



REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (MESRS)

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI (UAC)

ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI (EPAC)



CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT (CAP)

DEPARTEMENT DE GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : Protection des Végétaux et Post-Récolte

MEMOIRE DE FIN DE FORMATION POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER PROFESSIONNEL

**Evaluation de la sensibilité de sept (7) nouvelles
variétés à trois (3) principales maladies de la tomate
(*Solanum lycopersicum* L. 1753) au Sud-Bénin**

Réalisé par : Bernard AKPAHOUNKE

Superviseur :

Prof. Dr Annick F. A. D. BOSSOU

Maitre de Conférences/CAMES

Enseignant-Chercheur à l'EPAC/UAC

Co-Superviseur :

Dr Ir. Armel C. G. MENSAH

Chargé de Recherche au CAMES

Chercheur à l'INRAB

Soutenu le 6 février 2025

Devant le jury composé comme suit :

Prof. Dr Daniel C. CHOUGOUROU : Président du Jury

Dr (MC) Annick F. A. D. BOSSOU : Maître de mémoire

Dr (MC) Elie DANNON : Examineur

Dr (CR) Armel C. G. MENSAH : Rapporteur

Année Académique: 2023-2024

Dédicace

Nous dédions ce travail à :

- notre épouse BOSSA Odile Afi pour sa bravoure et son soutien indéfectible dans le cadre de cette étude.
- notre mère ADJABO Eugénie pour ses nombreux sacrifices.

Remerciements

A Dieu le créateur, qui a suscité en nous le vouloir et le pouvoir pour la réalisation de cette étude, nous disons Merci. Que tout soit pour sa gloire.

Ce travail ne saurait être réalisé n'eût été l'aide précieuse de certaines personnes à qui nous voudrions exprimer toute notre reconnaissance. Il s'agit de :

- Dr (MC) BOSSOU Annick Flore Arlette Dohouè, pour la disponibilité dont elle a fait preuve dans le cadre de la supervision de ce mémoire. Son expertise et ses conseils précieux ont été déterminants dans la mise au point du document. Que le tout Puissant daigne la combler de bénédictions.
- Dr Ir. MENSAH Armel Clément Goudjo, Chef Programme Cultures Maraîchères (PCM) à l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), qui a accepté co-superviser ce travail malgré ses multiples fonctions et occupations. Il nous a guidé en nous offrant un encadrement conséquent et un suivi approprié qui nous ont permis de mener à bien nos travaux. Qu'il trouve en ces lignes, l'expression de notre sincère gratitude.
- MSc. AZAGBA Dossou Armand Joël, Assistant de Recherche au PCM, pour la qualité de ses contributions et le sacrifice de son temps dans le cadre du suivi technique de cette étude. Qu'il reçoive en ces mots, toute notre reconnaissance.
- Dr Ir. KOURA Tatiana Windékpè, pour ses conseils et son soutien à la réalisation de cette étude.
- Messieurs YALINKPON Florent, Doctorant en biométrie à l'Université d'Abomey-Calavi, et TCHEDE Amèdjiko Bruno, Biostatisticien, pour leur concours d'importance capitale lors de la rédaction du présent mémoire.
- Dr DOSSOUMOU Marie-Epiphanie, Chercheur phytopathologiste au Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey, pour sa contribution à la rédaction de ce document.
- Messieurs GNONLONFIN Ferdinand et NOUWATCHI Julien, respectivement techniciens sur les sites d'essais de Dangbo et de Athiémé, pour leur assistance dans la collecte des données.
- Messieurs SOTON Serges, SETEMEDE Wilfrid et ABIODOUN Serges, tous techniciens au Programme Cultures Maraîchères pour leur assistance dans la mise en place et la conduite des essais.

- Monsieur KINDOMISSI Mahoutin, Doctorant à l'IITA pour son soutien lors de la rédaction et de la soutenance de ce mémoire.
- Tous les enseignants-chercheurs qui n'ont ménagé aucun effort pour partager leur savoir avec nous au cours de notre formation à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi.
- Monsieur ZOGLOBOSSOU Roland, Directeur de la Production Végétale, pour ses conseils et soutiens durant la période de cette étude.
- Monsieur BADOU Parfait, Chef Service de la Promotion de la Qualité et du Conditionnement des produits agricoles d'origine végétale et tous les collègues du service pour leur soutien durant cette étude.

Enfin, nous remercions notre petite famille pour leur soutien et leur endurance au cours de cette étude.

Liste des sigles et abréviations

ADN	: Acide désoxyribonucléique
AIC	: Critère d'Information d'Akaike
ATDA	: Agence Territoriale de Développement Agricole
AVRDC	: Centre de Recherche et de Développement des Légumes Asiatiques
CaBEV	: Catalogue Béninois des Espèces et Variétés Végétales
CMV	: Virus de la mosaïque du concombre
CRA-H	: Centre de Recherches Agricoles en Horticulture
DF	: Degrés de liberté
DHS	: Distinction, Homogénéité, Stabilité
EPAC	: Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi
FAO	: Food and Agriculture Organization
FAOSTAT	: Base de données statistiques de la FAO
H	: Hypothèse
INRAB	: Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
INRA	: Institut National de la Recherche Agronomique (Organisme public Français)
JAR	: Jours Après Repiquage
NPK	: Azote, Phosphore, Potassium
OS	: Objectif Spécifique
PCM	: Programme Cultures Maraîchères
SAR	: Semaine après repiquage
TMV	: Virus de la mosaïque du tabac
TSWV	: Virus de la bronzure de tomate
TYLCV	: Virus de l'enroulement des feuilles de la tomate
UAC	: Université d'Abomey-Calavi
WorldVeg	: World Vegetable Center

Liste des tableaux

Tableau I : Variétés de tomate expérimentées	22
Tableau II : Nombre de producteurs par localité	24
Tableau III : Echelle de classification de la résistance basée sur l'incidence du flétrissement bactérien.....	28
Tableau IV : Nombre de jours (JAR) avant 50% de floraison de la tomate suivant la zone de production	31
Tableau V : Incidence de la virose sur les variétés de tomate par zone de production.....	33
Tableau VI : Incidence du flétrissement bactérien sur les variétés de tomate par zone de production.....	35
Tableau VII : Incidence de la gale bactérienne sur les variétés de tomate par zone de production.....	36
Tableau VIII : Effet de la variété et de la zone de production sur les paramètres de rendement de la tomate.....	37
Tableau IX : Nombre moyen de fruits par plant selon la variété et la zone de production	38
Tableau X : Poids moyen des fruits de tomate selon la variété et la zone de production ..	39
Tableau XI : Rendement potentiel de la tomate selon la variété et la zone de production	41
Tableau XII : Effet des facteurs sur le nombre de jours avant 50% de floraison des plants	56
Tableau XIII : Effet des facteurs sur l'incidence de la virose	56
Tableau XIV : Effet des facteurs sur l'incidence du flétrissement bactérien.....	56
Tableau XV : Effet des facteurs sur l'incidence de la gale bactérienne.....	56
Tableau XVI : Degré de sévérité moyenne de la virose par commune.....	57

Liste des figures

Figure 1 : Adultes et oeufs de <i>Bemisia tabaci</i> sur la face inférieure d'une feuille.....	10
Figure 2 : Manifestation de la maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate	10
Figure 3 : Manifestation de la gale bactérienne sur tige et feuilles de tomate	12
Figure 4 : Manifestation de la gale bactérienne sur fruits de tomate.....	12
Figure 5 : Plant de tomate atteint de flétrissement bactérien (a) et Test de verre d'eau pour la détection du flétrissement bactérien (b).....	14
Figure 6 : Carte géographique de la zone d'étude	19
Figure 7 : Diagramme ombrothermique de Dangbo	21
Figure 8 : Diagramme ombrothermique de Athiémé	21
Figure 9 : Fruits des variétés de tomate comparées dans le test.....	23
Figure 10 : Vue schématique du dispositif expérimental au niveau de chaque producteur	24
Figure 11 : Photos d'une pépinière des variétés de tomate (a), d'une parcelle d'essai avant repiquage (b) et d'une parcelle d'essai en fertilisation (c) à Athiémé et de parcelle d'essai de tomate en fructification à Dangbo (d et e).....	26
Figure 12 : Vue schématique des plants observés au niveau de la parcelle élémentaire....	27
Figure 13 : Niveaux d'échelle de sévérité des viroses	29
Figure 14 : Evolution de la sévérité de la virose dans le temps en fonction des variétés de tomate	33
Figure 15 : Carte des incidences du flétrissement bactérien sur les variétés de tomate	35
Figure 16 : Variation du nombre moyen de fruits par plant selon la variété et la zone de production.....	38
Figure 17 : Variation du poids moyen de fruits de tomate selon la variété et la zone de production.....	40
Figure 18 : Variation du rendement potentiel de la tomate selon la variété et la zone de production.....	41

Table des matières

Dédicace	ii
Remerciements	iii
Liste des sigles et abréviations	v
Liste des tableaux	vi
Liste des figures.....	vii
Table des matières	viii
Résumé	x
Abstract.....	xi
1. Introduction	1
1.1. Contexte et justification	1
1.2. Questions de recherche	3
1.3. Objectifs de l'étude	3
1.4. Hypothèses de recherche	3
2. Synthèse bibliographique	4
2.1. Origine et classification de la tomate.....	4
2.2. Cycle de développement de la tomate	5
2.3. Importance socio-économique et nutritionnelle de la tomate	6
2.3.1. Importance socio-économique de la tomate	6
2.3.2. Importance nutritionnelle de la tomate	6
2.4. Bioagresseurs de la culture de tomate.....	7
2.4.1. Les ravageurs de la tomate	7
2.4.2. Les maladies de la tomate.....	7
2.4.2.1. Maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate.....	8
2.4.2.2. Gale bactérienne	11
2.4.2.3. Flétrissement bactérien	13
2.5. Méthodes de lutte contre les maladies de la tomate.....	15
2.5.1. Lutte prophylactique.....	15
2.5.2. Lutte chimique.....	15
2.5.3. Lutte biologique.....	15
2.5.4. Lutte culturale.....	16
2.5.5. Lutte génétique et variétale.....	16

2.6.	Bilan de recherches sur la lutte variétale contre les maladies de la tomate	17
3.	Cadre, matériel et méthodes	19
3.1.	Présentation du cadre de l'étude	19
3.1.1.	Caractéristiques géographiques et pédoclimatiques de Dangbo.....	20
3.1.2.	Caractéristiques géographiques et pédoclimatiques de Athiémé	20
3.2.	Matériel végétal	22
3.3.	Méthodes.....	24
3.3.1.	Choix des producteurs collaborateurs.....	24
3.3.2.	Dispositif expérimental	24
3.3.3.	Mise en place et conduite de la culture.....	25
3.3.4.	Paramètres évalués	26
3.3.4.1.	Evaluation du cycle phénologique des variétés	27
3.3.4.2.	Evaluation de la sensibilité des variétés de tomate aux maladies dominantes	27
3.3.4.3.	Evaluation de la performance agronomique des variétés	29
3.3.5.	Traitement et analyse des données	30
4.	Résultats	31
4.1.	Cycle phénologique de la tomate selon la variété et la zone de production	31
4.2.	Performance des variétés de tomate face aux maladies en fonction de la zone de production	32
4.2.1.	Incidence et sévérité de la virose sur les variétés de tomate par zone de production.....	32
4.2.2.	Incidence du flétrissement bactérien sur les variétés de tomate par zone de production.....	34
4.2.3.	Incidence de la gale bactérienne sur les variétés de tomate par zone de production.....	36
4.3.	Performance agronomique des variétés de tomate.....	36
5.	Discussion	42
6.	Conclusion et suggestions	46
	Références bibliographiques.....	48
	Annexe.....	56

Résumé

Au Bénin, la production de tomate (*Solanum lycopersicum* L. 1753.), un pilier de l'économie locale, participe à la survie de nombreuses familles. Mais les rendements sont faibles du fait de bioagresseurs dont les plus redoutables sont le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* (Rs), la maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate causée par le virus *Tomato Yellow Leaf Curl* (TYLC) et la gale bactérienne causée par des bactéries du genre *Xanthomonas*. Pour limiter les dégâts de ces bioagresseurs, la présente étude se propose d'évaluer des variétés de tomate candidates à l'homologation pour (i) leur cycle phénologique, (ii) leur résistance à ces maladies et (iii) leurs performances agronomiques. L'étude a été réalisée dans les communes de Dangbo et Athiémé au sud du Bénin, selon un dispositif en blocs dispersés avec 18 répétitions. L'analyse des paramètres phénologiques a montré une variabilité significative entre les variétés pour la date de 50% de floraison. L'incidence de la virose a été comprise entre 2,7% et 3,42% sans différence significative entre les variétés. En outre, l'incidence du flétrissement bactérien a varié de 0,08% à 2,77% avec des différences significatives entre variétés ; et celle de la gale bactérienne a présenté également des différences significatives entre variétés à Athiémé, allant de 1,28% à 3,5%, alors qu'à Dangbo, cette incidence est nulle. Il se dégage que les sept nouvelles variétés sont résistantes aux trois principales maladies. Comparées au témoin TLCV15, ces variétés à Dangbo, se sont illustrées par un rendement plus élevé. Tandis qu'Athiémé, seules CLN4018G et CLN4270B ont montré des niveaux de rendement supérieurs. En définitif, les variétés CLN4018G, CLN4270B, CLN4270D et CLN4270E, qui ont affiché de meilleures performances en termes de précocité, et de rendement comparativement au témoin TLCV15, pourront être vulgarisées aux producteurs dans le cadre de la lutte contre les maladies afin de contribuer à l'amélioration de la productivité de la tomate au Bénin.

Mots clés : *Solanum lycopersicum* L, virose, flétrissement bactérien, gale bactérienne, résistance, Sud-Bénin

Abstract

In Benin, tomato (*Solanum lycopersicum* L. 1753) production, a pillar of the local economy, contributes to the survival of many families. However, yields are low due to bioaggressors, the most serious of which are bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* (Rs), tomato yellow leaf curl disease caused by the *Tomato Yellow Leaf Curl virus* (TYLC), and bacterial spot caused by bacteria of the genus *Xanthomonas*. To limit the damage caused by these bioaggressors, this study aims to evaluate tomato varieties that are subject to registration for (i) their phenological cycle, (ii) their resistance to these diseases, and (iii) their agronomic performance. The study was carried out in the communes of Dangbo and Athiémé in southern Benin, using a scattered block design with 18 replicates. Analysis of phenological parameters showed significant variability among varieties for the 50% flowering date. The incidence of viral disease was between 2.7% and 3.42% with no significant difference between varieties. In addition, the incidence of bacterial wilt varied from 0.08% to 2.77% with significant differences between varieties; and that of bacterial spot also revealed significant differences between varieties in Athiémé, ranging from 1.28% to 3.5%, while in Dangbo, this incidence was zero. It appears that the seven new varieties are resistant to the three main diseases. Compared to the TLCV15 control, these varieties in Dangbo showed higher yields. While in Athiémé, only CLN4018G and CLN4270B showed higher yield levels. Ultimately, the varieties CLN4018G, CLN4270B, CLN4270D and CLN4270E, which showed better performances in terms of earliness and yield compared to the TLCV15 control, can be popularized to producers as part of disease control in order to contribute to improving tomato productivity in Benin.

Keywords : Tomato, viral disease, bacterial wilt, bacterial spot, resistance, Southern Benin

INTRODUCTION

1. Introduction

1.1. Contexte et justification

La tomate (*Solanum lycopersicum* L. 1753), une espèce de plantes herbacées du genre *Solanum* et de la famille des Solanacées, est l'une des plus importantes cultures maraîchères au plan mondial. Elle présente une grande valeur nutritionnelle et économique, et son fruit est un ingrédient populaire dans les cuisines du monde entier (FAO, 2022). Selon FAOSTAT (2021), la production mondiale de tomate s'élève à plus de 189 millions de tonnes pour une superficie de 5 167 388 hectares, soit un rendement moyen de 36,6 tonnes/ha. La capacité d'adaptation de la tomate à des conditions pédoclimatiques diverses lui permet d'être cultivée dans de nombreuses régions, notamment en Afrique où sa production représente 11,31% de la production mondiale contre 2,82% pour l'Afrique de l'Ouest (FAOSTAT, 2021).

Au Bénin, où l'agriculture urbaine et périurbaine joue un rôle crucial au plan socio-économique, la production maraîchère, notamment celle de la tomate, est un pilier essentiel de la sécurité alimentaire et de l'économie locale (Yèhouessi, 2012). Elle constitue une source importante de revenus pour les producteurs, les transformateurs et les commerçants. Parmi les légumes fruits cultivés au Bénin, la tomate occupe la première place en termes de superficie emblavée et de production obtenue (Mensah *et al.*, 2019). En 2022, la production de tomate au Bénin est estimée à 266 789,81 tonnes pour une superficie de 39 299 ha, soit un rendement moyen de 6,79 tonnes/ha (FAOSTAT, 2022). Toutefois, ce rendement reste largement inférieur à la moyenne mondiale et ne permet pas de satisfaire en tout temps les besoins locaux en consommation de tomate. Ainsi, le pays importe-t-il chaque année des quantités importantes de tomate fraîche ou transformée, notamment du Burkina Faso, du Niger, du Nigeria et de la Chine (Mensah, 2020). Plusieurs facteurs expliquent ce faible niveau de productivité de la tomate au Bénin. Il s'agit entre autres de la méconnaissance des bonnes pratiques agricoles, la pression exercée par les bioagresseurs et l'accès difficile aux intrants de qualité, tels que les semences améliorées (Sikirou *et al.*, 2009 ; Mensah *et al.*, 2019).

Par l'effet des nombreuses maladies d'ordre fongique (Sikirou *et al.*, 2015), viral (Hanssen *et al.*, 2010) et bactérienne (Idrissou-Touré *et al.*, 2017) dont ils sont responsables, les bioagresseurs constituent une menace grave pour la production de la tomate. Parmi les maladies qu'ils causent à la culture de la tomate, les plus dévastatrices au Bénin sont la virose des feuilles jaunes en cuillère de la tomate, la gale bactérienne et le flétrissement bactérien (Mensah *et al.*, 2019 ; Dossoumou *et al.*, 2021 ; Azandeme-Hounmalon *et al.*, 2023).

La virose des feuilles jaunes en cuillère de la tomate, causée par le TYLCV, représente dans les zones de production de tomate du pays la maladie virale la plus dommageable au plan économique (James et *al.*, 2010). Transmise par les mouches blanches (*Bemisia tabaci*, Gennadius), la virose est capable d'anéantir les 100% de la production de tomate dans les régions du monde et en particulier de l'Afrique subsaharienne (Pan et *al.*, 2012). Elle est une menace énorme en production de tomate surtout en contre saison, au Bénin et aussi dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest et du monde (Otoïdobiga et *al.*, 2003 ; Perez et *al.*, 2017). En culture de tomate au Bénin, la gale bactérienne causée par *Xanthomonas spp.* est l'une des plus importantes affections bactériennes rencontrées, qui constitue un frein à la production de la tomate (James et *al.*, 2010). Elle est à l'origine des pertes de rendement pouvant atteindre 80% de la production de tomate (Vansickle et *al.*, 2009). Le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum*, quant à lui, est une maladie très redoutable qui occasionne des pertes de rendement pouvant atteindre 100% dans les cas les plus sévères (Mensah et *al.*, 2016 ; Sikirou et *al.*, 2017). Au Bénin, le flétrissement bactérien est présent dans toutes les zones agroécologiques, avec une incidence plus élevée au Sud et au Centre du pays (Dossoumou, 2021).

Les trois maladies sont répandues dans les régions tropicales et subtropicales, ainsi que dans certaines zones tempérées du monde. Leur gestion repose sur l'adoption de mesures prophylactiques, culturales, biologiques et génétiques. Parmi les mesures de lutte, l'amélioration génétique favorisant le développement de variétés résistantes ou tolérantes aux maladies et aux conditions environnementales adverses, représente une voie prometteuse (Lapidot et *al.*, 1997 ; Santana et *al.*, 2001). Plusieurs études ont permis d'identifier et d'évaluer des variétés de tomate résistantes ou tolérantes aux maladies. A titre illustratif, des sources de résistance vis-à-vis de l'agent pathogène de la gale bactérienne ont été observées chez différentes espèces du genre *Solanum (lycopersicum)* (Astua-Monge et *al.*, 2000a ; Astua-Monge et *al.*, 2000b ; Jones & Scott, 1986 ; Scott et *al.*, 1995) et ont servi au développement de variétés résistantes. De même, les travaux de Camara et *al.* (2013) ont identifié chez douze variétés de tomate, la résistance au virus TYLC. Concernant le flétrissement bactérien, les travaux de Assogba Komlan et *al.* (2016), Mensah (2020) et Dossoumou (2021) ont identifié des variétés de tomate résistantes/tolérantes en cours de diffusion au Bénin. Mais, beaucoup de ces travaux menés au Bénin révélaient, pour la résistance aux maladies, la prédominance des variétés hybrides à l'instar de *Padma*, *Platinum* et *Thorgal*. Malheureusement, le coût élevé des semences de ces variétés hybrides freine leur accessibilité et constitue un facteur limitant leur adoption par les producteurs.

Eu égard à cela, il apparaît nécessaire de poursuivre les efforts de recherche pour développer et diffuser des variétés de tomate résistantes/tolérantes aux trois principales maladies, en tenant compte des préférences variétales basées sur le coût et des critères agronomiques, organoleptiques, commerciaux ou culturels des producteurs et des consommateurs. La présente étude s'inscrit dans cette perspective, en visant à cribler en milieu paysan des variétés de tomate à pollinisation libre pour leur résistance à la virose des feuilles jaunes en cuillère de la tomate, à la gale bactérienne et au flétrissement bactérien. Elle intègre l'évaluation de la performance agronomique de ces lignées de tomates candidates à l'homologation et à l'inscription au Catalogue Béninois des Espèces et Variétés Végétales (CaBEV), afin d'améliorer leur disponibilité et leur accessibilité aux maraîchers.

1.2. Questions de recherche

La présente recherche a pour but d'apporter de solutions aux questions spécifiques de recherche ci-après : Quel est l'état de précocité des nouvelles variétés de tomate à pollinisation libre, candidates à l'homologation et à l'inscription au CaBEV ? Lesquelles parmi elles peut-on proposer face à la virose, à la gale bactérienne et/ou au flétrissement bactérien dû à *Ralstonia solanacearum* ? Quelles sont les performances agronomiques de ces nouvelles variétés ?

1.3. Objectifs de l'étude

L'objectif global de la présente étude est donc de sélectionner de nouvelles variétés de tomate à pollinisation libre résistantes aux principales maladies de tomate au Sud-Bénin.

De façon spécifique, il s'agit de :

- OS1 : Évaluer la durée du cycle phénologique des variétés ;
- OS2 : Étudier la sensibilité des variétés à la virose due au TYLCV, à la gale bactérienne et au flétrissement bactérien de la tomate dans deux zones de production du Sud-Bénin ;
- OS3 : Déterminer la performance agronomique des variétés de tomate dans deux agrosystèmes maraîchers du Sud-Bénin.

1.4. Hypothèses de recherche

Les hypothèses formulées pour l'atteinte des objectifs sont :

- H1 : La majorité des nouvelles variétés de tomate prouvent leur précocité dans les conditions agroécologiques du Sud-Bénin ;
- H2 : Au moins une des nouvelles variétés de tomate à pollinisation libre est résistante à la virose due au TYLCV, à la gale bactérienne et au flétrissement bactérien quelle que soit la zone de production ;
- H3 : Les variétés de tomate introduites sont plus performantes que celles en cours de diffusion.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2. Synthèse bibliographique

2.1. Origine et classification de la tomate

La tomate (*Solanum lycopersicum* L. 1753) est une plante herbacée découverte dans la région andine du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, où elle a été domestiquée il y a plus de 35 000 ans. Son parcours vers l'Europe remonte au 16^{ème} siècle, lorsque les Espagnols l'ont introduite, bien avant la pomme de terre et le tabac. Initialement considérée comme ayant des propriétés aphrodisiaques, elle était surnommée la "pomme d'Amour" (Chougar, 2011). En dépit de ces premiers usages ornementaux, les Européens ont commencé à la consommer, tant bien que plusieurs étaient indécis à cause de sa parenté avec des plantes toxiques comme *Hyoscyamus niger* et *Lycopersicum atropa* (Thomas *et al.*, 2013).

Au fil du temps, les botanistes ont donné diverses appellations au genre et à l'espèce attribués à la tomate. Toutefois, son nom officiel *Solanum lycopersicum* L. (1753) demeure usuel dans la littérature, et sur le plan taxonomique, elle est classée comme suit (MNHN & OFB [Ed]. 2003-2024) :

- **Domaine:** Biota Endl.(D.Don)
- **Règne:** Plantae Haeckel, 1866
- **Sous-règne:** Viridaeplantae
- **Intra-Règne:** Streptophyta John, Williamson & Guiry, 2011
- **Classe:** Magnoliopsida
- **Sous-classe:** Magnoliidae Novak ex Takht., 1967
- **Super-Ordre :** Ateranae Takht., 1967
- **Ordre:** Solanales Juss. Ex Bercht. & J. Presl, 1820
- **Famille:** Solanaceae Juss., 1789
- **Sous-Famille:** Solanoideae Kostel., 1834
- **Tribu:** Solaneae Dumort., 1829
- **Genre:** Solanum L., 1753
- **Espèce:** Solanum lycopersicum L., 1753

2.2. Cycle de développement de la tomate

Le cycle de production de la tomate s'étend sur une durée de 60 à 150 jours, et est fonction de la variété, des conditions climatiques et des pratiques culturales (Fagbohoun et *al.*, 1999). Il comprend quatre phases principales : la germination, la croissance végétative, la floraison et la fructification (Akpo et *al.*, 2021). Vodouhe et *al.* (2014) avaient décrit les conditions de déroulement des différentes phases qui se présentent comme suit :

- ❖ **La germination** : C'est le processus par lequel la graine sort de sa dormance et donne naissance à une plantule. Dans le cas de la tomate, ce processus est de type épigé, c'est-à-dire que les premières pousses apparaissent au-dessus de la surface du sol. La germination nécessite une température optimale de 25 à 30°C et une humidité relative de 70 à 80%. Elle dure environ 5 à 10 jours.
- ❖ **La croissance végétative** : Elle est la phase pendant laquelle la plante développe son appareil foliaire, ses tiges et ses racines. La croissance végétative commence en pépinière avec l'apparition de racines encore non fonctionnelles et de pré-feuilles. Elle se poursuit après repiquage en plein champ lorsque les feuilles deviennent photosynthétiques et les racines fonctionnelles. On assiste à l'épaississement progressif de la tige et à l'augmentation du nombre de feuilles. La croissance végétative est fonction de la disponibilité en eau, en nutriments et en lumière. Elle dure 30 à 60 jours selon les variétés.
- ❖ **La floraison** : Elle est la phase pendant laquelle la plante produit des fleurs qui sont le siège de la fécondation et de la formation des fruits. C'est une étape déterminante du cycle de production de la tomate qui se réalise sous l'influence de la photopériode, de la température et des besoins nutritionnels de la plante. Elle s'étend sur une période de 10 à 20 jours selon les variétés.
- ❖ **La fructification** : C'est la phase pendant laquelle la plante développe et mûrit ses fruits. Les températures nocturnes atteignant 22°C peuvent être défavorables à ce processus (Chougar, 2011). Par contre, le grossissement des fruits se déroule à des températures ambiantes d'environ 25°C pendant la journée et de 15°C pendant la nuit (Guedda & Djaber, 2016). La durée de la fructification chez la tomate varie de 20 à 60 jours selon les variétés.

2.3. Importance socio-économique et nutritionnelle de la tomate

2.3.1. Importance socio-économique de la tomate

La production de la tomate est une activité qui procure une importante source de revenus aux producteurs. Au Bénin, Mensah *et al.* (2019) ont procédé au calcul économique de la culture de tomate en considérant les trois principaux systèmes de production à savoir : le système pluvial, le système de décrue et le système irrigué. Ils ont rapporté qu'avec le système irrigué, plus économique, le producteur réalise par hectare une marge nette de 3 803 304 FCFA en période d'abondance et de 7 659 304 FCFA en période de rareté. En outre, le système pluvial et le système de décrue même moins économiques, procurent respectivement 1 444 350 Fcfa et 2 405 550 FCFA au producteur sur la même unité de parcelle en période de pénurie. La production de la tomate participe donc à la survie de nombreuses familles (Sikirou *et al.*, 2001). Son importance va au-delà de la sécurité alimentaire, car elle concourt à la réduction de la pauvreté, à la création d'emplois et à la promotion du développement économique aussi bien, en milieu rural (Alidou et Ceylan, 2021), que dans les zones urbaines et périurbaines.

2.3.2. Importance nutritionnelle de la tomate

De par sa composition variée en substances organiques et en éléments minéraux, la tomate est un légume fruit qui offre de nombreuses vertus thérapeutiques. Elle est riche en lycopène, un antioxydant qui protège contre certains cancers (Giovannucci, 1999), en potassium, qui régule la pression artérielle et prévient les accidents vasculaires cérébraux (He & MacGregor, 2004), en vitamines C, E et en bêta-carotène, qui renforcent le système immunitaire et la santé oculaire (Chew & Park, 2014). Elle contient des fibres qui facilitent la digestion et le contrôle du cholestérol (Anderson & Chen, 1979). La tomate est également un aliment peu calorique, qui favorise l'hydratation, la satiété et le bronzage de la peau (Riso *et al.*, 2014). Elle entre dans l'alimentation sous plusieurs formes : crue, cuite, en salade, en sauce, en jus ou en soupe, et forme une bonne combinaison avec de nombreux aliments et épices, procurant ainsi une variété remarquable de saveurs et de couleurs. Par l'effet des vitamines, éléments minéraux et fibres qu'elle fournit à l'organisme, elle occupe une place de choix dans l'alimentation, apporte une contribution efficace à l'équilibre alimentaire (Tchibozo *et al.*, 2012), et représente le deuxième légume le plus important dans l'alimentation après la pomme de terre (Derkaoui, 2011).

2.4. Bioagresseurs de la culture de tomate

De nombreux bioagresseurs attaquent la culture de la tomate. Ils réduisent le rendement et la qualité des fruits et nécessitent des moyens de contrôle efficaces. Les principaux groupes de bioagresseurs inféodés à la culture de la tomate sont les ravageurs et les maladies.

2.4.1. Les ravageurs de la tomate

Les ravageurs de la tomate sont de deux ordres :

- ❖ les ravageurs du sol dont les nématodes, qui parasitent les racines et provoquent des galles, des déformations et un affaiblissement des plants. Les principales espèces de nématodes retrouvées sur la tomate au Bénin sont les nématodes à galles du genre *Meloidogyne spp* (Azandeme-Hounmalon et *al.*, 2023).
- ❖ les ravageurs aériens, comme les acariens, les lépidoptères, les aleurodes, les thrips, les pucerons, les punaises et les mineuses, qui s'attaquent aux feuilles, aux fleurs et aux fruits, et peuvent transmettre des virus. Ces ravageurs peuvent causer des dégâts directs, comme des défoliations, des perforations, des déformations, des nécroses, des chutes de fleurs et de fruits, ou des dégâts indirects, comme des affections fongiques ou bactériennes secondaires, ou une réduction de la photosynthèse.

2.4.2. Les maladies de la tomate

Les maladies de la tomate sont causées par des agents pathogènes d'origine : (i) cryptogamique (alternariose, mildiou, fusariose, etc.), (ii) bactérienne (chancre bactérien, moucheture de la tomate, gale bactérienne, flétrissement bactérien, etc.) et (iii) virale, comme le virus de l'enroulement des feuilles de la tomate (TYLCV), le virus de la mosaïque du tabac (TMV), le virus de la mosaïque du concombre (CMV) ou le virus de la bronzure de tomate (TSWV).

Au Bénin et plus particulièrement au Sud-Bénin, trois maladies d'importance ont été inventoriées sur la culture de tomate dont les dommages peuvent aller parfois à la perte totale de rendement. Il s'agit de la virose des feuilles jaunes en cuillère de la tomate, du flétrissement bactérien et de la gale bactérienne (Mensah et *al.*, 2019 ; Dossoumou et *al.*, 2021 ; Azandeme-Hounmalon et *al.*, 2023).

2.4.2.1. Maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate

❖ *Agent causal, transmission et propagation*

La maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate est une maladie virale qui provoque l'enroulement et le jaunissement des feuilles de tomate (Rebolledo, 2007). Elle est causée par le virus *Tomato Yellow Leaf Curl* (TYLC) transmis par la mouche blanche, *Bemisia tabaci* Gennadius (Figure 1) au moment du prélèvement de la sève des plantes. Après transmission, le virus est logé le plus souvent dans les tissus, se multiplie dans le noyau des cellules végétales, et produit des particules virales. Le TYLCV libère par la suite des enzymes et des toxines qui dégradent les tissus végétaux et perturbent le métabolisme de la plante. C'est un virus à ADN simple brin circulaire, du genre *Begomovirus*, de la famille des Geminiviridae. Il existe plus de 50 souches différentes de TYLCV, qui se distinguent par des caractéristiques morphologiques, génétiques et pathogéniques. Le TYLCV est originaire du Moyen-Orient, mais il s'est répandu dans le monde, surtout dans les régions tropicales et subtropicales, où les conditions de température et d'humidité sont favorables à la multiplication et à la dispersion du virus et de son vecteur. Le virus peut être propagé par les échanges de matériel végétal infecté.

❖ *Symptômes sur la tomate en culture*

L'expression des symptômes de la maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate est fonction de la souche du TYLCV, et plus prononcée quand la variété est sensible et les conditions édapho-climatiques difficiles. Les symptômes apparaissent généralement sur les feuilles, mais peuvent aussi affecter les tiges, les fleurs et les fruits. Les symptômes les plus communs sont :

- le jaunissement des feuilles, qui apparaît sur les bords ou les pointes, et qui gagne progressivement le centre. Les nervures restent vertes et les feuilles peuvent aussi présenter des taches vert clair ou blanchâtres.
- l'enroulement des feuilles vers le haut, qui leur donne une forme de cuillère. Les feuilles peuvent aussi subir une déformation, un rétrécissement ou une crispation (Figure 2). Elles tombent prématurément ou peut rester attachées à la plante.
- la réduction de la croissance et du développement de la plante, qui devient chétive et buissonnante. La plante produit moins de fleurs et de fruits, ou des fruits de petite taille, déformés ou nécrosés. Les fruits peuvent aussi présenter des taches jaunes ou vertes, ou des stries longitudinales.

- la diminution de la vigueur et de la résistance de la plante, qui devient plus sensible aux autres stress biotiques ou abiotiques, comme les maladies fongiques, bactériennes ou physiologiques, ou les carences nutritionnelles.

❖ *Importance socio-économique*

Parmi les maladies virales, la maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate due au *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) sévit dans le monde entier. L'incidence du TYLCV sur la production varie en fonction du stade de développement de la plante au moment de l'attaque. Les dégâts de la maladie du TYLCV avoisinent 50 à 70% si l'attaque est tardive et les 100% si elle intervient en pépinière (Ciss, 2004). Pour les attaques d'après floraison, les fleurs formées donnent des fruits de calibre très réduit débouchant sur des pertes de l'ordre de 75%. Les récoltes sont pratiquement anéanties lorsque le virus est transmis avant la floraison (Rebolledo, 2007). Les dommages du TYLCV ont obligé les producteurs du Maroc à la destruction et à l'abandon des centaines d'hectares de cultures de tomate (Hanafi, 2000). En Côte d'Ivoire, des pertes de 70% de production ont été occasionnées par l'infestation des cultures de tomate à un fort taux de TYLCV (100%) en saison sèche (Fauquet et Thouvenel, 1987). Alors, par crainte du TYLCV les producteurs limitent leur production dans le temps et dans l'espace (Hanafi et *al.*, 2002).

Au Bénin aussi, la virose des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV) cause en culture de tomate le plus de dommages au plan économique (James et *al.*, 2010) en affectant le revenu et le bien-être des acteurs de la filière tomate.



Figure 1 : Adultes et oeufs de *Bemisia tabaci* sur la face inférieure d'une feuille

Source : N'zi, 2010



Figure 2 : Manifestation de la maladie des feuilles jaunes en cuillère de la tomate

Source : Blancard (INRAe, 2023)

2.4.2.2. Gale bactérienne

❖ *Agent causal, transmission et propagation*

La gale bactérienne est causée par des agents pathogènes bactériens, du genre *Xanthomonas* comprenant plusieurs espèces parmi lesquelles les plus pathogènes sont : *X. axonopodis* pv. *vesicatoria*, *X. axonopodis* pv. *euvesicatoria*, *X. axonopodis* pv. *perforans*, et *X. axonopodis* pv. *gardneri* (Hamza, 2010). La gale bactérienne est une maladie très répandue, favorisée par des conditions de température et d'humidité élevées. L'infection provient majoritairement des semences ou de l'environnement des plantes (Blancard, 2009), et les agents pathogènes s'introduisent dans les feuilles à travers les ouvertures naturelles comme les stomates, les lenticelles ou via les blessures provoquées par les piqûres d'insectes (Blancard, 2009) ou par divers chocs physiques (effets du sable, pluie et vent) (Pohronezny et al, 1992 ; Rudolph, 1993). Dans la feuille et en conditions favorables, les bactéries se propagent vers les espaces intercellulaires du mésophylle, puis envahissent les cellules de l'épiderme inférieur et particulièrement le long des nervures (Sharon et al, 1982).

❖ *Symptômes sur la tomate en culture*

Les symptômes de la gale bactérienne se manifestent sur toutes les parties aériennes de la plante : feuilles, tiges, pétioles et fruits de tomate. Ce sont des lésions nécrotiques, graisseuses et translucides qui apparaissent sous forme de zones circulaires (1-5 mm) saturées d'eau, d'abord vertes, puis brunes et nécrosées (Hamza, 2010). Sur les feuilles, les lésions prennent une forme irrégulière, souvent limitées par les nervures, et entourées par un halo jaunâtre. Elles sont plus nombreuses sur les bords ou les pointes des feuilles, et peuvent provoquer des déformations, des enroulements ou des chutes. Sur les tiges (Figure 3), les lésions sont de forme allongée, brunes à noires, et peuvent s'étendre sur toute la longueur. Sur les fruits (Figure 4), les lésions gardent la forme circulaire, de couleur vert pâle à noire, et peuvent évoluer en pustules liégeuses, craquelées, qui altèrent l'aspect et la conservation des fruits les rendant non commercialisables. Les symptômes peuvent être confondus avec ceux d'autres maladies bactériennes, fongiques ou virales, ce qui nécessite des méthodes de diagnostic spécifiques.

❖ *Importance socio-économique*

La gale bactérienne est très nuisible pour la culture de la tomate. Elle est présente dans toutes les régions de culture de la tomate et occasionne des pertes de rendement allant de 52 à 90% (Pohronezny et al., 1990). Les lésions provoquées par la gale bactérienne réduisent la qualité

des fruits, qui deviennent impropres à la commercialisation ou à la transformation. Il s'en suit une diminution du prix et de la demande qui affectent le revenu des producteurs.



Figure 3 : Manifestation de la gale bactérienne sur tige et feuilles de tomate
Source : Blancard (INRAe, 2015)



Figure 4 : Manifestation de la gale bactérienne sur fruits de tomate
Source : Blancard (INRAe, 2013)

2.4.2.3. Flétrissement bactérien

❖ *Agent causal, transmission et propagation*

Le flétrissement bactérien est une maladie causée par *Ralstonia solanacearum*, une bactérie Gram négatif en forme de bacille ou bâtonnet, de 1,5 µm de long sur 0,55 µm de large en moyenne. Cette bactérie tellurique est présente sous climats tropical, sub-tropical, méditerranéen et tempéré (Prior & Fegan, 2005). Elle affecte un large spectre d'hôtes comprenant aussi bien les monocotylédones que les dicotylédones (Lebeau et al., 2010). Au nombre des plantes cultivées sensibles, on distingue, la pomme de terre, le tabac, la tomate, l'aubergine, le piment, le poivron, l'arachide, le bananier, etc. La bactérie est aérobie stricte et appartient à la famille des Pseudomonadacées. Les souches virulentes, sont les moins mobiles. La bactérie trouve accès aux plantes à travers les poils d'absorption, les blessures racinaires, les plaies de tiges ou par les stomates (Blancard & Prior, 2015). Une fois dans la plante, elle se localise dans les tissus vasculaires, colonise le xylème (Xiao et al., 1983), et envahit les parois des vaisseaux dont elle provoque le blocage qui est la principale cause du flétrissement. Au Bénin, la bactérie s'est répandue dans toutes les zones agroécologiques. La propagation du flétrissement bactérien est favorisée par les conditions de température et d'humidité élevées, les insectes, les nématodes, les blessures naturelles ou mécaniques des outils sur les plantes, qui constituent les premières portes d'infection.

❖ *Symptômes sur la tomate en culture*

Chez les plantes infectées, les premiers symptômes sont le flétrissement des feuilles terminales. En culture de tomate, les jeunes feuilles sont touchées en premier et deviennent flasques pendant la période la plus chaude de la journée (Champoiseau et al., 2009). Le flétrissement est soudain, progressif et irréversible sur les feuilles, les tiges et les fruits. Sur feuilles, les symptômes se manifestent généralement par une épinastie foliaire, un flétrissement, et une chlorose des feuilles réduisant l'activité photosynthétique de la plante (Blancard & Prior, 2015) (Figure 5a). Une coupe transversale de la tige fait apparaître un brunissement du système vasculaire et un écoulement d'un liquide laiteux ou visqueux. La section de tige infectée plongée dans un bocal transparent contenant de l'eau fait observer un filament blanc laiteux ou jaunâtre (Figure 5b). Sur les fruits, les symptômes se caractérisent par le flétrissement, la décoloration et la nécrose de leur surface externe. Les racines pourrissent et se détachent facilement. Les autres symptômes qui peuvent se manifester sont entre autres un retard de croissance, un rabougrissement, une courbure de l'apex de la plante.

Dans des conditions climatiques favorables, le flétrissement se répercute rapidement sur les différentes parties de la plante et précipite la mort du végétal (Sikirou et *al.*, 2009).

❖ Importance socio-économique

Le flétrissement bactérien est l'une des maladies bactériennes les plus nuisibles au plan mondial, qui engendrent de lourdes pertes en culture des plantes hôtes. Le flétrissement bactérien limite considérablement les rendements et dans les cas extrêmes pousse à l'abandon des cultures (Sikirou et *al.*, 2017). Artal et *al.* (2012) ont rapporté que l'incidence de la maladie est élevée dans les conditions sévères et peut entraîner des pertes de rendement supérieures à 90%. En culture de tomate, dans la sous-région Ouest africaine, cette maladie est très répandue en raison des conditions climatiques favorables (Fegan & Prior, 2005). Au Nigéria, elle provoque des pertes de rendement de 60 à 100% en culture de tomate (Popoola et *al.*, 2015). En Côte d'Ivoire, Fondio et *al.* (2010) ont rapporté des pertes de rendement de l'ordre de 80% à 100% avec abandon de la culture de tomate en zone périphérique de la ville d'Abidjan. Au Burkina-Faso, plusieurs travaux ont montré que les souches burkinabés de *R. solanacearum* appartenant à la race I biovar I, III et IV (Ouedraogo, 1998) engendrent 90% de pertes de rendement chez la variété de tomate Rossol (Boro, 2014). Au Bénin, Sikirou et *al.* (2017) ont rapporté que les pertes de rendement avoisinent 100% sur les solanacées notamment la tomate.



Figure 5 : Plant de tomate atteint de flétrissement bactérien (a) et Test de verre d'eau pour la détection du flétrissement bactérien (b)

Source: Mensah (2020)

2.5. Méthodes de lutte contre les maladies de la tomate

Pour protéger la tomate contre les maladies, il existe différents moyens, qui se distinguent dans les catégories suivantes : lutte prophylactique, lutte chimique, lutte biologique, lutte culturale et lutte génétique.

2.5.1. Lutte prophylactique

La lutte prophylactique consiste à prévenir l'apparition ou la propagation des maladies, en utilisant des semences ou des plants sains et certifiés, en pratiquant la rotation des cultures, en éliminant les adventices hôtes, les plantes malades ou les débris végétaux, en évitant les blessures aux plantes et en désinfectant les outils ou les équipements (Mian et *al.*, 2002).

2.5.2. Lutte chimique

La lutte chimique consiste à utiliser des produits phytosanitaires, tels que des fongicides, des bactéricides, des nématicides ou des insecticides, pour éliminer ou réduire les populations des agents pathogènes ou de leurs vecteurs. Au Bénin, il est recommandé l'utilisation des produits à base de cuivre (Hydroxyde de cuivre) pour lutter contre l'agent pathogène de la gale bactérienne, les produits à base d'acétamipride (Pacha25 EC, Gbayedo 56 EC) pour le contrôle de la mouche blanche vecteur du TYLCV (Assogba et *al.*, 2013 ; Mensah et *al.*, 2019). La chloropicrine, le formol, l'hypochlorite de calcium et le bromure de méthyle sont appliqués dans la gestion de *R. solanacearum* sur plantules (Frank, 2003). Cette méthode est efficace à court terme, mais présente des effets néfastes sur l'environnement et coûtent chers. Par conséquent, il est nécessaire de respecter les bonnes pratiques en la matière et d'envisager des méthodes alternatives respectueuses de l'environnement telle la lutte biologique (Frank, 2003).

2.5.3. Lutte biologique

La lutte biologique consiste à utiliser des mécanismes naturels ou des organismes vivants comme des prédateurs, des parasitoïdes, des agents microbiens, etc., pour contrôler les agents pathogènes ou leurs vecteurs. A titre d'exemples, les microorganismes comme *Trichoderma* sp. ou *Bacillus* sp., les souches avirulentes de *R. solanacearum*, les espèces bactériennes antagonistes, les mycorhizes ou plantes sauvages à effet inhibiteur sont utilisés pour réduire la croissance des populations de *R. solanacearum* (Mahbou, 2010). De même, l'effet bactéricide des extraits aqueux de ciboule rouge (*Allium fistulosum*) diminuant considérablement l'incidence du flétrissement bactérien sur la tomate a été démontré à travers de nombreux travaux de recherche (Deberdt et *al.*, 2012). Des résultats similaires ont

été observés avec l'utilisation des plantes assainissantes ou d'extraits botaniques qui s'est révélée bénéfique dans la régulation des bioagresseurs telluriques (Ratnadass et *al.*, 2011). En réalité, la pratique de la lutte biologique reste une promesse, car elle est peu répandue et son efficacité est tributaire des conditions environnementales.

2.5.4. Lutte culturale

La lutte culturale consiste à adopter les pratiques agronomiques pour prévenir ou limiter les attaques de cultures. Elle se repose sur le choix des variétés, la date de semis ou de repiquage, la densité de plantation, la fertilisation, l'irrigation, le désherbage, l'élimination des plantes malades et la rotation. Dans le cas du flétrissement bactérien, la méthode culturale prend également en compte la solarisation qui consiste à recouvrir le sol nu de plastique en saison chaude afin de le réchauffer pour réduire la population de nombreux pathogènes telluriques (champignons, nématodes et bactéries). Les plantes non-hôtes telles qu'*Allium fistulosum*, *Mucuna puriens* etc. en rotation de culture favorisent la réduction de l'incidence de la maladie (Lebas, 2010).

2.5.5. Lutte génétique et variétale

Le criblage des variétés est la méthode disponible immédiatement contre les plus importantes maladies de la tomate. Cette méthode résulte des essais sur des collections de ressources génétiques pour identifier des génotypes résistants. L'utilisation des variétés résistantes ou tolérantes obtenues par sélection conventionnelle ou par génie génétique contribue à la réduction de l'usage des produits phytosanitaires, à l'amélioration du rendement et de la qualité, à la préservation de la biodiversité et à la sécurité alimentaire. Cette méthode se révèle la plus efficace dans le contrôle des maladies notamment du flétrissement bactérien (Hayward, 1991). Dans le cas de la tomate, des variétés ayant une résistance stable ont été développées dans des conditions environnementales locales contre *R. solanacearum*. Cependant, cette stabilité reste précaire dans le temps et dans l'espace (Wang et *al.*, 2000), et est due à la variabilité phénotypique et génotypique des souches de *R. solanacearum* d'une part, et aux différences agro-pédo-climatiques qui influencent le développement de la maladie d'autre part (Fegan & Prior, 2006).

2.6. Bilan de recherches sur la lutte variétale contre les maladies de la tomate

De nombreux travaux de recherches ont été menés dans le monde pour développer des variétés de tomate résistantes ou tolérantes aux maladies. Ces recherches ont permis d'identifier des gènes ou des marqueurs moléculaires associés à la résistance ou à la tolérance aux maladies, et de les introduire dans des variétés de tomate par croisement ou par transformation. Ces recherches ont aussi permis de caractériser les mécanismes de résistance ou de tolérance aux maladies, et de les évaluer en conditions contrôlées ou en conditions réelles. Ces recherches ont enfin permis de diffuser des variétés de tomate résistantes ou tolérantes aux maladies, et de les valoriser auprès des producteurs et des consommateurs (Riso et *al.*, 2014).

C'est ainsi qu'à la suite de la sélection en réseau pour la création de tomates résistantes au virus du *tomato yellow leaf curl* (TYLCV) notamment en Inde, en Afrique et aux Etats-Unis, deux sources de résistance ont été mises en évidence avec l'aide de l'université américaine de Beyrouth (Liban) (Laterrot, 1995). Il s'agit de « LA 121 », appartenant à l'espèce *Lycopersicon pimpinellifolium* et « CMV sélection INRA », une lignée issue d'un croisement de deux origines de *L. peruvianum*. À partir de ces sources, des populations améliorées portant une résistance aux maladies ont pu être diffusées. Aussi, une étude sur la productivité et la sensibilité de diverses variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) face à la virose du TYLC au Sénégal, menée par Camara et *al.* (2013) a permis d'identifier douze variétés de tomate résistantes au TYLCV.

A propos de la gale bactérienne, Astua-Monge et *al.* (2000), Jones et *al.* (1995) et Minsavage et *al.* (1996) ont observé des sources de résistance vis-à-vis du pathogène chez différentes espèces du genre *Lycopersicon* (*Solanum*). Selon Yu et *al.* (1995), la première source émane de la variété Hawaii 7998, comportant au minimum trois gènes de résistance (Rx1, Rx2, Rx3). Le gène de résistance Xv3 de *S. pimpinellifolium* et du cultivar Hawaii 798 a servi à l'identification de la deuxième source de résistance. La troisième source de résistance se rapporte au gène Xv4, et a été identifiée dans *S. pennellii*. Les gènes Xv3 et Xv4 ont la propriété d'interagir avec les gènes d'avirulence avrXv3 et avrXv4 portés par l'espèce *X. perforans* en provoquant une haute résistance (Astua-Monge et *al.*, 2000a ; Astua-Monge et *al.*, 2000b ; Jones et *al.*, 1995 ; Minsavage et *al.*, 1996).

Dans le cas du flétrissement bactérien, en Taïwan, la variété Hawaii7996 a été développée en culture de la tomate par des chercheurs du Centre de Recherche et de Développement des

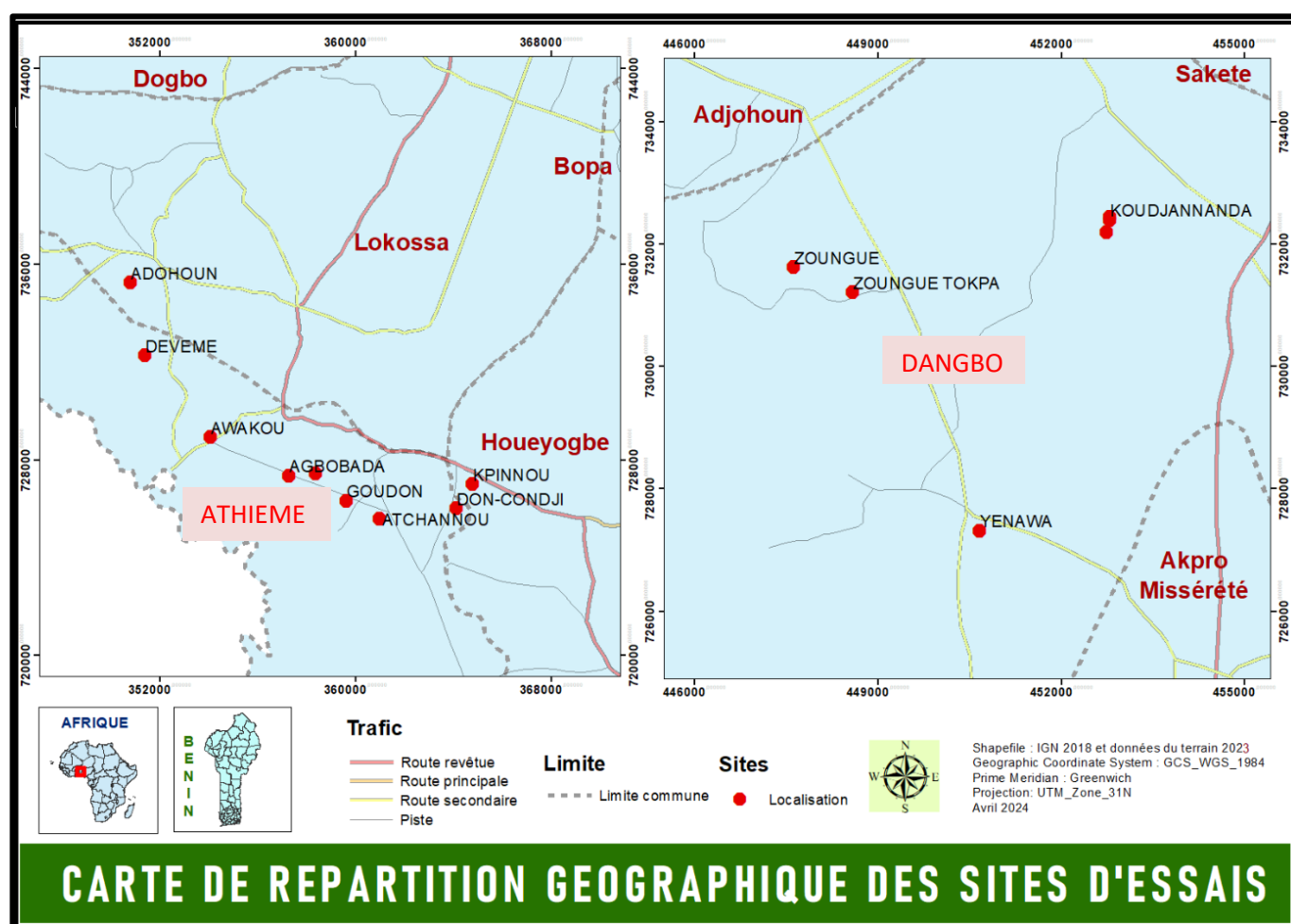
Légumes Asiatiques (AVRDC) (Wang et *al.*, 2000). En Corée, 285 accessions des Solanacées provenant de tous les continents ont fait l'objet d'une évaluation de leur résistance au flétrissement bactérien. Au terme, quatre accessions se sont révélées résistantes au flétrissement bactérien et deux modérément résistantes (Kim et *al.*, 2016). Au Nigeria, quatre variétés résistantes ont été identifiées à l'issue de l'évaluation du statut résistant de quarante variétés de tomate (Ganiyu et *al.*, 2017). Laeshita et *al.* (2017) ont également identifié les variétés Servo, Kaliurang, Melinda, Amelia et Rewako comme modérément résistantes après l'évaluation de la résistance au flétrissement bactérien de seize variétés de tomate. Au Bénin, Oussou et *al.* (2020) ont identifié la variété PADMA comme résistante, et les variétés Thorgal, Mongal et Platinum comme modérément résistantes au flétrissement bactérien. Cette étude corrobore avec les travaux de Assogba Komlan et *al.* (2016) qui ont introduit les variétés hybrides (Padma, Platinum et Thorgal) comme résistantes/tolérantes à cette maladie bactérienne. Sur le même registre, après l'évaluation de la performance de sept lignées de tomate non hybrides face au flétrissement bactérien, trois variétés à pollinisation ouverte (CLN 3024 A, CLN 3241 H et H 7996) en plus l'hybride PADMA s'étaient montrées tolérantes au flétrissement bactérien avec moins de 10% de plants flétris (Mensah, 2020). Aussi, Dossoumou (2021) a-t-il rapporté que les variétés Hawaï 7997 et PADMA ont été résistantes et Cobra 26 modérément résistante au flétrissement bactérien. Plus récemment, Ahouanmagnagahou (2023), en conclusion de ses travaux menés en station, a montré que onze nouvelles variétés développées par WorldVeg, peuvent être classées comme résistantes au flétrissement bactérien (CLN2498D, AVTO1955-15, CLN4270F, CLN4398M, CLN4270D, CLN4018G, CLN4270B, CLN4270I, CLN4398D, CLN4270E et CLN4066G). De même, à travers l'évaluation agro-morphologique des onze lignées de tomate, conduite en station, les variétés CLN4398M, CLN4270E et TLCV15 se sont montrées résistantes à la gale bactérienne et les lignées CLN4270B, CLN4398M et CLN4398D se sont montrées résistantes au flétrissement bactérien à l'instar de la variété PADMA (China, 2023).

CADRE, MATERIEL ET METHODES

3. Cadre, matériel et méthodes

3.1. Présentation du cadre de l'étude

L'étude a été réalisée avec le Programme Cultures Maraîchères (PCM) du Centre de Recherches Agricoles en Horticulture (CRA-H) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Les essais ont été conduits en milieu paysan dans les communes de Dangbo au Sud-Est du Bénin (département de l'Ouémé) et Athiémé au Sud-Ouest du Bénin (département du Mono) (Figure 6).



constituent des contraintes majeures dans les deux zones, qui freinent la production de la tomate. D'où l'intérêt du choix de ces communes pour abriter les essais dans le cadre de la présente étude.

3.1.1. Caractéristiques géographiques et pédoclimatiques de Dangbo

La Commune de Dangbo, située à 6°39' de latitude Nord, et entre 2°28' et 2°34' de longitude Est, se trouve dans le département de l'Ouémé et s'étend sur une superficie de 149 km². Elle est limitée au nord par la commune d'Adjohoun, au sud par les Aguégus, à l'est par Akpro-Misséré et à l'ouest par So-Ava (Département de l'Atlantique). Elle possède un climat subéquatorial humide avec deux (02) saisons de pluie et deux (02) saisons sèches. Son relief est défini par deux zones écologiques : la vallée basse ou la plaine inondable et le plateau (Akomagni & Guidibi, 2006). La zone ayant abrité les essais couvre les arrondissements de Dangbo centre et de Zoungou, et est située sur le plateau, caractérisé par un sol ferralitique. Sur l'année la commune connaît d'importantes précipitations, en moyenne 1217,1 mm de pluie et une température moyenne de 27,4°C (Météo-Bénin, 2024).

3.1.2. Caractéristiques géographiques et pédoclimatiques de Athiémé

La commune d'Athiémé est située au Sud-Ouest de la République du Bénin, entre les parallèles 6°28' et 6°40' de latitude Nord et les méridiens 1°35' et 1°47' de longitude Est. La commune d'Athiémé couvre une superficie de 238 km² et se trouve dans la zone agro-écologique du département du Mono, composée de basses vallées et formations alluviales. Elle a une limite au nord avec la Commune de Lokossa, au sud avec Grand-Popo, à l'est avec Houéyogbé et à l'ouest avec la République Togolaise dont elle est séparée par une frontière naturelle qui est le fleuve Mono. Son climat est de type subéquatorial, caractérisé par quatre saisons, dont deux saisons sèches et deux saisons des pluies. Sur l'année, la température à Athiémé est de 27,3°C et les précipitations sont en moyenne de 692,3 mm. La commune d'Athiémé représente une zone favorable aux activités maraîchères de par la richesse de son sol en éléments nutritifs, mais qui devient hydromorphe avec les eaux de crue (Akomagni & Guidibi, 2006), telles que enregistrées au cours de la période des essais. Les données climatiques (température et pluviométrie) relevées dans les deux zones au cours de la période des essais sont représentées sur les figures 5 et 6.

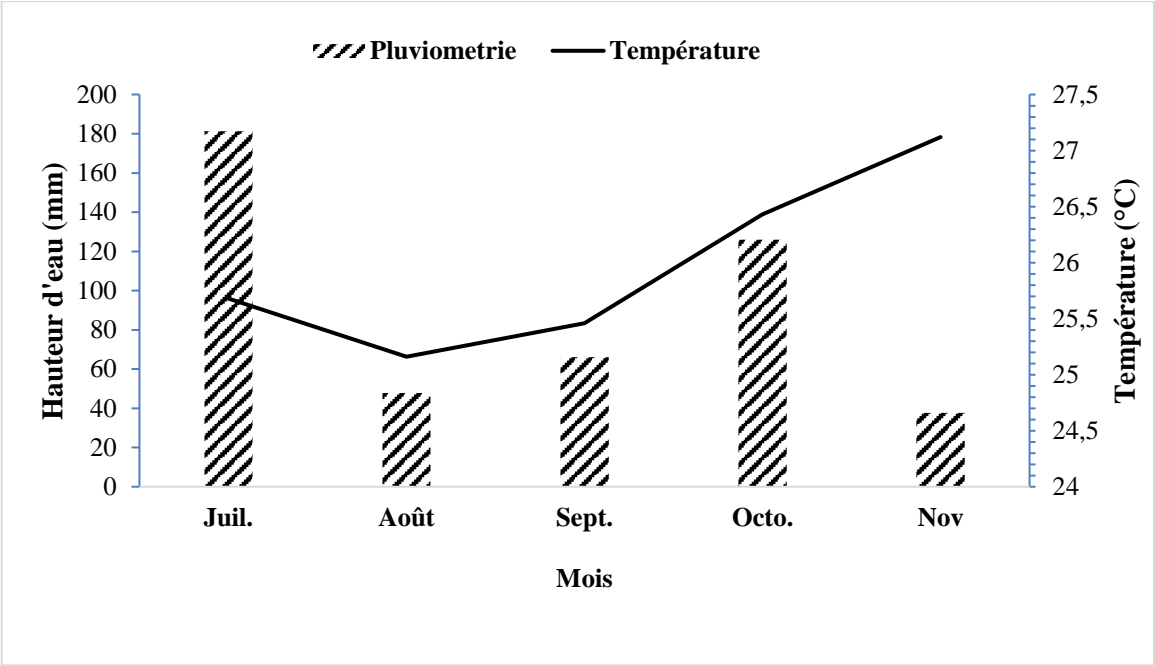


Figure 7 : Diagramme ombrothermique de Dangbo

Source des données : Météo-Bénin (2024)

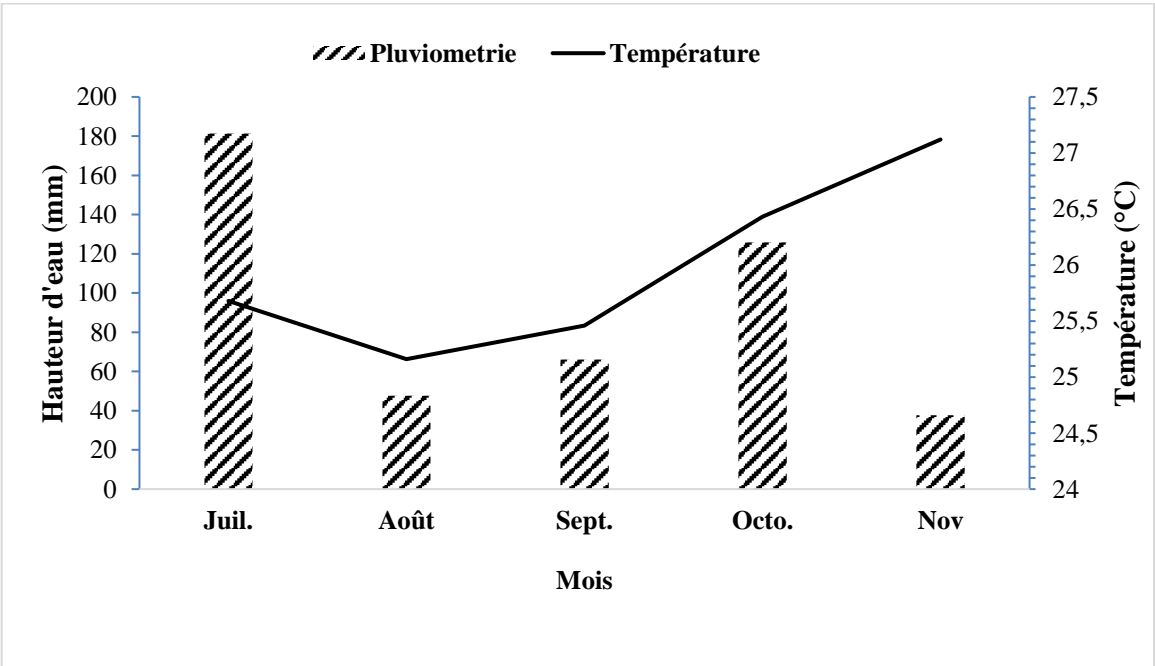


Figure 8 : Diagramme ombrothermique de Athiémé

Source des données : Météo-Bénin (2024)

3.2. Matériel végétal

Neuf (9) variétés de tomate ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Ces variétés ont fait l'objet de test de Distinction, d'Homogénéité et de Stabilité (DHS) en station en 2022. Il s'agit de sept (07) nouvelles variétés à pollinisation libre, introduites par WorldVeg dans le cadre du projet SAFEVEG, et candidates à l'homologation (Tableau I). Deux (02) variétés en cours de diffusion au Sud-Bénin, ont été utilisées comme référence résistante (PADMA F1) et témoin sensible (TLCV15). La variété PADMA F1 qui est une variété hybride de la compagnie semencière East-West Company, une variété résistante au flétrissement bactérien. La variété TLCV15, une variété à pollinisation libre introduite par l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) très sensible au flétrissement bactérien. Les 9 variétés ont été codifiées de V1 à V9 pour la mise en place des essais (Tableau I).

Tableau I : Variétés de tomate expérimentées

Nom de la variété	Code	Origine	Observations
CLN4270E	V1	World Vegetable Center	Variétés candidates à l'homologation
CLN4398M	V2	World Vegetable Center	
CLN4270F	V3	World Vegetable Center	
CLN4018G	V4	World Vegetable Center	
CLN4270D	V5	World Vegetable Center	
CLN4398D	V6	World Vegetable Center	
CLN4270B	V7	World Vegetable Center	
PADMA	V8	East-West Seed	Variétés témoins en cours de diffusion
TLCV15	V9	INRAB	

La figure ci-après présente le fruit de chacune des variétés de tomate utilisées dans le test.

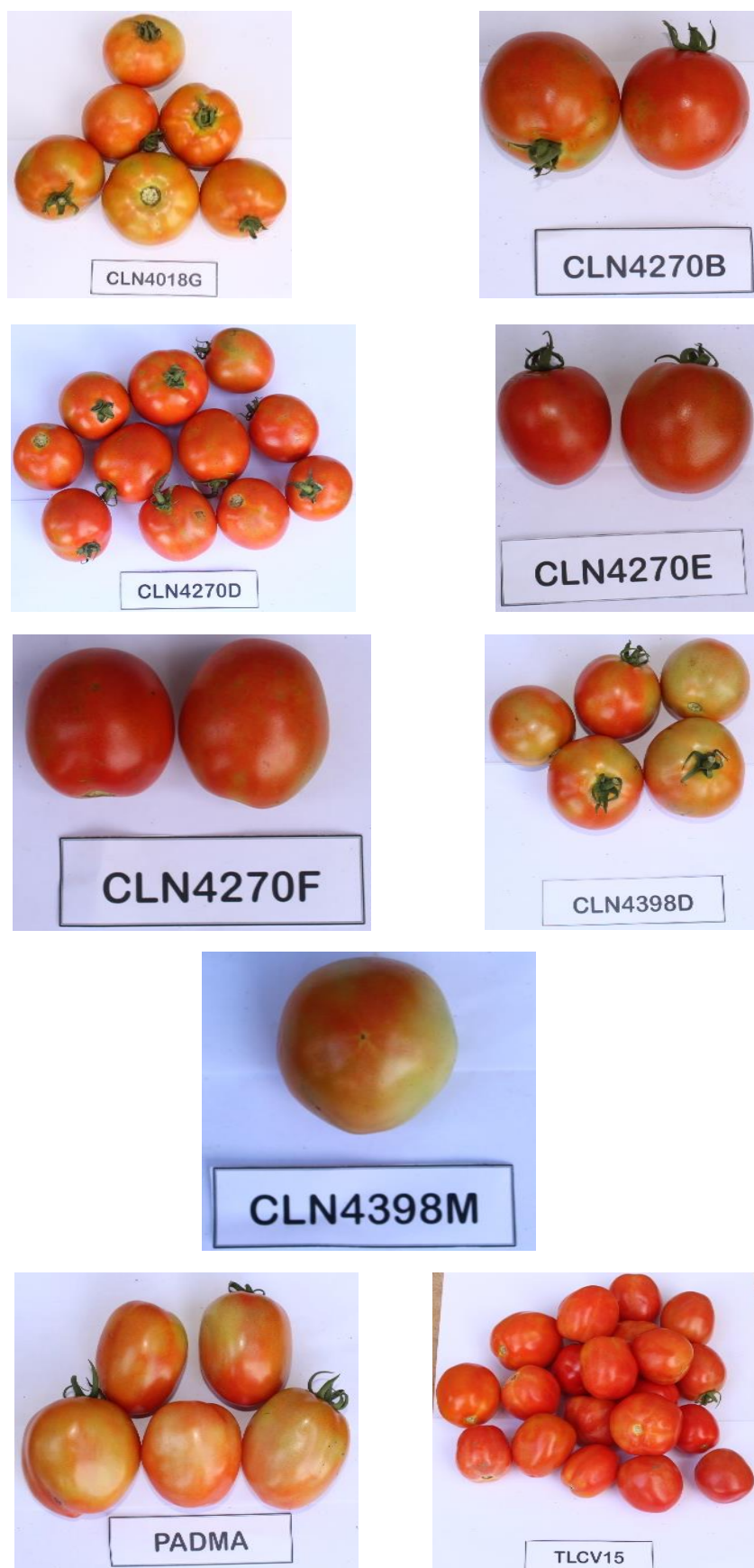


Figure 9 : Fruits des variétés de tomate comparées dans le test

3.3. Méthodes

3.3.1. Choix des producteurs collaborateurs

Les producteurs ayant abrité les tests ont été sélectionnés par une équipe du programme de recherches sur les cultures maraîchères en collaboration avec les agents d'encadrement des Cellules Communales de l'Agence Territoriale de Développement Agricole (ATDA) Pôle 7. Les principaux critères de sélection des producteurs ont été leur ouverture aux innovations et aux visites d'échanges, leur expérience dans la production de tomate, la possession d'un site facilement accessible et d'un espace suffisant pour abriter au moins un test.

Au total, quinze (15) producteurs de tomate dont six (6) à Dangbo et neuf (9) à Athiémé ont abrité les essais. Chaque producteur a abrité une répétition à l'exception de deux producteurs de Dangbo qui ont conduit chacun 2 répétitions et un producteur à Athiémé qui a conduit 2 répétitions ; portant ainsi le nombre de répétitions à dix-huit (18) (Tableau II).

Tableau II : Nombre de producteurs par localité

Commune	Villages	Nombre de producteurs	Nombre de répétitions
Dangbo	Zounguè (2), Yénanwa (1), Koudjannanda (3)	06	8
Athiémé	Agbobada (1), Goudon (1), Atchannou (1), Awakou (1), Don-condji (1), Kpinnou (1), Avégodoé (1), Adohoun (1), Dévémè (1)	09	10
Total		15	18

3.3.2. Dispositif expérimental

Le Dispositif expérimental choisi est en blocs aléatoires complets dispersés avec neuf (9) traitements et dix-huit (18) répétitions. Chaque producteur constitue une répétition et a abrité tous les traitements (variétés). Toutefois, deux producteurs à Dangbo et un producteur à Athiémé disposant plus d'espace ont conduit individuellement deux répétitions des variétés testées. La parcelle élémentaire avait une superficie de 24 m² (4,8 m x 5 m) et est constituée de 6 lignes de 10 plants. Une allée de 0,5 m a été observée entre parcelles dans un bloc (Figure 10).

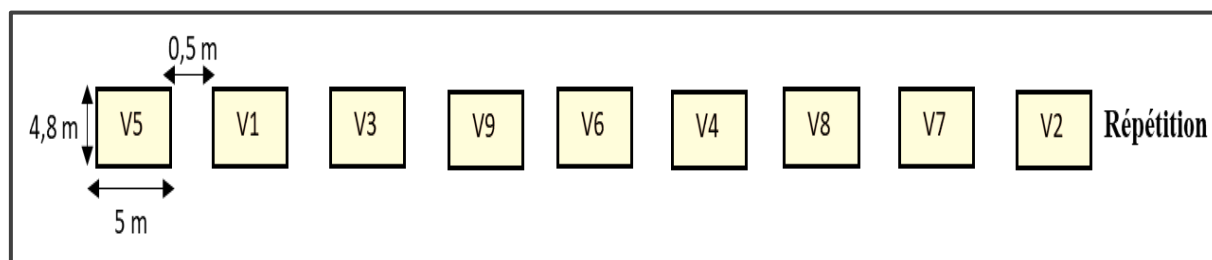


Figure 10 : Vue schématique du dispositif expérimental au niveau de chaque producteur

3.3.3. Mise en place et conduite de la culture

La mise en place et la conduite des essais ont été faites conformément au Référentiel Technico-Economique de la culture de tomate, élaboré par l'INRAB. Le semis en pépinière a été fait en ligne et à même le sol du 19 au 25 juillet 2023 (Figure 9a). Les jeunes plants de tomate de 21 jours d'âge en pépinière ont été repiqués suivant un écartement de 0,80 m x 0,50 m, soit une densité de 60 plants par parcelle élémentaire. La fertilisation a consisté à un apport organique (fientes de volailles) à la dose de 10 t/ha, de NPK à la dose de 200 kg/ha et d'un mélange d'urée et de sulfate de potassium à la dose de 200 kg/ha. Ces apports ont été respectivement faits une semaine après repiquage, deux semaines après repiquage et en début de floraison et de fructification. Selon les bioagresseurs visés, des traitements préventifs à l'acaricide (Abamectine), à l'insecticide (Lambdacyhalothrine + Acetamipride), au fongicide (Mancozèbe) étaient effectués pour limiter leurs dégâts. Les traitements ont pris fin une semaine avant le début des récoltes. Les autres entretiens ont consisté au désherbage et binage des planches. Un arrosage régulier était fait pour favoriser un bon développement des plants.



Figure 11 : Photos d'une pépinière des variétés de tomate (a), d'une parcelle d'essai avant repiquage (b) et d'une parcelle d'essai en fertilisation (c) à Athiémé et de parcelle d'essai de tomate en fructification à Dangbo (d et e).

3.3.4. Paramètres évalués

Trois groupes de paramètres ont été évalués au cours des tests et sont relatifs au cycle phénologique des variétés, à leur sensibilité aux maladies dominantes et à leur performance agronomique. La figure 10 présente le schéma des plants observés sur une parcelle élémentaire pour l'évaluation des paramètres.

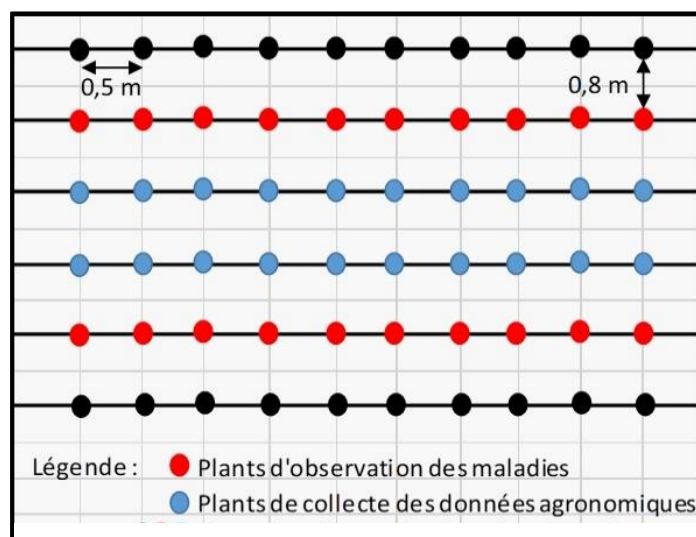


Figure 12 : Vue schématique des plants observés au niveau de la parcelle élémentaire

3.3.4.1. Evaluation du cycle phénologique des variétés

La détermination du cycle phénologique a porté sur la date de 50% floraison des différentes variétés. Il s'agit de la date à laquelle 50% des plants de chaque variété ou parcelle élémentaire ont porté au moins une fleur épanouie. Cela a consisté à relever cette date pour chaque variété et à calculer le nombre de jours qui séparent l'apparition des fleurs et le jour du repiquage. Les observations pour l'évaluation de ce paramètre, ont été faites sur l'ensemble des plants de la parcelle à la même périodicité que pour les autres paramètres.

3.3.4.2. Evaluation de la sensibilité des variétés de tomate aux maladies dominantes

La collecte des données pour l'évaluation de la sensibilité des variétés aux maladies a été faite sur les lignes 2 et 5 de chaque parcelle élémentaire. Vingt (20) plants ont été observés par parcelle à raison de 10 plants par ligne (Figure 10). Les observations ont démarré quatre (4) semaines après repiquage, dès l'apparition des premiers symptômes, et avec une fréquence de trois (3) jours. Pour chacune des trois maladies ciblées, les plants présentant des symptômes typiques ont été dénombrés par parcelle élémentaire, et par niveau de sévérité (pour la virose).

L'évaluation de la sensibilité des lignées de tomate aux maladies a été faite donc sur la base du taux d'incidence enregistrée pour chacune des variétés.

▪ **Taux d'incidence de la maladie**

Il a été calculé par parcelle et par répétition suivant la formule suivante :

$$I\% = \frac{PA}{PT} * 100$$

Avec I% = Taux d'Incidence, PA = nombre de Plants Attaqués, PT = nombre Total de Plants.

La classification des variétés selon leur résistance basée sur l'incidence du flétrissement bactérien a été réalisée selon l'échelle de Mew et Ho (1977) définie dans le tableau III.

Tableau III : Echelle de classification de la résistance basée sur l'incidence du flétrissement bactérien

Réaction	Incidence (%)
Très résistant (HR)	0%
Résistant (R)	>1% - 10%
Modérément résistant (MR)	>10% - 20%
Modérément susceptible (MS)	>20% - 30%
Susceptible (S)	>30% - 70%
Très susceptible (HS)	>70%

Pour la virose causée par le TYLCV, l'évaluation de la sévérité a été faite suivant l'échelle de Lapidot et Friedmann (2002) qui comporte cinq niveaux :

0 = Aucun symptôme.

1 = Très peu de symptômes de virose.

2 = Quelques symptômes, mais la plante présente un développement végétatif acceptable et peut donner quelques fruits.

3 = Symptômes évidents de virose : le plant est rabougri, les feuilles sont recroquevillées vers le haut et il peut y avoir un peu de jaunissement des feuilles.

4 = Symptômes sévères de virose : le plant est complètement rabougri, les feuilles sont toutes petites.

La figure 11 illustre les différents niveaux d'échelle de sévérité de la virose sur les plants de tomate.



Figure 13 : Niveaux d'échelle de sévérité des viroses

▪ **Sévérité moyenne de la virose**

La sévérité moyenne a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$S_m = \frac{\sum S_i * N_i}{\sum N_i}$$

Où S_m la sévérité moyenne, S_i est le $i^{\text{ème}}$ index de sévérité sur l'échelle de notation, N_i est le nombre de plants ayant reçu l'index S_i .

3.3.4.3. Evaluation de la performance agronomique des variétés

Pour l'évaluation de la performance agronomique des variétés, des données de récolte ont été collectées sur vingt (20) plants des deux lignes centrales (lignes 3 et 4) de chaque parcelle élémentaire (figure 10). Ces données ont porté sur :

- le nombre de plants présents à la récolte ;
- le poids et le nombre total de fruits.

Sur la base des données de récolte collectées, trois paramètres de performance agronomique ont été calculés :

- Nombre moyen de fruits par plant
- Le poids moyen d'un fruit (g)
- Le rendement potentiel en fruits de tomate (RPF) calculé en t/ha suivant la formule :

$$RPF \text{ (t/ha)} = \frac{\text{Poids total fruits par plant (kg)} * 10000 \text{ m}^2}{(0,5 \text{ m} * 0,8 \text{ m}) * 1000 \text{ kg}}$$

3.3.5. Traitement et analyse des données

La saisie des données a été effectuée avec le tableur Excel. Pour l'analyse de la variance, les effets de deux facteurs ont été testés sur chacun des paramètres évalués. Il s'agit des facteurs « Zone avec 2 niveaux » et « Variété avec 9 niveaux ».

Les données phénologiques, le nombre de fruits par plant et l'incidence des maladies (virose, gale bactérienne et flétrissement bactérien) étant des données quantitatives discrètes, elles ont été soumises à un modèle linéaire généralisé Poisson à effet mixte afin de tester l'effet de la variété, de la zone de production et de la répétition sur leurs variations au seuil de 5%. La variété et la zone de production ont été considérées comme facteurs fixes et la répétition comme facteur aléatoire. Le test de Tukey a été utilisé pour la comparaison deux à deux des moyennes au seuil de 5% de significativité.

De plus, des modèles linéaires à effet mixte ont été effectués sur le poids des fruits et le rendement potentiel des variétés de tomate. Les modèles complets, à intercepte aléatoire, à pente aléatoire, et à intercepte et pente aléatoires ont été testés à l'aide du package « *lmerTest* » (Kuznetsova *et al.*, 2017). Le meilleur modèle a été choisi en se basant sur les scores du Critère d'Information d'Akaike (AIC).

Les R^2 marginaux et conditionnels des modèles linéaires à effet mixte et du modèle linéaire généralisé Poisson à effet mixte ont été calculés à l'aide de la fonction *r.squaredGLMM()* du package « *MuMIn* » (Barton, 2016) qui implémente la méthode développée par Nakagawa et Schielzeth (2013). Le R^2 marginal donne la variance expliquée par les effets fixes et le R^2 conditionnel donne la variance expliquée par le modèle entier, c'est-à-dire à la fois les effets fixes et les effets aléatoires. Les analyses et visualisations ont été réalisées dans le logiciel R version 4.3.0 (R Core Team, 2023).

RESULTATS

4. Résultats

4.1. Cycle phénologique de la tomate selon la variété et la zone de production

Les résultats d'évaluation du paramètre phénologique sont consignés dans le tableau XVI en annexe. L'analyse des résultats a montré une variabilité ($p\text{-value} < 0,05$) entre les lignées de tomate pour la date de 50% de floraison. Des différences significatives ($p\text{-value} = 0,02262$) ont été observées entre les lignées dans les deux zones de production pour la date de 50% de floraison.

En effet, les dates de 50% de floraison ont varié entre 33 et 36 jours à Athiémé et entre 35 et 42 jours à Dangbo (Tableau IV). La variété PADMA a été la plus précoce dans les deux zones de production, atteignant les 50% de floraison à 33 JAR à Athiémé et 35 JAR à Dangbo. Parmi les nouvelles variétés, la CLN4270E, la CLN4270D et la CLN4270B ont prouvé leur précocité à Dangbo avec 50% de floraison à 34 jours. Tandis que, distinctivement à Athiémé, la CLN4018G et la CLN4270F se sont aussi montrées précoces en arrivant à 50% de floraison à 37 jours. Les autres lignées et le témoin TLCV15 ont affiché des cycles similaires par zone et sont les plus tardives.

Tableau IV : Nombre de jours (JAR) avant 50% de floraison de la tomate suivant la zone de production

Variété	Nombre de jours (JAR) avant 50% de floraison	
	Athiémé	Dangbo
CLN4018G	36±7 a	37±1 b
CLN4270B	34±4 b	40±1 a
CLN4270D	34±3 b	40±2 a
CLN4270E	34±1 b	42±4 a
CLN4270F	36±4 a	37±1 b
CLN4398D	35±1 a	40±2 a
CLN4398M	36±1 a	39±2 a
PADMA	33±3 b	35±2 b
TLCV15	36±4 a	39±6 a
Probabilité	0,0001***	0,0032**

Les JAR affectés de la même lettre ne sont significativement différentes au seuil 5%.

Test : Modèle linéaire généralisé Poisson à effet mixte, suivi d'une analyse de variance et d'un test de Tukey.

4.2. Performance des variétés de tomate face aux maladies en fonction de la zone de production

4.2.1. Incidence et sévérité de la virose sur les variétés de tomate par zone de production

Le tableau X (voir annexe) présente les résultats de l'évaluation de l'effet de la variété, de la zone de production et de leur interaction sur l'incidence de la virose. En effet, la zone de production a un effet significatif ($p < 0,05$) sur l'incidence de la virose, tandis que la variété et l'interaction entre la variété et la zone ne montrent pas d'effets statistiquement significatifs ($p > 0,05$).

Dans les deux localités de production de tomate choisies, aucune variabilité significative entre les variétés n'a été enregistrée pour l'incidence de la virose ($p > 0,05$). L'incidence la plus élevée de plantes virosées a été enregistrée pour la CLN4270F, soit 3,22% à Dangbo et 3,42% à Athiémé. De plus, l'incidence la plus faible a été enregistrée pour la CLN4270B (2,7%) à Dangbo et TLCV15 (2,75%) à Athiémé (Tableau V).

Les incidences de la virose varient légèrement d'une variété à l'autre dans les deux localités. Cependant, aucune variété ne semble avoir une incidence significativement plus élevée ou plus faible que les autres. Les valeurs sont assez proches les unes des autres. L'incidence de la virose est relativement similaire entre les deux localités.

Au regard de l'échelle de Lapidot et Friedmann (2002) qui comporte cinq niveaux de sévérité de la virose, toutes les variétés testées peuvent être classées au niveau 0 à l'exception de la CLN4270E qui appartient au niveau 1. La sévérité de la virose est donc très faible sur l'ensemble des variétés au cours de la période d'expérimentation (Tableau XIII en annexe). Cependant, il existe une variation significative ($p < 0,0001$) de la sévérité de la virose entre les différentes variétés, localités et moments. Par rapport à l'ensemble, la variété CLN4270E semble être particulièrement sensible à la virose, enregistrant une tendance élevée de sévérité, surtout à Dangbo (Figure 12). Cela souligne l'importance de prendre en compte la variété et le lieu de culture dans la gestion et la prévention des maladies virales affectant les cultures de tomates.

Tableau V : Incidence de la virose sur les variétés de tomate par zone de production

Variété	Incidence de la virose (%)	
	Dangbo	Athiémé
CLN4270E	2,67±4,49 a	3,28±5,2 a
CLN4398M	3±5,38 a	3,42±5,64 a
CLN4270F	3,22±5,57 a	3,42±5,85 a
CLN4018G	2,77±5,22 a	3,11±5,62 a
CLN4270D	2,89±5,1 a	3,43±6,24 a
CLN4398D	3,05±5,48 a	3,37±5,99 a
CLN4270B	2,7±4,9 a	3,28±5,42 a
PADMA	3,17±6,45 a	3,29±5,42 a
TLCV15	2,68±5,49 a	2,75±5,39 a
Probabilité	0,1473	0,2829

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey avec P = 0,05. Les valeurs après le signe ± représentent l'erreur standard..

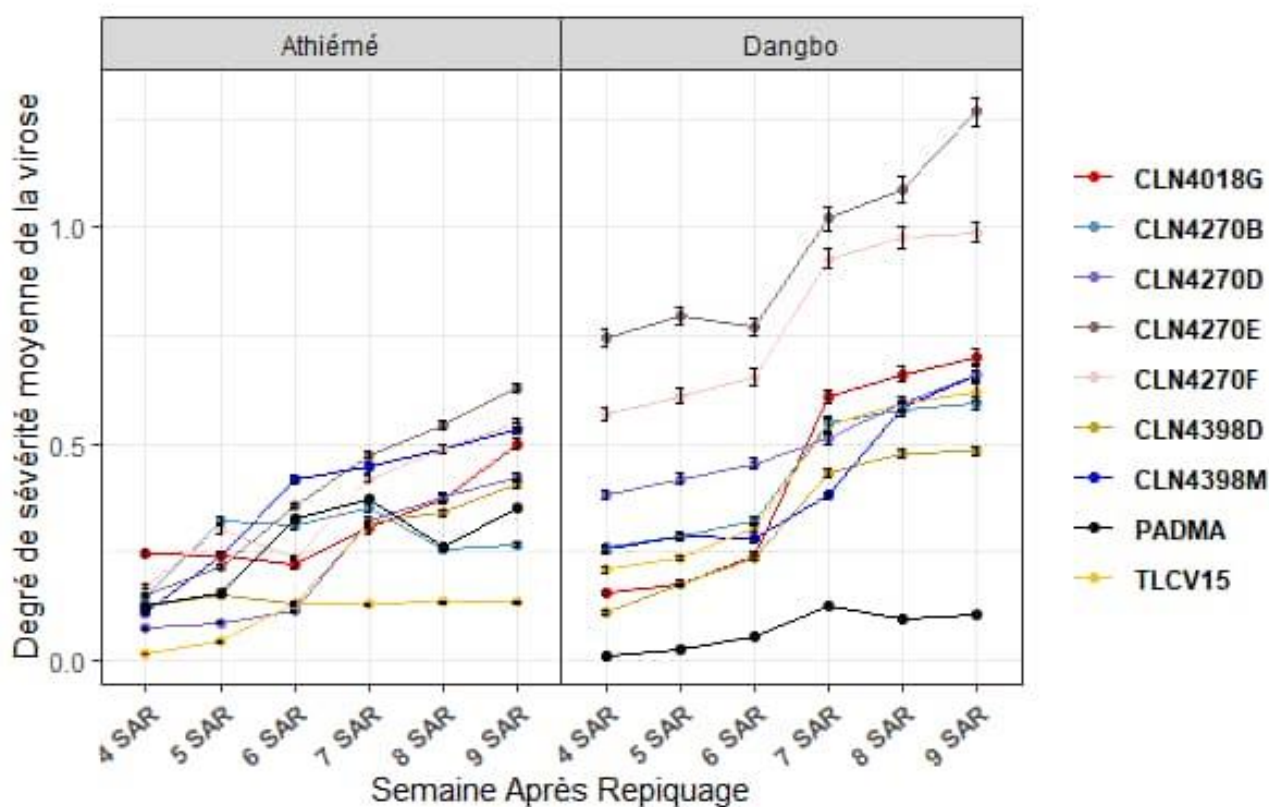


Figure 14 : Evolution de la sévérité de la virose dans le temps en fonction des variétés de tomate

4.2.2. Incidence du flétrissement bactérien sur les variétés de tomate par zone de production

Les résultats de l'évaluation de l'effet du flétrissement bactérien sur les variétés testées sont présentés dans le tableau XI (Voir annexe). L'analyse de la variance a montré une différence statistiquement significative ($p < 0,05$) dans la façon dont les variétés réagissent au flétrissement bactérien en fonction de la zone où elles sont cultivées. La figure 13 représente la répartition géographique de l'incidence du flétrissement bactérien sur les 9 variétés de tomate dans les communes de Dangbo et d'Athiémé. L'incidence du flétrissement bactérien varie considérablement d'une commune à l'autre, indiquant une répartition géographique hétérogène de la maladie. Le taux moyen de flétrissement bactérien dû à *R. solanacearum* a varié de 1,11% à 2,77% dans la zone de production d'Athiémé, et de 0,08% à 0,31% à Dangbo. La variété CLN4018G (2,66%) et le témoin sensible TLCV15 (2,77%) ont présenté les plus hautes moyennes d'incidences du flétrissement bactérien (tableau VI). Cette hausse de la moyenne des incidences a été favorisée d'une part dans les localités d'Adohoun et de Dévémè, et d'autre part aux alentours de Kpinnou et de Don-Condji, qui ont enregistré pour certaines variétés des taux de flétrissement bactérien de 2,26% - 6,50% et de 6,60% - 11,67% (figure 13), suggérant des conditions propices au développement de la maladie dans ces zones.

À l'inverse, les autres zones d'Athiémé et toutes les localités de Dangbo, semblent moins affectées (0 % - 2,25%) par la maladie (figure 13).

A la lumière de la classification de Mew et Ho (1977), les résultats ont montré, à l'instar de la variété témoin résistant (PADMA), que toutes les variétés testées étaient résistantes au flétrissement bactérien à Athiémé et hautement résistantes à Dangbo (tableau VI).

Tableau VI : Incidence du flétrissement bactérien sur les variétés de tomate par zone de production

Variété	Incidence du flétrissement bactérien (%)		Classification selon Mew et Ho (1977)	
	Athiémé	Dangbo	Athiémé	Dangbo
CLN4270E	1,38±1,23 bc	0,29±0,57 a	R	HR
CLN4398M	1,53±0,95 b	0,08±0,24 c	R	HR
CLN4270F	1,64±2,03 b	0,08±0,18 c	R	HR
CLN4018G	2,66±4,08 a	0,13±0,23 b	R	HR
CLN4270D	1,61±1,75 b	0,13±0,23 b	R	HR
CLN4398D	1,11±1,13 c	0,27±0,52 a	R	HR
CLN4270B	1,85±1,86 ab	0,31±0,3 a	R	HR
PADMA	1,92±2,08 ab	0,19±0,37 ab	R	HR
TLCV15	2,77±3,81 a	0,19±0,23 ab	R	HR
Probabilité	0,017*	0,0039**	-	-

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey avec P = 0,05. Les valeurs après le signe ± représentent l'erreur standard.

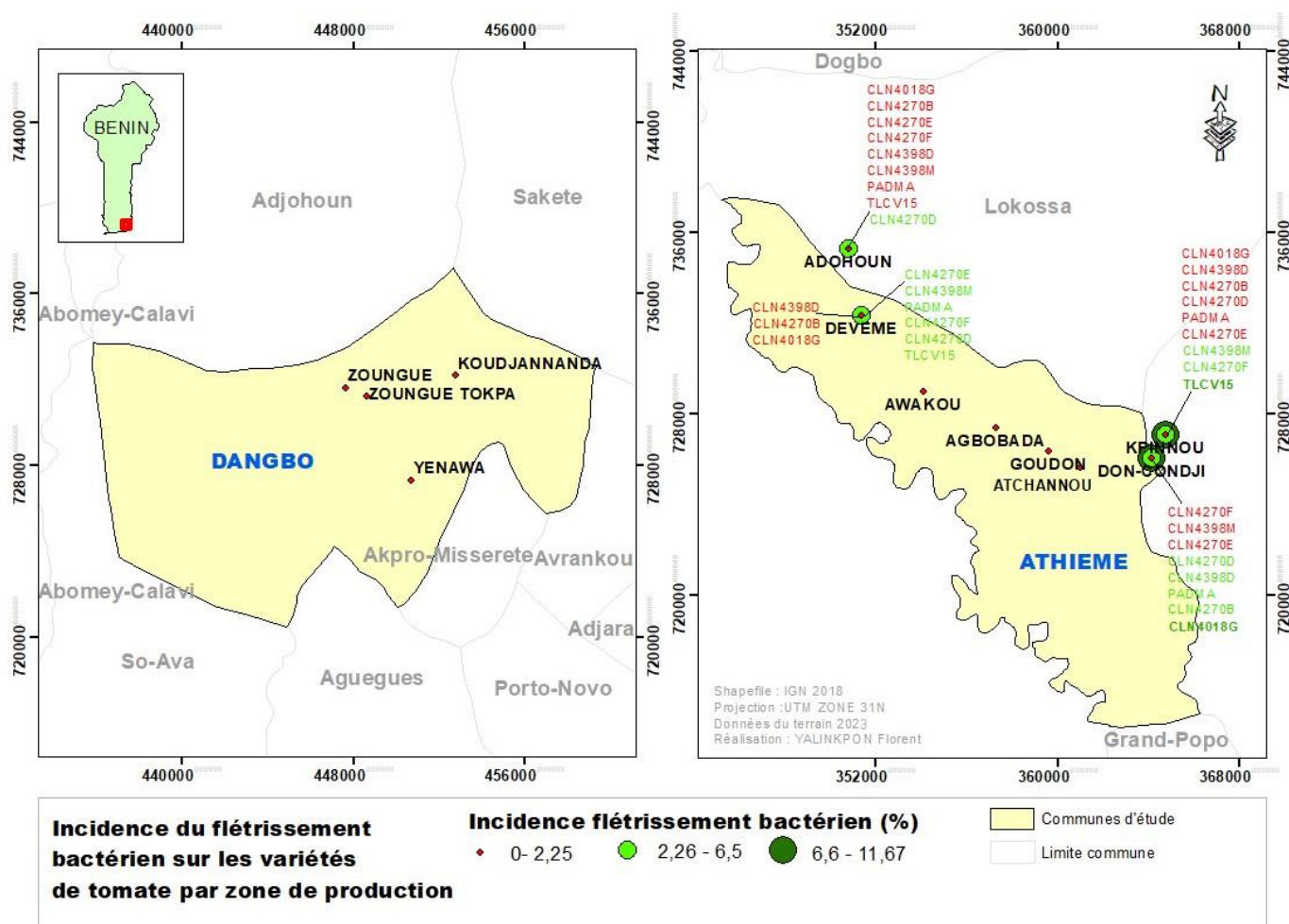


Figure 15 : Carte des incidences du flétrissement bactérien sur les variétés de tomate

4.2.3. Incidence de la gale bactérienne sur les variétés de tomate par zone de production

L'interaction entre la variété et la zone de production a un effet statistiquement significatif (0,003571) sur l'incidence de la gale bactérienne (Tableau XII, voir annexe). Dans la zone de production d'Athiémé, l'incidence de la gale bactérienne a varié significativement ($p = 0,048$) selon les variétés de tomate. La variété CLN4270E a présenté l'incidence la plus élevée de la gale bactérienne avec 3,5%. En revanche, dans la zone de production de Dangbo, il n'y a pas de différences significatives ($p = 0,757$) d'incidence de la gale bactérienne entre les variétés de tomate (Tableau VII).

Ainsi, l'incidence de la gale bactérienne sur les variétés de tomate a varié significativement en fonction de la zone de production, avec des différences observées dans la zone d'Athiémé mais pas de différence dans la zone de Dangbo. En définitif, toutes les variétés ont été moins sensibles à la gale bactérienne avec un taux d'incidence variant de 0 à 3,5% selon la zone de production.

Tableau VII : Incidence de la gale bactérienne sur les variétés de tomate par zone de production

Variété	Incidence de la gale bactérienne (%)	
	Athiémé	Dangbo
CLN4270E	3,5±3,42 a	0±0 a
CLN4398M	3,15±3,98 ab	0±0 a
CLN4270F	2,45±2,96 b	0,04±0,12 a
CLN4018G	2,59±3,01 b	0,02±0,06 a
CLN4270D	1,28±1,22 c	0±0 a
CLN4398D	1,36±1,45 c	0,04±0,08 a
CLN4270B	2,6±2,07 b	0±0 a
PADMA	1,93±2,72 abc	0±0 a
TLCV15	2,9±3,59 ab	0±0 a
Probabilité	0,048*	0,757

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey avec $P = 0,05$. Les valeurs après le signe \pm représentent l'erreur standard.

4.3. Performance agronomique des variétés de tomate

La performance agronomique des variétés de tomate testées a été évaluée à travers trois paramètres de rendement que sont le nombre moyen de fruits par plant, le poids moyen d'un fruit et le rendement potentiel. Le tableau VIII présente les résultats des modèles linéaires à

effet mixte et du modèle linéaire généralisé Poisson à effet mixte sur les paramètres de rendement. Le tableau révèle une différence statistiquement significative ($p < 0,05$) entre les différentes moyennes des lignées et par zone de production concernant les paramètres de rendement étudiés.

Tableau VIII : Effet de la variété et de la zone de production sur les paramètres de rendement de la tomate

Variable	Facteur	NumD F	DenD F	Statistique F	Probabilité	R ² marginal	R ² conditionnel
Poids des fruits (g)	Variété	9	123	1,74	0,08725.		
	Zone	1	123	2,71	0,1024	0,1434	0,1434
	Variété:Zone	8	123	0,61	0,02638*		
Rendement potentiel (t/ha)	Variété	9	122	4,38	5,672e-05***		
	Zone	1	123	22,09	6,871e-06***	0,4103	0,4632
	Variété:Zone	8	122	4,51	7,942e-05***		
		DF	Statistique χ^2		Probabilité		
Nombre de fruits par plant	Variété	9	153,72		<2,2e-16***		
	Zone	1	57,81		2,893e-14***	0,9267	0,9871
	Variété:Zone	9	34,93		6,125e-05***		

Signif. Codes : 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 '.' 0,1 '.' 1 ; NumDF : Degrés de liberté du numérateur liés aux facteurs fixes ; DenDF : Degrés de liberté du dénominateur liés à la variation globale du modèle ; **DF** = Degré de liberté

Les résultats de comparaison des variétés pour chacun des paramètres se présentent comme suit :

- Nombre moyen de fruits par plant

La variété et la zone de production ainsi que l'interaction entre les deux facteurs ont un effet statistiquement significatif ($p < 0,05$) sur le nombre de fruits par plant (Tableau VIII). Cela suggère qu'il y a une différence significative entre le nombre moyen de fruits par plant des différentes variétés et par zone de production. En effet, la variété PADMA se démarque par un nombre plus élevé de fruits par plant à Dangbo (13 ± 11 en moyenne), tandis que la variété CLN4270D montre les nombres les plus faibles, en particulier à Athiémé (1 ± 1 en moyenne) comme l'indique la figure 14. Pour la plupart des autres variétés, le nombre moyen de fruits par plant est généralement plus élevé à Dangbo qu'à Athiémé. D'autres variétés telles que CLN4270E (2 ± 2), CLN4270F (2 ± 1), et CLN4398M (2 ± 1) ont également des nombres de fruits par plant relativement faibles, surtout à Athiémé.

Tableau IX : Nombre moyen de fruits par plant selon la variété et la zone de production

Variété	Moyenne \pm erreur standard	
	Athiémé	Dangbo
CLN4018G	3 \pm 3 a	6 \pm 5 b
CLN4270B	3 \pm 2 a	5 \pm 4 bc
CLN4270D	1 \pm 1 b	3 \pm 2 c
CLN4270E	2 \pm 2 ab	3 \pm 3 c
CLN4270F	2 \pm 1 ab	3 \pm 2 c
CLN4398D	2 \pm 2 ab	5 \pm 6 bc
CLN4398M	2 \pm 1 ab	3 \pm 3 c
PADMA	2 \pm 1 ab	13 \pm 11 a
TLCV15	3 \pm 3 a	2 \pm 2 d
Probailité	0,0498*	0,00276**

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey avec $P = 0,05$.

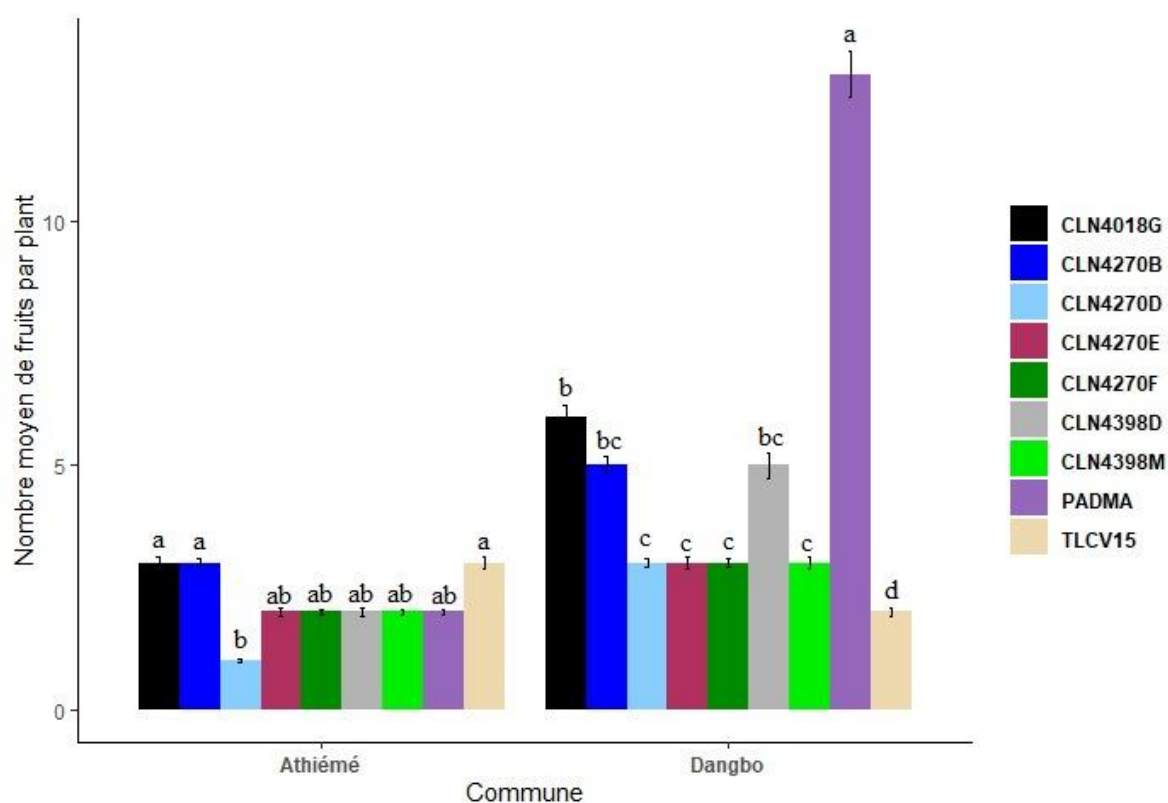


Figure 16 : Variation du nombre moyen de fruits par plant selon la variété et la zone de production

- Poids des fruits

Les probabilités révélées par le modèle linéaire à effet mixte sur le poids des fruits montrent une différence statistiquement significative ($p = 0,02638$) entre l'interaction de lignée et de la zone de production au seuil de 5% (Tableau VIII). En effet, la figure 15 présentant la variation du poids moyen des fruits en fonction de la variété et de la zone de production montre que pour certaines variétés, comme CLN4018G, CLN4270B, CLN4270D, CLN4270E, CLN4270F, PADMA et TLCV15, les fruits ont généralement un poids plus élevé à Dangbo qu'à Athiémé, tandis que pour d'autres variétés, comme CLN4398M et CLN4398D, les fruits ont un poids plus élevé à Athiémé qu'à Dangbo. Cela suggère que le poids des fruits est influencé à la fois par la variété et la zone de production. La variété CLN4270F dans la zone d'Athiémé montre le poids le plus faible ($26,07 \pm 9,51$ g), tandis que la variété CLN4398M à Athiémé ($49,08 \pm 46,17$ g) et la variété PADMA à Dangbo ($49,66 \pm 24,06$ g) présentent les poids les plus élevés des fruits.

Tableau X : Poids moyen des fruits de tomate selon la variété et la zone de production

Variété	Moyenne \pm erreur standard	
	Athiémé	Dangbo
CLN4018G	$42,41 \pm 20,84$ ab	$48,18 \pm 5,99$ a
CLN4270B	$33,58 \pm 4,16$ bc	$40,97 \pm 11,14$ ab
CLN4270D	$28,32 \pm 4,97$ c	$33,22 \pm 10,59$ d
CLN4270E	$35,34 \pm 11,56$ b	$37,84 \pm 13,1$ b
CLN4270F	$26,07 \pm 9,51$ d	$35,87 \pm 7,53$ c
CLN4398D	$37,68 \pm 9,66$ b	$34,76 \pm 6,16$ c
CLN4398M	$49,08 \pm 46,17$ a	$41,38 \pm 9,5$ ab
PADMA	$35,72 \pm 7,03$ b	$49,66 \pm 24,06$ a
TLCV15	$28,83 \pm 6,59$ c	$35,97 \pm 10,42$ c
Probabilité	0,0291*	0,00306**

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey avec $P = 0,05$.

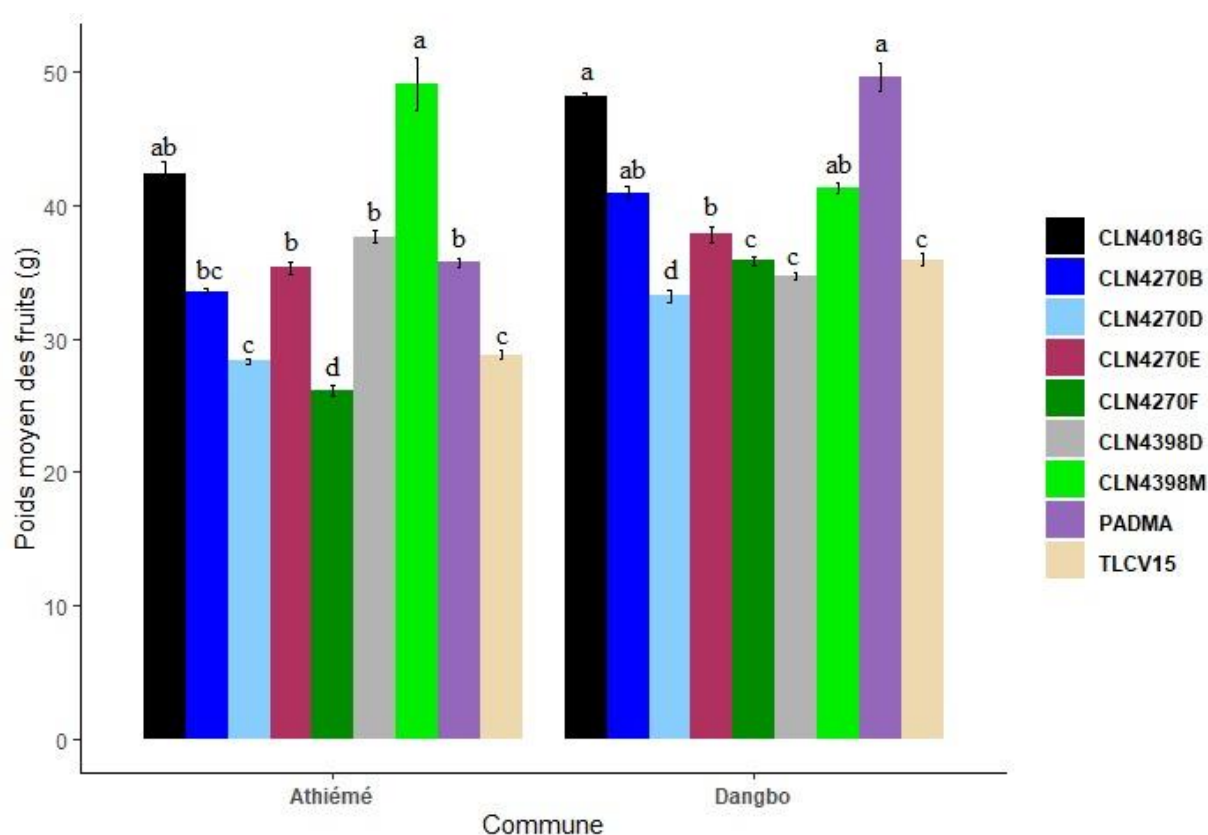


Figure 17 : Variation du poids moyen de fruits de tomate selon la variété et la zone de production

- Rendement potentiel

Les résultats de l'analyse ont montré un effet hautement statistiquement significatif ($p = 7,942e^{-05}$) de l'interaction entre les variétés et la zone de production sur le rendement potentiel au seuil de 5% (Tableau VIII). Pour l'ensemble des variétés, les rendements enregistrés sont globalement faibles, particulièrement à Athiémé. En effet, l'hybride F1 PADMA bien qu'ayant produit les fruits les plus lourds (près de 50 g en moyenne) et les plus gros rendements ($15,05 \pm 11,63$ t/ha) à Dangbo, surpassant largement les autres génotypes, n'a pas atteint son potentiel de rendement variant de 35 tonnes à 40 tonnes/ha. Cependant, comparativement au témoin TLCV15, toutes les nouvelles variétés ont affiché à Dangbo des niveaux de rendements plus élevés dont les plus forts concernent la CLN4398D (4 tonnes/ha) la CLN4270B (4,5 tonnes/ha) et la CLN4018G (6,5 tonnes/ha). Par contre, à Athiémé, seules 2 variétés parmi elles, à savoir la CLN4018G et la CLN4270B se sont montrées plus performantes que le témoin TLCV15 (Figure 16).

Tableau XI : Rendement potentiel de la tomate selon la variété et la zone de production

Variété	Moyenne \pm erreur standard	
	Athiémé	Dangbo
CLN4018G	2,43 \pm 2,77 a	6,50 \pm 6,61 b
CLN4270B	1,7 \pm 1,66 ab	4,50 \pm 3,13 bc
CLN4270D	0,58 \pm 0,17 c	2,17 \pm 2,33 cd
CLN4270E	1,1 \pm 0,81 b	2,13 \pm 2,11 cd
CLN4270F	0,79 \pm 0,43 b	2,26 \pm 2,19 cd
CLN4398D	1,37 \pm 1,13 ab	4,01 \pm 4,42 c
CLN4398M	1,44 \pm 0,99 ab	2,46 \pm 2,96 cd
PADMA	1,14 \pm 0,47 b	15,05 \pm 11,63 a
TLCV15	1,43 \pm 1,72 ab	1,61 \pm 1,71 d
Probabilité	0,0388*	0,00164**

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey avec $P = 0,05$.

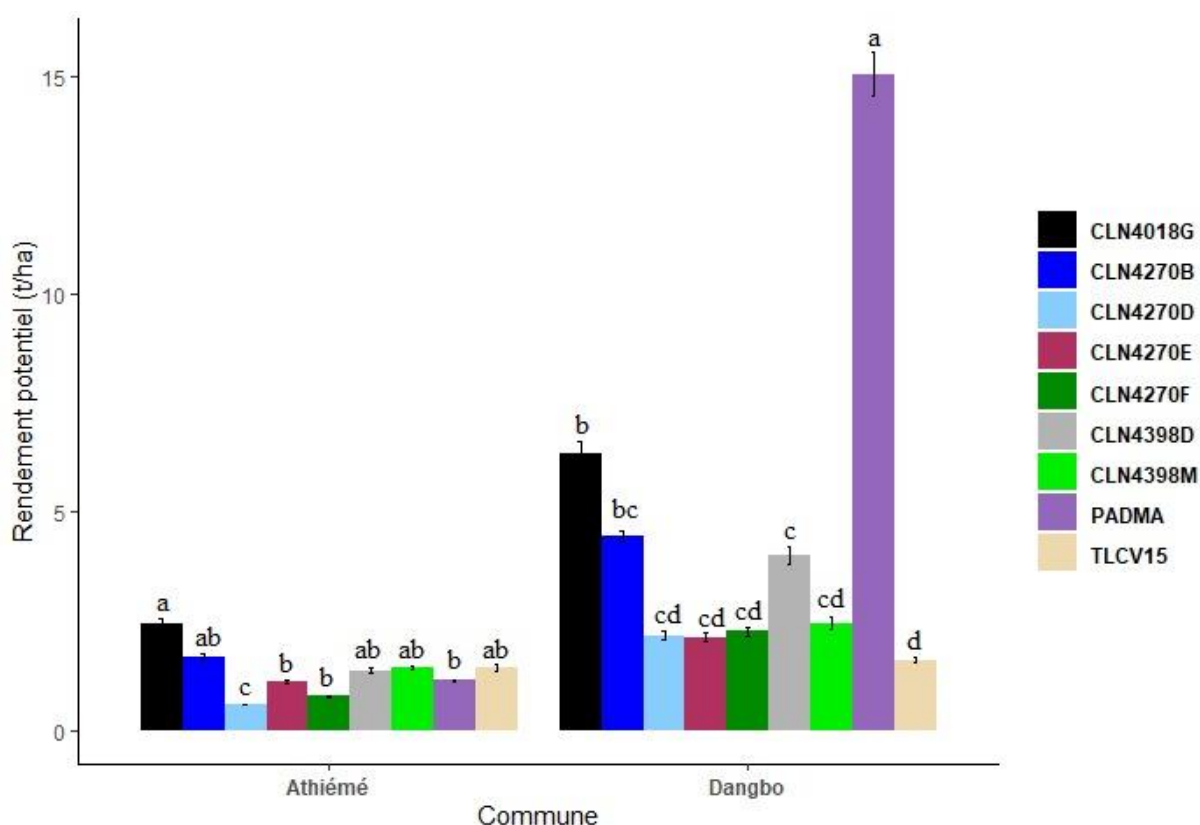


Figure 18 : Variation du rendement potentiel de la tomate selon la variété et la zone de production

DISCUSSION

5. Discussion

La présente étude a permis de caractériser de manière approfondie la diversité phénologique, agronomique et sanitaire d'un ensemble de lignées de tomate cultivées dans deux zones de production distinctes. Elle fait suite à deux cycles de tests DHS en station réalisés sur un certain nombre de lignées de tomate dont font partie les 9 variétés testées ici. Les résultats obtenus mettent en évidence une importante variabilité au sein de ce germplasm, ouvrant ainsi des perspectives intéressantes pour l'amélioration génétique de cette culture.

➤ Cycle phénologique des variétés

L'analyse des paramètres phénologiques a révélé des différences significatives entre les lignées pour la date de 50% de floraison. Certaines lignées se sont ainsi distinguées par leur précocité, à l'instar de PADMA qui a atteint à 33 et 35 jours les 50% de floraison dans les deux zones. Les lignées CLN4270B, CLN4270D, CLN4270E, se sont aussi illustrées précoces à Athiémé, et CLN4018G, CLN4270F se sont montrées précoces à Dangbo. Ces résultats confirment ceux de China (2023) qui ont montré la variabilité entre les lignées de tomate pour les paramètres phénologiques. Cette variabilité phénologique est classique chez la tomate et s'explique principalement par les différences génétiques intrinsèques aux lignées, lesquelles se traduisent par des réponses variables aux facteurs environnementaux tels que la température et la photopériode (Coulibaly *et al.* 2019). En effet, la floraison chez la tomate est un processus complexe, régulé par de nombreux gènes et sensible aux conditions du milieu (Gwennaël, 2013). Ainsi, la capacité de chaque lignée à répondre de manière optimale aux stimuli environnementaux déterminants pour l'initiation florale conditionne largement leur précocité respective.

➤ Incidence et sévérité de la virose

L'évaluation de la réaction des lignées face aux principales maladies a également révélé une variabilité intéressante. Concernant la virose, aucune différence significative n'a été observée entre les lignées, suggérant une sensibilité relativement homogène et faible avec des niveaux de sévérité inférieurs à 2 quelle que soit la lignée. Cela pourrait s'expliquer par une base génétique similaire de résistance à ce pathogène au sein du germplasm étudié. En effet, ces lignées de provenance de World Vegetable Center sont pour la plupart dotées d'une combinaison des gènes Ty-1/3, Ty-2, ty-5 et ty-6 leur conférant une résistance à la virose TYLC. Kenyon *et al.*, 2019 ont montré que la combinaison des gènes Ty-1/3, Ty-2, ty-5 et ty-6 identifiés chez des parents sauvages de tomates, est très bénéfique dans la lutte contre les begomovirus responsables du TYLCV.

➤ Incidence du flétrissement bactérien

En ce qui concerne le flétrissement bactérien, des différences marquées ont été mises en évidence, avec les variétés CLN4398M, CLN4270F, CLN4270D et le témoin PADMA qui se distinguent par une très faible incidence (0,08% à 1,92%) en comparaison d'autres lignées plus sensibles comme CLN4018G (2,66%) et TLCV15 (2,77%). China (2022) avait obtenu des résultats similaires avec de différences hautement significatives à l'issue de son évaluation sur ces lignées. Cependant, en se basant sur la classification de Mew et Ho (1977), toutes les variétés testées (CLN4270E, CLN4398M, CLN4270F, CLN4018G, CLN4270D, CLN4398D, CLN4270B, TLCV15) au cours de la présente étude, à l'instar de la variété témoin résistant (PADMA), sont résistantes au flétrissement bactérien à Athiémé et hautement résistantes à Dangbo. Ces résultats corroborent avec ceux de Ahouanmagnagahou (2022) qui ont révélé l'inexistence de différence significative entre les nouvelles variétés et le témoin résistant PADMA. De plus, au-delà des quatre lignées CLN4398M, CLN4398D, CLN4270B et PADMA dont China (2022) avait prouvé la résistance au flétrissement bactérien, les résultats actuels et ceux de Ahouanmagnagahou (2022) sont convergents sur le faible taux d'incidence du flétrissement bactérien sur l'ensemble des variétés à l'exception du témoin sensible TLCV15. Cette résistance des variétés est probablement liée à des mécanismes de défense efficaces développés par elles pour contrer l'invasion de l'agent pathogène *Ralstonia solanacearum*. La variation observée au niveau de l'incidence de la maladie d'une zone à une autre pourrait être due au type de sol caractérisant ces milieux. En effet, la commune d'Athiémé caractérisée par un sol hydromorphe gorgé d'eau avait enregistré des taux d'incidence les plus élevés variant de 1,11% à 2,77% alors que Dangbo avec un sol ferrallitique enregistrait les taux les plus faibles (0,08 à 0,29%). Ces résultats confirment les résultats d'exploration de Poussier (2000) qui montraient que le type de sol est un facteur influençant la conservation de la bactérie mais aussi l'expression de la maladie.

➤ Incidence de la gale bactérienne

L'incidence de la gale bactérienne a varié significativement selon les lignées, avec PADMA parmi les plus ou moins sensibles qui s'illustrent par un taux d'incidence variant de 1,28% à 3,5% à Athiémé. Ce résultat contrastant souligne que la résistance à une maladie ne s'accompagne pas nécessairement d'une résistance à d'autres pathogènes, en raison de la spécificité des mécanismes de défense impliqués (Gwennaël, 2013). Mais il confirme les résultats de China (2022) qui avait enregistré le plus fort taux d'incidence de la gale bactérienne au niveau de la variété PADMA avec une variation de 5 à 72,50%. Par ailleurs, l'incidence relativement haute de la gale bactérienne sur les variétés à Athiémé (1,28% à

3,5%) par rapport à Dangbo ($\leq 0,04\%$) s'expliquerait par les conditions édaphoclimatiques de la zone d'Athiémé, caractérisées par des inondations au cours de la période des essais. En effet, la commune d'Athiémé est prédisposée à des inondations cycliques qui sont dues à la nature des sols qui sont pour la plupart hydromorphes, se regorgeant facilement d'eaux pendant la saison des pluies et facilement inondées par la crue du fleuve Mono (Parkoo et *al.*, 2023). Or, ces conditions concourent aux fortes valeurs d'humidité relative qui favorisent le développement rapide de la gale bactérienne sur les plants de la tomate (Timmer et *al.*, 1987). De plus, selon Pernezny et *al.* (2003), la présence de la gale bactérienne est une évidence dans toutes les aires de production de la tomate de par le monde. Elle est plus dommageable dans les régions tropicales et subtropicales où les températures sont élevées et les pluies abondantes.

➤ Performances agronomiques des variétés dans les conditions de Dangbo et de Athiémé

Sur le plan agronomique, les résultats ont mis en évidence des différences hautement significatives entre les variétés pour le poids des fruits, le nombre de fruits par plant et le rendement potentiel. Ces différences d'indices de productivité observées, soulignent l'importance cruciale de la sélection variétale pour identifier les génotypes les plus performants dans un contexte donné (Mensah, 2020). Elles peuvent s'expliquer par des variations génétiques influençant des processus clés tels que la mise en place du feuillage, la floraison, la nouaison ou encore le remplissage des fruits. Ainsi, la capacité de chaque lignée à mobiliser de manière optimale les ressources en fonction de ses besoins métaboliques et de son adaptation à l'environnement conditionne largement son potentiel de rendement (Hounsa, 2022). Par ailleurs, les faibles niveaux de rendement enregistrés pour l'ensemble des variétés testées, sont entre autres liés aux conditions climatiques locales difficiles (Mensah et *al.*, 2016). En effet, les données météorologiques (températures et pluviométrie) recueillies au cours des essais, indiquent que la période de l'étude était moins favorable pour les cultures dans les deux zones. Les températures y étaient élevées (au-dessus de 25 °C) pendant la fructification, et les hauteurs d'eau enregistrées, faibles et mal réparties (figures 7 et 8). Cependant, la commune d'Athiémé, sujette à des inondations récurrentes (Parkoo, 2023), a connu des précipitations successives et concentrées dans le temps, de sorte que certaines opérations d'entretien de la culture tels que le sarclage, le désherbage, le binage, la fertilisation et les traitements préventifs contre les bioagresseurs, ont été très fortement perturbées. Il ressort donc que les niveaux actuels de rendements affichés par les variétés de tomate testées sont fondamentalement influencés par les aléas climatiques. Aussi, en considérant les perceptions des producteurs relatives à la cherté des

variétés de tomate importées, ces derniers pourraient-ils donner préférence aux nouvelles variétés en dépit de leurs performances actuelles. Car, au-delà des rendements, les nouvelles variétés de tomate qui s'offrent comme remède à la cherté et à la dépendance aux semences hybride importées, permettent aussi la diversité de choix aux producteurs. Parmi elles, les variétés CLN4018G, CLN4270B, CLN4270D et CLN4270E qui ont affiché, en plus de la résistance aux maladies, une bonne précocité et un rendement plus élevé dans les deux communes, comparativement au témoin TLCV15 peuvent constituer une alternative aux contraintes dégagées par rapport aux variétés en cours de diffusion. Elles offrent l'avantage de produire une gamme de fruits variées (de moins gros au plus gros) qui pourraient convenir à divers usages et aux critères organoleptiques.

De façon générale, l'analyse de la variabilité entre les deux zones de production a mis en lumière l'impact non négligeable des conditions environnementales sur le comportement des lignées face aux maladies et également sur l'expression de leur potentiel agronomique. Ainsi, pour l'ensemble des caractères liés aux performances agronomiques à savoir le nombre moyen de fruits par plant, le poids des fruits et le rendement, des différences significatives ont été observées entre Dangbo et Athiémé, soulignant l'importance des interactions génotype x environnement. Ces résultats concordent avec les conclusions de plusieurs auteurs qui ont montré que l'expression du phénotype d'un génotype résulte de l'interaction complexe entre ses déterminants génétiques et les conditions du milieu (Gwennaël, 2013 ; Coulibaly *et al.*, 2019). Par conséquent, l'identification de génotypes à la fois productifs, précoces et résistants aux maladies nécessite une évaluation dans différents environnements représentatifs, afin de s'assurer de la stabilité et de l'adaptabilité de leurs performances.

CONCLUSION ET SUGGESTIONS

6. Conclusion et suggestions

Cette étude en milieu producteur, vient compléter les tests de Distinction, d'Homogénéité et de Stabilité (DHS) conduits en station pour l'introduction de nouvelles variétés de tomate à pollinisation libre, résistantes aux principales maladies enregistrées sur la tomate au Sud-Bénin. Les travaux conduits dans les zones de production de Dangbo et Athiémé, ont permis de caractériser la diversité phénologique, agronomique et sanitaire d'un ensemble de lignées constituées de 9 variétés de tomate majoritairement issues de la collection développées par WorldVeg. Les résultats obtenus mettent clairement en évidence une importante variabilité au sein de ce germplasm pour les caractères étudiés, ouvrant ainsi des perspectives très intéressantes pour l'amélioration génétique de cette culture.

L'analyse des paramètres phénologiques a révélé des différences significatives entre les lignées pour la date de 50% de floraison, soulignant la précocité remarquable de certains génotypes comme PADMA. Les lignées CLN4270B, CLN4270D, CLN4270E, CLN4398D d'une part, et CLN4018G, CLN4270F d'autre part, se sont aussi illustrées précoces Athiémé et à Dangbo. Sur le plan agronomique, des écarts notables ont été observés entre les lignées en termes de poids des fruits, de rendement potentiel et de nombre de fruits par plant. La variété PADMA s'est nettement démarquée, produisant les fruits les plus lourds et les meilleurs rendements (en moyenne 15 t/ha), bien au-delà des autres génotypes. Cependant, les variétés CLN4018G, CLN4270B, CLN4398D ont présenté des performances non moins négligeables avec des rendements moyens respectifs de 6,5 t/ha, 4,5 t/ha et 4 t/ha dans la zone de Dangbo.

Concernant l'évaluation de la sensibilité des lignées aux principales maladies, les réactions sont similaires pour les paramètres étudiés, sauf pour la virose. En effet, dans le cas de la virose, aucune variété ne semble avoir une incidence significativement plus élevée ou plus faible que les autres quelle que soit la zone de production. La variété CLN4270F a enregistré l'incidence la plus élevée (3,42%) et la CLN4270B a montré la plus faible incidence (2,7%). En confrontant ces valeurs à l'échelle de Lapidot et Friedmann (2002), toutes les variétés testées ont enregistré une très faible sévérité de la virose. Par contre, dans le cas du flétrissement bactérien et de la gale bactérienne, des différences marquées ont été mises en évidence. Contre le flétrissement bactérien, la variété témoin PADMA, ainsi que les variétés CLN4398M, CLN4270F, CLN4270D ont confirmé leur résistance avec une très faible incidence (0,08% à 1,92%). Les autres lignées y compris le témoin sensible TLCV15 se sont révélées également résistantes quoi qu'elles affichent un taux d'incidence plus élevé ($\leq 2,77\%$) comparativement aux premières.

Dans le cas de la gale bactérienne, l'incidence sur les variétés de tomate a varié significativement en fonction de la zone de production, avec des différences observées à Athiémé. A Dangbo, l'incidence est nulle sur les variétés.

L'étude a également souligné l'influence non négligeable des conditions environnementales, avec des différences significatives observées entre les deux zones de production pour certains caractères. Cela met en évidence la nécessité d'évaluer la stabilité des performances des lignées dans des environnements contrastés, afin de s'assurer de leur adaptabilité.

À la lumière de ces résultats, plusieurs pistes peuvent être envisagées pour poursuivre l'amélioration de la productivité de la tomate dans les zones concernées :

- Approfondir la caractérisation du germplasma étudié, en évaluant notamment d'autres critères de qualité des fruits (teneur en composés d'intérêt nutritionnel, fermeté, etc.) ainsi que la résistance à un panel plus large de maladies. Cela permettra d'affiner la sélection des lignées les plus prometteuses.
- Évaluer la stabilité des performances des lignées identifiées comme les plus performantes (notamment PADMA) sur plusieurs saisons et dans des environnements contrastés. Cela permettra de s'assurer de la robustesse de leurs caractéristiques agronomiques et sanitaires.
- Initier des programmes de croisements ciblés, en exploitant la variabilité mise en évidence, afin de cumuler dans de nouveaux géotypes les caractéristiques les plus intéressantes (précocité, productivité, résistance aux maladies).
- Étudier finement les mécanismes physiologiques et moléculaires sous-tendant les différences observées entre lignées, notamment pour la résistance aux maladies. Cela permettrait de mieux comprendre les bases génétiques de ces caractères et d'orienter plus efficacement les stratégies de sélection.
- Promouvoir auprès des producteurs les variétés les plus performantes identifiées, en accompagnant leur diffusion par des formations sur les itinéraires techniques adaptés. Cela contribuera à une amélioration durable des rendements et de la qualité de la production de tomate dans les zones concernées.

En définitive, cette étude approfondie a permis de dégager des résultats très prometteurs, ouvrant la voie à de nouvelles perspectives d'amélioration génétique de la tomate. La poursuite de ces travaux, en exploitant judicieusement la variabilité mise en évidence, devrait permettre de développer à terme des variétés à la fois hautement productives, précoces et résistantes aux principales contraintes biotiques, au bénéfice des producteurs et des consommateurs.

Références bibliographiques

- Ahouanmagnagahou R A. (2022). Développement de deux approches de gestion du flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* sur la culture de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) au Sud-Bénin. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, 71p.
- Akomagni L A & Guidibi E. (2006). Monographie de la commune d'Athiémé. Afrique Conseil- Programme d'Appui au Demarrage des Communes, 40p.
- Akomagni L A & Guidibi E. (2006). Monographie de la commune de Dangbo. Afrique Conseil- Programme d'Appui au Demarrage des Communes, 38p.
- Akpo F I, Dohou M D, Houessingbe Z, & Yabi J A. (2021). Analyse comparative des systèmes de production de soja basés sur l'utilisation de l'inoculum dans un contexte de gestion durable des terres au Centre du Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 32 (2): 230-239.
- Alidou M, & Ceylan R F. (2021). Factors Affecting the Most Preferred Local Tomato Variety "Akikon" Purchasing Prices in Benin. *Eurasian Journal of Agricultural Economics (EJAE)*, 1(1), 65-75.
- Anderson J W, & Chen W J. (1979). Plant fiber: carbohydrate and lipid metabolism. *The American journal of clinical nutrition*, 32 (2): 346-363.
- Artal R B, Gopalakrishnan C & Thippeswamy B. (2012). An efficient inoculation method to screen tomato, brinjal and chilli entries for bacterial wilt resistance. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 18(1), 70–73.
- Assogba Komlan F, Mensah A C G, Eke H, Agbozo R, Amoussou I et Aholoukpe N. (2016). Sélection participative de quelques variétés améliorées de tomate, de piment, de gombo et de légumes feuilles adaptées aux conditions agro-écologiques et socio-économiques de la Vallée de l'Ouémé au Bénin. Communication à la 9^{ème} édition de l'atelier Scientifique National de l'INRAB, Edition 2016.
- Assogba Komlan F, Sikirou R, Azagba J. (2013). Comment réussir la culture de la tomate en toute saison : Cas des régions urbaines et périurbaines du Sud- Bénin, Référentiel Technico Economique, INRAB, 2ème Edition, Avril 2013, 58p.
- Astua-Monge G, Minsavage G V, Stall R E, Davis M J, Bonas U & Jones J B. (2000a). Resistance of tomato and pepper to T3 strains of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* is specified by a plant-inducible. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 13: 911-921.
- Astua-Monge G, Minsavage G V, Stall R E, Vallejos C E, Davis M J & Jones J B. (2000b). Xv4-vrxv4: A new gene-for-gene interaction identified between *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* race T3 and the wild tomato relative *Lycopersicon pennellii*. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 13: 1346-1355.
- Azandémè-Hounmalon Y G, Logbo J, Dassou G A, Lokossi L, Akpla E, Mokpokpo Fiaboe K K et Tamo M. (2023). Invetigation of amaranth production constraints and pest

- infestation reduction by basil intercropping. Journal of Agriculture and Food Research. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.100627>
- Barton K. (2016). MuMIn: Multi-Model Inference. Available from: <https://cran.rproject.org/web/packages/MuMIn/index.html>. Consulté le 27-02-2024 à 18h 15
- Blancard D, Loterrot Il, Marchoux G, Candresse T (2009) Les maladies de la tomate. Identifier, connaître, maîtriser edition Quae. <http://casalini.it/9782759203291>. 679 p
- Blancard D, Prior P. (2015). Les maladies de la tomate, identifier, connaître et maîtriser. Quae, Paris, France.
- Boro F. (2014). Gestion du flétrissement bactérien des solanacées dû à *Ralstonia solanacearum* par l'utilisation de variétés résistantes adaptées aux populations pathogènes du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur agronome. Centre Agricole Polyvalent de Matourkou Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 75 p.
- Camara M, Mbaye A A, Samba S A N, Gueye T, Noba K, Diao S, et Cilas C. (2013). Etude de la productivité et de la sensibilité de diverses variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) à la virose du jaunissement et de l'enroulement en cuillère des feuilles au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(6): 2504-2512.
- Champoiseau P G, J B Jones, Allen C. (2009). *Alstonia solanacearum* race 3 biovar 2 causes tropical losses and temperate anxieties. Online. Plant Health Progress :10. I094IPHP-2009-0313-0 I-RV.
- Chew E Y, Park J S. (2014). Nutrition, genes, and age-related macular degeneration: what do we know? *Annual review of nutrition*, 34 : 217-238.
- China M H S. (2022). Evaluation agro morphologique de 11 lignées de tomate (*Solanum lycopersicum*, L. Mill) candidates à l'homologation. Master Professionnel en Production de Semences, Phytatrie et Gestion es Sols (PROPHYS), Ecole De Gestion et de Production Végétale et Semencière (EGPVS), Bénin. 103 p.
- Chougar S. (2011). Bioécologie de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (MEYRICK, 1917) (*Lepidoptera* : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tariva) dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Université Mouloud MAMMERI de TIZI OUZOU. 122p.
- Ciss I. (2004). Épidémiologie comparée du TYLCV chez les variétés sensibles et tolérantes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Mémoire de fin d'études pour le Diplôme d'Ingénieur des Travaux Agricoles, E.N.C.R de Bambey, Sénégal.
- Coulibaly N D, Fondio L, N'gbesso MFDP, & Doumbia B. (2019). Evaluation des performances agronomiques de quinze nouvelles lignées de tomate en station au centre de la Côte d'Ivoire Evaluation of the agronomic performances of fifteen new tomato lines at the station in central Côte d'Ivoire', *International Journal of Biological and Chimical Sciences*,13(June) :1565-1581.

- Deberdt P, Perrin B, Coranson-beaudu R, Duick P, Wicker E. (2012). Effect of *Allium fistulosum* Extract on *Ralstonia solanacearum* populations and tomato bacterial wilt. *Plant Disease*, 96, 687-692.
- Derkaoui K. (2011). Réponse morphologiques, physiologiques et anatomiques des racines de la tomate (*Solanum lycopersicum*. L) vis-à-vis du stress salin. Thèse, Université d'Oran (Algérie), 109 p.
- Dossoumou ME E A. (2021). Facteurs de dissémination du flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* et développement de méthodes de lutte en culture de tomate (*Solanum lycopersicum*) au Bénin. Laboratoire d'Appui à la Défense des Cultures & Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, Ecole Doctorale des Sciences de la Vie et de la Terre, Université d'Abomey-Calavi, 133 p.
- Fagbohoun B R A, Ahohuendo B C, & Agossou V. (1999). Aperçu sur les principales variétés de tomate locale cultivées dans le sud du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 24 : 1-8. <https://orcid.org/0000-0003-1592-1606>
- FAO. (2022). D'objet de curiosité toxique à ingrédient populaire. <https://www.fao.org/fao-stories/article/fr/c/1480926/> Consulté le 15-02-2024 à 16h 25
- Faostat. (2021). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC> Consulté le 19-04-2024 à 14h 20
- Faostat. (2022). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC> consulté le 19-04-2024 à 15h 50
- Fauquet C et J Thouvenel. (1987). Maladies virales des plantes en Côte d'Ivoire. ORSTOM, PARIS France, 82 p
- Fegan M, Prior P. (2006). Diverse members of the *Ralstonia solanacearum* species complex cause bacterial wilts of banana. *Aust. Plant Pathol*, 35: 93–101.
- Fegan M, Prior P. (2005). How complex is the *Ralstonia solanacearum* species complex. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA.
- Fondio L, Djidji A H, N'gbesso M F D P, Ochou O G. (2010). Evaluation des variétés de tomate et piment pour la tolérance au flétrissement bactérien, et multiplication des semences de piment. CNRA, Bouaké, Côte d'Ivoire.
- Frank N M. (2003). Development of alternative strategies for managment of soil borned pathogens currently controlled with methyl bromide. *Annual Review of Phytopathology*, 41 :325.
- Ganiyu S A, Popoola A R, Enikuomehin O A, Badunde J G, Adedibu O B, Gurama A U. (2017). Assessment of resistance status of some tomato genotypes to bacterial wilt disease and evaluation of SNP marker (LEOH19) for selection of BW resistant gene. *Nig. J. Biotech*, 34 : 54-64.
- Giovannucci E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, 91 (4): 317-331.
- Guedda K, & Djaber O. (2016). Évaluation du comportement de trois variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum*) sous un stress salin.

- Gwennaël B. (2013). Gènes architectes et sexualité chez les plantes : À la découverte des fleurs de tomate stamenless. *Revue des Questions Scientifiques*, 184 (3) : 351-372
- Hamza A A. (2010). Taxonomie et diagnostic des espèces de *Xanthomonas* associées à la gale bactérienne de la tomate et des *Capsicum* spp. : Situation dans les îles du Sud-Ouest de l'Océan Indien. Thèse de Doctorat, Université de la Réunion, France. 262p.
- Hanafi A, Murphy B, Alaoui I and Bouharroud R. (2002). Physical methods for the control of *Bemisia tabaci* and its impact on TYLCV infection in greenhouse tomato in Morocco. *Integrated control in protected crops, Temperate climate. IOBC/WPRS, Bulletin*, 5 (1): 85 - 88.
- Hanafi A. (2000). La mouche blanche et le TYLCV. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, 73 (1) : 4 - 18.
- Hanssen I M, Lapidot M, Thomma B P. (2010). Emerging viral diseases of tomato crops. *Molecular plant microbe interactions*, 23, 539-548.
- Hayward A C. (1991). Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Annu. Rev. Phyto-pathol.* 29, 65-87.
- He F J & MacGregor G A. (2004). Potassium: more beneficial effects. *Clinical Science*, 106 (4): 365-367.
- Hounsa B. (2022). Evaluation agro-morphologique de 11 lignées de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pendant la saison pluvieuse au Sud-Bénin. Master II, Faculté des Sciences Agronomique (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin. 71p.
- Idrissou-Toure M., Sikirou R., Zocli B., Bello S., Oussou F., Dossoumou ME. (2017). Efficacité de l'hydroxyde de cuivre contre la nervation noire du chou (*Brassica oleracea* L.) Causée par la bactérie *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Agronomie Africaine*, 29, 149-157.
- Igue A M & Kogblevi A. (1987). Les sols rouges : types, étendue, classification et mise en valeur au Benin. World Soil Resources Reports (FAO). no. 61. In AGRIS since: 2012 ISBN: 92-5-202642-8.
- James B, Atcha-Ahowé C, Godonou I, Baimey H, Goergen G, Sikirou R, Toko M. (2010). Integrated Pest Management in vegetable production. Guide lines for extension workers.
- Jones J B, Stall R E, Scott J W, Somodi G C, Bouzar H & Hodge N C. (1995). A third tomato race of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Plant Dis.* 79: 395-398.
- Kenyon L, Hanson P M, Nguyen T L H, Le T H, Dolores L, Techawongstien S, Ha V C. (2019). The benefit of combining different Ty-genes for resistance to tomato leaf curl begomoviruses. *Acta Horticulturae*, (1257), 15–22. doi:10.17660/actahortic.2019.1257.3
- Kim S G, Hur O-S, Ro N-Y, Ko H-C, Rhee J-H, Sung J S, Ryu K-Y, Lee S-Y, Baek H J. (2016). Evaluation of Resistance to *Ralstonia solanacearum* in Tomato Genetic Resources at Seedling Stage. *Plant Pathol. J.*, 32 : 58-64.

- Koppert. (2021). Flétrissement bactérien, pourriture brune, Koppert France.
- Kuznetsova A, Brockhoff P B, Christensen R H B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models, *Journal of Statistical Software*, 82 (13): 1-26. URL :<https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>.
- Laeshita P, Arwiyanto T. (2017). Resistance Test of Several Tomato Varieties to Bacterial Wilt Diseases Caused by *Ralstonia solanacearum*, *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 21: 51–53.
- Lapidot M, Friedmann M, Lachman O, Yehezkel A, Nahon S, Cohen S, & Pilowsky M. (1997). Comparison of Resistance Level to Tomato Yellow Leaf Curl Virus Among Commercial Cultivars and Breeding Lines. *Plant Disease*, 81 (12): 1425-1428.
- Laterrot, H. (1995). Breeding network to create tomato varieties resistant to tomato yellow leaf curl virus (TYLCV). *Fruits*, 50(6), 439-444.
- Lebas M A, Deberdt P, Michot D (2010) Evaluation du Potentiel Assainissant de 6 Espèces végétales vis-à-vis du flétrissement bactérien de la tomate (*Ralstonia Solanacearum*), En Conditions Semi contrôlées (Serre). Rapport de stage, 90 p.
- Lebeau A, daunaym C, palloix A, wang J F, dintinger J, chiroleu F, wicker e et prior P (2010) Interactions entre le complexe d'espèces *Ralstonia solanacearum* et les ressources génétiques pour la résistance au flétrissement bactérien chez la tomate, l'aubergine et le piment : [Poster]. IN : 9èmes rencontres plantes-bactéries, 18-22 janvier 2010, Paris, AUSSOIS, France, 151p
- Madegnan D, Yabi J, Nouatin G (2022) « Rentabilité financière de la production de la tomate fraîche dans les communes de Klouékanmè et de Lalo », *Revue Française d'Economie et de Gestion* « Volume 3: Numéro 11 » pp: 97–120.
- Mahbou S T G (2010) Diversité de *Ralstonia solanacearum* au Cameroun et bases génétiques de la résistance chez le piment (*Capsicum annuum*) et les solanacées. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industrie du Vivant et de l'Environnement, Agro Paris Tech, Paris, France, 181p.
- Mensah A C G (2020) Amélioration des systèmes culturaux pour une meilleure production de la tomate au Sud-Bénin. Thèse de Doctorat, Laboratoire des Sciences du Sol, Ecole Doctorale des Sciences de la Vie et de la Terre Université d'Abomey- Calavi, 187 p.
- Mensah A C G, Sikirou R, Assogba Komlan F, Yarou B B, Midingoyi S-K., Honfoga J, Dossoumou ME E A, Kpéra G N, Djinadou A K A (2019) Mieux produire la tomate en toute période au Bénin. Référentiel Technico-Economique (RTE). MAEP/INRAB/FIDA/ProCar/PADMAR/World Vegetable Center/Bénin. Dépôt légal N° 11553, du 26/08/2019 Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin, 3ième trimestre. ISBN : 978-99982-53-13-1. 56 p.
- Mensah A C G, Simon S, Assogba Komlan F, Adjaïto L, Martin T, Ngouajio M (2016) Intensification de la culture de tomate sous abri couvert de filet anti-insectes en région chaude et humide du Sud-Bénin. Science et Technique - Revue Burkinabé de la Recherche. *Série Sciences Naturelles et Agronomie* (2), h.s. : 267-283.

- Mew T W, & Ho K Y (1977) Disposition of Bacterial Wilt Incidence in Relation to Seedpiece-Sett Transmission of Bacterial Wilt of Sweetpotato. *Plant Disease Reporter*, 61 (6): 448–450.
- Mian D, R Coranson-Beaudu, Duféal D, Grassart L, Mention P. (2002). *Ralstonia solanacearum* sur *anthurium*. *Phytoma, la Défense des Végétaux*, 551 : 43- 45.
- Minsavage G V, Jones J B & Stall R E. (1996). Cloning and sequencing of a avirulence gene (avrRxv3) isolated from *Xanthomonas campestris* pv.vesicatoria tomato race 3. *Phytopathology* 86: S15.
- MNHN & OFB [Ed]. 2003-2024. Inventaire national du patrimoine naturel (INPN), Site web : <https://inpn.mnhn.fr> Le 31 août 2024
- Nakagawa S, Schielzeth H. (2013). A general and simple method for obtaining R-squared from generalized linear mixed-effects models, *Methods in Ecology and Evolution*, 4 (2) :133-142. doi:10.1111/j.2041-210x.2012.00261. x.
- Oussou G F G N, Sikirou R, Afoha S A P E, Dossoumou ME E A, Boukari S A, Komlan, F A, Zocli B. (2020). Resistance assessment of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and Gboma (*Solanum macrocarpon* L.) cultivars against bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* in Benin. *Pak. J. Phytopathol*, 32: 241-249. doi: 10.33866/phytopathol.030.02.0610.
- Otoidobiga L C, Vincent C &. Stewart K R. (2003). Field efficacy and baseline toxicities of Pyriproxifen, Acetamiprid and Diafenthiuron against Bemisia tabaci gennadius (Homoptera: Aleyrodidae) in Burkina Faso (West Africa). *Journal of Environmental Science and Health. Part B-pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. Vol. B 38, N°6, pp. 757-769
- Parkoo E N, Akognongbe A J, Adjonou K, Blalogoe P, & Adessou K. (2023). Perception locale des évènements hydroclimatologiques et stratégies d'adaptation dans la commune d'Athieme de Benin. *RASS. Pensées Genre. Penser Autrement*. VOL 3, No 2. 18p.
- Pernezny K, Roberts P D, Murphy J F, Goldberg N P. (2003). Compendium of Pepper Diseases. St. Paul : APS Press, 63p.
- Perez K, Jefrey S F, Abdourhamane I K, Levasseur V, Mensah A, Bonsu O, Habsatou B, Assogba Komlan F, Ali Alfari A, Mbaye A A, Noussourou M, Otoidobiga L C, Ouédraogo L, Gamby T K K T, Shotkoski F, Gilbertson R, Jahn M, Rojas M. (2017). Connecting smallholder tomato producers to improved seed in West Africa. *Agriculture & Food Security*, 6 (42): 1 - 14. DOI 10.1186/s40066-017-0118-4.
- Pohronezny K, Hewitt M, Infante J & Datnoff L. (1992). Wind and wind - generated sand injury as factors in infection of pepper by *Xanthomonas campestris* pv. vesicatoria. *Plant Dis*. 76: 1036-1039.
- Pohronezny K, Moss M A, Dankers W & Shenk J. (1990). Dispersal and management of *Xanthomonas campestris* pv vesicatoria during thinning of direct seeded tomato plants. *Plant Dis*. 74, 800-805

- Popoola A R, Ganiyu S A, Enikuomehin O A, Bodunde J G, Adedibu O B, Durosomo H A, Karunwi O A. (2015). Isolation and Characterization of *Ralstonia solanacearum* causing bacterial wilt of Tomato in Nigeria. *Nig J. Biotech.*, 29, 1-10. doi:10.4314/njb.v29i1.1.
- Poussier Stéphane. (2000). Exploration de la diversité génétique de *Ralstonia solanacearum*, agent du flétrissement bactérien. Détection et dynamique des populations dans les réservoirs d'inoculum. Rennes : Université de Rennes I, 362 p. Thèse de doctorat : Biologie : Université de Rennes I
- Prior P and Fegan M. (2005). Recent development in the phylogeny and classification of *R. Solanacearum*. In Proceedings of the First International Symposium on tomato diseases. pp. 127-136
- Ratnadass A, Fernandes P, Avelino J, Habib R. (2011). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 273–303.
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rebolledo MC. (2007). Identification de la gestion du problème Bemisia/TYLCV en Catalogne Espagnole : Travail exploratoire, « Programme Agriculture et Développement Durable », project « ANR- 05-PADD-004, BemisiaRisk ». AgroParisTech, UMR INRA SADAPT, France.
- Riso P, Vendrame S, Del Bo' C, Martini D, Martinetti A, Seregni E, Porrini M. (2014). Effect of 12-week tomato juice consumption on carotenoid and lipid profiles in overweight and obese subjects: a randomized controlled trial. *European journal of nutrition*, 53 (3): 881-892.
- Rudolph K. (1993). Infection of the plant by Xanthomonas. In Xanthomonas. Swings, J.G. & Civerolo, E.L. (eds). London: Chapman & Hall, pp. 193-264.
- Santana M F, Ribeiro S G, Moita A W, Moreira D J, & Giordano L B. (2001). Sources of resistances in *Lycopersicon spp.* to a bipartite whitefly-transmitted geminivirus from Brazil. *Euphytica*, 122 (1): 45-51.
- Sharon E, Bashan Y, Okon Y & Henis Y. (1982). Presymptomatic multiplication of Xanthomonas campestris pv. vesicatoria on the surface of pepper leaves. *Can. J. Bot.* 60: 1041-1045.
- Sikirou R, Afouda L, Zannou A, Gbèhounou G, Assogba-Komlan F. (2001). Diagnostic des problèmes phytosanitaires des cultures maraichères au Sud Bénin : cas de la tomate, du piment, de l'oignon et du gombo : 102-125. In : Agbo, B P, Isidore, T I, Adjanohoun, A, Sagbohan, J, Ganglo, J, Bankolé, C, Igué, K, Matthess A, (eds.), Recherche agricole pour le développement. Actes de l'atelier Scientifique 2 Programme régional Sud-centre Niaouli, Bénin.

- Sikirou R, Beed F, Ezin V, Gbehounou G, Miller S A, & Wydra K. (2009). First report of bacterial wilt of tomato (*Solanum lycopersicum*) caused by *Ralstonia solanacearum* in Benin. *Plant Disease*, 93 (5): 549.
- Sikirou R, Beed F, Ezin V, Hoteigni J et Sally M. (2017). Distribution, pathological and biochemical characterization of *Ralstonia solanacearum* strains from tomato cultivars in Benin. *Annals of Agricultural Science*, 62: 83-88 (www.elsevier.com/locate/aoas).
- Sikirou R, Ezin V, Beed F, Etchiha Afoha S A P, Tosso F D, Ouessou-Idrissou F. (2015). Geographical distribution and prevalence of the main tomato fungal wilt diseases in Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9, 603-613. doi: 10.4314/ijbcs.v9i2.3.
- Spooner D M, Hettterscheid W L A, van den Berg R G et Brandenburg W. (2003). Plant nomenclature and taxonomy – an horticultural and agronomic perspective, *Horticultural Reviews*, 28: 1-60.
- Tchibozo, Agassounon D, Gomez S, Tchobo P, Soumanou M et Toukourou F. (2012). Essai de conservation de la tomate par la technique de la déshydratation imprégnation par immersion (DII). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (2) 657 -669.
- Thomas M.K, Murray R, Flockhard L, Pintard K, Polari F, Fazil A, Mesbitt A et Marshall B. (2013). Estimation du fardeau des maladies d'origine alimentaire au Canada pour 30 agents pathogènes spécifiés et non spécifiés vers 2006. Pathogène d'origine alimentaire, 639-648.
- Timmer L W, Marois J J & Achor D. (1987). Growth and survival of xanthomonads under conditions nonconducive to disease development. *Phytopathology*, 77: 1341-1345.
- VanSickle J J, Weldon R (2009) The economic impact of bacterial leaf spot on the tomato industry. 30-31: In: Proc. Fla. Tomato Inst. University of Florida, Gainesville.
- Vodouhe M C D N, Houssou A P F, Kpangbin C, Houssou E A & Ahohuendo B C. (2014). Séchage de la tomate au Bénin : état des lieux, contraintes et perspectives. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, Numéro spécial ABSP, 6-14.
- Wang J-F, Olivier J, Thoquet P, Mangin B, Sauviac L, Grimsley N H. (2000). Resistance of tomato line Hawaii7996 to *Ralstonia solanacearum* Pss4 in Taiwan is controlled mainly by a major strain-specific locus. *Molecular plant-microbe interactions*, 13: 6 - 13. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2000.13.1.6>
- Winstead N N & Kelmar A. (1952). Inoculation techniques for evaluating resistance to *Pseudomonas solanacearum*. *Phytopathology*. 42: 628-634.
- Xiao L Z, Zhu Z D, He K L, Zhou M N, Lin G F. (1983). Observations of the infected portion of mulberry bacterial wilt by scanning electron microscopy. *Science of Sericulture*, 9, 58-59.
- Yu Z H, Wang J F, Stall R E & Vallejos C E. (1995). Genomic localization of tomato genes that control a hypersensitive reaction to *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Doidge) Dye. *Genetics* 141: 675-682.

Annexe

Tableau XII : Effet des facteurs sur le nombre de jours avant 50% de floraison des plants

Facteur	DF	Statistique χ^2	Probabilité	R ² marginal	R ² conditionnel
Variété	9	172,02	$<2e^{-16***}$	0,9978	0,9982
Zone	1	104,94	$<2e^{-16***}$		
Variété:Zone	9	19,32	0,02262*		

Tableau XIII : Effet des facteurs sur l'incidence de la virose

Facteur	DF	Statistique χ^2	Probabilité	R ² marginal	R ² conditionnel
Variété	8	8,43	0,392	0,0066	0,8359
Zone	1	7,67	0,0056**		
Variété:Zone	8	2,33	0,9978		

Tableau XIV : Effet des facteurs sur l'incidence du flétrissement bactérien

Facteur	DF	Statistique χ^2	Probabilité	R ² marginal	R ² conditionnel
Variété	8	9,04	0,339	0,2957	0,526
Zone	1	42,34	$7,671e^{-11***}$		
Variété:Zone	8	4,16	0,006939**		

Tableau XV : Effet des facteurs sur l'incidence de la gale bactérienne

Facteur	DF	Statistique χ^2	Probabilité	R ² marginal	R ² conditionnel
Variété	8	16,33	0,0379*	0,9645	0,9775
Zone	1	12,07	0,00051***		
Variété:Zone	8	0,20	0,003571**		

Tableau XVI : Degré de sévérité moyenne de la virose par commune

Variété	Athiémé						Dangbo					
	4 SAR	5 SAR	6 SAR	7 SAR	8 SAR	9 SAR	4 SAR	5 SAR	6 SAR	7 SAR	8 SAR	9 SAR
CLN4018G	0,25±0,39 a	0,24±0,39 ab	0,22±0,35 ab	0,3±0,48 b	0,37±0,5 ab	0,5±0,53 a	0,16±0,24 b	0,18±0,25 bc	0,24±0,37 b	0,61±0,69 ab	0,66±0,72 ab	0,7±0,74 ab
CLN4270B	0,15±0,14 b	0,32±0,34 a	0,31±0,35 a	0,35±0,35 ab	0,25±0,19 b	0,27±0,19 bc	0,26±0,36 ab	0,29±0,39 b	0,32±0,38 b	0,55±0,72 ab	0,58±0,72 ab	0,59±0,72 ab
CLN4270D	0,07±0,1 c	0,09±0,12 c	0,11±0,16 b	0,32±0,4 b	0,38±0,48 ab	0,42±0,46 ab	0,38±0,51 ab	0,42±0,56 ab	0,45±0,58 ab	0,51±0,64 ab	0,6±0,68 ab	0,66±0,78 aab
CLN4270E	0,15±0,16 b	0,22±0,16 ab	0,36±0,28 a	0,47±0,38 a	0,54±0,38 a	0,63±0,4 a	0,74±0,9 a	0,79±0,92 a	0,77±0,92 a	1,02±1,21 a	1,09±1,32 a	1,27±1,5 a
CLN4270F	0,17±0,24 b	0,3±0,5 a	0,24±0,19 ab	0,42±0,36 a	0,49±0,48 a	0,55±0,48 a	0,57±0,75 a	0,61±0,76 a	0,65±0,82 a	0,93±1,0 a	0,98±1,04 a	0,99±1,03 a
CLN4398D	0,13±0,15 b	0,15±0,17 b	0,13±0,13 b	0,32±0,32 b	0,34±0,31 ab	0,41±0,34 ab	0,11±0,13 bc	0,17±0,17 bc	0,24±0,18 b	0,43±0,42 b	0,48±0,43 b	0,48±0,43 c
CLN4398M	0,11±0,11 b	0,24±0,26 ab	0,42±0,43 a	0,45±0,51 a	0,49±0,5 a	0,53±0,6 a	0,26±0,33 ab	0,28±0,34 b	0,28±0,35 b	0,38±0,37 b	0,58±0,48 ab	0,66±0,51 ab
PADMA	0,12±0,15 b	0,16±0,11 b	0,33±0,34 a	0,37±0,34 ab	0,26±0,16 b	0,35±0,16 b	0,01±0,03 c	0,02±0,04 c	0,05±0,11 c	0,12±0,14 c	0,09±0,11 c	0,11±0,11 c
TLCV15	0,01±0,04 c	0,04±0,06 c	0,13±0,14 b	0,13±0,15 c	0,13±0,15 c	0,13±0,15 c	0,21±0,28 ab	0,24±0,3 b	0,31±0,37 b	0,54±0,76 ab	0,59±0,82 ab	0,62±0,85 ab
Probabilité	0,0488*	0,0426*	0,0472*	0,0369*	0,0347*	0,0242*	0,0039**	0,0046**	0,00207**	0,00163**	0,00472**	0,00026***

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey avec $P = 0,05$.