

Quatrième article : Synthèse bibliographique sur le flétrissement bactérien des Solanacées en culture de tomate : épidémiologie et gestion dans le monde et au Bénin

Par : M. E. Dossoumou, R. Sikirou, A. Adandonon, A. Zannou et L. Baba-Moussa

Pages (pp.) 38-49.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) – Décembre 2021 – Volume 31 - Numéro 03

Le BRAB est en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net> et peut être aussi consulté sur le site web de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) <http://www.inrab.org>

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Direction Scientifique (DS) - Service Animation Scientifique (SAS)

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél. : (+229) 21 30 02 64 ; E-mail : sp.inrab@inrab.org / inrabdg1@yahoo.fr / brabpisbinrab@gmail.com

La rédaction et la publication du bulletin de la recherche agronomique du Bénin (BRAB)
de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

01 B.P. 884 Recette Principale, Cotonou 01

Tél. : (+229) 21 30 02 64 - E-mail: brabpisbinrab@gmail.com

République du Bénin

Sommaire

Sommaire	i
Informations générales	ii
Indications aux auteurs	iii
Impact des changements climatiques actuels et futurs sur les zones favorables à la prolifération des réservoirs du virus de Lassa au Bénin H. P. S. Setho, G. Agounde, A. E. Assogbadjo, P. F. G. A. Cledjo et G. A. Mensah	1
Diversité et statut de conservation de la faune mammalienne de la Forêt classée de Pénésoulou du Bénin en Afrique de l'Ouest L. O. S. N. Dossa, C. A. M. S. Djagoun, G. H. Dassou et A. C. Adomou	14
Endogenous perception and peasant strategies of adaptation to climate variabilities and changes in the municipality of Zagnanado in Southern Bénin V. N. Adjahossou, B. S. Adjahossou, O. Hounmènou, P. Gbénou, E. W. Vissin et J. G. M. Djego	31
Synthèse bibliographique sur le flétrissement bactérien des Solanacées en culture de tomate : épidémiologie et gestion dans le monde et au Bénin M. E. Dossoumou, R. Sikirou, A. Adandonon, A. Zannou et L. Baba-Moussa	38
Exploitation des achatines en milieu naturel et l'achatiniculture en Afrique au Sud du Sahara : Synthèse bibliographique A. A. Mama Ali, M. C. D. Vigan, S. G. Ahounou, P. S. Kiki, G. A. Mensah, I. Youssao Abdou-Karim et M. Dahouda	50
Des connaissances agro-écologiques introduites en milieu rural boostent la résilience des petits producteurs du Bénin. F. Ligan et F. Okry	67
Evaluation des performances des technologies endogènes les plus prometteuses pour la production de jus d'orange à petite échelle au Bénin P. A. F. Houssou, V. Dansou, A. B. Hotegni, W. A. C. Sagui, C. Sacca, K. Aboudou et H. Zannou	79

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin

Informations générales

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) édité par l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) est un organe de publication créé en mai 1991 pour offrir aux chercheurs béninois et étrangers un cadre pour la diffusion des résultats de leurs travaux de recherche. Il accepte des articles originaux de recherche et de synthèse, des contributions scientifiques, des articles de revue, des notes et fiches techniques, des études de cas, des résumés de thèse, des analyses bibliographiques, des revues de livres et des rapports de conférence relatifs à tous les domaines de l'agronomie et des sciences apparentées, ainsi qu'à toutes les disciplines du développement rural. La publication du Bulletin est assurée par un comité de rédaction et de publication appuyés par un conseil scientifique qui réceptionne les articles et décide de l'opportunité de leur parution. Ce comité de rédaction et de publication est appuyé par des comités de lecture qui sont chargés d'apprécier le contenu technique des articles et de faire des suggestions aux auteurs afin d'assurer un niveau scientifique adéquat aux articles. La composition du comité de lecture dépend du sujet abordé par l'article proposé. Rédigés en français ou en anglais, les articles doivent être assez informatifs avec un résumé présenté dans les deux langues, dans un style clair et concis. Une note d'indications aux auteurs est disponible dans chaque numéro et peut être obtenue sur demande adressée au secrétariat du BRAB. Pour recevoir la version électronique pdf du BRAB, il suffit de remplir la fiche d'abonnement et de l'envoyer au comité de rédaction avec les frais d'abonnement. La fiche d'abonnement peut être obtenue à la Direction Générale de l'INRAB, dans ses Centres de Recherches Agricoles ou à la page vii de tous les numéros. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Un thesaurus spécifique dénommé « TropicAgrif » (Tropical Agriculture and Forestry) a été développé pour caractériser les articles parus dans le BRAB et servir d'autres revues africaines du même genre. Pour les auteurs, une contribution de cinquante mille (50.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Comité de Rédaction et de Publication du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin - 01 BP 884 Recette
Principale - Cotonou 01 – Tél.: (+229) 21 30 02 64 - E-mail: brabpisbinrab@gmail.com – République du Bénin

Éditeur : Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Comité de Rédaction et de Publication : -i- **Directeur de rédaction et de publication :** Directeur Général de l'INRAB ; -ii- **Rédacteur en chef :** Directeur Scientifique de l'INRAB ; -iii- **Secrétaire documentaliste :** Documentaliste archiviste de l'INRAB ; -iv- **Maquettiste :** Analyste programmeur de l'INRAB ; -v- **Opérateur de mise en ligne :** Dr Ir. Sètchéme Charles Bertrand POMALEGNI, Chargé de recherche ; -vi- **Membres :** Dr Ir. Guy A. MENSAH, Directeur de Recherche, Dr Ir. Angelo C. DJIHINTO, Maître de Recherche, Dr Ir. Rachida SIKIROU, Maître de Recherche et MSc. Ir. Gbènakpon A. Y. G. AMAGNIDE.

Conseil Scientifique : Membres du Conseil Scientifique de l'INRAB, Pr. Dr Ir. Brice A. SINSIN (Écologie, Foresterie, Faune, PFNL, Bénin), Pr. Dr Michel BOKO (Climatologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Joseph D. HOUNHOUGAN (Sciences et biotechnologies alimentaires, Bénin), Pr. Dr Ir. Abdourahmane BALLA (Sciences et biotechnologies alimentaires, Niger), Pr. Dr Ir. Kakai Romain GLELE (Biométrie et Statistiques, Bénin), Pr. Dr Agathe FANTODJI (Biologie de la reproduction, Elevage des espèces gibier et non gibier, Côte d'Ivoire), Pr. Dr Ir. Jean T. C. CODJIA (Zootechnie, Zoologie, Faune, Bénin), Pr. Dr Ir. Euloge K. AGBOSSOU (Hydrologie, Bénin), Pr. Dr Sylvie M. HOUNZANGBE-ADOTE (Parasitologie, Physiologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Jean C. GANGLO (Agro-Foresterie), Dr Ir. Guy A. MENSAH (Zootechnie, Faune, Elevage des espèces gibier et non gibier, Bénin), Pr. Dr Moussa BARAGÉ (Biotechnologies végétales, Niger), Pr. Dr Jeanne ZOUNDJIHEKPON (Génétique, Bénin), Pr. Dr Ir. Gauthier BIAOU (Économie, Bénin), Pr. Dr Ir. Roch MONGBO (Sociologie, Anthropologie, Bénin), Dr Ir. Gualbert GBEHOUNOU (Malherbologie, Protection des végétaux, Bénin), Dr Ir. Attanda Mouinou IGUE (Sciences du sol, Bénin), Dr DMV. Delphin O. KOUDANDE (Génétique, Sélection et Santé Animale, Bénin), Dr Ir. Aimé H. BOKONON-GANTA (Agronomie, Entomologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Rigobert C. TOSSOU (Sociologie, Bénin), Dr Ir. Anne FLOQUET (Économie, Allemagne), Dr Ir. André KATARY (Entomologie, Bénin), Dr Ir. Hessou Anastase AZONTONDE (Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. Claude ADANDEDJAN (Zootechnie, Pastoralisme, Agrostologie, Bénin), Dr Ir. Paul HOUSSOU (Technologies agro-alimentaires, Bénin), Dr Ir. Adolphe ADJANOHOOUN (Agro-foresterie, Bénin), Dr Ir. Isidore T.GBEGO (Zootechnie, Bénin), Dr Ir. Françoise ASSOGBA-KOMLAN (Maraîchage, Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. André B. BOYA (Pastoralisme, Agrostologie, Association Agriculture-Élevage), Dr Ousmane COULIBALY (Agro-économie, Mali), Pr. Dr Ir. Luc O.SINTONDJI (Hydrologie, Génie Rural, Bénin), Dr Ir. Vincent J. MAMA (Foresterie, SIG, Bénin)

Comité de lecture : Les évaluateurs (referees) sont des scientifiques choisis selon leurs domaines et spécialités.

Indications aux auteurs

Types de contributions et aspects généraux

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) accepte des articles scientifiques, des articles de synthèse, des résumés de thèse de doctorat, des analyses bibliographiques, des notes et des fiches techniques, des revues de livres, des rapports de conférences, d'ateliers et de séminaires, des articles originaux de recherche et de synthèse, puis des études de cas sur des aspects agronomiques et des sciences apparentées produits par des scientifiques béninois ou étrangers. La responsabilité du contenu des articles incombe entièrement à l'auteur et aux co-auteurs. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Pour les auteurs, une contribution de cinquante mille (50.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Soumission de manuscrits

Les articles doivent être envoyés par voie électronique par une lettre de soumission (*covering letter*) au comité de rédaction et de publication du BRAB aux adresses électroniques suivantes : *E-mail* : brabpbinrab@gmail.com. Dans la lettre de soumission les auteurs doivent proposer l'auteur de correspondance ainsi que les noms et adresses (y compris les e-mails) de trois (03) experts de leur discipline ou domaine scientifique pour l'évaluation du manuscrit. Certes, le choix des évaluateurs (*referees*) revient au comité éditorial du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin. Les manuscrits doivent être écrits en français ou en anglais, tapé/saisi sous Winword ou Word ou Word docx avec la police Arial taille 10 en interligne simple sur du papier A4 (21,0 cm x 29,7 cm). L'auteur doit fournir des fichiers électroniques des illustrations (tableaux, figures et photos) en dehors du texte. Les figures doivent être réalisées avec un logiciel pour les graphiques. Les données ayant servi à élaborer les figures seront également fournies. Les photos doivent être suffisamment contrastées. Les articles sont soumis par le comité de rédaction à des évaluateurs, spécialistes du domaine.

Sanction du plagiat et de l'autoplégat dans tout article soumis au BRAB pour publication

De nombreuses définitions sont données au plagiat selon les diverses sources de documentations telles que « -i- Acte de faire passer pour siens les textes ou les idées d'autrui. -ii- Consiste à copier les autres en reprenant les idées ou les résultats d'un autre chercheur sans le citer et à les publier en son nom propre. -iii- Copie frauduleuse d'une œuvre existante en partie ou dans sa totalité afin de se l'approprier sans accord préalable de l'auteur. -iv- Vol de la création originale. -v- Violation de la propriété intellectuelle d'autrui. » (<https://integrite.umontreal.ca/reglements/definitions-generales/>). Le Plagiat et l'Autoplégat sont à bannir dans les écrits scientifiques. Par conséquent, tout article soumis pour sa publication dans le BRAB doit être préalablement soumis à une analyse de plagiat, en s'appuyant sur quelques plateformes de détection de plagiat. Le **plagiat constaté dans tout article** sera sanctionné par un retour de l'article accompagné du **rapport de vérification du plagiat par un logiciel antiplagiat** à l'auteur de correspondance pour sa correction avec **un taux de tolérance de plagiat ou de similitude inférieur ou égal à sept pour cent (07%)**.

Respecter de certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture

Pour qu'un article soit accepté par le comité de rédaction, il doit respecter certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture. Ne pas oublier que les trois (3) **qualités fondamentales d'un article scientifique** sont la **précision** (supprimer les adjectifs et adverbes creux), la **clarté** (phrases courtes, mots simples, répétition des mots à éviter, phrases actives, ordre logique) et la **brièveté** (supprimer les expressions creuses). **Le temps des verbes doit être respecté**. En effet, tout ce qui est expérimental et non vérifié est rédigé au passé (passé composé et imparfait) de l'indicatif, notamment les parties *Méthodologie (Matériels et méthodes)* et *Résultats*. Tandis que tout ce qui est admis donc vérifié est rédigé au présent de l'indicatif, notamment les parties *Introduction*, avec la citation de résultats vérifiés, *Discussion* et *Conclusion*. Toutefois, en cas de doute, rédigez au passé. Pour en savoir plus sur la méthodologie de rédaction d'un article, prière consulter le document suivant : **Assogbadjo A. E., Aïhou K., Youssao A. K. I., Fovet-Rabot C., Mensah G. A., 2011. L'écriture scientifique au Bénin. Guide contextualisé de formation. Cotonou, INRAB, 60 p. ISBN : 978-99919-857-9-4 – INRAB 2011. Dépôt légal n° 5372 du 26 septembre 2011, 3^{ème} trimestre 2011. Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin.**

Titre

Dans le titre se retrouve l'information principale de l'article et l'objet principal de la recherche. Le titre doit contenir 6 à 10 mots (22 mots au maximum) en position forte, décrivant le contenu de l'article, assez informatifs, descriptifs, précis et concis. Un bon titre doit donner le meilleur aperçu possible de l'article en un minimum de mots. Il comporte les mots de l'index *Medicus*. Le titre est un message-réponse aux 5 W [what (quoi ?), who (qui ?), why (pourquoi ?), when (quand ?), where (où ?)] & 1 H [how (comment ?)]. Il est recommandé d'utiliser des sous-titres courts et expressifs pour subdiviser les sections longues du texte mais écrits en minuscules, sauf la première lettre et non soulignés. Toutefois, il faut éviter de multiplier les sous-titres. Le titre doit être traduit dans la seconde langue donc écrit dans les deux langues français et anglais.

Auteur et Co-auteurs

Les initiales des prénoms en majuscules séparées par des points et le nom avec 1^{ère} lettre écrite en majuscule de tous les auteurs (auteur & co-auteurs), sont écrits sous le titre de l'article. Immédiatement, suivent les titres académiques (Pr., Dr, MSc., MPhil. et/ou Ir.), les prénoms écrits en minuscules et le nom écrit en majuscule, puis les adresses complètes (structure, BP, e-mail, Tél. et pays) de tous les auteurs. Il ne faut retenir que les noms des membres de l'équipe ayant effectivement participé au programme de recherche et à la rédaction de l'article.

Résumé

Un bref résumé dans la langue de l'article est précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (français ou anglais selon le cas) et le titre sera traduit dans cette seconde langue. Le résumé est une compression en volume plus réduit de l'ensemble des idées développées dans un document, etc. Il contient l'essentiel en un seul paragraphe de 200 à 350 mots. Le résumé contient une **Introduction** (contexte, Objectif, etc.) rédigée avec 20% des mots, la **Méthodologie** (type d'étude, échantillonnage, variables et outils statistiques) rédigée avec 20% des mots, les **Résultats obtenus et leur courte discussion** (résultats importants et nouveaux pour la science), rédigée avec 50% des mots et une **Conclusion** (implications de l'étude en termes de généralisation et de perspectives de recherches) rédigée avec 10% des mots.

Mots-clés

Les 3 à 5 mots et/ou groupes de mots clés les plus descriptifs de l'article suivent chaque résumé et comportent le pays (la région), la problématique ou l'espèce étudiée, la discipline ou le domaine spécifique, la méthodologie, les résultats et les perspectives de recherche. Il est conseillé de choisir d'autres mots/groupes de mots autres que ceux contenus dans le titre.

Texte

Le texte doit être rédigé dans un langage simple et compréhensible. L'article est structuré selon la discipline scientifique et la thématique en utilisant l'un des plans suivants avec les Remerciements (si nécessaire) et Références bibliographiques : *IMReD* (Introduction, Matériel et Méthodes, Résultats, Discussion/Résultats et Conclusion) ; *ILPIA* (Introduction, Littérature, Problème, Implication, Avenir) ; *OPERA* (Observation, Problème, Expérimentation, Résultats, Action) ; *SOSRA* (Situation, Observation, Sentiments, opinion, Réflexion, Action) ; *ESPRIT/SPRIT* [Entrée en matière (introduction), Situation du problème, Problème précis, Résolution, Information appliquée ou détaillée, Terminaison (conclusion)] ; *APPROACH* (Annonce, Problématique (perutable avec Présentation), Présentation, Réactions, Opinions, Actions, Conclusions, Horizons) ; etc.

Introduction

L'introduction c'est pour persuader le lecteur de l'importance du thème et de la justification des objectifs de recherche. Elle motive et justifie la recherche en apportant le background nécessaire, en expliquant la rationalité de l'étude et en exposant clairement l'objectif et les approches. Elle fait le point des recherches antérieures sur le sujet avec des citations et références pertinentes. Elle pose clairement la problématique avec des citations scientifiques les plus récentes et les plus pertinentes, l'hypothèse de travail, l'approche générale suivie, le principe méthodologique choisi. L'introduction annonce le(s) objectif(s) du travail ou les principaux résultats. Elle doit avoir la forme d'un entonnoir (du général au spécifique).

Matériels et méthodes

Il faut présenter si possible selon la discipline le **milieu d'étude** ou **cadre de l'étude** et indiquer le lien entre le milieu physique et le thème. **La méthodologie d'étude** permet de baliser la discussion sur les résultats en renseignant sur la validité des réponses apportées par l'étude aux questions formulées en introduction. Il faut énoncer les méthodes sans grands détails et faire un extrait des principales utilisées. L'importance est de décrire les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé, et de préciser la taille de l'échantillon, le dispositif expérimental, les logiciels utilisés et les analyses statistiques effectuées. Il faut donner toutes les informations permettant d'évaluer, voire de répéter l'essai, les calculs et les observations. Pour le matériel, seront indiquées toutes les caractéristiques scientifiques comme le genre, l'espèce, la variété, la classe des sols, etc., ainsi que la provenance, les quantités, le mode de préparation, etc. Pour les méthodes, on indiquera le nom des dispositifs expérimentaux et des analyses statistiques si elles sont bien connues. Les techniques peu répandues ou nouvelles doivent être décrites ou bien on en précisera les références bibliographiques. Toute modification par rapport aux protocoles courants sera naturellement indiquée.

Résultats

Le texte, les tableaux et les figures doivent être complémentaires et non répétitifs. Les tableaux présenteront un ensemble de valeurs numériques, les figures illustrent une tendance et le texte met en évidence les données les plus significatives, les valeurs optimales, moyennes ou négatives, les corrélations, etc. On fera mention, si nécessaire, des sources d'erreur. La règle fondamentale ou règle cardinale du témoignage scientifique suivie dans la présentation des résultats est de donner tous les faits se rapportant à la question de recherche concordant ou non avec le point de vue du scientifique et d'indiquer les relations imprévues pouvant faire de l'article un sujet plus original que l'hypothèse initiale. Il ne faut jamais entremêler des descriptions méthodologiques ou des interprétations avec les résultats. Il faut indiquer toujours le niveau de signification statistique de tout résultat. Tous les aspects de l'interprétation doivent être présents. Pour l'interprétation des résultats il faut tirer les conclusions propres après l'analyse des résultats. Les résultats négatifs sont aussi intéressants en recherche que les résultats positifs. Il faut confirmer ou infirmer ici les hypothèses de recherches.

Discussion

C'est l'établissement d'un pont entre l'interprétation des résultats et les travaux antérieurs. C'est la recherche de biais. C'est l'intégration des nouvelles connaissances tant théoriques que pratiques dans le domaine étudié et la différence de celles déjà existantes. Il faut éviter le piège de mettre trop en évidence les travaux antérieurs par rapport aux résultats propres. Les résultats obtenus doivent être interprétés en fonction des éléments indiqués en introduction (hypothèses posées, résultats des recherches antérieures, objectifs). Il faut discuter ses propres résultats et les comparer à des résultats de la littérature scientifique. En d'autres termes c'est de faire les relations avec les travaux antérieurs. Il est nécessaire de dégager les implications théoriques et pratiques, puis d'identifier les besoins futurs de recherche. Au besoin, résultats et discussion peuvent aller de pair.

Résultats et Discussion

En optant pour **résultats et discussions** alors les deux vont de pair au fur et à mesure. Ainsi, il faut la discussion après la présentation et l'interprétation de chaque résultat. Tous les aspects de l'interprétation, du commentaire et de la discussion des résultats doivent être présents. Avec l'expérience, on y parvient assez aisément.

Conclusion

Il faut une bonne et concise conclusion étendant les implications de l'étude et/ou les suggestions. Une conclusion fait ressortir de manière précise et succincte les faits saillants et les principaux résultats de l'article sans citation bibliographique. La conclusion fait la synthèse de l'interprétation scientifique et de l'apport original dans le champ scientifique concerné. Elle fait l'état des limites et des faiblesses de l'étude (et non celles de l'instrumentation mentionnées dans la section de méthodologie). Elle suggère d'autres avenues et études permettant d'étendre les résultats ou d'avoir des applications intéressantes ou d'obtenir de meilleurs résultats.

Références bibliographiques

La norme Harvard et la norme Vancouver sont les deux normes internationales qui existent et régulièrement mises à jour. Il ne faut pas mélanger les normes de présentation des références bibliographiques. En ce qui concerne le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), c'est la norme Harvard qui a été choisie. Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités

dans les références bibliographiques. Dans le texte, les publications doivent être citées de la manière suivante : Sinsin (2020) ou Sinsin et Assogbadjo (2020) ou Sinsin *et al.* (2007). Sachez que « *et al.* » est mis pour *et alteri* qui signifie et autres. Il faut s'assurer que les références mentionnées dans le texte sont toutes reportées par ordre alphabétique dans la liste des références bibliographiques. Somme toute dans le BRAB, selon les ouvrages ou publications, les références sont présentées dans la liste des références bibliographiques de la manière suivante :

Pour les revues scientifiques :

- ✓ **Pour un seul auteur** : Yakubu, A., 2013: Characterisation of the local Muscovy duck in Nigeria and its potential for egg and meat production. *World's Poultry Science Journal*, 69(4): 931-938. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933913000937>
- ✓ **Pour deux auteurs** : Tomasz, K., Juliusz, M. K., 2004: Comparison of physical and qualitative traits of meat of two Polish conservative flocks of ducks. *Arch. Tierz., Dummerstorf*, 47(4): 367-375.
- ✓ **A partir de trois auteurs** : Vissoh, P. V., R. C. Tossou, H. Dedehouanou, H. Guibert, O. C. Codjia, S. D. Vodouhe, E. K. Agbossou, 2012 : Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin. *Les Cahiers d'Outre-Mer N° 260*, 479-492.

Pour les organismes et institutions :

- ✓ FAO, 2017. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2017 : Renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire. Rome, FAO. 144 p.
- ✓ INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2015 : Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH-4): Résultats définitifs. Direction des Etudes Démographiques, Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Cotonou, Bénin, 33 p.

Pour les contributions dans les livres :

- ✓ Whithon, B.A., Potts, M., 1982: Marine littoral: 515-542. *In*: Carr, N.G., Whithon, B.A., (eds), *The biology of cyanobacteria*. Oxford, Blackwell.
- ✓ Annerose, D., Cornaire, B., 1994 : Approche physiologique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches: 137-150. *In* : Reyniers, F.N., Netoyo L. (eds.). *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

Pour les livres :

- ✓ Zryd, J.P., 1988: Cultures des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisations pratiques. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.
- ✓ Stuart, S.N., R.J. Adams, M.D. Jenkins, 1990: Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN-The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

Pour les communications :

- ✓ Vierada Silva, J.B., A.W. Naylor, P.J. Kramer, 1974: Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. *Proceedings of Nat. Acad. Sc. USA*, 3243-3247.
- ✓ Lamachere, J.M., 1991 : Aptitude du ruissellement et de l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Actes de l'Atelier sur Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Niamey, Niger, IAHS n° 199, 109-119.

Pour les abstracts :

- ✓ Takaiwa, F., Tnifuji, S., 1979: RNA synthesis in embryo axes of germination pea seeds. *Plant Cell Physiology abstracts*, 1980, 4533.

Thèse ou mémoire :

- ✓ Valero, M., 1987: Système de reproduction et fonctionnement des populations chez deux espèces de légumineuses du genre *Lathyrus*. PhD. Université des Sciences et Techniques, Lille, France, 310 p.

Pour les sites web : <http://www.iucnredlist.org>, consulté le 06/07/2007 à 18 h.

Equations et formules

Les équations sont centrées, sur une seule ligne si possible. Si on s'y réfère dans le texte, un numéro d'identification est placé, entre crochets, à la fin de la ligne. Les fractions seront présentées sous la forme « 7/25 » ou « (a+b)/c ».

Unités et conversion

Seules les unités de mesure, les symboles et équations usuels du système international (SI) comme expliqués au chapitre 23 du Mémento de l'Agronome, seront acceptés.

Abréviations

Les abréviations internationales sont acceptées (OMS, DDT, etc.). Le développé des sigles des organisations devra être complet à la première citation avec le sigle en majuscule et entre parenthèses (FAO, RFA, IITA). Eviter les sigles reconnus localement et inconnus de la communauté scientifique. Citer complètement les organismes locaux.

Nomenclature de pesticides, des noms d'espèces végétales et animales

Les noms commerciaux seront écrits en lettres capitales, mais la première fois, ils doivent être suivis par le(s) nom(s) communs(s) des matières actives, tel que acceptés par « International Organization for Standardization (ISO) ». En l'absence du nom ISO, le nom chimique complet devra être donné. Dans la page de la première mention, la société d'origine peut être indiquée par une note en bas de la page, p.e. PALUDRINE (Proguanil). Les noms d'espèces animales et végétales seront indiqués en latin (genre, espèce) en italique, complètement à la première occurrence, puis en abrégé (exemple : *Oryza sativa* = *O. sativa*). Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira ce nom scientifique dans le texte.

Tableaux, figures et illustrations

Chaque tableau (avec les colonnes rendus invisibles mais seules la première ligne et la dernière ligne sont visibles) ou figure doit avoir un titre. Les titres des tableaux seront écrits en haut de chaque tableau et ceux des figures/photographies seront écrits en bas des illustrations. Les légendes seront écrites directement sous les tableaux et autres illustrations. En ce qui concerne les illustrations (tableaux, figures et photos) seules les versions électroniques bien lisibles et claires, puis mises en extension jpeg avec haute résolution seront acceptées. Seules les illustrations dessinées à l'ordinateur et/ou scannées, puis les photographies en extension jpeg et de bonne qualité donc de haute résolution sont acceptées.

Les places des tableaux et figures dans le texte seront indiquées dans un cadre sur la marge. Les tableaux sont numérotés, appelés et commentés dans un ordre chronologique dans le texte. Ils présentent des données synthétiques. Les tableaux de données de base ne conviennent pas. Les figures doivent montrer à la lecture visuelle suffisamment d'informations compréhensibles sans recours au texte. Les figures sont en Excell, Havard, Lotus ou autre logiciel pour graphique sans grisés et sans relief. Il faudra fournir les données correspondant aux figures afin de pouvoir les reconstruire si c'est nécessaire.

Synthèse bibliographique sur le flétrissement bactérien des Solanacées en culture de tomate : épidémiologie et gestion dans le monde et au Bénin

M. E. Dossoumou^{1,4*}, R. Sikirou¹, A. Adandonon², A. Zannou³ et L. Baba-Moussa⁴

¹Dr MSc. Marie Epiphane DOSSOUMOU, Laboratoire de Défense des Cultures (LDC), Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey (CRA-Agonkanmey), Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 & Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie (LBTMM), Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 05 BP 1604 Cotonou 05, E-mail : akinnidossoumou@hotmail.fr, Tél. : (+229)65851025, République du Bénin

Dr Ir. Rachidatou SIKIROU, LDC/CRA-Agonkanmey/INRAB, 01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01, E-mail : rachidatous@yahoo.fr, Tél. : (+229)97882620, République du Bénin

²Dr Ir. Appolinaire ADANDONON, Ecole de Gestion et de Production Végétale et semencière, Université Nationale d'Agriculture, 08 BP 1055, Cotonou, E-mail : adanappo@yahoo.fr, Tél. : (+229)65851025, République du Bénin

³Pr. Dr Ir. Afio ZANNOU, Laboratoire d'Agroéconomie et Agrobusiness, Ecole d'Economie, Socio-Anthropologie, et Communication pour le développement rural, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, E-mail : zannou.afio@gmail.com, Tél. : (+229)97449255, République du Bénin

⁴Pr. Dr Lamine BABA-MOUSSA, LBTMM, Faculté des Sciences et Techniques (FAST/UAC), 05 BP 1604 Cotonou 05, E-mail : laminesaid@yahoo.fr, Tél. : (+229)97123468, République du Bénin

*Auteur correspondant : Dr MSc. Marie Epiphane DOSSOUMOU, E-mail : akinnidossoumou@hotmail.fr

Résumé

Le flétrissement bactérien est une contrainte majeure en culture de la tomate dans le monde et au Bénin en particulier. Nombreux travaux ont été réalisés pour une meilleure connaissance et gestion de cette maladie. La présente étude a fait une synthèse des acquis de recherches sur la maladie. Le flétrissement bactérien est causé par *Ralstonia solanacearum*, une bactérie du sol qui bénéficie d'une grande diversité génétique et phénotypique. Ces propriétés permettent à la bactérie d'avoir une large gamme d'hôtes et de rendre difficile sa gestion durable. Sa dissémination se fait principalement à travers du matériel végétal contaminé, des activités anthropiques et les aléas climatiques. Il existe également des facteurs tels que les pratiques culturales et la gestion des résidus culturaux qui favorise la persistance de *Ralstonia solanacearum* dans le sol. Des méthodes de lutte contre le flétrissement bactérien sont élaborées et reposent sur l'utilisation de variétés résistantes, la lutte biologique en utilisant les rhizobactéries et les plantes assainissantes et la lutte culturale qui consiste à respecter de bonnes pratiques culturales. Toutes ces méthodes prises individuellement ont des contraintes qui peuvent être levées à la faveur d'une lutte intégrée.

Mots clés : flétrissement bactérien, *Ralstonia solanacearum*, tomate, méthode de lutte.

Literature review on the bacterial wilt of Solanaceae in tomato crops: epidemiology and management in the world and in Bénin

Abstract

Bacterial wilt is a major constraint in tomato cultivation in the world and in Benin in particular. Many works have been carried out for a better knowledge and management of this disease. The present study summarized the research findings on the disease. Bacterial wilt is caused by *Ralstonia solanacearum*, a soil bacterium with a high genetic and phenotypic diversity. These properties allow the bacterium to have a wide host range and make its sustainable management difficult. Its dissemination is mainly through contaminated plant material, anthropic activities and climatic hazards. There are also factors such as cultural practices and management of crop residues that favor the persistence of *Ralstonia solanacearum* in the soil. Control methods for bacterial wilt are being developed and are based on the use of resistant varieties, biological control using rhizobacteria and sanitizing plants and cultural control using good cultural practices. All these methods taken individually have constraints that can be overcome by integrated control.

Keywords: bacterial wilt, *Ralstonia solanacearum*, tomato, control method.

Introduction

Le maraîchage est une activité socio-économique importante qui répond à la demande alimentaire urbaine et périurbaine des populations notamment dans les pays en voie de développement (Assogba Komlan *et al.*, 2007 ; Simeni *et al.*, 2009). Il génère des revenus substantiels aux producteurs et contribue à la prévention de maladies alimentaires, cancéreuses et cardiovasculaires grâce aux vitamines et minéraux apportés par ses produits à l'alimentation (Sikirou *et al.*, 2001 ; Olaniyi *et al.*, 2010 ; Bhowmik *et al.*, 2012). Au nombre des produits maraîchers, la tomate (*Solanum lycopersium*) est

l'un des plus cultivés (Assogba Komlan *et al.*, 2007). Elle bénéficie d'une large diversité variétale (Aglingo *et al.*, 2018) et des conditions climato-édaphiques favorables au Bénin (Sikirou, 2011).

En dépit des avantages et intérêts de la tomate, sa production est menacée par plusieurs bioagresseurs qui causent des maladies d'ordre fongique (Sikirou *et al.*, 2015), viral (Hanssen *et al.*, 2010) et bactérienne (Idrissou-Touré *et al.*, 2017). Parmi les maladies bactériennes, le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* est une contrainte majeure provoquant parfois l'abandon de la culture de la tomate à cause des énormes pertes de rendement pouvant atteindre l'ordre de 72% (Sikirou *et al.*, 2009 ; Sikirou *et al.*, 2017). Suite à environ une vingtaine d'années de travaux sur cette maladie au Bénin, elle n'est pas maîtrisée par les producteurs, en particulier dans les milieux ruraux, sa gestion demeure fastidieuse. Dans ce contexte, il importe de faire la synthèse des acquis des recherches sur *Ralstonia solanacearum* afin de développer des stratégies de gestion efficaces et de maîtrise du flétrissement bactérien en culture de tomate au Bénin.

Méthodologie

La synthèse bibliographique a été réalisée à partir d'une revue documentaire qui prend en compte la consultation d'articles, des thèses, et des rapports techniques traitant du flétrissement bactérien des Solanacées en culture de tomate. Les documents de recherche ont été obtenus par contact direct avec les auteurs et par Internet. Les principaux moteurs de recherche et les divers sites Web utilisés étaient <https://www.scholar.google.com>, <https://www.slire.net>, <https://www.researchgate.net>, <https://www.aginternetwork.net>, <http://www.oaresciences.org/fr/>, <https://www.doaj.org>, <http://hal.archives-ouvertes.fr> et <https://www.scopus.com>. Les documents téléchargés en ligne ont été obtenus en utilisant la combinaison des mots-clés suivants : flétrissement bactérien ; tomate ; épidémiologie ; méthode de lutte. Ces mots clés ont été utilisés d'abord en français puis traduits en anglais, afin d'obtenir un maximum de documents sur le sujet. Ainsi, 98 documents ont été réunis et analysés afin de faire ressortir divers aspects de l'épidémiologie et de la gestion du flétrissement bactérien des Solanacées en culture de tomate dans le monde en général et au Bénin en particulier.

Importance socio-économique et nutritionnelle de la tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum*) est le deuxième légume le plus consommé au monde après la pomme de terre (Dupont et Guignard, 2012). Sa culture pratiquée dans 170 pays sur une superficie de 5.030.545 ha (FAOSTAT, 2021) est en constante augmentation. En 2019, sa production était estimée à 180.766.329 tonnes contre 160.000.000 de tonnes en 2013. La production africaine représente 11,98% et l'Afrique de l'Ouest 2,88% de la production mondiale (FAOSTAT, 2021). Au Bénin, la tomate est l'une des plus importantes cultures maraîchères cultivée sur toute l'étendue du territoire (Assogba Komlan *et al.*, 2013) et couvrait 37.648 ha en 2019 (FAOSTAT, 2021). Elle est une source importante d'emplois et de revenus substantiels pour les producteurs périurbains et ruraux du Bénin (Sikirou *et al.*, 2001). Elle reste dans le temps une activité économiquement rentable appréciée (Kouvonou *et al.*, 1999 ; Nouatin et Achabi, 2010 ; Dossou, 2012). La production de la tomate permet de lutter contre la pauvreté (Yarou *et al.*, 2017).

Sur le plan nutritionnel, la tomate s'intègre parfaitement dans les habitudes alimentaires aussi bien en milieu urbain que rural (Mensah *et al.*, 2019) et participe à la préparation de la plupart des mets quotidiens et de presque toutes les sauces d'accompagnement des plats faits de denrées de base transformées au Bénin (Vodouhe *et al.*, 2014). Elle est consommée soit crue, soit cuite ou comme un produit transformé tel que le jus de fruits, la sauce et la conserve de tomate (Ouedraogo *et al.*, 2016). La tomate est riche particulièrement en vitamines A, B et C et sels minéraux (Blancard *et al.*, 2009), en fer et phosphate (Laika *et al.*, 2005). L'OMS dans son rapport en 2013 estime qu'une consommation suffisante en fruits de tomate réduirait l'incidence des maladies cardio-vasculaires de 31%, celle des accidents vasculaires cérébraux de 11% et celle des cancers gastro-intestinaux de 20 à 30%.

Au Bénin, le rendement actuel de la production de la tomate demeure encore faible et est en moyenne de 7,29 t/ha (FAOSTAT, 2021) contre un potentiel estimé à 20 t/ha (Mensah *et al.*, 2019). Ce rendement reflète l'effet des nombreuses contraintes auxquelles sa production fait face, en particulier les attaques des bio-agresseurs (Sikirou *et al.*, 2004).

Flétrissement bactérien et autres principales maladies de la tomate

La littérature sur la culture de la tomate révèle que les pertes de production de cette culture sont dues à d'une large gamme de maladies qui sont la manifestation de la présence d'un ou de plusieurs agent(s) pathogène(s), dépendant des conditions environnementales et de la variété mise en production (Kelmam, 2012). Les maladies virales, les maladies fongiques et les maladies bactériennes sont les trois principales catégories distinguées sur la tomate (Blancard, 2021).

Principales maladies virales de la tomate

La tomate est très sensible aux maladies virales. En général, les tissus de la plante qui ont été touchés d'une maladie virale ne meurent pas immédiatement. L'infection virale provoque plusieurs symptômes, dont des taches de couleur claire ou jaune sur les feuilles et les fruits, une croissance anormale des plantes, des rendements réduits et la mort de la plante (Naika *et al.*, 2005). Le virus de la chlorose de la tomate (ToCV), le virus des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV), le virus de la mosaïque de la tomate (ToMV), le virus de la maladie bronzée de la tomate (TSWV), le virus de la mosaïque de la luzerne (AMV), le virus X de la pomme de terre (PVX), le virus Y de la pomme de terre (PVY), le virus de la chlorose infectieuse de la tomate (TICV) et le virus des fruits bruns et rugueux de la tomate (ToBRFV) sont responsables des maladies virales les plus dominantes dans le monde (Naika *et al.*, 2005 ; Blancard, 2013). Au Bénin, la maladie virale la plus économiquement importante est la virose des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV). C'est un Begomovirus qui a été disséminé dans le monde par son vecteur *Bemisia tabaci* (un aleurode très polyphage) et par la commercialisation de tomates infectées. Le TYLCV est à l'origine des pertes économiques mettant en évidence des pertes de rendement avoisinant les 60% (Blancard, 2013). Lorsque l'attaque est très précoce, les pertes peuvent être de 100% (Sikirou *et al.*, 2004).

Principales maladies fongiques de la tomate

La tomate est limitée dans sa production par les maladies fongiques foliaires et du sol qui se propagent souvent très rapidement lorsque les conditions favorables sont réunies. Les maladies fongiques aériennes et telluriques sont les deux catégories de maladies fongiques qui sont distinguées.

Les maladies fongiques aériennes : Elles comprennent entre autres l'alternariose (*Alternaria tomatophila*), la moisissure grise (*Botrytis cinerea*), la cladosporiose (*Mycovellosiella fulva*), l'oïdium interne (*Leveillula taurica*), l'oïdium externe (*Oidium neolycopersici*) et le mildiou aérien (*Phytophthora infestans*) (Blancard *et al.*, 2009). Elles sont présentes dans toutes les zones de production de la tomate et causent des pertes économiques et de rendement à la hauteur de 100% lorsque les conditions sont favorables (Blancard, 2013 ; Goussous *et al.*, 2010 ; Chaerani et Voorrips, 2006).

Les maladies fongiques telluriques : on distingue dans cette catégorie les maladies fréquentes telles que : l'antracnose (*Colletotrichum coccodes*), la fusariose racinaire (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*), la fonte des semis (*Pythium* spp. et *Phytophthora* spp.), la pourriture de fruit ou rhizoctone brun (*Rhizoctonia solani*), la cercosporiose (*Pseudocercospora fuligena*), le flétrissement vasculaire (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*), la sclérotiniose (*Sclerotinia sclerotiorum*), la verticilliose (*Verticillium dahliae*) et la pourriture à Sclerotium (*Sclerotium rolfsii*) (Kumar *et al.*, 2018 ; Blancard *et al.*, 2009). Les attaques de ces maladies sont plus sévères en période chaude et humide. Leurs dégâts occasionnent des pertes allant de 50 à 100% de la production dépendant de la période et du stade végétatif des plants (Blancard, 2019 ; 2020a).

Au Bénin, l'alternariose, le mildiou, la fonte de semis, le flétrissement vasculaire et la pourriture à Sclerotium sont les maladies fongiques dominantes. Les pertes de rendement engendrées sont de l'ordre de 100% dans les conditions favorables (James *et al.*, 2010 ; Sikirou *et al.*, 2004).

Principales maladies bactériennes de la tomate

Les maladies causées par les bactéries aériennes en culture de tomate : Les maladies bactériennes en culture de la tomate sont causées par les phytopathogènes qui infectent les plantes exclusivement par le biais de zones affaiblies, comme les cicatrices, les stomates, les lenticelles, les blessures ou d'autres blessures physiques (Naika *et al.*, 2005). Il existe une gamme très variée de bactéries responsables des affections chez les plantes. Les plus rencontrées en culture de tomate sont *Xanthomonas* spp. qui est responsable de la gale bactérienne et *Pseudomonas Syringae* pv. *tomato* agent causal de la moucheture (Blancard *et al.*, 2009). Les pertes de rendement dues à la gale bactérienne en culture de tomate peuvent atteindre 80% de la production (Vansickle *et al.*, 2009). Quant à la moucheture, les pertes de rendement occasionnées ont été estimées à 75% de la production (Yunis *et al.*, 1980). Au Bénin, la gale bactérienne et la moucheture sont largement répandues et constituent un frein à la production de la tomate (James *et al.*, 2010).

Les maladies causées par les bactéries telluriques en culture de tomate : Les maladies bactériennes telluriques sont répandues dans toutes les zones de production de la tomate. Elles sont responsables d'énormes pertes financières et de rendement pouvant atteindre 100% de la production en conditions favorables (Sikirou *et al.*, 2017 ; Blancard *et al.*, 2009). Les plus dommageables sont le chancre bactérien causé par *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (James *et al.*, 2010), la tumeur bactérienne du collet due à *Agrobacterium tumefaciens*, la pourriture bactérienne provoquée

par *Pectobacterium caratovorum* subsp. *caratovorum*, la moelle noire causée par *Pseudomonas corrugata* et le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum*. Ces dernières années, *Ralstonia solanacearum* a été identifié comme l'un des pathogènes les plus dévastateurs en culture de tomate au Bénin (Sikirou *et al.*, 2009).

Flétrissement bactérien

Le flétrissement bactérien est une maladie causée par la bactérie ubiquiste *R. solanacearum* (Yabuuchi *et al.*, 1995). Cette bactérie gram-négatif est à l'origine de l'une des phyto bactérioses les plus répandues et les plus dévastatrices dans le monde (Lebeau *et al.*, 2010). Elle opère sous une gamme variée de climats comprenant aussi bien les climats tempérés, méditerranéen et subtropical que tropical où elle est capable d'infecter près de 250 espèces de plantes chez 54 familles botaniques aussi bien chez les monocotylédones que les dicotylédones (Hayward, 1991).

Le flétrissement bactérien figure parmi les maladies les plus dévastatrices des cultures vivrières et de rente à travers le monde (Genin et Denny 2012). Parmi les cultures d'importance économique sensible, on peut citer la pomme de terre, le tabac, l'aubergine, le piment, la banane, le géranium, et la tomate. La maladie est connue sous plusieurs noms tels que la pourriture brune de la pomme de terre, la maladie de Granville du tabac, la maladie de Moko, la maladie de Bugtok, la maladie du sang chez le bananier et le flétrissement du giroflier à Sumatra (Ravelomanantsoa, 2016).

Importance socio-économique du flétrissement bactérien

Les pertes engendrées par le flétrissement bactérien peuvent être très lourdes. Le flétrissement réduit considérablement le rendement des cultures et dans le cas extrême empêche leur production (Sikirou *et al.*, 2017). Sur les cultures autres que la tomate, à titre indicatif, dans le bassin amazonien du Pérou, environ la moitié des plantations de bananier était affectée dans les années 1960 et la dissémination rapide du pathogène menaçait de détruire toutes les plantations de la forêt péruvienne (Noreskal, 2011). En Bolivie, les pertes de récolte en culture de pomme de terre avoisinent 75% dans les zones à forte incidence et 100% des pommes de terre entreposées (Castillo et Plata, 2016). En Ethiopie, une forte incidence du flétrissement bactérien est observée dans toutes les régions de culture du gingembre avec une importante perte estimée à 100% (Habetewold *et al.*, 2015). Au Kenya, le flétrissement bactérien affecte plus de 70% des exploitations de pommes de terre avec des pertes de rendement allant de 50 à 100% (Muthoni *et al.*, 2012).

En culture de tomate, dans la sous-région Ouest africaine, cette maladie est très commune compte tenu des conditions climatiques favorables (Fegan et Prior, 2005). Au Nigeria, le flétrissement bactérien causé par *R. solanacearum* est à l'origine des pertes de rendement allant de 60 à 100% en culture de tomate (Popoola *et al.*, 2015). En Côte d'Ivoire, des pertes de rendement allant de 80 à 100% ont été enregistrées avec abandon de la culture de tomate en zone périphérique de la ville d'Abidjan (Fondio *et al.*, 2010). Au Burkina-Faso, plusieurs travaux ont rapporté que les souches burkinabés de *R. solanacearum* sont de race I biovar I, III et IV (Ouedraogo, 1998). Elles sont à l'origine de 90% de pertes de rendement chez la variété de tomate Rossol (Boro, 2014). Au Bénin, les pertes de rendement occasionnées par cette maladie avoisinent 72% et peuvent aller à 100% en culture de tomate (Sikirou *et al.*, 2017). Les pertes financières occasionnées par cette maladie sur la culture de tomate ne sont pas encore estimées.

Agent causal, biologie et diversité génétique

Ralstonia solanacearum a été décrit pour la première fois en 1896 aux États Unis sur le tabac. Il était appelé *Bacillus solanacearum* (Smith, 1896). En 1914, c'est sous le nom de *Pseudomonas solanacearum* (Smith) qu'il est désigné. A la faveur de l'évolution des techniques de biologie moléculaire, cette appellation va évoluer en 1992 pour devenir *Burholderia solanacearum* (Yabuuchi *et al.*, 1992) validée en 1993, et de nos jours *Ralstonia solanacearum* validée en 1996 (Yabuuchi *et al.*, 1995).

Historiquement, les souches de l'agent *R. solanacearum* ont été classées en 5 races et 6 biovars (Buddenhagen *et al.*, 1962). L'appartenance à une race est basée sur la capacité de la souche à infecter ou non un type d'hôte (Noreskal, 2011 ; Ravelomanantsoa, 2016). La race 1 entraîne le flétrissement d'une large gamme d'hôtes de la famille des Solanacées. Elle attaque, entre autres, les aubergines, les tomates, les tabacs, l'arachide, les bananiers diploïdes et des adventices. La race 1 est présente sur tous les continents, excepté l'Europe. La race 2 est l'agent causal de la maladie de Moko sur les bananiers triploïdes. Elle est surtout présente dans l'Arc Caraïbéen, en Amérique centrale et dans les Philippines. Contrairement aux races 1 et 2 qui ont leur optimum de croissance à des températures élevées (autour de 35°C), la race 3 s'établit plutôt dans des milieux tempérés et a un développement

optimal autour de 27°C (Álvarez *et al.*, 2010). Elle provoque également la pourriture brune de la pomme de terre et le flétrissement bactérien de la tomate, de l'aubergine et du géranium. Elle est largement répandue sur les cinq continents. Les races 4 et 5 sont plus spécialisées et attaquent respectivement le girolier et le mûrier (Ailloud, 2015).

Les biovars sont déterminés par le profil métabolique des souches sur la base de tests d'oxydation et d'utilisation d'hexoses ou de disaccharides (Hayward, 1991). Une grande variabilité existe dans l'aptitude des souches de *R. solanacearum* à utiliser ou à oxyder le carbone contenu dans les substrats. Cette variabilité a permis dans un premier temps d'établir une classification en biotypes qui évoluera plus tard en biovars afin de réserver le suffixe « type » au contexte des espèces types, c'est-à-dire provenant d'un écotype spécifique. A l'origine, on distinguait quatre biovars. Plus tard, un cinquième (He *et al.*, 1983), puis un sixième (Xue *et al.*, 2011) ont été rapportés en Chine.

La classification de *R. solanacearum* en race et en biovars comporte des mérites mais également des limites (Denny, 2006). Les avancées technologiques en biologie moléculaire ont permis de palier à ces limites. Ainsi, la classification moléculaire basée sur les marqueurs génétiques (RFLP16, ARNr 16S17 et ARNr 16S-23S18, *pglA19* et *egl20*) a d'abord identifié la division '*Asiaticum*' comprenant des souches en provenance d'Asie et la division '*Americanum*' regroupant les souches d'Amérique (Cook *et al.*, 1989; Taghavi *et al.*, 1996). Plus tard, les données des séquences de la région ITS 16S-23S, des gènes *egl* et *hrpB* ont défini l'analyse phylogénétique des séquences de trois portions d'ADN spécifiques suivantes (Fegan et Prior, 2006) : (i) la région inter génétique 16S-23S (ITS) montrant le degré de variabilité entre souches et permettant d'évaluer leur degré de parenté. Cette région est très conservée au sein des espèces ; (ii) le gène *hrpB*, régulateur du gène « hypersensitive reaction et pathogenicity » (*hrp*) impliquée dans le déclenchement de réaction chez les plantes attaquées par l'agent pathogène. Cette réaction peut être de résistance ou d'hypersensibilité ; (iii) le gène *egl* codant pour la synthèse de l'endoglucanase, une enzyme impliquée dans les processus de pathogénicité.

L'analyse de ces trois gènes spécifiques associés aux marqueurs AFLP a permis la classification en groupes génétiques ou 'phylotypes' qui reflète l'origine géographique de chaque souche de *R. solanacearum*. Les quatre *phylotypes* suivants correspondant à des souches d'origine géographique différente sont distingués (Poussier *et al.*, 2000 ; Fegan et Prior, 2006 ; Jeong *et al.*, 2007) : (i) Phylotype I : les souches originaires principalement de l'Asie ; (ii) Phylotype II : les souches provenant d'Amérique. Le phylotype II est subdivisé en deux lignées IIA et IIB d'où se distinguent des groupes de souches d'intérêts agronomiques comme le phylotype IIB *sequevar* qui regroupe les souches possédant une portion hautement conservée du gène *egl* (<1% de variation) ; (iii) Phylotype III : les souches originaires d'Afrique et des îles de l'Océan Indien ; (iv) Phylotype IV : les souches de l'Indonésie, mais aussi du Japon, des Philippines, de la Corée et d'Australie.

Le phylotype II présente une large distribution mondiale. Le phylotype I est présent dans les quatre continents en Amérique, en Afrique, en Océanie (notamment en Australie) et en Asie, avec une prépondérance dans le continent asiatique. La présence du phylotype I n'a pas été déclarée jusqu'à ce jour en Europe. Le phylotype III est localisé dans le continent Africain où il semble être endémique. Enfin, le phylotype IV se retrouve en Indonésie et Australie (Ravelomanantsoa, 2016).

Symptômes du flétrissement bactérien

Au champ, le flétrissement bactérien affecte les plantes de tomate en cours de croissance. Les symptômes externes se manifestent généralement par une épïnastie foliaire qui se suit d'un flétrissement, une chlorose des feuilles qui réduit l'activité photosynthétique de la plante. La plante s'affaiblit et le flétrissement irréversible se généralise grâce à la dégradation et l'obstruction des vaisseaux conducteurs par les bactéries qui affectent les mécanismes de nutrition de la plante-hôte. Une procédure de diagnostic rapide pour identifier la maladie sur le terrain consiste à couper une tige symptomatique. Une section de tige infectée montre une coloration brune du système vasculaire et la présence d'un exsudat bactérien blanchâtre qui forme des filaments (Blancard et Prior, 2015).

Epidémiologie du flétrissement bactérien

R. solanacearum est une bactérie aérobie stricte, non fluorescente. Il est généralement établi dans le sol ou la rhizosphère. *R. solanacearum* ne se comporte pas comme une bactérie unique avec une biologie et une gamme de plantes-hôtes uniformes, mais comme un complexe de variantes, décrit de manière variable en tant que groupes, races, biovars, phylotypes, sous-races et souches. Elle est attirée par des molécules nutritives de l'exsudat racinaire, l'oxygène et divers acides aminés et organiques. La bactérie pénètre dans les plantes par les poils d'absorption, les blessures racinaires, les plaies de tiges ou par les stomates. Une fois dans la plante, elle va se loger dans les tissus vasculaires. Ce processus est accéléré par les fortes températures. La vitesse du mouvement des bactéries dépend aussi de la

partie de la plante concernée. Chez le tabac, la bactérie se déplace plus rapidement dans les tiges que dans les racines (Ono *et al.*, 1984 ; Blancard et Prior, 2015). Après la pénétration de la bactérie dans la plante, le xylème est colonisé (Xiao *et al.*, 1983) et la bactérie adhère aux parois des vaisseaux ou envahit les tubes. L'adhérence se fait par attraction polaire aux cellules de surface avec la localisation sur des sites préférentiels du mésophylle (Petrolini *et al.*, 1986). Le blocage des vaisseaux par les bactéries est la principale cause du flétrissement.

Distribution du flétrissement bactérien

Les souches du complexe sont réparties sur les cinq continents et sont capables de coloniser des milieux écologiques différents ; ce qui leur confère la deuxième place parmi les agents pathogènes d'importance économique dans le monde (Mansfield *et al.*, 2012). Ces souches sont largement répandues dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées (Prior *et al.*, 2016). Au Bénin, *R. solanacearum* a été isolé dans les cinq zones agro-écologiques (ZAE) suivantes correspondant à de grandes zones de production de la tomate : la Zone de l'extrême nord du Bénin (ZAE 1) ; la Zone Cotonnaire du Centre (ZAE 5) ; la Zone des terres de barre (ZAE 6) ; la Zone de la dépression (ZAE 7) ; la Zone des pêcheries (ZAE 8).

Facteurs de dissémination du flétrissement bactérien

Le flétrissement bactérien est une maladie répandue dans toutes les zones de production de la tomate (Prior *et al.*, 2016). Sa dissémination est favorisée par plusieurs facteurs dont l'humidité du sol qui est l'un des principaux qui affectent la reproduction et la persistance du pathogène. Les taux d'humidité les plus favorables au développement du flétrissement bactérien sont entre -0,5 et -1 bar (Nesmith et Jenkins, 1985). Des conditions climatiques légèrement défavorables, comme des basses températures, ont une influence sur l'expression des symptômes. La maladie est très sévère à 24-27 °C. Chaque biovar a ses propres optimums de température (Swanepol, 1990). L'intensité de la maladie est élevée lors des périodes humides et lorsque le taux d'humidité du sol est élevé (Blancard, 2020b).

Par ailleurs, les blessures naturelles comme l'émergence d'une racine secondaire ou mécaniques, occasionnées par les insectes, les nématodes ou des outils, sont les premières portes d'infection des plants. L'infection peut être également obtenue par des blessures mécaniques dans la partie végétative. La bactérie migre ensuite vers les vaisseaux du xylème où elle se multiplie activement. Ainsi, les insectes, les nématodes et les outils d'entretien des champs de tomate constituent autant de facteurs de contamination et de dissémination de *R. solanacearum* dans les zones de production de la tomate (Tans-Kersten *et al.*, 2001).

Des périodes de temps pluvieux sont associées à une incidence élevée du flétrissement bactérien qui favorise sa dissémination. *R. solanacearum* est capable de survivre dans l'eau qui est un bon milieu de conservation de la bactérie. Sa durée de survie planctonique est variable en fonction de la qualité de l'eau et de la température selon la souche concernée (Poussier *et al.*, 2000). Une eau purifiée favorise la survie de la bactérie plusieurs mois contre deux semaines au plus dans une eau d'irrigation (Poussier *et al.*, 2000). *R. solanacearum* survit également dans des eaux riches en matières organiques comme des eaux de surface ou des eaux boueuses (Janse, 1996 ; Janse *et al.*, 1998).

En l'absence d'hôtes sensibles, les souches de la bactérie peuvent persister dans le sol, sur les débris végétaux ou sous forme d'endophyte dans les tissus des champignons telluriques (Spraker *et al.* 2016). Elles peuvent être également hébergées par des plantes réservoirs comme les adventices dans les alentours immédiats des parcelles de culture sous forme d'une infection latente. Ces réservoirs contribuent à l'amplification et la dissémination de la bactérie. Lorsque les conditions sont propices, comme la présence d'un hôte sensible, une souche non virulente peut redevenir virulente (Denny *et al.*, 1994). L'importation de pommes de terre est le principal moyen de dissémination internationale de *R. solanacearum*. Des activités anthropiques interviennent également dans la propagation du flétrissement bactérien lors des interventions culturales telles que la taille et la récolte des cultures (Hsu *et al.*, 1993).

Gestion du flétrissement bactérien

Gestion à base des produits synthétiques

Le formol, l'hypochlorite de calcium et le bromure de méthyle ont fait l'objet d'utilisation à grande échelle pour le contrôle de *R. solanacearum* sur plantules. Ces produits donnent des résultats satisfaisants en culture hors-sol mais en champ les résultats sont limités dans le temps. Par ailleurs, ils ont des effets néfastes sur l'environnement et ont un coût élevé. Les effets sur l'environnement du bromure de méthyle ont entraîné son interdiction, ce qui a ouvert la recherche sur le choix de méthodes alternatives (Frank, 2003). La lutte chimique a rapidement été jugée inefficace pour contrôler le flétrissement bactérien, que

ce soit par l'utilisation d'antibiotiques ou d'autres produits chimiques (Hartman et Elphinstone, 1994 ; Saddler, 2005).

Gestion à base des systèmes culturaux

La gestion à base des systèmes culturaux repose principalement sur la solarisation, la fertilisation et la rotation. La solarisation consiste à recouvrir le sol nu de plastique en saison chaude. Le réchauffement du sol provoqué atteint une vingtaine de centimètres de profondeur permettant de réduire la concentration de nombreux pathogènes telluriques (champignons, nématodes et bactéries). Les amendements de sol en substances organiques (boue de station d'épuration, farine de soja et bagasse de canne à sucre), en urée et en oxyde de calcium ont donné également des résultats satisfaisants dans le contrôle du flétrissement bactérien (Wydra *et al.*, 2005) qui peut être dû à une amélioration de la résistance du sol et à une réduction de la population bactérienne. L'utilisation de plantes non hôtes en rotation de culture s'avère efficace dans la réduction de l'incidence de la maladie via la réduction de la quantité d'inoculum. Cependant, son efficacité est limitée car dépendante de la souche de la bactérie et de la durée de la culture intercalaire (Michel *et al.*, 1996 ; Michel *et al.*, 1997).

Gestion à base des plantes assainissantes

L'utilisation des plantes de service ou d'extraits botaniques a été explorée dans les travaux d'élaboration de méthodes de lutte contre le flétrissement bactérien des Solanacées. Cette méthode est largement bénéfique par sa régulation des bioagresseurs telluriques (Ratnadass *et al.*, 2011). Des résultats issus des travaux récents ont permis d'identifier plusieurs plantes fourragères et légumineuses capables de réduire, voire éliminer *R. solanacearum*. Lebas *et al.* (2010), ont démontré la réduction très significative ($p < 0,01$) de l'incidence du flétrissement bactérien suite à l'utilisation de *Raphanus sativus*, *Allium fistulosum*, *Tagetes patula*, *Mucuna deeringiana*, *Crotalaria spectabilis* et *Crotalaria juncea* comme des plantes de service. A la Martinique, l'utilisation de l'oignon pays (*Allium fistulosum*) en mulch ou en extrait aqueux a permis d'atteindre une réduction de l'incidence du flétrissement bactérien de 90 à 100% au champ (Deberdt *et al.*, 2018 ; Deberdt *et al.*, 2014 ; Arnault *et al.*, 2013 ; Deberdt *et al.*, 2012). Toutefois, cet amendement organique à base d'oignon a préservé la diversité microbienne et la fertilité des sols (Deberdt *et al.*, 2014).

Gestion à base de gènes résistants

En culture de tomate, il a été possible de développer des variétés ayant une résistance stable dans des conditions environnementales locales contre *R. solanacearum*. Cependant, cette stabilité est très souvent perdue dans le temps et dans l'espace (Wang *et al.*, 2000). La grande variabilité phénotypique et génotypique des souches de *R. solanacearum* d'une part, et les différences agro-pédo-climatiques qui influencent le développement de la maladie d'autre part, sont à l'origine de l'instabilité de la résistance variétale (Fegan et Prior, 2006). En dépit de cette limite, la sélection variétale est la méthode disponible dans l'immédiat contre le flétrissement bactérien. En Taïwan, les chercheurs de l'AVRDC ont développé la variété Hawaii7996 contre le flétrissement bactérien en culture de tomate (Wang *et al.*, 2000). En Corée, une évaluation de la résistance au flétrissement bactérien des Solanacées a été réalisée sur 285 accessions provenant de tous les continents. Au total, quatre accessions ont été identifiées comme résistantes au flétrissement bactérien et deux ont été identifiées modérément résistantes (Kim *et al.*, 2016). Au Nigeria, l'évaluation du statut résistant de 40 variétés de tomate a permis d'identifier quatre variétés résistantes. Elles peuvent servir de variété résistante à promouvoir, de parent pour améliorer d'autres variétés ou de porte-greffe dans un programme de lutte variétale (Ganiyu *et al.*, 2017). Laeshita *et al.* (2017), ont évalué la résistance de 16 variétés de tomate au flétrissement bactérien et sont parvenus à identifier les variétés Servo, Kaliurang, Melinda, Amelia et Rewako comme modérément résistantes. Au Bénin, très peu de variétés de tomate résistantes au flétrissement bactérien sont disponibles. Toutefois, les variétés de tomate PADAMA, Thorgal, Mongal et Platinum ont été identifiées tolérantes et/ou résistantes au flétrissement bactérien (Oussou *et al.*, 2020).

Gestion à base de bactéries antagonistes

La gestion à base de bactéries antagonistes est une lutte qui consiste spécifiquement en l'utilisation de bactéries antagonistes ou de souches avirulentes de *R. solanacearum*. Différents microorganismes comme *Trichoderma* sp. ou *Bacillus* sp., peuvent être utilisées pour leurs propriétés d'inhibition de la croissance de *R. solanacearum*. Leur efficacité est par ailleurs fortement dépendante des conditions environnementales (Mahbou, 2020). L'utilisation de bactéries antagonistes ou avirulentes (naturelles ou mutantes) de *R. solanacearum* a été une stratégie de lutte testée par de nombreux scientifiques (Saddler, 2005). En Chine, Guo *et al.* (2004) ont évalué l'utilisation de *Serratia* sp. J2, *Pseudomonas*

fluorescens J3, et *Bacillus* sp. BB11, trois souches de rhizobactéries, sur la culture de tomate sous serre, dans différentes localités des provinces de Jiangsu et Hebei. Les résultats ont indiqué une réduction de l'incidence du flétrissement bactérien de 78,1%, 94,1% et 86,9% en moyenne respectivement pour les isolats J2, J3 et BB11. Nion et Toyata (2008), ont identifié en Indonésie plusieurs espèces de rhizobactéries (*Burkholderia nodosa*, *B. sacchari*, *B. tericola* et *B. pyrrocinia*) efficaces dans le contrôle du flétrissement bactérien. En Egypte, Seleim *et al.* (2011), ont identifié dans la rhizosphère des plantes de tomate plusieurs espèces de rhizobactéries de genre *Pseudomonas*, *Bacillus* et *Enterobacter* efficaces en lutte biologique contre *R. solanacearum*. Dans la même lancée, Kurabachew et Wydra (2013), ont rapporté l'efficacité de *Pseudomonas* spp. et de *Bacillus subtilis* contre *R. solanacearum*.

Conclusion

La production de la tomate fait face à des contraintes dont la plus limitante est le flétrissement bactérien. Les travaux conduits sur cette maladie au fil des années révèlent que son agent causal est *Ralstonia solanacearum*. C'est une bactérie du sol qui bénéficie d'une grande diversité génétique et phénotypique. Ces propriétés permettent à la bactérie d'avoir une large gamme d'hôtes et de rendre difficile sa gestion durable. Sa dissémination se fait principalement à travers du matériel végétal contaminé. Cependant, sur le plan local, les activités anthropiques et les facteurs climatiques et hydrologiques sont les principaux facteurs de la contamination de nouvelles zones de production. *Ralstonia solanacearum* se conserve parfaitement et à long terme dans les eaux de ruissellement, les eaux d'irrigation, les débris végétaux, les plantes asymptomatiques et les sols ferrallitiques, lourds et humides. Ainsi, la mauvaise gestion des résidus culturaux et des outils de travail constitue des facteurs augmentant l'inoculum dans le sol. Par ailleurs, des méthodes de lutte contre le flétrissement bactérien sont élaborées et reposent sur -i- la sélection de variétés résistantes limitée par la diversité génétique de *R. solanacearum*, -ii- la lutte biologique en utilisant les rhizobactéries et les plantes assainissantes, et -iii- la lutte culturale qui consiste à respecter de bonnes pratiques culturales. Cependant, chacune de ces méthodes appliquées individuellement est limitée par des contraintes qui peuvent être levées à la faveur d'une approche intégrant l'application des méthodes sus citées.

Références bibliographiques

- Aglinglo, A. L., I. Ahoudou, C. E. Legba, R. Francisco, V. N. Fassinou Hotègni, G. E. Achigan-Dako, 2018 : Fiche technique synthétique pour la production de la Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Laboratory of Genetics, Horticulture and Seed Science (GBioS), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Abomey-Calavi, Dépôt légal N°10481 du 06/07/18, 3^{ème} Trimestre, Bibliothèque Nationale du Bénin, ISBN 978-99919-76-83-9.
- Ailloud, F., T. Lowe, G. Cellier, D. Roche, C. Allen, P. Prior, 2015: Comparative genomic analysis of *Ralstonia solanacearum* reveals candidate genes for host specificity. *BMC Genomics*, 16, 270.
- Álvarez, B., E. G. Biosca, M. M. López, 2010: On the life of *Ralstonia solanacearum*, a destructive bacterial plant pathogenin: 267–279 In: Méndez-Vilas, A., (eds), Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. Badajoz, Formatex.
- Arnault, I., C. Fleurance, F. Vey, G. D. Fretay, J. Auger, 2013: Use of Alliaceae residues to control soil-borne pathogens. *Industrial Crops and Products*, 49, 265-272.
- Assogba-Komlan, F., P. Anihouvi, E. Achigan-Dako, R. Sikirou, A. Boko, C. V. Adjé, R. Vodouhè, A. Assa, 2007 : Pratiques culturales et teneur en éléments antinutritionnels (nitrate et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud-Bénin. *African Journal of Food Agriculture and Development*, 7, 1-21.
- Bhowmik, D., K. S. Kumar, S. Paswan, S. Srivastava, 2012: Tomato-a natural medicine and its health benefits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1, 33-43.
- Buddenhagen, I., L. Sequeira, A. Kelman, 1962: Designation of races in *Pseudomonas solanacearum*. *Phytopathology*, 52, 726.
- Blancard, D., H. Laterrot, G. Marchoux, T. Candresse, 2009 : Les maladies de la tomate. Identifier, connaître, maîtriser. Editions Quae, Paris, France.
- Blancard, D., 2013 : Identifier, Connaître, Maîtriser: Taches nécrotiques foliaires indéterminées. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/5349/Tomate-Taches-necrotiques-foliaires-indeterminees>. Consulté le 12/08/2021 à 14h
- Blancard, D., 2019 : Identifier, Connaître, Maîtriser : *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* : Fusariose racinaire, FORL. <https://ephytia.inrae.fr/fr/C/5005/Tomate-Fusarium-oxysporum-f-sp-radicis-lycopersici-FORL>. Consulté le 12/08/2021 à 15h.
- Blancard, D., 2020a : Identifier, Connaître, Maîtriser: *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) S. Hughes, (1958) Anthracnose, pourriture racinaire. <https://ephytia.inrae.fr/fr/C/5004/Tomate-Colletotrichum-coccodes-anthrachnose>. Consulté le 12/08/2021 à 16h.

- Blancard, D., 2020b : Identifier, Connaître, Maîtriser: *Ralstonia solanacearum* (Smith, 1896) Yabuuchi *et al.*, 1996, Flétrissement bactérien. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23093/Tropileg-Flétrissement-bacterien-R-solanacearum>. Consulté le 13/08/2021 à 08h.
- Blancard, D., 2021 : Identifier, Connaître, Maîtriser: Index maladies et ravageurs. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/4941/Tomate-Index-maladies-et-ravageurs-de-la-tomate>. Consulté le 12/08/2021 à 13h
- 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.
- Castillo, J. A., Plata, G., 2016: The expansion of brown rot disease throughout Bolivia: possible role of climate change. *Canadian Journal of Microbiology*, 62, 442–448.
- Chaerani, R., Voorrips, R. E., 2006: Tomato early blight (*Alternaria solani*): the pathogen, genetics, and breeding for resistance. *Journal of General Plant Pathology*, 72, 335-347.
- Cook, D., E. Barlow, L. Sequeira, 1989: Genetic diversity of *Pseudomonas solanacearum*: detection of restriction fragment length polymorphisms with DNA probes that specify virulence and the hypersensitive response. *Molecular Plant Microbiology Int*, 2, 113–121.
- Deberdt, P., I. Davezies, R. Coranson-Beaudu, A. Jestin, 2018: Efficacy of Leaf Oil from *Pimenta racemosa* var. *racemosa* in Controlling Bacterial Wilt of Tomato. *Plant Disease*, 102, 124–131.
- Deberdt, P., R. Coranson-Beaudu, B. Perrin, 2014 : Le potentiel de biodésinfection des sols par les extraits naturels végétaux: utilisation des Alliées dans la gestion du flétrissement bactérien de la tomate. *Les Cahiers du CAEC*, 12, 9-12.
- Deberdt, P., B. Perrin, R. Coranson-beaudu, P. Duick, E. Wicker, 2012: Effect of *Allium fistulosum* Extract on *Ralstonia solanacearum* populations and tomato bacterial wilt. *Plant Disease*, 96, 687-692.
- Denny, T., 2006: Plant pathogenic *Ralstonia* species: 573–644. In: Gnanamanickam, S.S., (eds), Plant-Associated Bacteria. Dordrecht, Springer.
- Denny, T. P., S. M. Brumbley, B. F. Carney, S. J. Clough, 1994: Phenotype conversion of *Pseudomonas solanacearum*: its molecular basis and potential function: 137. In: Hayward, A.C., Hartman, G.L., (eds), Bacterial wilt: the disease and its causative agent, *Pseudomonas solanacearum*. CAB International, Wallingford, UK.
- Dossou, J. P., 2012 : Sécurité foncière et maraichage dans la commune de Porto-Novo au Bénin. *Revue Speciale Journées Scientifique FLASH*. 2 (5) :159-172.
- Dupont, F., Guignard, J. L., 2012 : Botanique les familles de plante. Elsevier, Masson, France.
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, consulté le 10/01/2021 à 11 h
- 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., A. H. Djidji, M. F. D. P. N'gbesso, O. G. Ochou, 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 management of soil borned pathogens currently controlled with methyl bromide. *Annu. Rev. Phytopathol.* 41, 325–350.
- Ganiyu, S. A., A. R. Popoola, O. A. Enikuomehin, J. G. Badunde, O. B. Adedibu, A. U. Gurama, 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.
- Genin, S., Denny, T. P., 2012: Pathogenomics of the *Ralstonia solanacearum* Species Complex. *Annual Review of Phytopathology*, 50, 67–89.
- Goussous, S. J., A. F. M. el-Samenn, R. A. Tahhan, 2010: Antifungal activity of several medicinal plants extracts against the early blight pathogen (*Alternaria solani*). *Archives Of Phytopathology and Plant Protection*, 43, 1745-1757.
- Guo, J-H., H-Y. Qib, Y-H. Guoc, H-L. Gea, L-Y. Gong, L-X. Zhangd, P-H. Sun, 2004: Biocontrol of tomato wilt by plant growth-promoting rhizobacteria, *Biological Control*, 29, 66–72.
- Habetewold, K., K. Bekelle, S. Kasahun, T. Hunduma, 2015: Prevalence of Bacterial Wilt of Ginger (*Z. Officinale*) Caused by *Ralstonia Solanacearum* (Smith) in Ethiopia. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 1, 14-22.
- Hanssen, I. M., M. Lapidot, B. P. Thomma, 2010: Emerging viral diseases of tomato crops. *Molecular plant microbe interactions*, 23, 539-548.
- Hartman, G. L., Elphinstone, J. G., 1994: Advances in the control of *Pseudomonas solanacearum* race 1 in major food crops: 157 – 177. In: Hayward, A.C., Hartman, G.L., (eds), Bacterial wilt: the disease and its causative agent *Pseudomonas solanacearum*, Wallingford.

- Hayward, A. C., 1991: Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 29, 65-87.
- He, L. Y., L. Sequeira, A. Kelman, 1983: Characteristics of strains of *Pseudomonas solanacearum*. *Plant Dis.* 67, 1357-1361.
- Hsu, S., W. Hong, K. Tzeng, C. Chen, 1993: Bacterial wilt of perilla caused by *Pseudomonas solanacearum* and its transmission. *Plant Dis.*, 77, 674-677.
- Idrissou-Toure, M., R. Sikirou, B. Zocli, S. Bello, F. Oussou, M. E. Dossoumou, 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.
- James, B., C. Atcha-Ahowé, I. Godonou, H. Baimey, G. Goergen, R. Sikirou, M. Toko, 2010: Integrated Pest Management in vegetable production. Guide lines for extension workers in West Africa. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.
- Janse, J. D., 1988: A detection method for *Pseudomonas solanacearum* in symptomless potato tubers and some data on its sensitivity and specificity. *Bulletin OEPP/EPPO*, 18, 343-351.
- Janse, J. D., 1991: Infra- and intraspecific classification of *Pseudomonas solanacearum* strains, using whole cell fatty acid analysis. *Systematic and Applied Microbiology*, 14, 335-345.
- Kelman, A., 1953: The bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. A literary review and bibliography. *Technical Bulletin of North Carolina Agricultural Experiment Station*, 99, 194 p.
- Jeong, Y., J. Kim, Y. Kang, S. Lee, I. Hwang, 2007: Genetic Diversity and Distribution of Korean Isolates of *Ralstonia solanacearum*. *Plant Disease*, 91, 1277-1287.
- Kim, S. G., O-S. Hur, N-Y. Ro, H-C. Ko, J-H. Rhee, J. S. Sung, K-Y. Ryu, S-Y. Lee, H. J. Baek, 2016: Evaluation of Resistance to *Ralstonia solanacearum* in Tomato Genetic Resources at Seedling Stage. *Plant Pathol. J.*, 32, 58-64.
- Kurabachew, H., Wydra, K., 2013: Characterization of plant growth promoting rhizobacteria and their potential as bioprotectant against tomato bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. *Biological Control*, 67, 75-83.
- Kouvonou, F. M., B. G. Honfoga, S. K. Debrah, 1999 : Sécurité alimentaire et gestion intégrée de la fertilité des sols: La contribution du maraîchage péri-urbain à Lomé. In : Smith, O.B., (eds), Agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest: une contribution à la sécurité alimentaire et à l'assainissement des villes, IDRC-CTA, Ottawa.
- Kumar, S. P., A. Srinivasulu, K. R. Babu, 2018: Symptomology of major fungal diseases on tomato and its management. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 1817-1821.
- 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.
- Lebas M. A., P. Deberdt, D. Michot, 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., 2010 : Résistance de la tomate, aubergine et le piment à *Ralstonia solanacearum* : interactions entre les gènes de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et cartographie des facteurs génétiques impliqués chez l'aubergine. *PhD*. Université de la Réunion, Réunion, France, 226 p.
- Mahbou S. T. G., 2010 : Diversité de *Ralstonia solanacearum* au Cameroun et bases génétiques de la résistance chez le piment (*Capsicum annum*) et les solanacées. AgroParisTech, Paris, France.
- Mansfield, J., S. Genin, S. Magori, V. Citovsky, M. Sriariyanum, P. Ronald, M. Dow, V. Verdier, V. S. Beer, A. M. Machado, I. Toth, G. Salmond, G. D. Foster, 2012: Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13, 614-629.
- Mensah A. C. G., R. Sikirou, F. Assogba Komlan, B. B. Yarou, S-K. Midingoyi, J. Honfoga, M. E. E. A Dossoumou, G. N. Kpéra, A. K. A. Djinadou, 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.
- Michel, V.V., J. F. Wang, D. J. Midmore, G. L. Hartman, 1997: Effects of intercropping and soil amendment with urea and calcium oxide on the incidence of bacterial wilt of tomato and survival of soil-borne *Pseudomonas solanacearum* in Taiwan. *Plant Pathology*, 46, 600-610.
- Michel, V.V., G. L. Hartman, D. J. Midmore, 1996: Effect of previous crop on soil populations of *Burkholderia solanacearum*, bacterial wilt, and yield of tomatoes in Taiwan. *Plant Disease*, 80, 1367-72.
- Muthoni, J., Shimelis, H. R. M., 2012: Management of Bacterial Wilt [*Ralstonia solanacearum* Yabuuchi *et al.*, 1995] of Potatoes: Opportunity for Host Resistance in Kenya. *J. Agric. Sci.* 4.
- Naika, S., J. V. L. DE Jeud, M. DE Jeffau, M. Hilmi, B. Vadam, 2005 : La culture de la tomate, production, transformation et commercialisation. Wageningen, Pays-Bas. 105 p.

- Nouatin, G., Achabi, F.-X., 2010 : Urbanisation et viabilité de l'activité maraîchère : cas d'une ville à statut particulier au Bénin (Parakou). *Vertigo*, 10, 15 p. ISSN électronique : 1492-8442. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/10038> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.10038>
- Nesmith, W. C., Jenkins, S. F., 1985: Influence of antagonists and controlled matric potential on the survival of *Pseudomonas solanacearum* in four North Carolina soils. *Phytopathology*, 75, 1182-1187.
- Nion, Y. A., Toyota, K., 2008: Suppression of Bacterial Wilt and Fusarium Wilt by a *Burkholderia nodosa* Strain Isolated from Kalimantan Soils, Indonesia. *Microbes and Environments*, 23, 134-141.
- Noreskal, M., 2011 : Typologie des pratiques agricoles sur solanacées et diversité génétique de *Ralstonia solanacearum*, agent causal du flétrissement bactérien en Guyane. Mémoire d'ingénieur, AgroParisTech Paris, 102 p.
- Olaniyi, J. O., W. B. Akanbi, T. A. Adejumo, O. G. Akande, 2010: Growth, fruit yield and nutritional quality of tomato varieties. *African Journal of Food Science*, 4, 398 – 402.
- Ono, K., H. Hara, J. Akazawa, 1984: Ecological studies on the bacterial wilt, caused by *Pseudomonas solanacearum*. V. The movement of the pathogen in tobacco plants. *Bulletin of the Okayama*, 43, 41-46.
- Ouédraogo, G., S. Kam, B. Ouédraogo, J. Bathiébo, 2016 : Etude expérimentale de l'écoulement de l'air en convection naturelle dans une tour solaire. *Afrique science*, 12, 213-222.
- Ouédraogo, L., 1998: Detection of phytopathogenic bacteria in seeds and stems of tomato, eggplant and pepper from Burkina Faso and Indonesia. Training report, Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries, (DGISP) Rvangs Alle 78, Denmark.
- Oussou, G. F. G. N., R. Sikirou, S. A. P. E. Afoha, M. E. E. A. Dossoumou, S. A. Boukari, F. Assogba-Komlan, B. Zocli, 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.
- Petrolini, B., S. Quaroni, M. Saracchi, 1986: Scanning electron microscopy investigations on the relationships between bacteria and plant tissues. II. Investigations on the initial process of *Pseudomonas solanacearum* pathogenesis. *Rivista di Patologia Vegetale*, 22, 100-115.
- Popoola, A., S. Ganiyu, O. Enikuomehin, J. Bodunde, O. Adedibu, H. Durosomo, O. Karunwi, 2015: Isolation and Characterization of *Ralstonia solanacearum* Causing Bacterial Wilt of Tomato in Nigeria. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 29, 1-10.
- Poussier, S., D. Trigalet-Demery, P. Vandewalle, B. Goffinet, J. Luisetti, A. Trigalet, 2000: Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* as assessed by PCR-RFLP of the hrp gene region, AFLP and 16S rRNA sequence analysis and identification of an African subdivision. *Microbiology*, 146, 1679-1692.
- Prior, P., F. Ailloud, L. B. Dalsing, B. Remenat, B. Sanchez, C. Allen, 2016: Genomic and proteomic evidence supporting the division of the plant pathogen *Ralstonia solanacearum* into three species. *BMC Genomics*, 17:90.
- Ratnadass, A., P. Fernandes, J. Avelino, R. Habib, 2011: Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 273-303.
- Ravelomanantsoa, S. H., 2016 : Biologie des populations du complexe d'espèces *Ralstonia solanacearum* appliquée à l'épidémiologie du flétrissement bactérien de la pomme de terre à Madagascar. PhD. Université d'Antananarivo, Ecole Doctorale Sciences de la Vie et de l'Environnement, Spécialité Biotechnologie, Antananarivo, Madagascar, 238 p.
- Saddler, G., C. Allen, A. Hayward, P. Prior, 2005: Management of bacterial wilt disease. Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. APS press, St. Paul, Réunion, France.
- Seleim, M. A. A., F. A. Saeed, K. M. H. Abd-El-Moneem, K. A. M. Abo-ELyousr, 2011: Biological Control of Bacterial Wilt of Tomato by Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Plant Pathology Journal*, 10, 146-153.
- Sikirou, R., L. Afouda, A. Zannou, G. Gbèhounou, F. Assogba-Komlan, 2001 : Diagnostic des problèmes phytosanitaires des cultures maraîchères 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., Wydra, K., 2004: Persistence of *Xanthomonas axonopodis* pv. *vignicola* in weeds and crop debris and identification of *Sphenostylis stenocarpa* as a potential new host. *Eur. J. Plant Pathol.*, 110, 939-947.
- Sikirou, R., F. Beed, V. Ezin, G. Gbehounou, S. A. Miller, K. Wydra, 2009: First Report of Bacterial Wilt of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Caused by *Ralstonia solanacearum* in Benin. *Plant Dis.*, 93, 549.
- Sikirou, R., J. Hoteigni, I. Godonou, B. James, G. Gbehounou, F. Assogba-Komlan, 2011: Performance of varieties of grande morelle (*Solanum macrocarpon*) under disease pressure with organic amendment in southern Benin. *Annales des Sciences Agronomiques*, 15, 205-216.
- Sikirou, R., B. Zocli, M. Paret, P. Deberdt, R. Coranson-Beaudu, J. Huat, F. Assogba-Komlan, M. E. E. A. Dossoumou, S. Simon, E. Wicker, 2015: First report of bacterial wilt of Gboma (*Solanum macrocarpon*) caused by *Ralstonia solanacearum* in Benin. *Plant Disease*, 99, 1640-1640.

- Sikirou, R., F. Beed, V. Ezin, J. Hoteigni, A. S. Miller, 2017: Distribution, pathological and biochemical characterization of *Ralstonia solanacearum* in Benin. *Annals of Agricultural Science*, 62, 83-88.
- Simeni, G. T., R. Adeoti, E. Abiassi, M. K. Kodjo, O. Coulibaly, 2009 : Caractérisation des systèmes de cultures maraîchères des zones urbaine et périurbaine dans la ville de Djougou au Nord-Ouest du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 64, 34-48.
- Smith, E. F., 1896: A bacterial disease of tomato, pepper, eggplant and Irish potato (*Bacillus solanacearum* Nov. sp.). *US Dept Agric Div Vegetable Physiol Pathol Bull*, 12, 1-28.
- Spraker, J. E., L. M. Sanchez, T. M. Lowe, P. C. Dorrestein, N. P. Keller, 2016: *Ralstonia solanacearum* lipopeptide induces chlamyospore development in fungi and facilitates bacterial entry into fungal tissues. *The ISME Journal*, 10, 2317-2330.
- Swanepol, A. E., 1990: The effect of temperature on the development of wilting and on progeny tuber infection of potatoes inoculated with South African strains of biovar 2 and 3 of *Pseudomonas solanacearum*. *Potato Research*, 33, 287-290.
- Taghavi, M., A. C. Hayward, L. I. Sly, M. Fegan, 1996: Analysis of the phylogenetic relationships of strains of *Burkholderia solanacearum*, *Pseudomonas syzygii*, and the Blood Disease Bacterium of banana based on 16S rRNA gene sequences. *Int. J. Syst. Bacteriol*, 46, 10-15.
- Tans-Kersten, J., H. Huang, C. Allen, 2001: *Ralstonia solanacearum* Needs Motility for Invasive Virulence on Tomato. *Journal of Bacteriology*, 183, 3597-3605.
- 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., A. P. F. Houssou, C. Kpangbin, E. Labitan, G. A. Mensah, 2014 : Séchage de la tomate (*Lycopersicon esculentum*) : une autre alternative pour sa valorisation au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* Numéro spécial Agro-biodiversité et Santé Publique, 58-66.
- Wang, J., J. Olivier, P. Thoquet, B. Mangin, L. Sauviac, N. Grimsley, 2000: Resistance of tomato line Hawaii7996 to *Ralstonia solanacearum* Pss4 in Taiwan is controlled mainly by a major strain-specific locus. *Mol Plant-Microbe Interact*, 13, 6-13.
- Wydra, K., R. Diogo, E. Dannon, J. Semrau, 2005: Soil amendment with silicon and bacterial antagonists induce resistance against bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* in tomato. *In: Tielkes, E., Hülsebusch, C., Häuser, I., Deininger, A., Becker, K., (eds) Tropentag, International Research on Food Security, Natural Resource Management and rural Development, Stuttgart.*
- Xiao, L. Z., Z. D. Zhu, K. L. He, M. N. Zhou, G. F. Lin, 1983: Observations of the infected portion of mulberry bacterial wilt by scanning electron microscopy. *Science of Sericulture*, 9, 58-59.
- Xue, Q.Y., Y. N. Yin, W. Yang, H. Heuer, P. Prior, J. H. Guo, K. Smalla, 2011: Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains from China assessed by PCR-based fingerprints to unravel host plant- and site-dependent distribution patterns. *FEMS Microbiol Ecol*, 75, 507-519.
- Yabuuchi, E., Y. Kosako, I. Yano, H. Hotta, Y. Nishiuchi, 1995: Transfer of two *Burkholderia* and an *Alcaligenes* species to *Ralstonia* gen. Nov.: Proposal of *Ralstonia pickettii* (Ralston, Palleroni and Doudoroff 1973) comb. Nov., *Ralstonia solanacearum* (Smith 1896) comb. Nov. and *Ralstonia eutropha* (Davis 1969) comb. Nov. *Microbiol Immunol*, 39, 897-904.
- Yabuuchi, E., I. Arakawa, H. Kosako, Y. Hashimoto, Y. Ezaki, 1992: Proposal of *Burkholderia* gen. nov. and transfer of seven species of the genus *Pseudomonas* homology group II to the new genus, with the type species *Burkholderia cepacia* (Palleroni and Holmes 1981). *Microbiol. Immunol*, 36, 1251-1275.
- Yarou, B. B., P. Silvie, F. Assogba-Komlan, A. Mensah, T. Alabi, F. Verheggen, F. Francis, 2017 : Plantes pesticides et protection des cultures maraîchères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 21, 288-304.
- Yunis, H., Y. Bashan, Y. Okon, Y. Henis, 1980: Two sources of resistance to bacterial speck of tomato caused by *Pseudomonas* tomato. *Plant Dis.*, 64, 937-939.