousses et à l'écorce des arbres.

Impact sur les Agrumes

Les rongeurs comme le rat noir (**Rattus rattus**) et la souris domestique (**Mus musculus**) peuvent provoquer des pertes importantes en endommageant les fruits prêts à être récoltés. Ils peuvent également grignoter l'écorce des jeunes arbres, ce qui peut entraîner des infections secondaires et la mort de l'arbre (Greaves, 1989).

Méthodes de Contrôle

- **Biologique** : Encouragement des prédateurs naturels comme les chouettes et les rapaces pour contrôler les populations de rongeurs (Buckle & Smith, 2015).
- **Cultural** : Gestion des déchets et élimination des cachettes potentielles pour les rongeurs, comme les tas de bois et les herbes hautes, afin de réduire les habitats favorables aux rongeurs (Corrigan, 2001).
- **Chimique** : Utilisation de rodenticides pour contrôler les populations de rats et de souris. Cette méthode doit être utilisée de manière ciblée pour minimiser les impacts sur les autres animaux (Buckle & Smith, 2015).

La gestion efficace des ravageurs des agrumes repose sur une approche intégrée qui combine l'utilisation de méthodes biologiques, comme la lutte biologique et la conservation des ennemis naturels, avec des stratégies de gestion chimique lorsque nécessaire. Il est crucial de surveiller régulièrement les vergers pour détecter les infestations précoces et prendre des mesures appropriées pour protéger la santé des arbres et maintenir une production durable.

CHAPITRE 4 : ETUDE DE LA TRISTEZA CTV

4.1 Historique et Distribution Mondiale du CTV

L'histoire et la distribution mondiale du Virus de la Tristeza des Agrumes (CTV) reflètent son impact significatif sur l'agriculture des agrumes et sa prévalence répandue dans les principales régions productrices d'agrumes. Comprendre le contexte historique et la propagation géographique du CTV offre des perspectives essentielles pour sa gestion et son contrôle.

A. Contexte Historique

Le CTV a été identifié pour la première fois au début du XXe siècle, bien que ses effets aient été observés auparavant. Le terme "tristeza", signifiant "tristesse" en espagnol et en portugais, a été utilisé pour décrire le déclin et la mort des arbres d'agrumes observés au Brésil dans les années 1930. Dans les années 1940, le CTV a été définitivement identifié comme l'agent causal de ces symptômes, marquant le début des études scientifiques formelles et des efforts de gestion.

- **Observations Initiales :** Les premiers rapports de déclin et de mort des arbres d'agrumes dus à la tristeza ont été enregistrés en Argentine et au Brésil. Le déclin se caractérisait par des creux sévères sur les tiges, le jaunissement des feuilles et la mort rapide des arbres, en particulier des arbres greffés sur des porte-greffes d'orange amère. Par exemple, entre 1937 et 1949, environ 10 millions d'arbres ont été perdus en Argentine en raison du CTV (Escriu et al., 2000).
- **Identification du CTV :** Le virus a été identifié à travers une série d'expériences et d'observations reliant les symptômes à un agent transmissible. Dans les années 1940, les chercheurs ont confirmé que le CTV était la cause de la maladie de la tristeza affectant les arbres d'agrumes. Les études clés de cette période impliquaient des expériences de transmission utilisant des pucerons et le greffage, démontrant la nature virale de la maladie (Bar-Joseph et al., 1981).

B. Propagation et Distribution Mondiale

Le CTV s'est depuis propagé à toutes les principales régions productrices d'agrumes dans le monde, facilité par le déplacement de matériel végétal infecté et la présence de vecteurs d'insectes efficaces.

- **Amérique du Sud** : Après son identification initiale au Brésil et en Argentine, le CTV s'est propagé à d'autres pays d'Amérique du Sud. L'utilisation répandue du porte-greffe d'orange amère, très sensible au CTV, a exacerbé l'impact du virus, entraînant des pertes économiques importantes au milieu du XXe siècle. Par exemple, dans les années 1950, le Brésil a connu une grave épidémie entraînant la perte de millions d'arbres (Roistacher, 1991).
- **Amérique du Nord** : Le virus a été détecté en Floride dans les années 1950, où il a causé d'importants dommages à l'industrie des agrumes. Dans les années 1960, le CTV s'était propagé en Californie et dans d'autres États producteurs d'agrumes. En réponse, des mesures réglementaires ont été mises en place, notamment l'abattage des arbres infectés et l'utilisation de porte-greffes résistants. En Floride seulement, la propagation du CTV a entraîné la destruction de plus de 3 millions d'arbres entre 1957 et 1963 (Yokomi & Lastra, 2010).
- **Europe** : Le CTV a été signalé pour la première fois en Espagne dans les années 1950, puis s'est propagé en Italie, en Grèce et dans d'autres pays méditerranéens. La propagation du virus en Europe était en partie due au déplacement de bois de greffe infectés et de plants. L'Espagne a mis en œuvre des mesures de quarantaine strictes et a encouragé l'utilisation de porte-greffes tolérants pour gérer la maladie. À la fin du XXe siècle, le CTV était devenu une préoccupation majeure en Italie, conduisant à l'établissement de programmes nationaux de certification des plants exempts de virus (Davino et al., 2003).
- **Asie** : Le virus est présent en Asie depuis des siècles, mais son impact est devenu plus prononcé au XXe siècle. Des pays comme le Japon, la Chine et l'Inde ont signalé des éclosions significatives de CTV, conduisant à l'adoption de pratiques de gestion intégrée et de porte-greffes résistants. Au Japon, le CTV a causé de graves dommages dans les années 1970, incitant à des recherches approfondies sur les variétés résistantes (Miyakawa, 1980).

- **Afrique et Moyen-Orient** : Le CTV a été signalé dans plusieurs pays, y compris en Afrique du Sud, où il a causé de graves éclosions dans les années 1970. L'utilisation de porte-greffes résistants et de stratégies de lutte intégrée contre les ravageurs a été essentielle pour contrôler le virus dans ces régions. En Afrique du Sud, l'introduction de porte-greffes résistants au CTV a contribué à atténuer l'impact du virus, stabilisant la production d'agrumes d'ici les années 1980 (Van Vuuren, 1993).
- **Australie et Pacifique** : Le CTV a été détecté en Australie dans les années 1960. L'industrie des agrumes australienne a réagi en mettant en place des mesures de quarantaine strictes et en développant du matériel végétal exempt de CTV. Le virus a également été signalé dans diverses îles du Pacifique, affectant la production locale d'agrumes. Les mesures proactives de l'Australie, y compris le contrôle strict des pépinières et l'adoption de porte-greffes résistants, ont réussi à limiter la propagation du CTV (Broadbent et al., 1996).

C.Facteurs Influençant la Propagation Plusieurs facteurs ont influencé la propagation mondiale et l'impact du CTV :

- **Mouvement de Matériel Végétal** : Le commerce mondial de bois de greffe d'agrumes, de porte-greffes et de plants de pépinière a largement contribué à la propagation du CTV. Le matériel végétal infecté peut introduire le virus dans de nouvelles zones, entraînant des éclosions et des pertes économiques. Par exemple, l'introduction du CTV en Californie dans les années 1950 a été attribuée à l'importation de bois de greffe infectés en provenance d'Amérique du Sud (Calavan et al., 1957).
- **Vecteurs d'Insectes** : Le principal vecteur du CTV est le puceron noir des agrumes (*Toxoptera citricida*), qui est très efficace pour transmettre le virus. D'autres espèces de pucerons, comme le puceron du melon (*Aphis gossypii*) et le puceron du spirée (*Aphis spiraeicola*), peuvent également transmettre le CTV, bien que moins efficacement. La présence et l'abondance de ces vecteurs dans les régions productrices d'agrumes facilitent la propagation rapide du virus. Dans les régions où *T. citricida* est prévalent, comme en Asie et en Amérique du Sud, le taux de propagation et d'incidence du CTV est notablement plus élevé (Michaud, 1998).

- **Porte-greffes Susceptibles** : L'utilisation de porte-greffes sensibles, en particulier l'orange amère, a exacerbé l'impact du CTV. L'orange amère est très sensible au CTV, et son utilisation généralisée par le passé a contribué à des éclosions sévères et à la mortalité des arbres. En Floride, par exemple, la prédominance du porte-greffe d'orange amère au début du XXe siècle a contribué à la propagation rapide et à l'impact dévastateur du CTV (Roistacher, 1991).
- **Manque de Sensibilisation et de Mesures de Quarantaine** : Aux premiers stades de la propagation du CTV, il y avait un manque de sensibilisation et de compréhension du virus, ce qui a conduit à des mesures de quarantaine et des pratiques de gestion insuffisantes. À mesure que la connaissance du CTV augmentait, les pays ont mis en place des réglementations plus strictes pour prévenir le déplacement de matériel végétal infecté et contrôler la propagation du virus. La mise en œuvre de mesures de quarantaine et de programmes de certification en Espagne dans les années 1960 et 1970 a contribué à contenir la propagation du virus et à réduire son impact sur l'industrie des agrumes (Cambra et al., 2000).

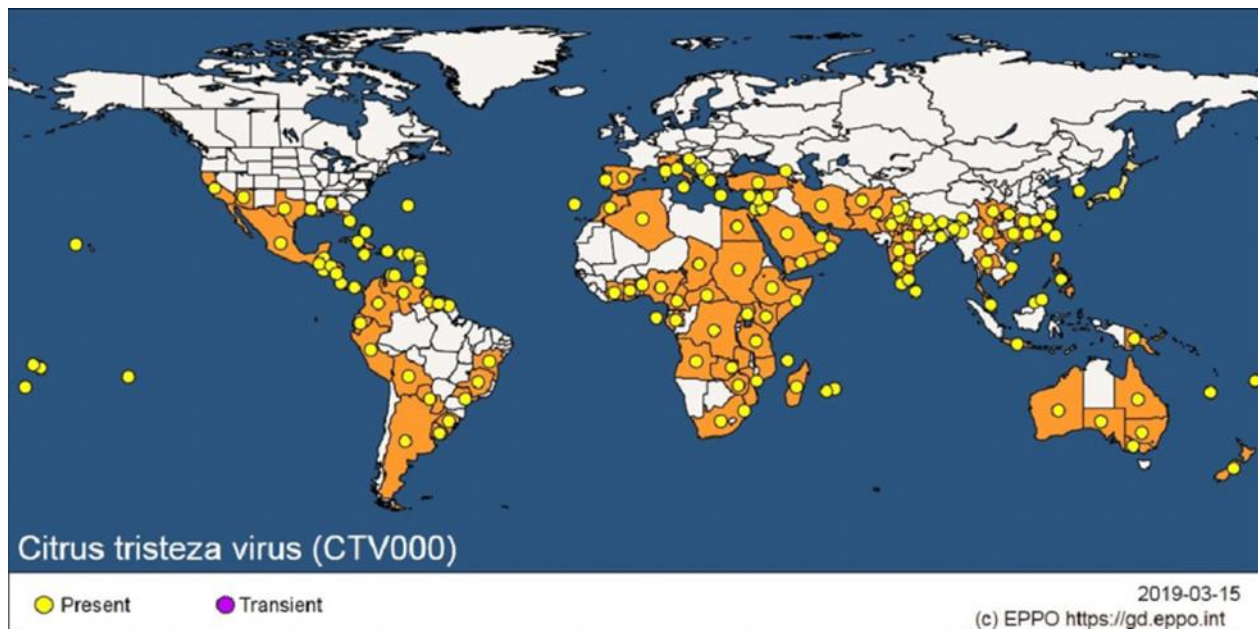


Figure 6 : Répartition mondiale du virus de la tristezza des agrumes. Cette carte inclut également les isolats européens (Source : base de données mondiale EPPO, www.eppo.int)

2.2 Cycle de Vie et Transmission du CTV

a) Cycle de vie

Le virus de la tristeza des agrumes (CTV) présente une structure complexe typique des membres de la famille des Closteroviridae. Il se compose d'une particule filamentueuse flexueuse d'environ 2 000 nm de longueur, renfermant un génome d'ARN à brin positif, d'environ 19,3 kb de taille, encapsulé dans un nucléocapside hélicoïdal. Ce génome est entouré d'une enveloppe lipidique bilipidique dérivée du réticulum endoplasmique de l'hôte, incorporant des glycoprotéines virales. La protéine capsidaire principale (CP) forme l'essentiel de l'intégrité structurale de la virion. En plus des protéines structurales, le CTV code une gamme de protéines non structurales essentielles pour divers aspects de la réplication virale, du mouvement et de l'évasion des défenses de l'hôte. Ces protéines se localisent souvent dans des structures membranaires spécialisées au sein des cellules infectées, telles que des complexes de réplication associés au réticulum endoplasmique. L'organisation génomique du CTV se caractérise par de multiples cadres de lecture ouverts (ORF) codant à la fois des protéines structurales et non structurales, entrecoupés de régions non traduites (UTR) essentielles pour le contrôle de la traduction de l'ARN viral, de la réplication et du mouvement intercellulaire.

Infection et entrée :

Le CTV infecte principalement les agrumes par la propagation végétative et la transmission par vecteurs insectes. En propagation végétative, le virus est introduit dans de nouvelles plantes par greffage et bouturage avec du bois de greffe ou du porte-greffe infecté. Lorsqu'une partie infectée est greffée sur une plante saine, le virus peut pénétrer dans le nouvel hôte.

Dans les conditions naturelles, les pucerons sont les principaux vecteurs responsables de la propagation du CTV. Les pucerons se nourrissent du phloème des plantes infectées et acquièrent le virus, qu'ils transmettent ensuite aux plantes saines lors de leur alimentation.

Réplication :

À l'entrée, le CTV cible les tissus du phloème, responsables du transport des nutriments dans toute la plante. Le virus déshabille son génome d'ARN à sens positif, qui est immédiatement traduit par la machinerie cellulaire de l'hôte pour produire des protéines virales.

Ces protéines facilitent la réplication de l'ARN viral, produisant de nouveaux brins d'ARN et des composants viraux. Le processus de réplication est continu et aboutit à la production de nombreux nouveaux virions au sein des cellules du phloème.

Assemblage et mouvement systémique :

Les ARN viraux nouvellement synthétisés et les protéines sont assemblés en virions complets. Ces virions s'accumulent dans les cellules du phloème, d'où ils sont transportés dans toute la plante via la sève du phloème.

Le mouvement systémique du CTV à travers le système vasculaire de la plante lui permet de se propager du site initial d'infection à toutes les parties de la plante, y compris les feuilles, les tiges et les racines. Cette distribution généralisée dans la plante est essentielle pour la persistance et la propagation du virus.

Développement des symptômes :

Les symptômes de l'infection par le CTV peuvent varier considérablement selon la souche du virus, l'espèce d'agrumes et les conditions environnementales. Les symptômes courants incluent le dégagement des nervures, le piégeage des tiges, le cupping des feuilles, la réduction de la taille des fruits et le déclin général de l'arbre.

Certaines souches de CTV sont particulièrement virulentes, provoquant des symptômes sévères tels que le déclin rapide et la mort de l'arbre, surtout lorsqu'elles sont greffées sur des porte-greffes sensibles comme l'orange amère. D'autres souches peuvent provoquer des infections légères ou asymptomatiques, ce qui peut compliquer les efforts de détection et de gestion.

b) Transmission du CTV :

Le CTV se propage par deux mécanismes principaux : la propagation végétative et les vecteurs insectes, en particulier les pucerons.

- **Propagation végétative :** L'une des principales voies de transmission du CTV est par les pratiques de propagation végétative, telles que le greffage et le bouturage. Lorsque du bois de greffe ou du porte-greffe infecté est utilisé, le virus peut être introduit dans les plantes saines. Cette méthode a historiquement contribué à la large diffusion du CTV, surtout dans les régions où le matériel végétal certifié exempt de virus n'est pas couramment utilisé.
- **Vecteurs de pucerons :** Les pucerons sont les principaux vecteurs naturels du CTV. Le puceron noir des agrumes (*Toxoptera citricida*) est le plus efficace, mais d'autres espèces comme le puceron du melon (*Aphis gossypii*) et le puceron de la spirée (*Aphis spiraeicola*) peuvent également transmettre le virus, bien que moins efficacement.

Le processus de transmission implique les pucerons se nourrissant de la sève du phloème des plantes infectées, acquérant le virus, puis inoculant les plantes saines lors de leurs repas ultérieurs. Les pucerons peuvent acquérir le virus en quelques minutes après s'être nourris sur une plante infectée, et le virus peut rester dans le corps du puceron pendant plusieurs heures à plusieurs jours, permettant ainsi plusieurs événements de transmission.

- **Facteurs influençant la transmission :**

- **Comportement des pucerons :** Les pucerons acquièrent le CTV en se nourrissant sur des plantes infectées. Ils peuvent transmettre le virus aux plantes saines lors de la sonde et de l'alimentation. L'efficacité de la transmission dépend de l'espèce de puceron, de la souche du virus et des conditions environnementales.

Le puceron noir des agrumes est particulièrement efficace dans la transmission du CTV en raison de ses habitudes alimentaires et de sa grande mobilité. Il peut coloniser rapidement les arbres d'agrumes et propager le virus à plusieurs plantes en peu de temps.

- **Conditions environnementales :** Les facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité et la présence d'hôtes alternatifs peuvent influencer les populations et l'activité des pucerons. Les conditions chaudes et humides favorisent généralement des populations de pucerons plus élevées, augmentant ainsi le risque de propagation du CTV. Les changements saisonniers affectent également les dynamiques de transmission, avec des pics de transmission souvent observés pendant les périodes de reproduction et de déplacement actifs des pucerons. Par exemple, les populations de pucerons ont tendance à augmenter au printemps et à l'automne, coïncidant avec les nouvelles pousses de croissance dans les arbres d'agrumes.
- **Sensibilité des plantes hôtes :** Différentes variétés d'agrumes montrent des niveaux variables de sensibilité au CTV. Certaines variétés, comme l'orange douce et le pamplemousse, sont très sensibles et présentent des symptômes sévères, tandis que d'autres, comme certains mandarins et hybrides, peuvent être plus tolérants ou résistants. L'utilisation de porte-greffes sensibles, tels que l'orange amère, a historiquement exacerbé l'impact des épidémies de CTV, car ces porte-greffes sont très vulnérables au virus. Les porte-greffes résistants et l'élevage de variétés tolérantes sont des stratégies cruciales dans la gestion du CTV.

• **Dynamique de transmission :**

- 1. Comportement alimentaire des pucerons :** Les pucerons acquièrent le CTV par un processus de sondage bref pendant lequel ils prélèvent la sève du phloème. Le virus se fixe au stylet (piqûre d'alimentation) du puceron, puis est transporté vers de nouvelles plantes hôtes. Lorsqu'ils se nourrissent sur une plante saine, les pucerons inoculent le virus dans le phloème, lançant un nouveau cycle d'infection. L'efficacité de ce processus varie selon les espèces de pucerons et les souches de CTV.
- 2. Facteurs environnementaux :** Les conditions environnementales, telles que la température et l'humidité, influencent considérablement l'activité et la dynamique des populations de pucerons. Les conditions chaudes et humides entraînent souvent des populations de pucerons plus élevées, augmentant ainsi le risque de transmission du CTV. Les variations saisonnières peuvent également influencer la propagation du CTV, avec des taux de transmission plus élevés généralement observés pendant les périodes d'alimentation active et de déplacement des pucerons.
- 3. Sensibilité des plantes hôtes :** La sensibilité des variétés d'agrumes au CTV et à ses vecteurs influence les dynamiques de transmission. Certaines variétés d'agrumes sont plus sujettes à l'infection et présentent des symptômes plus graves, tandis que d'autres montrent une tolérance ou une résistance. Les programmes d'élevage et la recherche génétique visent à développer des variétés d'agrumes résistantes au CTV pour réduire l'impact du virus sur la production mondiale d'agrumes.

En comprenant les subtilités du cycle de vie et des dynamiques de transmission du CTV, les chercheurs et les producteurs peuvent développer des stratégies de gestion plus efficaces pour atténuer l'impact de ce virus dévastateur sur la production d'agrumes.

3.3 Symptômes et Diagnostic du CTV

a) Symptômes du CTV :

L'infection par le virus de la tristeza des agrumes (CTV) chez les agrumes peut présenter une gamme diversifiée de symptômes, allant du subtil au sévère, en fonction de divers facteurs tels que la souche virale, l'espèce d'agrumes et les conditions environnementales. Reconnaître ces symptômes est crucial pour la détection précoce et la gestion efficace de la maladie.

Dépérissement des nervures et chlorose :

Le dépérissement des nervures, caractérisé par l'apparence translucide des nervures des feuilles sur un fond vert, est souvent parmi les premiers symptômes visibles de l'infection par le CTV. Ce phénomène est suivi de la chlorose, ou jaunissement des tissus foliaires, particulièrement le long des nervures. Ces motifs chlorotiques peuvent ressembler à des carences nutritionnelles, nécessitant un diagnostic précis.



Figure 7 : Dépérissement des nervures et chlorose

Le bois strié des tiges (Stem pitting)

Le pitting des tiges, une marque distinctive de l'infection par le CTV, se manifeste par des dépressions ou des fosses sur les tiges et les branches des arbres d'agrumes. Ces fosses résultent de perturbations dans les tissus du phloème causées par le virus, entraînant des motifs de croissance irréguliers. Le pitting des tiges compromet l'intégrité structurelle de l'arbre, augmentant sa susceptibilité aux dommages physiques.



Figure 8 : Pitting des tiges

Anomalies des fruits :

Les agrumes infectés par le CTV présentent souvent des anomalies telles qu'une taille réduite, des formes déformées et une coloration diminuée des fruits. La chute prématurée des fruits est fréquente dans les arbres infectés, entraînant des pertes de rendement significatives. La qualité interne des fruits peut également être compromise, avec des altérations du contenu en jus et de la saveur.



Figure 9 : Anomalies des fruits

Déclin et mort de l'arbre :

Les souches graves du CTV peuvent induire un déclin rapide et la mortalité des arbres d'agrumes, en particulier ceux greffés sur des porte-greffes sensibles. Connue sous le nom de "déclin rapide", ce phénomène se caractérise par un flétrissement soudain, une défoliation et une mort ultérieure. Une infection chronique par le CTV peut également entraîner un déclin progressif, manifesté par une croissance chétive et un dépérissement progressif au fil du temps



Figure 10 : Quick Decline, mort brutale affectant orangers et mandariniers bigaradier. F. Leblanc (Cirad)

b) Diagnostic du CTV :

Le diagnostic précis du CTV implique l'utilisation de diverses méthodes diagnostiques pour détecter la présence du virus chez les agrumes.

- **Inspection visuelle :** Le personnel formé effectue des enquêtes visuelles pour identifier les symptômes caractéristiques de l'infection par le CTV, bien que cette méthode ne soit pas toujours concluante en raison de la variabilité des symptômes.

- **Indexation biologique :** Le greffage de bois de bourgeons provenant d'arbres suspects sur des plantes indicatrices confirme la présence du CTV, mais cette méthode est laborieuse et prend du temps.

- **Méthodes sérologiques :** Le test immuno-enzymatique lié à une enzyme (ELISA) détecte les protéines spécifiques du CTV dans les tissus végétaux, offrant un diagnostic rapide et fiable.

- **Techniques moléculaires :** La réaction de polymérisation en chaîne par transcription inverse (RT-PCR) et la PCR quantitative (qPCR) amplifient les séquences d'ARN viral pour une détection sensible et l'identification des souches.

Chaque méthode diagnostique présente ses avantages et ses limites, ce qui rend nécessaire une approche globale pour un diagnostic précis et la gestion du CTV.

4.4 Méthodes de Détection et de Surveillance

a) Tests sérologiques

1. Dosage immunoenzymatique (ELISA) :

- L'ELISA reste une technique sérologique largement utilisée pour détecter les antigènes du CTV dans les extraits de plantes d'agrumes, offrant des capacités de dépistage rapide et économique adaptées aux programmes de surveillance à grande échelle.

2. Dosage immunofluorescent (IFA) :

- L'IFA permet une détection sensible du virus en visualisant des anticorps marqués par fluorescence liés aux particules de CTV dans les tissus végétaux infectés, permettant une localisation précise et une quantification de la présence du virus.

b) Techniques moléculaires

1. Réaction en chaîne par polymérase avec transcription inverse (RT-PCR) :

- La RT-PCR amplifie des séquences spécifiques d'ARN du CTV dans des échantillons végétaux, permettant une détection sensible et spécifique du virus ainsi que la différenciation des souches par électrophorèse sur gel ou analyse PCR en temps réel.

2. PCR quantitative en temps réel (qPCR) :

- La qPCR offre une évaluation rapide et quantitative des niveaux d'ARN du CTV dans les tissus d'agrumes, facilitant une quantification précise du virus et la surveillance des dynamiques d'infection au fil du temps.

3. Amplification isotherme par boucle (LAMP) :

- Le LAMP offre une alternative simple et économique aux méthodes basées sur la PCR, amplifiant l'ARN du CTV dans des conditions isothermes, avec une détection visuelle des produits d'amplification utilisant la turbidité ou la fluorescence.

c) Tests biologiques

1. Indice sur des plantes indicateurs :

- Des plantes indicateurs comme l'orange amère ou le citron mexicain peuvent être utilisées pour l'indexation du CTV, où des plantes greffées sont surveillées pour le développement de symptômes, fournissant une évaluation qualitative de la présence du virus.

2. Microscopie électronique à transmission (TEM) :

- La TEM permet la visualisation directe des particules de CTV dans les tissus végétaux infectés à haute résolution, facilitant l'identification du virus basée sur des caractéristiques morphologiques et des structures ultrastructurales.

d) Télédétection et imagerie

1. Imagerie hyperspectrale :

- Les techniques d'imagerie hyperspectrale analysent les signatures spectrales du feuillage des agrumes pour détecter les changements subtils associés à l'infection par le CTV, offrant des capacités de surveillance non destructives et à haut débit.

2. Drones (UAVs) :

- Les UAVs équipés de caméras multispectrales ou thermiques peuvent surveiller les vergers d'agrumes depuis le ciel, capturant les variations spatiales et temporelles de la santé des arbres et identifiant les points chauds potentiels du CTV pour des échantillonnages ciblés et des interventions.

e) Programmes de surveillance intégrés

1. Réseaux de surveillance :

- Les réseaux de surveillance collaboratifs facilitent le partage de données et la coordination entre les chercheurs, les producteurs et les organismes de régulation, permettant une surveillance complète de la prévalence, de la distribution et du mouvement du CTV dans les régions productrices d'agrumes.

2. Systèmes d'alerte précoce :

- Les systèmes d'alerte précoce utilisent des modèles prédictifs et des outils d'aide à la décision pour prévoir les éclosions de CTV, alerter les parties prenantes sur les menaces émergentes et guider des stratégies proactives de gestion des maladies, minimisant les pertes économiques et les dommages aux vergers.

En utilisant une combinaison de méthodes de détection et de surveillance, les producteurs d'agrumes peuvent gérer efficacement le CTV et minimiser son impact sur la santé et la productivité des vergers. Ces approches fournissent des informations précieuses sur la dynamique de l'infection par le CTV et soutiennent la prise de décision éclairée pour les stratégies de gestion des maladies.

4.5 Stratégies de Prévention et de Contrôle

Les stratégies de prévention et de contrôle sont essentielles pour gérer les infections par le virus de la tristeza des agrumes (CTV) et minimiser leur impact sur les vergers d'agrumes. Cette sous-section explore une gamme d'approches et de techniques visant à prévenir l'introduction du virus, à réduire la transmission et à gérer les épidémies de maladies, protégeant ainsi la production d'agrumes et la santé des vergers.

a) Mesures préventives

1. Réglementations de quarantaine :

- La mise en œuvre de mesures de quarantaine strictes aide à empêcher l'introduction de matériel végétal infecté par le CTV dans des zones indemnes de la maladie, minimisant le risque de propagation du virus par le mouvement de germoplasme d'agrumes et de stocks de pépinières.

2. Programmes de certification :

- Les programmes de certification garantissent la production et la distribution de stocks de pépinières d'agrumes exempts de virus, fournissant aux producteurs un matériel de plantation sain et réduisant la probabilité d'introduction et d'établissement du CTV dans de nouveaux vergers.

3. Gestion des vecteurs :

- Les stratégies de lutte intégrée contre les ravageurs (IPM) ciblent les populations de vecteurs du CTV, y compris les pucerons et les cochenilles, par des méthodes de lutte culturelle, biologique et chimique, réduisant la transmission du virus par les vecteurs et les taux d'infection des vergers.

b) Pratiques culturelles

1.Élimination des arbres infectés :

- L'enlèvement et la destruction rapides des arbres d'agrumes infectés par le CTV aident à éliminer les réservoirs de virus et à réduire les sources d'inoculum dans les vergers, empêchant ainsi la propagation du virus aux arbres voisins.

2.Hygiène des greffons :

- L'adoption de pratiques d'assainissement des greffons, y compris le traitement thermique et le greffage de pointes de pousses, garantit la production de matériel de propagation d'agrumes exempt de virus, protégeant les stocks de pépinières et les efforts de replantation des vergers.

c) Lutte biologique

1. Ennemis naturels des vecteurs :

- Encourager les populations d'ennemis naturels, tels que les guêpes parasitoïdes et les insectes prédateurs, aide à supprimer les populations de vecteurs dans les vergers d'agrumes, réduisant l'abondance des vecteurs et limitant la transmission du virus.

2. Microorganismes endophytes :

- L'utilisation de microorganismes endophytes ayant des propriétés antagonistes contre les vecteurs du CTV ou les processus de réplication virale offre des solutions potentielles de lutte biologique pour gérer les populations de vecteurs et atténuer la propagation du virus.

d) Résistance génétique

1. Sélection pour la résistance :

- Les programmes de sélection se concentrent sur le développement de cultivars et de porte-greffes d'agrumes ayant une résistance génétique ou une tolérance à l'infection par le CTV, améliorant la résilience des vergers et réduisant l'impact des symptômes induits par le virus sur la santé et la productivité des arbres.

2. Approches transgéniques :

- Les techniques de génie génétique permettent l'introduction de gènes résistants au CTV dans les génomes des agrumes, conférant une résistance accrue à l'infection virale et réduisant le besoin d'interventions chimiques dans la gestion des vergers.

e) Programmes de gestion intégrée

1. Plans de gestion complète des maladies :

- Les programmes de gestion intégrée intègrent plusieurs stratégies de contrôle, y compris les pratiques culturelles, la gestion des vecteurs et la résistance génétique, adaptées aux conditions spécifiques des vergers et à l'épidémiologie du CTV, optimisant les résultats de la lutte contre la maladie.

2. Efforts de recherche et de vulgarisation collaboratifs :

- La collaboration entre les chercheurs, les spécialistes de la vulgarisation, les producteurs et les parties prenantes de l'industrie facilite l'échange de connaissances, le transfert de technologies et les initiatives de renforcement des capacités, permettant aux producteurs d'agrumes de mettre en œuvre des pratiques efficaces de gestion des maladies.

En adoptant une combinaison de mesures préventives, de pratiques culturelles, de contrôle biologique, de résistance génétique et de programmes de gestion intégrée, les producteurs d'agrumes peuvent mieux gérer le CTV et protéger la santé et la productivité de leurs vergers.

4.6 Impact du CTV sur la Production d'Agrumes

Le virus de la tristeza des agrumes (CTV) a un impact profond sur la production d'agrumes dans le monde entier, posant des défis significatifs à la durabilité des vergers, à la qualité des fruits et à la viabilité économique. Cette sous-section explore les conséquences multiformes des infections au CTV sur les arbres d'agrumes, le rendement des fruits et la dynamique de l'industrie, en mettant en évidence la diversité des facteurs influençant la gravité de la maladie et les pertes de production.

6.6.1 Effets sur la Santé et la Vigueur des Arbres

1. Croissance Ralentie et Déclin

Les infections au CTV entraînent souvent des déclin notables de la santé et de la vigueur des arbres, avec des arbres affectés présentant des symptômes tels que la croissance ralentie, la chlorose (jaunissement des feuilles) et le dépérissement des branches. Ces symptômes résultent de la capacité du virus à perturber le transport du phloème, ce qui entrave le mouvement des nutriments essentiels et de l'eau à travers l'arbre. En conséquence, les arbres infectés connaissent une réduction de la capacité photosynthétique et de l'activité métabolique, compromettant leur capacité à maintenir une croissance et un développement normaux.

2. Dysfonctionnement du Phloème

L'un des effets caractéristiques de l'infection au CTV est le dysfonctionnement du phloème, caractérisé par la nécrose et l'effondrement du tissu du phloème dans les arbres d'agrumes. Le

virus interfère avec le fonctionnement du phloème, perturbant le transport des sucres, des acides aminés et d'autres composés essentiels à la croissance et au métabolisme des plantes. En conséquence, les arbres infectés par le CTV souffrent de carences en nutriments, de stress hydrique et de déséquilibres physiologiques, ce qui conduit à une détérioration accrue de la santé des arbres et à une sensibilité accrue aux stress environnementaux et aux agents pathogènes secondaires.

4.6.2 Effets sur le Rendement et la Qualité des Fruits

1. Réduction de la Taille et du Rendement des Fruits

Les arbres infectés par le CTV subissent souvent des réductions significatives de la taille et du rendement des fruits en raison de multiples facteurs. Le dysfonctionnement du phloème causé par le virus entrave le transport des glucides et d'autres nutriments vers les fruits en développement, entraînant des fruits plus petits, sous-développés, avec une teneur en sucre plus faible et une saveur diminuée. De plus, la chute prématurée des fruits est une conséquence courante de l'infection au CTV, réduisant encore le rendement global et la quantité de fruits récoltables, affectant ainsi la viabilité économique des vergers d'agrumes.

2. Dégradation de la Qualité des Fruits

En plus de la réduction du rendement, les fruits infectés par le CTV souffrent souvent d'une dégradation de la qualité, impactant leur valeur marchande et leur attrait pour les consommateurs. Les symptômes tels que les fruits petits et déformés, la maturation inégale et les saveurs altérées sont couramment associés à l'infection au CTV. Ces altérations de la morphologie et de la composition biochimique des fruits diminuent non seulement l'attrait esthétique des produits d'agrumes, mais affectent également leurs caractéristiques de transformation et leur aptitude à la consommation fraîche, posant ainsi des défis aux producteurs et transformateurs d'agrumes pour maintenir les normes de qualité des produits.

4.6.3 Impact Économique

1. Pertes de production :

- L'impact économique du CTV sur la production d'agrumes est considérable, les vergers infectés subissant des réductions significatives du rendement et des revenus. Les pertes de production résultent d'une combinaison de facteurs, comprenant une baisse du rendement et de la qualité des fruits, une mortalité accrue des arbres et la nécessité d'interventions coûteuses en matière de gestion des maladies. L'effet cumulatif de ces facteurs peut avoir des répercussions financières graves pour les producteurs d'agrumes, entraînant une rentabilité réduite et des défis de durabilité à long terme pour l'industrie des agrumes.

2. Coûts de remplacement des arbres :

- Remplacer les arbres infectés par le CTV par des plants sains et exempts de virus représente un effort coûteux pour les producteurs d'agrumes, nécessitant des dépenses pour l'abattage des arbres, le replantage et l'établissement de nouveaux vergers. De plus, le processus de revitalisation du verger implique une période d'inactivité pendant laquelle les producteurs peuvent subir des pertes de revenus en raison de l'absence d'arbres productifs. Ces coûts de remplacement des arbres aggravent encore le fardeau économique de l'infection au CTV, accentuant les pressions financières sur les producteurs d'agrumes et limitant les opportunités d'investissement dans le développement et l'expansion des vergers.

CHAPITRE : 5 LES MOYENS DE LUTTE

5.1 Méthodes de gestion intégrée des ravageurs

La gestion intégrée des ravageurs (GIR) constitue une approche stratégique essentielle pour contrôler efficacement le Citrus Tristeza Virus (CTV) tout en minimisant les impacts environnementaux et économiques associés. Cette méthode repose sur l'utilisation concertée de plusieurs techniques complémentaires visant à réduire la population des vecteurs du virus et à améliorer la santé globale des vergers d'agrumes.

1. Sélection de porte-greffes résistants : La GIR commence souvent par le choix de porte-greffes connus pour leur résistance ou leur tolérance au CTV. Les porte-greffes résistants sont sélectionnés pour leur capacité à limiter la multiplication et la propagation du virus dans les arbres greffés, réduisant ainsi la charge virale dans le verger.

2. Promotion des ennemis naturels des vecteurs : Encourager les populations d'ennemis naturels comme les insectes prédateurs (ex. coccinelles) et les parasitoïdes (ex. guêpes parasitoïdes) des vecteurs du CTV est une composante clé de la GIR. Ces organismes bénéfiques contribuent à supprimer les populations de pucerons et de cochenilles, principaux vecteurs du virus, réduisant ainsi le risque de transmission du CTV entre les arbres.

3. Amélioration des pratiques culturales : Les pratiques culturales telles que l'irrigation efficace, la gestion des mauvaises herbes et la nutrition équilibrée sont optimisées pour maintenir la santé des arbres. Un verger sain présente une meilleure capacité à résister aux infections virales et à récupérer plus rapidement des stress environnementaux, réduisant ainsi les conditions propices à la propagation du CTV.

4. Surveillance et évaluation continue : La GIR exige une surveillance régulière des populations de vecteurs du CTV et une évaluation constante de l'efficacité des stratégies mises en œuvre. Les données collectées permettent de prendre des décisions éclairées sur les ajustements nécessaires pour maintenir des niveaux de contrôle efficaces tout en minimisant l'utilisation d'intrants chimiques.

En combinant ces différentes approches, la gestion intégrée des ravageurs offre une solution durable et équilibrée pour gérer le CTV dans les vergers d'agrumes, favorisant ainsi la résilience des cultures et la durabilité à long terme de l'industrie citricole.

5.2 Utilisation de porte-greffes résistants

Les porte-greffes résistants jouent un rôle crucial dans la lutte contre le Citrus Tristeza Virus (CTV), offrant une première ligne de défense dans la protection des vergers d'agrumes contre cette maladie dévastatrice. Voici quelques aspects clés de leur utilisation :

- 1. Sélection basée sur la résistance au CTV :** Les porte-greffes résistants sont sélectionnés pour leur capacité à limiter la multiplication et la propagation du virus dans les arbres greffés. Des recherches approfondies et des programmes de sélection génétique ont permis d'identifier plusieurs porte-greffes qui présentent une tolérance élevée ou une résistance complète aux différentes souches de CTV présentes dans les vergers.
- 2. Avantages en termes de réduction de la charge virale :** En utilisant des porte-greffes résistants, les producteurs peuvent réduire significativement la charge virale dans les vergers. Cela limite la propagation du virus entre les arbres et réduit la prévalence des symptômes du CTV, tels que le dépérissement rapide et la diminution de la production.
- 3. Adaptation aux conditions locales :** Les porte-greffes résistants sont souvent sélectionnés en fonction des conditions climatiques et pédologiques spécifiques de la région. Cette adaptation locale améliore leur efficacité dans la gestion du CTV tout en favorisant la santé générale des arbres et la productivité des vergers.

- 4. Utilisation dans les programmes de replantation :** Lorsque les vergers doivent être replantés en raison d'une infection grave par le CTV, l'utilisation de porte-greffes résistants est une stratégie essentielle pour restaurer la santé et la viabilité des nouvelles plantations. Cela minimise les risques de réinfection et permet aux vergers de récupérer plus rapidement leur production optimale.

En intégrant des porte-greffes résistants dans les pratiques de gestion des vergers, les producteurs d'agrumes peuvent non seulement améliorer la résilience de leurs cultures face au CTV, mais aussi réduire la dépendance aux traitements chimiques et préserver la durabilité à long terme de leurs exploitations agricoles.

5.3 Techniques de diagnostic et de surveillance

Les techniques de diagnostic et de surveillance jouent un rôle crucial dans la gestion efficace du Citrus Tristeza Virus (CTV), permettant une détection précoce de l'infection et une évaluation continue de sa propagation. Voici les principales méthodes utilisées :

- 1. Diagnostic visuel et symptômes :** Les professionnels formés effectuent des inspections visuelles régulières des arbres pour détecter les symptômes caractéristiques de l'infection par le CTV, tels que le jaunissement des feuilles, le dépérissement des branches et les puits sur les tiges. Bien que cette méthode soit initialement utilisée pour le dépistage, elle peut manquer de précision en raison de la variabilité des symptômes et de la similarité avec d'autres maladies ou stress environnementaux.
- 2. Tests sérologiques :** L'Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) est largement utilisé pour détecter les antigènes spécifiques du CTV dans les extraits de plantes d'agrumes. Cette méthode offre une détection rapide et économique adaptée aux programmes de surveillance à grande échelle.
- 3. Techniques moléculaires :** Le Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) et le Quantitative Real-Time PCR (qPCR) permettent d'amplifier et de quantifier spécifiquement les séquences d'ARN du CTV. Ces méthodes sont extrêmement sensibles

et permettent une identification précise des souches virales, facilitant ainsi la gestion ciblée des foyers d'infection.

- 4. Tests biologiques :** L'indexation sur plantes indicatrices implique la greffe de matériel végétal suspect sur des plantes indicatrices comme l'oranger amer. Les symptômes de la maladie qui se développent sur ces plantes indiquent la présence de CTV, offrant une évaluation qualitative de l'infection.
- 5. Imagerie hyperspectrale et télédétection :** Ces technologies analysent les signatures spectrales du feuillage des agrumes pour détecter les changements subtils associés à l'infection par le CTV. Utilisées avec des drones équipés de caméras multispectrales, elles permettent une surveillance non destructive et à haut débit des vergers, identifiant les zones à risque de manière précoce.

En intégrant ces techniques complémentaires dans des programmes de surveillance intégrée, les producteurs peuvent renforcer leur capacité à détecter rapidement les foyers d'infection, à suivre la propagation du virus et à mettre en œuvre des stratégies de gestion appropriées pour limiter les pertes et préserver la santé à long terme de leurs vergers d'agrumes.

5.4 Impact économique et gestion des pertes

L'impact économique du Citrus Tristeza Virus (CTV) sur l'industrie des agrumes est significatif et nécessite des stratégies efficaces de gestion des pertes :

- 1. Pertes de production :** Les vergers infectés par le CTV subissent des réductions significatives de rendement, affectant directement la quantité et la qualité des fruits produits. Cette diminution de la production est causée par la réduction du nombre de fruits par arbre, la taille réduite des fruits et la diminution de leur qualité nutritionnelle et gustative. Les pertes de production se traduisent par une baisse des revenus pour les producteurs d'agrumes, compromettant ainsi la viabilité économique des exploitations.
- 2. Coûts de remplacement des arbres :** La nécessité de remplacer les arbres infectés par du matériel végétal sain représente une dépense considérable pour les producteurs. Ce

processus inclut le coût de l'abattage des arbres malades, le replantage et l'établissement de nouveaux vergers. De plus, la période de renouvellement des vergers entraîne une période de baisse de revenus due à l'absence de production des nouveaux arbres, amplifiant ainsi la charge financière des producteurs.

- 3. Coûts de gestion de la maladie :** Les stratégies de gestion du CTV impliquent souvent des interventions coûteuses pour réduire la propagation du virus et maintenir la santé des vergers. Cela peut inclure l'utilisation de techniques de lutte contre les vecteurs, telles que les traitements insecticides, ainsi que des mesures culturales et biologiques pour limiter la transmission du virus. Les coûts associés à ces pratiques augmentent les dépenses opérationnelles des producteurs, affectant leur rentabilité globale.
- 4. Répercussions sur l'industrie :** Au niveau de l'industrie des agrumes, l'impact du CTV se fait sentir à travers une diminution de la compétitivité sur les marchés mondiaux, une baisse de la demande pour les fruits de qualité inférieure et une instabilité économique pour les entreprises de transformation et de commercialisation des agrumes. La gestion efficace des pertes devient donc cruciale pour maintenir la durabilité à long terme de l'industrie des agrumes et assurer sa résilience face aux défis posés par le CTV.

En mettant en œuvre des stratégies intégrées de gestion des pertes, qui combinent surveillance précoce, diagnostics précis et mesures de lutte efficaces, les producteurs peuvent atténuer l'impact économique du CTV tout en renforçant la santé globale de leurs vergers d'agrumes.

Partie expérimentale

1. Zone d'étude :

Introduction

L'Université 20 Août 1955 de Skikda, fondée en l'honneur de la date historique de la révolution algérienne, est une institution d'enseignement supérieur située dans la région de Skikda, en Algérie. Cette université joue un rôle central dans la formation et le développement académique de la région, offrant une gamme de programmes éducatifs et de recherches variés.

Les environs de Skikda sont également réputés pour leurs vastes plantations d'agrumes, notamment des vergers de citronniers et d'orangers. Ces cultures d'agrumes, bénéficiant d'un climat méditerranéen propice et d'une riche tradition agricole, contribuent de manière significative à l'économie locale et régionale.

Notre étude basée sur les observations visuelles et la collecte des certains échantillons des fleurs concernant certains arbres d'apparence malade s'est déroulée au niveau de jardins d'agrumes de l'université de Skikda.



Figure 09 : La situation Géographique de l'Université de Skikda 20 aout 1955

2. Matériels et Méthodes

2.1 Matériel Végétale Utilisé

Pour cette étude, trois vergers situés au sein de l'Université de Skikda ont été sélectionnés. Ces vergers, bien que situés à des emplacements différents, présentent des conditions pédoclimatiques similaires. Les caractéristiques générales des vergers étudiés sont les suivantes :

- **Climat** : Méditerranéen avec des hivers doux et des étés chauds et secs.
- **Sol** : Sableux et bien drainé, adapté à la culture des agrumes.
- **Types d'Agrumes** : Principalement des orangers, mandariniers, citronniers et pamplemoussiers.
- **Pratiques Culturelles** : Techniques de gestion moderne incluant l'irrigation contrôlée et l'application de fertilisants organiques et minéraux.



Figure 10 : Vergers 1 de citronnier (photo originale)

2.1.1 Caractéristiques des Vergers Étudiés

Les vergers étudiés présentent des caractéristiques spécifiques qui les distinguent au sein de l'université de Skikda. Situés dans des localisations différentes mais sous des conditions environnementales similaires, ces vergers se composent principalement d'agrumes cultivés pour la recherche scientifique et l'enseignement pratique. Les principaux cultivars d'agrumes incluent des variétés telles que les oranges, les citrons et les mandarines, avec une gestion agronomique optimisée pour maximiser la production tout en maintenant la santé des arbres. Chaque verger est aménagé avec des rangées d'arbres alignées selon des pratiques agricoles standard, facilitant ainsi l'accès pour les inspections régulières et les études expérimentales.

2.2 Méthode de travail

2.2.1 Prospection Sur les Vergers Présentent des Symptômes qui peuvent être associés à la maladie de la tristezza

La prospection des vergers présentant des symptômes divers et certains peuvent être associés à plusieurs maladies telles que les maladies virales, à viroïdes ou autres. Cette phase de l'étude a été menée dans trois vergers distincts situés au sein de l'université de Skikda, où des anomalies suspectées ont été identifiées sur plusieurs arbres. Les symptômes observés comprenaient le dépérissement partiel ou total des arbres, des feuillages décolorés, des pousses anormales en forme de balais sur les extrémités des branches, ainsi que des signes de rabougrissement.

Chaque verger a été méthodiquement inspecté pour recueillir des données détaillées sur la distribution et la gravité des symptômes. Des relevés précis ont été effectués, enregistrant la localisation exacte des arbres affectés et la nature spécifique des anomalies observées. Cette approche rigoureuse a permis de délimiter les zones affectées dans chaque verger et de planifier efficacement les prélèvements d'échantillons pour une analyse plus approfondie au laboratoire.

L'objectif principal de cette prospection était de documenter les symptômes visuels caractéristiques de la maladie de la tristeza, conformément aux descriptions établies par Roistacher (1991) et d'autres experts. Ces observations sur le terrain ont servi de base initiale pour la sélection stratégique des échantillons à analyser ultérieurement, afin de rechercher la présence du virus de la tristeza par des méthodes diagnostiques spécifiques en laboratoire. Les principaux symptômes qui ont été décrits par Roistacher sont illustrés dans la (Fig.11).



Figure 11 : Différents symptômes associés à la tristeza (Roistacher 1991)

2.2.2 Échantillonnage et collecte des fleurs fermées

Les échantillons de fleurs fermées ont été collectés le 27 avril 2024 dans trois vergers différents situés dans la région de Skikda, sous la supervision du responsable des vergers. Cette opération a été menée selon la méthode d'échantillonnage (.....) .

Chaque échantillon a été prélevé tôt le matin pour éviter l'exposition prolongée aux températures diurnes élevées, optimisant ainsi la conservation des caractéristiques moléculaires des fleurs. Les fleurs fermées, jugées plus concentrées en virus que les autres explants choisis.

Les échantillons ont été numérotés et placés individuellement dans des sacs plastiques étanches, avec une identification précise de la position de l'arbre sur le rang et de l'espèce/variété. Après la collecte, les échantillons ont été conservés à basse température dans des glacières afin de maintenir leur fraîcheur et leur intégrité jusqu'à leur arrivée au laboratoire.

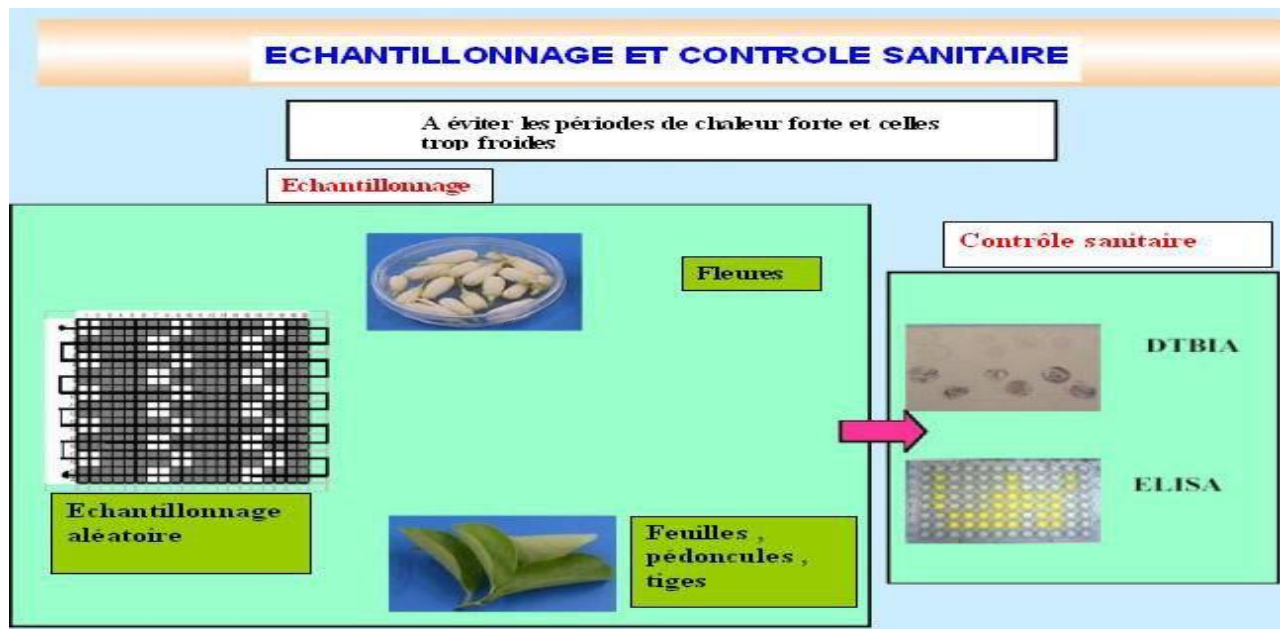


Figure 12 : Echantillonnage et contrôle sanitaire

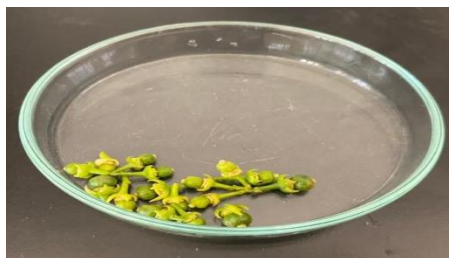


Figure 13 : Les échantillons de fleurs fermées collectés

2.2.3 Analyse Au laboratoire

Les échantillons de fleurs collectés ont été amenés au laboratoire pour effectuer leurs empreintes sur la membrane de nitrocellulose spécifique CTV.

1. Préparation des Sections de Fleurs

- À leur arrivée au laboratoire, les fleurs ont été méticuleusement préparées à l'aide d'un bistouri.
- Les sections de fleurs ont été
- soigneusement découpées pour assurer l'intégrité des échantillons.



Figure 14 : Préparation des Sections de Fleurs

2. Préparation des Membranes

- Les sections de fleurs préparées ont été délicatement pressées sur des membranes spécifiques, préalablement préparées pour recevoir les échantillons.
- Les membranes ont été laissées sécher à température ambiante afin de permettre une fixation optimale des échantillons.

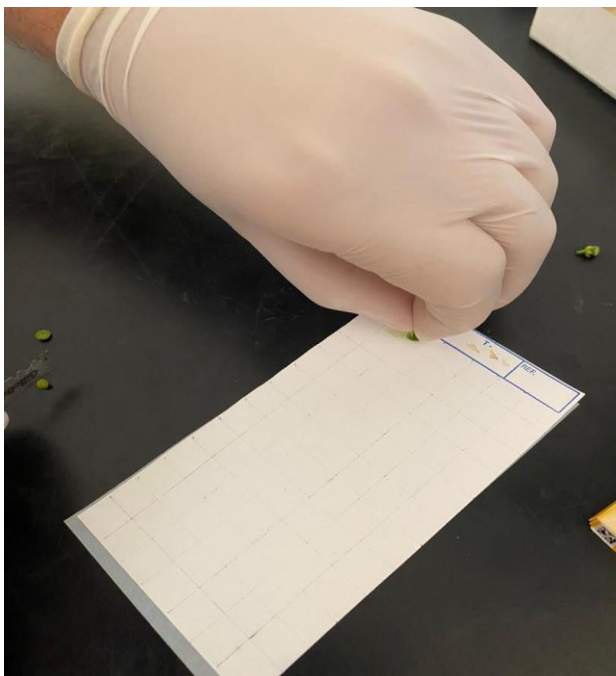


Figure 15 : Préparation des Membranes (Photo Originale)

1. Préparation des membranes pour leur développement des Membranes

- Une fois les membranes séchées, elles peuvent être conservées pour plusieurs mois avant leur développement.

3. Résultats et Discussion

3.1 Dépérissement Partiel ou Total des Arbres

De nombreux arbres présentaient un dépérissement partiel ou total, avec des sections de l'arbre montrant des signes de mort progressive. Ce dépérissement est souvent le résultat de plusieurs causes parmi lesquelles le dépérissement lié à l'âge de l'arbre ainsi que d'autres causes peuvent induire ce symptôme.

3.2 Rabougrissement et Nanisme des Arbres Infectés

Un autre symptôme notable était le rabougrissement de certains arbres, avec une croissance nettement réduite par rapport aux arbres sains.

3.3 Décoloration du Feuillage et Émergence de Pousses Dressées

Les feuilles des arbres infectés montraient souvent une décoloration marquée, passant d'un vert vif à un vert jaunâtre. De plus, nous avons observé l'émergence de pousses dressées sur les extrémités des branches.

3.2 Distribution des Symptômes

Les symptômes n'étaient pas uniformément répartis sur tous les arbres d'un même verger. Certains arbres montraient des symptômes graves, tandis que d'autres étaient moins affectés. Ces observations préliminaires soulignent l'importance d'une surveillance continue et d'une analyse approfondie pour confirmer la présence de telle ou de telle maladie.

Inspections visuelles

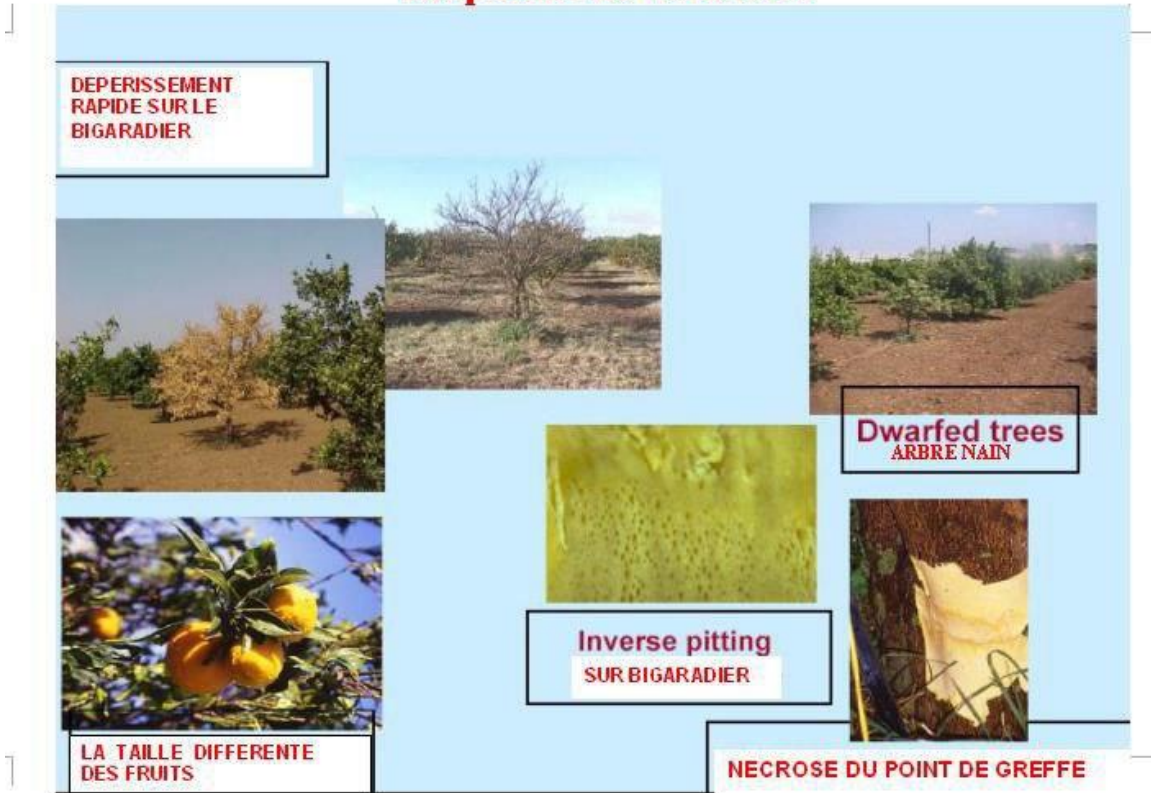


Figure 16 : différents symptômes associés à la présence du virus de la tristeza (Roistacher, 1991)

3.2 Analyse en Laboratoire

Les échantillons préparés sur la membrane sont prêts à être développés avec la disponibilité du Kit CTV. Le développement des membranes mettra en évidence la coloration violette qui indique le test positif et la couleur verte indique l'absence d'antigènes ou la réaction est négative, la (Fig 17), montre les échantillons positifs et ceux sans coloration de tiges (Garnsey et al.1993).



Figure 17 : Immunodosage direct sur tissu pour le virus de la tristezza des agrumes

3.3 Discussion

3.3.1 Interprétation des Résultats Visuels

Les résultats visuels obtenus lors de notre prospection initiale révèlent des symptômes fortement suggestifs de plusieurs infections virales ou autres. L'observation de dépérissements partiels ou totaux, de rabougrissement et de nanisme des arbres, de décolorations du feuillage, d'émergence de pousses dressées, ainsi que de réductions de taille des arbres, témoignent de l'existence d'un complexe de maladies qu'il faut bien étudier afin de comprendre la relation qui existe entre les symptômes affichés par les arbres et le pathogène soupçonné.

3.3.2 Limites de l'Étude

Il est important de reconnaître les limites de notre étude. En raison de la non-disponibilité de l'antisérum spécifique pour le CTV au sein de notre université, nous n'avons pas pu réaliser la suite de la méthode sérologique DTBIA à cause de la non disponibilité du Kit CTV.

Conclusion

Conclusion

Compte tenu de l'état sanitaire des vergers agrumicoles de l'Université de Skikda et qui représentent de vieilles plantations déjà infectés par bon nombre de pathogènes et ravageurs connus présents sur les agrumes.

Notre modeste travail avait pour objectif un seul axe et celui de recherche , et ce, en se basant sur des observations visuelles, de symptômes pouvant être associés à la maladie de la tristeza, puisque cette maladie a été trouvée dans l'Ouest du pays (Chlef) ou des souches exotiques du virus ont été identifiées.

Vu également la présence d'une gamme de pucerons impliqués dans la dissémination de ce virus, et l'échange parfois du matériel végétal sans contrôle sont parmi d'autres moyens qui favorisent la dissémination de cette maladie.

A travers notre travail, nous avons voulu prendre au hasard certains arbres affichant certains symptômes rappelant les symptômes décrits pour cette maladie, à savoir le dépérissement, le nanisme etc.

Et à travers la technique sérologique DTBIA, nous avons voulu rechercher la présence de cette maladie.

Malheureusement, nous n'avons pas pu réceptionner le Kit et le travail est resté inachevé. Un avantage de cette méthode de détection est que les membranes peuvent être conservées pour plusieurs mois pour leur développement.

Les vergers d'agrumes de notre Université demeurent un terrain idéal pour l'étude phytopathologique des Citrus, cependant les moyens constituent toujours une entrave pour certains objectifs visés.

Références bibliographiques

- Agranovsky, A. A., Boyko, V. P., Karasev, A. V., Koonin, E. V., & Dolja, V. V. (1995). Putative common ancestry of closteroviruses and potex-like plant viruses. *Journal of General Virology*, 76(5), 1441-1444.
- Bar-Joseph, M., Marcus, R., & Lee, R. F. (1989). The continuous challenge of citrus tristeza virus control. *Annual Review of Phytopathology*, 27(1), 291-316.
- Cambra, M., Gorris, M. T., Marroquín, C., Román, M. P., Olmos, A., & Martinez, M. C. (2000). Routine detection of Citrus tristeza virus by direct immunoprinting-ELISA method using specific monoclonal and recombinant antibodies. *Journal of Virological Methods*, 88(1), 139-150.
- Dawson, W. O., Bar-Joseph, M., Garnsey, S. M., & Moreno, P. (2015). Citrus tristeza virus: Making an ally from an adversary. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 137-155.
- Djelouah, K., & D'Onghia, A. M. (2001). Progress in the control of citrus tristeza virus and its vectors in the Mediterranean region. *Phytopathologia Mediterranea*, 40(1), 133-138.
- Dolja, V. V., & Koonin, E. V. (2006). Phylogeny of the closterovirus family: Molecular data reveal consistent relationships and suggest new genus structures. *Journal of General Virology*, 87(1), 2903-2910.
- Esabelle, M. (2011). The origin of citrus fruits. *Journal of Botanical Research*, 45(3), 205-213.
- Febres, V. J., Ashoulin, L., Mawassi, M., Frank, A., Bar-Joseph, M., Manjunath, K. L., & Dawson, W. O. (1996). The p27 protein is present at one end of citrus tristeza virus particles. *Phytopathology*, 86(2), 1331-1335.
- Frontiers. (2023). Citrus tristeza virus-host interactions. Retrieved from <https://www.frontiersin.org>
- Garnsey, S. M., Cambra, M., & Permar, T. A. (1987). Direct tissue blot immunoassay for detection of citrus tristeza virus. *Phytopathology*, 77(8), 769-774.
- Harper, S. J., Cowell, S. J., Robertson, C. J., & Dawson, W. O. (2014). Genomic characterization of an American citrus tristeza virus isolate: Evolution of a homogenous virus population by mutation and recombination. *Journal of General Virology*, 95(1), 139-146.

- Karasev, A. V. (2000). Citrus tristeza virus: Deciphering the complex biology of the most important viral disease of citrus. *Plant Pathology Journal*, 49(4), 653-664.
- Lee, R. F., & Bar-Joseph, M. (2000). Tristeza. In Timmer, L. W., Garnsey, S. M., & Graham, J. H. (Eds.), *Compendium of Citrus Diseases* (2nd ed., pp. 61-63). APS Press.
- Moreno, P., Ambros, S., & Albiach-Marti, M. R. (2008). Citrus tristeza virus: A pathogen that changed the course of the citrus industry. *Molecular Plant Pathology*, 9(2), 251-268.
- PP-181/CG039. (2023). 2023–2024 Florida Citrus Production Guide: Tristeza Decline. Retrieved from <https://edis.ifas.ufl.edu>
- Rocha-Peña, M. A., Lee, R. F., & Marroquin, C. (1995). Citrus tristeza virus and its aphid vector *Toxoptera citricida*: Threats to citrus production in Central America. *Plant Disease*, 79(10), 1027-1033.
- Roy, A., Ramachandran, P., & Brlansky, R. H. (2005). Global status of Citrus tristeza virus and its implications in citrus production. In Naqvi, S. A. M. H. (Ed.), *Diseases of Fruits and Vegetables* (Vol. I, pp. 561-579). Springer.
- Schwarz, R. E., & Van Vuuren, S. P. (1971). The use of mild strain protection to control stem pitting of grapefruit in South Africa. *Proceedings of the International Organization of Citrus Virologists*, 5, 59-62.
- Suastika, G., & Whittle, A. M. (2001). Molecular characterization of Citrus tristeza virus isolates from Indonesia. *Journal of General Virology*, 82(2), 1565-1572.
- University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences. (2023). Citrus Research and Education Center. Retrieved from <https://crec.ifas.ufl.edu>
- Velázquez, K., Alcántara, J., & De La Torre, R. (2002). The use of reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) for the detection of Citrus tristeza virus in Cuba. *Journal of Virological Methods*, 105(2), 171-176.
- Wallace, J. M., & Drake, R. J. (1972). Studies on the effect of citrus tristeza virus on rootstocks in California. *Proceedings of the International Organization of Citrus Virologists*, 5, 129-134.
- Yokomi, R. K., & Gillings, M. (1995). Differentiation of Citrus tristeza virus isolates by double-stranded RNA analysis, cDNA analysis, and hybridization. *Journal of General Virology*, 76(7), 1569-1577.

- Yokomi, R. K., Lastra, R., Stoetzel, M. B., Damsteegt, V. D., Lee, R. F., Niblett, C. L., & Garnsey, S. M. (1994). Establishment of the brown citrus aphid (*Toxoptera citricida*) in Central America and the Caribbean basin and its transmission of citrus tristeza virus. *Journal of Economic Entomology*, 87(4), 1078-1085.
- Zhang, Y., Chen, S., & Gmitter, F. G. (2001). The Citrus tristeza virus p23 protein suppresses RNA silencing and disrupts the microRNA pathway in *Arabidopsis*. *Virology*, 409(1), 215-223.
- Zhu, H. Y., & Li, C. Y. (2012). Analysis of genetic diversity of Citrus tristeza virus isolates in China using multiple molecular markers. *Plant Pathology Journal*, 28(2), 168-174.
- Dolja, V. V., Karasev, A. V., & Koonin, E. V. (1994). Molecular biology and evolution of closteroviruses: Sophisticated build-up of large RNA genomes. *Annual Review of Phytopathology*, 32, 261-285.
- Bar-Joseph, M., & Dawson, W. O. (2008). Citrus tristeza virus: Evolution of complex and varied genotypes. *Annual Review of Phytopathology*, 46, 375-396.
- Dawson, W. O., Garnsey, S. M., & Tatineni, S. (2013). Citrus tristeza virus: Biology, pathogenesis, and control. In A. Hadidi, R. Flores, J. W. Randles, & N. Palukaitis (Eds.), *Virus and Virus-Like Diseases of Pome and Stone Fruits* (pp. 137-151). APS Press.
- Garnsey, S. M., Yokomi, R. K., & Beretta, M. J. G. (1987). Rapid indexing for seedling yellows and other tristeza virus diseases. *Proceedings of the International Organization of Citrus Virologists*, 9, 123-127.