

Directives techniques pour les transferts sécurisés de matériel génétique de cacaoyer

Révision des directives techniques FAO/IPGRI No. 20

(Cinquième édition, 2024)

Michelle J End, Andrew J Daymond et Paul Hadley, éditeurs



L'Alliance de Bioversity International et de CIAT

L'Alliance de Bioversity International et du Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT) propose des solutions fondées sur la recherche qui se servent de la biodiversité agricole et qui transforment durablement les systèmes alimentaires afin d'améliorer la vie des gens. Les solutions de l'Alliance répondent aux crises mondiales que sont la malnutrition, le changement climatique, la perte de biodiversité et la dégradation de l'environnement. Grâce à des partenariats inédits, l'Alliance génère des preuves et diffuse des innovations pour transformer les systèmes alimentaires et les paysages afin qu'ils soutiennent la planète, favorisent la prospérité et nourrissent les populations dans un contexte de crise climatique.

L'Alliance fait partie du CGIAR, un partenariat global de recherche pour un avenir sûr sur le plan alimentaire.

www.alliancebioiversityciat.org

CGIAR

Le CGIAR est un partenariat global de recherche pour un avenir sûr sur le plan alimentaire. La science de CGIAR est dédiée à transformer les systèmes d'alimentation, de terre, et d'eau, dans une crise climatique. Sa recherche est effectuée par 13 Centres/Alliances CGIAR en étroite collaboration avec des centaines de partenaires, y compris des instituts de recherche nationaux et régionaux, des organisations de la société civile, le monde académique, des organisations de développement et le secteur privé.

www.cgiar.org

L'Alliance de Bioversity International et du CIAT coordonne le Réseau Mondial des ressources génétiques du cacao, CacaoNet, avec un comité directeur et des groupes de travail composés de représentants de diverses institutions de recherche sur le cacao et d'organisations soutenant la recherche sur le cacao. CacaoNet vise à optimiser la conservation et l'utilisation des ressources génétiques du cacaoyer, qui constituent le fondement d'une économie cacaoyère durable (des agriculteurs aux consommateurs en passant par la recherche), en coordonnant et en renforçant les efforts de conservation et de recherche connexes d'un réseau mondial d'acteurs des secteurs public et privé. www.cacaonet.org

Coordination internationale

Alliance de Bioversity International et CIAT

Headquarters, Via di San Domenico, 1, 00153, Rome, Italie

Email : a.meter@cgiar.org

CacaoNet Safe Movement Working Group

Cocoa Research Association Ltd. United Kingdom

Email : safemovementWG@cocoaresearch.org.uk

Citation: End, M.J. ; Daymond, A.J. ; Hadley, P. (eds.) 2024. Directives techniques pour les transferts sécurisés de matériel génétique de cacaoyer. Révision des directives techniques FAO/IPGRI No. 20 (Cinquième édition, 2024). Global Cacao Genetic Resources Network (CacaoNet), Bioversity International, Rome, Italie.

ISBN 978-92-9255-329-6

© Bioversity International 2024

Alliance de Bioversity International et CIAT

Headquarters

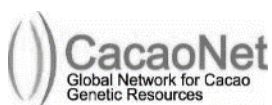
Via di San Domenico, 1

00153, Rome, Italie

Directives techniques pour les transferts sécurisés de matériel génétique de cacaoyer

Révision des directives techniques FAO/IPGRI No. 20
(Cinquième édition, 2024)

Michelle J End, Andrew J Daymond et Paul Hadley, éditeurs



Remerciements

CacaoNet tient à remercier ici tous ceux qui ont contribué à cette révision des Directives techniques pour les transferts sécurisés de matériel génétique de cacaoyer ainsi que ceux qui ont contribué aux premières Directives techniques FAO/IPGRI No. 20 sur lesquelles se fonde cette cinquième révision (voir la section 2 pour les coordonnées). Nous sommes reconnaissants aux personnes qui ont écrit ou révisé les sections relatives aux maladies et ravageurs spécifiques, ainsi qu'aux membres du CacaoNet Safe Movement Working Group qui ont fourni des informations supplémentaires et émis des commentaires et suggestions pour améliorer ces directives. Nous remercions les nombreux instituts et organisations qui ont autorisé leur personnel à contribuer au Groupe de travail Safe Movement et, en particulier COPAL et ICCO qui ont créé les opportunités et fourni le cadre nécessaire pour permettre à ces scientifiques de se réunir et de partager leurs connaissances. La publication de ces directives techniques a été financée grâce à des contributions financières et en nature de la Cocoa Research Association Ltd UK (CRA Ltd, une organisation basée au Royaume-Uni chargée de gérer la recherche sur le cacao au nom de Mars-Wrigley, Mondelēz International et le London Cocoa Trade (ICE Futures Europe)) et l'Université de Reading. Nous remercions également pour leurs contributions financières et en nature Bioversity International et le Programme de recherche du CGIAR sur les forêts, les arbres et l'agroforesterie (FTA), qui ont permis la publication des éditions précédentes. CacaoNet a reçu un soutien financier supplémentaire de Mars-Wrigley, du Service de la recherche agricole du Département d'Agriculture nord-américain, (USDA/ARS) et de la World Cocoa Foundation (WCF).

Le Secrétariat de CacaoNet, hébergé par Bioversity International, est responsable de la coordination et de l'appui administratif au réseau. Jan Engels a été coordonnateur CacaoNet de son lancement en 2006 jusqu'en 2010 ; cette fonction a alors été reprise par Stephan Weise. Brigitte Laliberté intervient comme conseiller scientifique auprès de CacaoNet de 2010 à 2023.

La conception, la mise en page et l'édition technique de ce document ont été réalisées par Claudine Picq de Bioversity International. Des versions de cette édition en anglais et espagnol sont également disponibles.

Clause de non-responsabilité

Bien que tous les efforts aient été faits pour garantir l'exactitude de l'information présentée dans cette publication, CacaoNet, l'Alliance de Bioversity International et du CIAT et tous les auteurs ayant contribué à ce travail ne peuvent en aucun cas être tenus responsables des conséquences de l'utilisation de cette information. Les opinions exprimées ici sont celles des auteurs et ne coïncident pas forcément avec celles de leurs institutions ou du sponsor.

Table des matières

Remerciements	5
1. Introduction	8
2. Personnes ayant contribué à les révisions de 2021 et 2024	11
2.1. Autres contributeurs aux Directives techniques FAO/IPGRI No. 20 et aux versions antérieures de ce Guide	13
3. Centres de quarantaine intermédiaire et régionaux	14
3.1. Centres de quarantaine intermédiaire	14
3.2. Centres de quarantaine régionaux (post-entrée)	15
4. Recommandations générales.....	16
5. Options pour la circulation du matériel génétique de cacaoyer en fonction des risques de propagation des organismes nuisibles	17
5.1. Semences.....	17
5.2. Baguettes de greffage.....	17
5.3. Plantes entières.....	18
5.4. Matériel <i>in vitro</i>	19
5.5. Pollen et fleurs écloses	19
5.6. Bourgeons floraux	19
5.7. Référence	19
6. Inventaire des risques dus aux organismes nuisibles	20
Description des organismes nuisibles du cacaoyer	29
7. Maladies virales.....	29
7.1. Nécrose du cacaoyer (<i>Cacao necrosis virus</i> , CNV) : genre Nepovirus	29
7.2. <i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) / Virus de l'œdème des pousses du cacaoyer: genre Badnavirus.....	30
7.3. Virus de la mosaïque jaune du cacaoyer (<i>Cacao yellow mosaic virus</i> , CYMV) : genre Tymovirus.....	35
7.4. Cacao mild mosaic virus (CaMMV) et Cacao yellow vein banding virus (CYVBV) : genre Badnavirus.....	36
7.5. Cacao polerovirus (CaPV), Cacao Leaf Roll Virus (CaLRV): genre Polerovirus	43
7.6. Autres virus et maladies de type viral	45
8. Maladies causées par des champignons et des oomycètes	47
8.1. Maladie du balai de sorcière du cacaoyer	47
8.2. Moniliose	54
8.3. Phytophthora spp.	59

8.4.	<i>Vascular streak dieback</i> / Maladie des stries vasculaires (VSD)	65
8.5.	Verticilliose du cacaoyer	77
8.6.	Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> ou Mal de machete	86
8.7.	Pourridié à <i>Rosellinia</i>	94
8.8.	Autres pathogènes fongiques du fruit et de la canopée	99
9.	Insectes et mites ravageurs	113
9.1.	Recommandations générales pour minimiser le risque de répandre les insectes ravageurs	113
9.2.	Foreur des cabosses (<i>Conopomorpha cramerella</i> – FCC ou CPB)	114
9.3.	Foreur de la cabosse / Foreur de la cabosse Américain (<i>Carmenta spp.</i>)	123
9.4.	Autres Lépidoptères nuisibles	125
9.5.	Mirides (et autres hétéroptères suceurs de sève)	126
9.6.	Moustique du cacaoyer	129
9.7.	<i>Pseudotheraptus devastans</i> (Dist.)	137
9.8.	Cochenilles	140
9.9.	Scolytes à ambrosia	142
9.10.	Mites phytophages	144
10	Nématodes parasites	149

1. Introduction

Ces directives présentent les procédures techniques permettant de minimiser le risque d'introduction d'organismes nuisibles lors des transferts de matériel génétique pour la recherche, l'amélioration et la sélection végétales, l'exploration ou la conservation. Soulignons que ces directives ne sont pas destinées aux envois commerciaux de matériel génétique ou de fèves de cacao (voir CIPV - **Convention internationale pour la protection des végétaux** pour des informations sur la Convention internationale pour la protection des végétaux qui vise à protéger les ressources végétales mondiales contre la propagation et l'introduction d'organismes nuisibles¹, et à promouvoir la sécurité des échanges).

La collecte, la conservation et l'utilisation des ressources phytogénétiques et leur distribution mondiale sont essentielles aux activités de recherche sur lesquelles s'appuie la mise en œuvre des programmes internationaux d'amélioration des espèces agricoles et forestières.

Inévitablement, ces transferts de matériel génétique font courir le risque d'introduire accidentellement des organismes nuisibles¹ lors du transfert de la plante hôte, tout particulièrement pour les pathogènes à tendance asymptomatique, comme les virus. Pour réduire ces risques, il est nécessaire d'observer des mesures préventives et de pratiquer des tests rigoureux afin de s'assurer que le matériel distribué est indemne d'organismes nuisibles qui pourraient s'avérer un danger phytosanitaire.

Ainsi, tout mouvement de matériel phytogénétique, tant international qu'inter-régional pour la recherche (dont les biotechnologies végétales), à des fins de conservation et d'amélioration, s'adosse à une information complète et actualisée du statut phytosanitaire du matériel phytogénétique. En outre, il est essentiel de connaître les réglementations nationales pertinentes et actualisées régissant l'exportation et l'importation de matériel phytogénétique dans les pays concernés.

Les recommandations énoncées dans ces directives s'appliquent aux petits envois spécialisés utilisés dans les programmes de recherche, tels la collecte, la conservation et l'utilisation aux fins d'amélioration des ressources phytogénétiques. Les normes en matière de mesures phytosanitaires, par exemple l'évaluation du risque des organismes nuisibles (IPPC 2021), doivent être prises en compte lors de la collecte et du transport du matériel génétique.

¹Le terme 'organisme nuisible' est utilisé dans ce document comme défini par le Glossaire des termes phytosanitaires de la FAO (2016) : toute espèce, souche ou biotype de végétal ou d'animal ainsi que d'agent pathogène, nuisible aux végétaux ou aux produits végétaux.

Cette révision des directives techniques pour le cacaoyer a été conduite par le groupe de travail Safe Movement de CacaoNet², un réseau international pour les ressources génétiques du cacaoyer. Des experts des ravageurs du cacaoyer ont contribué à titre personnel à l'élaboration de ces directives techniques et ne représentent pas ou ne sont pas mandatés par les organisations pour lesquelles ils travaillent. Ces directives sont destinées à procurer la meilleure information phytosanitaire possible aux institutions impliquées dans l'échange de matériel phytogénétique à petite échelle à des fins de recherche. L'Alliance de Bioversity International et du CIAT et les experts contributeurs ne peuvent être tenus responsables d'éventuels problèmes résultant de l'utilisation de l'information contenue dans ces directives techniques. Celles-ci reflètent le consensus et la connaissance des spécialistes ayant participé à cette révision mais les informations fournies demandent à être régulièrement mises à jour. La liste des experts ayant collaboré à ces directives techniques est présentée dans cette publication. Toute correspondance quant à cette publication devra être adressée aux éditeurs ou aux auteurs des sections concernées.

Ces directives sont écrites dans un style concis pour alléger ce document et en faciliter la mise à jour. Outre les références spécifiques citées dans le texte, des lectures complémentaires sont suggérées (surtout pour la distribution géographique, les milieux et autres informations spécifiques).

Ces directives sont divisées en deux parties.

- La première partie énonce les recommandations générales et techniques sur les procédures sécurisées de transfert de matériel génétique de cacaoyer et indique les structures de quarantaine intermédiaire existantes quand cela est approprié.
- La deuxième partie couvre les phyto-ravageurs à prendre en compte lors de la circulation internationale ou régionale du matériel génétique de cacaoyer. L'information donnée sur un organisme nuisible particulier n'est pas exhaustive mais se concentre plutôt sur les aspects les plus pertinents concernant la sûreté des mouvements de matériel génétique. Il est extrêmement difficile d'éradiquer des pathogènes d'une région ou d'un pays, et même de faibles niveaux d'infection ou d'infestation peuvent aboutir à l'introduction de pathogènes dans des secteurs vierges. C'est pourquoi, aucune information spécifique sur les traitements sanitaires n'est indiquée dans les

²CacaoNet (www.cacaonet.org) est un réseau international pour les ressources génétiques du cacaoyer coordonné par Bioversity. Il comprend un Comité de pilotage et des groupes de travail composés de représentants de différents instituts ou organismes de recherche sur le cacaoyer soutenant la recherche sur cette plante.

descriptions de ravageurs. Une analyse du risque phytosanitaire (*Pest Risk Analysis* - PRA) permettra de connaître les options de gestion les plus appropriées pour chaque cas. Des précautions générales sont présentées dans la section Recommandations générales.

Mise à jour des directives

Pour être utiles, ces directives doivent être actualisées aussi souvent que nécessaire. Nous saurions gré à nos lecteurs de porter attention à tout développement demandant éventuellement une révision des directives comme de nouveaux enregistrements, de nouvelles méthodes de détection ou de lutte.

Références

- FAO. 2024. Glossary of Phytosanitary Terms. (tel qu'adopté par CPM-18, 2024). International Standards for Phytosanitary Measures. FAO, Rome. Consultable à l'URL : <https://www.ippc.int/en/publications/622/>
- IPPC. 2021. Framework for pest risk analysis ISPM 2 (Rev. 2021) <https://www.ippc.int/en/publications/592/>

2. Personnes ayant contribué à les révisions 2021 et/ou 2024

Dr MLV de Resende,
AA de Paiva Custódio, FCL de Medeiros,
Universidade Federal de Lavras,
Minas Gerais, CEP 3829-1122,
BRAZIL
mlucio@ufla.br

Dr Nara G R Braz Patrocinio
UESC,
Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 16,
Bahia,
BRAZIL
naragrb@hotmail.com

Dr KP Gramacho , Dr Givaldo Niella,
Dr Emili Rane, Rayanne F Pereira
CEPLAC/CEPEC/SEFIT,
Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 22,
Itabuna,
Bahia,
BRAZIL
gramachokp@hotmail.com;
karina.gramacho@agro.gov.br

Dr S Nyassé
formerly of IRAD
Nkolbisson Centre,
BP 2123,
Yaoundé,
CAMEROON
nyasse@iccnet.cm

Dr F Aranzazu, Ing Darwin H Martinez Botello
Fedecacao – Research Department
Cra 23 No. 36-16 Oficina 203,
Bucaramanga, Santander,
COLOMBIA
fabioaranzazu@hotmail.com

Dr W Phillips-Mora
Formerly of CATIE
Department of Agriculture and Agroforestry,
CATIE 7170, Turrialba,
COSTA RICA
wphillip@catie.ac.cr

Danilo Vera Coello
INIAP/ E.E. Tropical Pichilingue
Km 5 vía Quevedo – El Empalme,
Cantón Mocache,
Provincia Los Ríos.
ECU
danilo.vera@iniap.gob.ec

Dr GM ten Hoopen, Dr Leila Bagny Beilhe
CIRAD
Campus International de Baillarguet,
UMR PHIM TA A-120/K,
34398 Montpellier,
FRANCE
tenhoopen@cirad.fr
leila.bagny@cirad.fr

Dr Anne-Sophie Bouchon
Plant Health Sustainable Solutions (PHSS),
Nancy
FRANCE
anne_sophie.bouchon@yahoo.fr, anne-sophie.bouchon@phss.fr

Mr Andrews Y Akrofi, Formerly of CRIG,
C.K. Memorial Lodge, c/o Apirede Calvary
Presbyterian Church, P.O. Box 79, Adukrom-
Akuapem,
GHANA
andrewsakrofi@yahoo.com

Mr E Kumi-Asare, I Amoako-Attah, CRIG
PO Box 8,
New Tafo-Akim,
GHANA
cocoaresearch@gmail.com

Dr GA Ameyaw, Dr G Awudzi, Dr O Domfeh, Dr H
K Dzahini-Obiatey,
Cocoa Research Institute of Ghana
PO Box 8,
New Tafo-Akim,
GHANA
gaakumfi@crig.org.gh

cocoaresearch@gmail.com

Dr Azhar,
Dr Saripah Bakar, Dr A Alias
Malaysian Cocoa Board,
Locked Bag 211,
88999 Kota Kinabalu,
Sabah,
MALAYSIA
Sari_@koko.gov.my aliasawang@koko.gov.my

Dr M Canto-Saenz
Universidad Nacional Agraria la Molina,
Lima,
PERU
mcanto@lamolina.edu.pe

Dr E Arevalo-Gardini, Dr CO Arevalo-Hernandez
Instituto de Cultivos Tropicales, Tarapoto,
Universidad Nacional Autonoma de Alto
Amazonas, Yurimaguas
PERU
enriquearevaloga@gmail.com
earevalo@unaaa.edu.pe
cesar.arevaloh@gmail.com
carevalo@unaaa.edu.pe

Dr. B Leon-Ttacca
Universidad Nacional de Cañete
Cañete
PERU
bleon@undc.edu.pe

Prof P Umaharam, Dr TN Sreenivasan and R.
Umaharan
Cocoa Research Centre
The University of the West Indies
St. Augustine
TRINIDAD AND TOBAGO
Pathmanathan.Umaharan@sta.uwi.edu

Dr C Campbell
480 London Road,
Ditton, Aylesford,
Kent, ME20 6BZ,
UNITED KINGDOM
cam_campbell@tiscali.co.uk

Dr J Flood
Emeritus Fellow
CABI
Bakeham Lane, Egham,
Surrey TW20 9TY
UNITED KINGDOM
j.flood@cabi.org

Dr MJ End
Cocoa Research Association Ltd.
UNITED KINGDOM
michelle.end@cocoaresearch.org.uk

Prof P Hadley, Dr AJ Daymond,
School of Agriculture,
Policy and Development
The University of Reading
Reading RG6 6AR
UNITED KINGDOM
a.j.daymond@reading.ac.uk

Dr AC Wetten
Formerly of Department of Applied Sciences,
University of the West of England, Coldharbour Lane,
Bristol, BS16 1QY
UNITED KINGDOM

Dr VC Baligar
USDA-ARS. Beltsville,
Maryland,
USA

Dr Alina Puig
USDA,
Fort Detrick,
Maryland USA.
alina.puig@usda.gov

2.1. Autres contributeurs aux Directives techniques FAO/IPGRI No. 20 et aux versions antérieures de ce Guide

Dr Y Adu-Ampomah, Dr Amponsah, Mme F Bekele, Dr JCM Cascardo, Dr M Diekmann, Dr EK Djiekpor, Dr M Ducamp, Dr J Engels, Dr AB Eskes, Dr JJ Galindo, Dr J. Hughes d'A, Dr AD Iwaro, Dr AJ Kennedy, Dr P Lachenaud, Dr DC Nowell, Dr A Posnette, Dr C Prior, Dr LH Purdy Dr CP Romaine, Dr RJ Schnell, Dr C Suarez-Capello, Dr S Surujdeo-Maharaj, Dr JM Thresh, Dr J-M Thevenin, Pr G Varghese.

3. Centres de quarantaine intermédiaire et régionaux

3.1. Centres de quarantaine intermédiaire

Le rôle des centres de quarantaine intermédiaire est d'empêcher la diffusion des organismes nuisibles et des maladies lors des mouvements de matériel génétique d'une région à une autre en soumettant ce matériel à un processus de quarantaine dans un pays où le cacaoyer n'est pas cultivé (afin de minimiser le risque d'introduction de ravageurs/pathogènes dans le système). La quarantaine intermédiaire est particulièrement importante quand le matériel à planter est transporté sous forme de baguette de greffage, matériel pouvant héberger des virus latents et des pathogènes endophytes comme des champignons.

Les centres de quarantaine intermédiaire actuels sont les suivants :

International Cocoa Quarantine Centre (ICQC, R)
School of Agriculture, Policy & Development
University of Reading
PO Box 237
Reading
RG6 6AR
ROYAUME-UNI
Email : a.j.daymond@reading.ac.uk
Tél. : +44 118 378 6628/ + 44 118 9760355
Le manuel 'Operational Manual for ICQC,R' est consultable à :
<http://www.icgd.reading.ac.uk/icqc/documents.php>

United States Department of Agriculture (USDA)
Subtropical Horticulture Research Station
13601 Old Cutler Road
Miami, Florida 33158
USA
Email : Osman.Gutierrez@ars.usda.gov

3.2. Centres de quarantaine régionaux (post-entrée)

Des stations de quarantaine post-entrée sont présentes dans certains pays producteurs de cacao et sont utilisées principalement pour le matériel nouvellement importé dans le pays en question. La durée de la quarantaine post-entrée peut varier de six mois à deux ans. Dans quelques cas, les structures de post-entrée sont aussi utilisées pour des transferts de matériel génétique dans le pays.

Les centres de quarantaine post-entrée en fonction pour le cacaoyer sont les suivants :

Pusat Penyelidikan dan Pembangunan Koko Hilir Perak
(Cocoa Research and Development Centre of Hilir Perak),
Lembaga Koko Malaysia (Malaysian Cocoa Board),
Peti Surat 30 (PO Box 30),
Jalan Sungai Dulang,
36307 Sungai Sumun, Perak,
MALAISIE
Contact : Nuraziawati bt. Mat Yazik
Email : nura@koko.gov.my

Cenargen Quarantine Facility
Parque Estação Biológica, PqEB, Av. W5 Norte (final)
Caixa Postal 02372 – Brasília, DF – CEP 70770-917,
BRÉSIL
Email : cenargen.nig@embrapa.br

4. Recommandations générales

Outre les directives spécifiques pour les organismes nuisibles/maladies présentés dans les sections suivantes, les recommandations générales ci-dessous s'appliquent :

- L'analyse des risques phytosanitaires doit précéder le mouvement du matériel génétique (voir les sections sur les organismes nuisibles spécifiques).
- Le matériel génétique doit être obtenu de la source la plus sûre possible, par exemple à partir d'une collection en quarantaine intermédiaire testée pour les pathogènes.
- L'envoi de cabosses³ entières est **FORTEMENT DÉCONSEILLÉ**.
- Le mouvement de plantes entières en terre, ou même de plantes entières à racines nues, présente un risque très élevé de transférer des organismes telluriques et des ravageurs associés aux racines et aux parties aériennes du végétal. C'est pourquoi, une extrême prudence doit entourer tout transfert de plante entière. Le transfert de matériel génétique entre des régions est **FORTEMENT DÉCONSEILLÉ**, à moins que le matériel ne soit transféré à partir d'une structure de quarantaine.
- En cas de transfert de matériel comme des semences, un substrat inerte et stérile (vermiculite ou perlite, par exemple) est préférable à un substrat organique (par exemple, la sciure de bois). Le matériel d'emballage utilisé doit être incinéré ou autoclavé après usage.
- Le transfert de baguettes de greffage de région à région doit s'effectuer via un centre de quarantaine.
- En cas d'échange international, les baguettes de greffage doivent être traitées avec un mélange fongicide/pesticide approprié lorsque cela est spécifié sur le certificat d'importation du pays destinataire.
- Après greffage dans le pays destinataire, tout matériel végétal superflu doit être incinéré ou autoclavé.
- Le transfert de matériel génétique doit avoir lieu en consultation avec les autorités phytosanitaires régionales appropriées tant dans les pays d'exportation que dans les pays d'importation. Les normes internationales pour les mesures phytosanitaires, telles que publiées par le Secrétariat de la Convention internationale pour la protection des végétaux (CIPV) (<https://www.ippc.int/>) doivent être respectées.

³ Les fruits de *Theobroma cacao* sont généralement dénommés "cabosses", les jeunes fruits étant parfois dénommés "cherelles", et les graines parfois étant dénommées "fèves".

- Conformément aux règlements de la CIPV, tout matériel transféré au niveau international doit être accompagné d'un certificat phytosanitaire.

5. Options pour la circulation du matériel génétique de cacaoyer en fonction des risques de propagation des organismes nuisibles

5.1. Semences

C'est la façon la plus sûre de transférer du matériel génétique de cacaoyer. Toutefois, il faut s'assurer de ne sélectionner que des cabosses saines et d'effectuer les traitements fongicides adéquats pour éviter toute contamination concomitante. Les échantillons doivent être examinés à l'aide d'une loupe ou d'un microscope. Il faut noter que certains organismes nuisibles peuvent se transmettre par les semences (Tableau 5.1).

Tableau 5.1. Pathogènes transmis par les semences du cacaoyer.

Pathogène	Maladie	À contamination interne	À contamination externe	Contamination concomitante
<i>Cacao necrosis virus</i>	Nécrose du cacaoyer (CNV)	Rapporté sur d'autres espèces mais pas sur le cacaoyer	Impossible	Impossible
<i>Cacao mild mosaic virus</i>	CaMMV	Rapporté	Non rapporté	Non rapporté
<i>Moniliophthora perniciosa</i>	Maladie du balai de sorcière	Rapporté	Possible	Possible
<i>Moniliophthora roreri</i>	Moniliose, Pourriture de la cabosse à <i>Moniliophthora</i>	Aucune infection naturelle des semences	Possible	Possible
<i>Phytophthora spp.</i>	Pourriture brune des cabosses	Rapporté	Possible	Peu probable
<i>Ceratobasidium theobromae</i>	Vascular streak die-back / Maladie des stries vasculaires (VSD)	Non rapporté	Possible	Peu probable

5.2. Baguettes de greffage

Transporter du matériel génétique de cacaoyer sous forme de baguettes de greffage se pratique quand le destinataire demande une copie génétiquement identique d'un

génotype particulier (par exemple, si le génotype en question possède des caractères utiles particuliers en sélection).

Les baguettes peuvent être infectées par un certain nombre de virus, comme le *Cacao swollen shoot virus* (CSSV). Aussi faudrait-il obligatoirement les faire transiter par une station de quarantaine intermédiaire qui conduira les procédures d'indexation des virus. La procédure actuelle recommandée d'indexation des virus se déroule comme suit (voir Thresh 1960) :

1. La baguette est prélevée sur une plante donnée en quarantaine et ses bourgeons sont greffés sur des porte-greffes d'Amelonado dont les symptômes sont remarquables en cas d'infection virale, comme le CSSV. Il est conseillé d'utiliser au moins trois plants greffés (avec succès) par plante (ou clone) testée.
2. Une fois que la greffe a pris, les feuilles et les tiges provenant du porte-greffe et du greffon de ces plantes tests doivent alors être inspectées chaque semaine pendant deux ans pour y déceler des symptômes foliaires et des gonflements caractéristiques (voir les sections sur les virus du cacaoyer).
3. En cas d'observation de symptômes viraux, les plantes tests et la plante mère doivent être détruites par incinération ou autoclavage.

Même si l'efficacité des contrôles moléculaires des virus tels le CSSV progresse, il n'existe, à ce jour, aucune technique de détection totalement indépendante de l'isolat. C'est pourquoi, l'indexation visuelle est toujours recommandée en combinaison avec le criblage fondé sur la PCR.

D'autres organismes nuisibles sont transmissibles par les baguettes de greffage : des insectes comme les cochenilles et des champignons endophytes tels que *Ceratobasidium* (anciennement *Oncobasidium theobromae*) et *Ceratocystis cacaofunesta*.

Lors de la coupe des baguettes, il est conseillé de suivre les recommandations générales suivantes :

1. Le matériel doit être prélevé sur des plantes qui ne montrent aucun signe visible d'une activité phytopathologique ou phytoparasitaire.
2. Les outils de coupe doivent être stérilisés (par exemple en utilisant de l'éthanol à 70%) entre chaque plante.
3. Les baguettes de greffage doivent être examinées sous microscope ou à l'aide d'une loupe pour détecter la présence d'insectes/ mites ou des perforations dues aux insectes.

5.3. Plantes entières

Le mouvement des plantes entières en terre est **FORTEMENT DÉCONSEILLÉ** en raison du risque élevé de transfert de ravageurs invertébrés et d'organismes

telluriques. Une extrême prudence doit entourer les envois de matériel végétal à racines nues en raison des mêmes risques. Par conséquent, il est déconseillé d'envoyer des plantes à racines nues à moins que le matériel ne soit transféré par une structure de quarantaine.

L'institut exportateur doit cultiver le matériel végétal dans une serre à l'épreuve des insectes et sur un milieu inerte, comme de la perlite, pour minimiser les risques de transfert d'organismes telluriques. Il est conseillé de traiter le matériel avec un pesticide approprié avant qu'il ne soit expédié.

La station de quarantaine de réception doit maintenir les plantes dans une zone séparée protégée des insectes pendant trois mois. Durant cette période, des inspections quotidiennes seront faites pour déceler les insectes et organismes nuisibles. En cas d'observation d'infection par un organisme nuisible, la plante doit être détruite par incinération ou autoclavage.

5.4. Matériel *in vitro*

Le matériel *in vitro* doit être envoyé dans des boîtes transparentes scellées contenant un milieu stérile. Il doit subir un examen avant son expédition et immédiatement à sa réception à destination. Idéalement, le matériel *in vitro* (ou le matériel employé pour le produire) doit être indexé pour la présence de pathogènes systémiques, y compris les virus, dans une structure de quarantaine. Tout matériel infecté ou contaminé doit être détruit.

5.5. Pollen et fleurs écloses

Les expéditions de pollen sont DÉCONSEILLÉES à partir des zones où la présence de *Moniliophthora* est avérée en raison de la possible contamination des échantillons de pollen par des spores du champignon.

Lors d'envois vers d'autres régions, le pollen doit être examiné en microscopie optique pour déceler la présence d'organismes nuisibles visibles. Tout pollen contaminé doit être détruit.

5.6. Bourgeons floraux

Les bourgeons floraux peuvent être transférés pour une utilisation en culture de tissu. Ils doivent être stérilisés en surface avant envoi. Les précautions pour empêcher la distribution de matériaux contenant des pathogènes systémiques décrites dans le paragraphe 5.4 pour le matériel *in vitro* doivent être prises.

5.7. Référence

Thresh JM. 1960. Quarantine arrangements for intercepting cocoa material infected with West African viruses. FAO Plant Protection Bulletin 8 :89-92.

6. Inventaire des risques dus aux organismes nuisibles

Tableau 6.1. Inventaire des principaux organismes nuisibles du cacaoyer, leur distribution et le niveau de précaution nécessaire lors de l'exportation de matériel végétal.

Organisme nuisible	Zone géographique ¹	Précautions spéciales
7.1 Nécrose du cacaoyer (Cacao necrosis virus, CNV) : genre <i>Nepovirus</i>	Ghana, Nigeria	
7.2 <i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) / <i>Virus de l'œdème des pousses du cacaoyer</i> : genre <i>Badnavirus</i>	Bénin, Côte d'Ivoire, Ghana, Liberia, Nigeria, Sierra Leone, Togo (Rapporté aussi au Sri Lanka)	Cabosse : risque potentiel Graine : risque faible Baguette : risque élevé Quarantaine conseillée c.f. 5.2. Baguettes de greffage FACTEUR SPÉCIAL DE RISQUE : INFECTION LATENTE JUSQU'À DEUX ANS
7.3 Virus de la mosaïque jaune du cacaoyer (Cacao yellow mosaic virus, CYMV) : genre <i>Tymovirus</i>	Sierra Leone	
7.4 <i>Cacao yellow vein banding virus</i> (CYVBV)	Occurrences d'isolats à Trinidad	Baguette : risque potentiel L'utilisation de tests moléculaires est recommandée car les infections sont souvent asymptomatiques.
7.4 <i>Cacao mild mosaic virus</i> (CaMMV) : genre <i>Badnavirus</i>	Occurrences d'isolats à Trinidad, au Brésil, à Porto-Rico et à Hawaii. Récemment signalées comme étant répandues en Indonésie	Baguette : risque potentiel Graine : risque potentiel L'utilisation de tests moléculaires est recommandée car les infections sont souvent asymptomatiques.
7.5 <i>Cacao Leafroll Virus</i> (CaLRV) and <i>Cacao Polerovirus</i> (CaPV)	Des polévirus très similaires ont récemment été identifiés dans des occurrences d'isolats au Brésil, à USDA Miami et Mayaguez (CaLRV), ICQC,R et IC3 Costa Rica (CaPV)	Baguette : risque potentiel L'utilisation de tests moléculaires est recommandée car les infections sont souvent asymptomatiques.
8.1 Maladie du Balai de la Sorcière (<i>Moniliophthora perniciosa</i>)	Angola (rapport récent bien qu'il ne soit pas associé au cacao), Brésil (Bahia, Espírito Santo, Régions Amazoniennes), Bolivie, Equateur, Guyane Française, Guyane, Panama, Pérou, St Lucie, St Vincent, Suriname, Trinité et Tobago, Vénézuela	Cabosse Entière : risque élevé, non recommandé Graine : risque modéré Baguette : risque modéré cf.8.1.6. Mesures de quarantaine

¹**Note** : L'information sur la distribution des organismes nuisibles est basée sur les informations publiées disponibles au moment de cette compilation. Ces distributions sont susceptibles de se modifier au fil du temps.

Tableau 6.1. Inventaire des principaux organismes nuisibles du cacaoyer, leur distribution...

Organisme nuisible	Zone géographique	Précautions spéciales
	Bélize, Bolivie, Brésil (Etats de Acre et Amazonas), Colombie, Costa Rica, Equateur, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaïque, Mexique, Nicaragua, Panama, Pérou, L'ouest du Venezuela	Cabosse : risque élevé, déconseillé Graines : risque modéré Baguette : risque modéré Quarantaine conseillée FACTEUR SPÉCIAL DE RISQUE : SPORES A LONGUE DURÉE DE VIE cf.8.2.6. Mesures de quarantaine
8.3 <i>Phytophthora</i> spp. Note : Les espèces de <i>Phytophthora</i> sont répandues et parfois difficiles à distinguer		Cabosse : risque élevé, déconseillé Graines : risque faible Baguette : risque modéré, quarantaine intermédiaire conseillée FACTEUR SPÉCIAL DE RISQUE : PRÉSENCE DANS LE SOL cf.8.3.6. Mesures de quarantaine
<i>P. palmivora</i> (syn. <i>P. arecae</i>)	La plupart des régions productrices de cacao	
<i>P. megakarya</i>	Bioko (Fernando-Po), Cameroun, Côte d'Ivoire, Gabon, Ghana, Nigeria, São Tomé et Príncipe, Togo	
<i>P. capsici</i> / <i>P. tropicalis</i> ⁴	Brésil, Cameroun, Costa Rica, Côte d'Ivoire, El Salvador, Guyane française, Guatemala, Inde, Indonésie, Jamaïque, Mexique, Panama, République Dominicaine, Trinidad et Tobago, Venezuela	
<i>P. citrophthora</i>	Brésil, Cuba, Malaisie, Inde, Mexique, Philippines	
<i>P. hevea</i>	Brésil, Cameroun, Cuba, Inde, Malaisie, Mexique, Philippines	
<i>P. megasperma</i>	Brésil, Cuba, Inde, Malaisie, Venezuela, Philippines	
<i>P. nicotianae</i> var. <i>parasitica</i>	Brésil, Colombie, Cuba, Inde, Malaisie, Philippines	
<i>P. theobromicola</i>	Brésil	

⁴ *P. tropicalis*, que l'on pensait auparavant conspécifique de *P. capsici*, semble être recouvert plus communément que *P. capsici* sur des plantes ligneuses pérennes, dont le cacaoyer (Surujdeo-Maharaj et al. 2016).

Tableau 6.1. Inventaire des principaux organismes nuisibles du cacaoyer, leur distribution..... (suite)

Organisme nuisible	Zone géographique	Précautions spéciales
8.4. Vascular streak dieback / Maladie des stries vasculaires (VSD)	La plupart des zones productrices de cacao en Asie du Sud et du Sud-Est : Papouasie-Nouvelle-Guinée, (îles de Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Bretagne, Nouvelle-Irlande), Chine (île d'Hainan), Inde, Indonésie, Malaisie occidentale et Sabah, Thaïlande, Myanmar, Vietnam et Philippines méridionales	Cabosse entière : risque élevé, déconseillé Graine : risque faible Baguette : risque élevé - quarantaine intermédiaire conseillée 8.4.6. Mesures de quarantaine
8.5 Verticilliose du cacaoyer	Partout dans le monde, spécialement Brésil, Colombie, RDC, Ouganda	Cabosse entière : risqué faible Graine : risqué faible Baguette : risqué modéré cf.8.5.6. Mesures de quarantaine
8.6 Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> ou Mal de machete	Brésil, Colombie, Costa Rica, Équateur, Guyane française, Guatemala, Haïti, Mexique, Pérou, Trinidad et Tobago, Venezuela	Cabosse : risque élevé Graine : risque faible Baguette : risque modéré cf. 8.6.6. Mesures de Quarantaine
8.7 Pourridié à <i>Rosellinia</i> <i>R. bunodes</i> , <i>R. pepo</i> <i>R. paraguayensis</i>	Partout dans Amérique centrale et du Sud, Inde, Indonésie, Malaisie, Philippines, Afrique de l'Ouest	Cabosse : risque faible Graine : risque faible Baguette : risque élevé cf. 8.7.6. Mesures de quarantaine
8.8 Autres pathogènes fongiques du fruit et de la canopée	Partout	
9.2 Foreur des cabosses (<i>Conopomorpha cramerella</i> – FCC ou CPB)	Asie du Sud-Est dont Inde, Malaisie, Indonésie, Philippines, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Sri Lanka, Taïwan, Thaïlande	Cabosse : risque élevé, déconseillé Graine : risque élevé Baguette : risque modéré cf. 9.2.6. Recommandations de quarantaine
9.3 Foreur de la cabosse américain (<i>Carmenta</i> spp.)	Brésil, Colombie, Équateur, Panama, Pérou, Trinidad et Tobago et Venezuela	Cabosse : risque modéré Graine : risque faible cf. 9.3.6. Mesures de quarantaine
9.4 Autres Lépidoptères nuisibles	Largement répandu	
9.5 Mirides (et autres hétéroptères suceurs de sève)	Toutes les régions de culture du cacaoyer à l'exception des Caraïbes	Cabosse : risque modéré Graine : risque faible Baguette : risque modéré cf. 9.5. Mirides (et autres hétéroptères suceurs de sève)

Tableau 6.1. Inventaire des principaux organismes nuisibles du cacaoyer, leur distribution..... (suite)

Organisme nuisible	Zone géographique	Précautions spéciales
9.6 Moustique du cacaoyer	Largement répandu	Cabosse : risque modéré, déconseillé Graine : risque faible Baguette : risque modéré cf. 9.6.6. Mesures de quarantaine
9.7 <i>Pseudotheraptus devastans</i> (Dist.)	Largement répandu en Afrique	Cabosse : risque élevé Graine : risque faible cf. 9.7.5. Mesures de quarantaine
9.8 Cochenilles	Toutes les régions de culture du cacaoyer	Cabosse : risque modéré Graine : risque faible Baguette : risque modéré
9.9 Scolytes à Ambrosia	Largement répandu	Baguette : risque modéré cf. 9.9.6. Mesures de quarantaine
9.10 Mites phytophages	Largement répandu	Baguette : risque élevé cf. 9.9.6. Mesures de quarantaine
10. Nématodes parasites	Largement répandu	cf. 10.6 Mesures de quarantaine

Tableau 6.2. Relevé des risques phytosanitaires par pays (*Phytophthora palmivora* comme plusieurs insectes ravageurs se retrouve dans le monde entier et le tableau ne comprend pas certains pathogènes d'importance uniquement locale ou limitée). Il est recommandé aux utilisateurs de vérifier les différents chapitres de ce document et les autres rapports d'apparition des ravageurs/maladies dans le pays dans lequel ils travaillent pour plus de détails.

Pays	Risques phytosanitaires
Belize	<i>Moniliose</i>
Bénin	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV)
Bioko (Fernando Po)	<i>Phytophthora megakarya</i>
Bolivie	Maladie du balai de sorcière <i>Moniliose</i>
Brésil	<i>Cacao mild mosaic virus</i> (CaMMV) <i>Cacao polerovirus</i> (CaPV) <i>Moniliose</i> (États d'Acre et Amazonas) Maladie du balai de sorcière <i>Phytophthora capsici/ P. tropicalis</i> <i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotianae</i> <i>Phytophthora theobromicola</i> Verticilliose du cacaoyer Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) Pourridié à <i>Rosellinia</i> Antrachnose <i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Cameroun	<i>Phytophthora megakarya</i> <i>Phytophthora capsici/ P. tropicalis</i> <i>Ceratocystis spp. (C. ethacetica et C. paradoxa)</i> <i>Lasiodiplodia theobromae</i>
Colombie	Maladie du balai de sorcière <i>Moniliose</i> Verticilliose du cacaoyer Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) <i>Phytophthora nicotianae</i> Pourridié à <i>Rosellinia</i>
Costa Rica	<i>Moniliose</i> Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) Pourridié à <i>Rosellinia</i> <i>Phytophthora capsici/ P. tropicalis</i> <i>Cacao Polerovirus</i> (CaPV)

Tableau 6.2. Relevé des risques phytosanitaires par pays (suite)

Pays	Risques phytosanitaires
Côte d'Ivoire	<i>Cacao swollen shoot virus (CSSV)</i> <i>Phytophthora megakarya</i>
Cuba	<i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotianae</i>
Équateur	Maladie du balai de sorcière Moniliose Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)
El Salvador	<i>Phytophthora capsici</i> Moniliose
Fernando Po (Bioko)	<i>Phytophthora megakarya</i>
Guyane française	Maladie du balai de sorcière <i>Phytophthora capsici</i>
Gabon	<i>Phytophthora megakarya</i>
Ghana	<i>Cacao necrosis virus (CNV)</i> <i>Cacao swollen shoot virus (CSSV)</i> <i>Phytophthora megakarya</i>
Grenada	Maladie du balai de sorcière
Guatemala	Moniliose <i>Phytophthora capsici</i> Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)
Guyane	Maladie du balai de sorcière
Haïti	<i>Phytophthora</i> spp. Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)
Hawaï	<i>Phytophthora</i> spp. <i>Cacao mild mosaic virus (CaMMV)</i>
Honduras	Moniliose
Inde	<i>Phytophthora capsici</i> <i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotianae</i> Vascular streak dieback (VSD) Pourridié à <i>Rosellinia</i> <i>Lasiodiplodia theobromae</i>

Tableau 6.2. Relevé des risques phytosanitaires par pays (suite)

Pays	Risques phytosanitaires
Indonésie	Vascular streak dieback (VSD) Pourridié à <i>Rosellinia</i> Foreur des cabosses (CPB) <i>Phytophthora capsici</i> <i>Lasiodiplodia theobromae</i> <i>Cacao mild mosaic virus (CaMMV)</i>
Jamaïque	<i>Phytophthora capsici</i> Pourridié à <i>Rosellinia</i> Moniliose <i>Thielaviopsis [Ceracystis] paradoxa</i>
Liberia	<i>Cacao swollen shoot virus (CSSV)</i>
Malaisie	<i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotiana</i> Vascular streak dieback (VSD) <i>Lasiodiplodia theobromae</i> Pourridié à <i>Rosellinia</i> Foreur des cabosses (CPB)
Mexique	Moniliose <i>Phytophthora capsici</i> <i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i>
Nicaragua	Moniliose
Nigeria	<i>Cacao necrosis virus (CNV)</i> <i>Cacao swollen shoot virus (CSSV)</i> <i>Phytophthora megakarya</i>
Panama	Maladie du balai de sorcière Moniliose <i>Phytophthora capsici</i>
Papouasie-Nouvelle-Guinée	Vascular streak dieback (VSD) Foreur des cabosses (CPB)
Pérou	Maladie du balai de sorcière Moniliose Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) Pourridié à <i>Rosellinia</i> Verticilliose

Tableau 6.2. Relevé des risques phytosanitaires par pays (suite)

Pays	Risques phytosanitaires
Philippines	<i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotianae</i> Vascular streak dieback (VSD) Pourridié à <i>Rosellinia</i> Foreur des cabosses (CPB)
Porto Rico	<i>Cacao mild mosaic virus</i> (CaMMV) <i>Lasiodiplodia theobromae</i> <i>Colletotrichum siamense</i> <i>Phytophthora palmivora</i> <i>Diaporthe tiliensis</i>
République démocratique du Congo	Verticilliose
République dominicaine	<i>Phytophthora</i> spp.
São Tomé et Príncipe	<i>Phytophthora megakarya</i>
Sierra Leone	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) <i>Cacao yellow mosaic virus</i>
Sri Lanka	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) [rapporté mais susceptible d'être le CBSLV] Pourridié à <i>Rosellinia</i>
St Vincent	Maladie du balai de sorcière
Suriname	Maladie du balai de sorcière
Thaïlande	Vascular streak dieback (VSD)
Togo	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) <i>Phytophthora megakarya</i>
Trinidad et Tobago	Maladie du balai de sorcière <i>Phytophthora tropicalis</i> Pourridié à <i>Rosellinia</i> Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) <i>Cacao mild mosaic virus</i> (CaMMV) et <i>Cacao Yellow Vein Banding Virus</i> (CYVBV)
Ouganda	Verticilliose du cacaoyer

Tableau 6.2. Relevé des risques phytosanitaires par pays (suite)

Pays	Risques phytosanitaires
Venezuela	Maladie du balai de sorcière Moniliose (Venezuela occidental) <i>Phytophthora capsici</i> <i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotianae</i>
Vietnam	Vascular streak dieback (VSD)

Description des organismes nuisibles du cacaoyer

7. Maladies virales

7.1. Nécrose du cacaoyer (*Cacao necrosis virus*, CNV) : genre *Nepovirus*

Mise à jour : George A. Ameyaw et Owusu Domfeh

Cocoa Research Institute of Ghana, PO Box 8, Tafo-Akim, Ghana

Email : cocoaresearch@gmail.com

Le *Cacao necrosis virus* (CNV) : genre *Nepovirus*, responsable de la nécrose du cacaoyer est sérologiquement lié (mais relativement éloigné) du *Tomato black ring virus*.

7.1.1. Symptômes

Les plantes infectées présentent une nécrose des nervures (Fig. 7.1.1), le long de la nervure centrale et des nervures principales et, aux premiers stades de l'infection, un dépérissement terminal des tiges. Aucun gonflement ne se développe dans les racines ou les tiges.

7.1.2. Distribution géographique

Cette maladie est rapportée au Nigeria et au Ghana (Owusu 1971, Thresh 1958).

7.1.3. Transmission

Probablement par un nématode vecteur (Kenten 1977). Le même auteur décrit une transmission par les semences de 24% dans les hôtes herbacés *Glycine max*, *Phaseolus lunatus* et *P. vulgaris*. Une transmission mécanique ou par la sève a aussi été décrite par Adomako et Owusu (1974) en utilisant la technique développée pour le *Cacao swollen shoot virus* (CSSV).

7.1.4. Morphologie de la particule

Les particules sont isométriques et d'un diamètre de 25 nm.

7.1.5. Traitement

Aucun. Une plante infectée ne peut être soignée.

7.1.6. Indexation

Comme pour le CSSV : genre : *Badnavirus*. Greffer sur un porte-greffe Amelonado (cultivar de cacaoyer sensible) et rechercher la présence de symptômes sur toutes les parties de la plante résultante (Voir 5.2. Baguettes de greffage).

7.1.7. Références et lectures complémentaires

- Adomako D, Owusu GK. 1974. Studies on the mechanical transmission of cocoa swollen shoot virus : some factors affecting virus multiplication and symptom development of cocoa. *Ghana Journal of Agricultural Science* 7 :7-15.
- Kenten RH. 1977. *Cacao necrosis virus*. CMI/AAB Descriptors of Plant Viruses No. 173. Commonwealth Mycological Institute, Kew, UK.
- Owusu GK. 1971. Cocoa necrosis virus in Ghana. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 48 :133-139.
- Thresh JM. 1958. Virus Research in Ibadan, Nigeria. Annual Report 1956-57. West African Cocoa Research Institute, Ibadan, Nigeria. pp. 71-73.



Figure 7.1.1. Nécrose des nervures le long de la nervure centrale et des nervures principales d'une feuille de cacaoyer (O Domfeh, non publié)

7.2. *Cacao swollen shoot virus* (CSSV) / Virus de l'œdème des pousses du cacaoyer: genre Badnavirus

Mise à jour : George A Ameyaw¹, Owusu Domfeh¹, Henry Dzahini-Obiatey¹ et Andy C Wetten²

¹Cocoa Research Institute of Ghana, PO Box 8, Tafo-Akim, Ghana

Email : gaakumfi@crig.org.gh, cocoaresearch@gmail.com

²Anciennement du Department of Applied Sciences, University of the West of England, Coldharbour Lane, Bristol, Royaume-Uni, BS16 1QY

De nombreux isolats du *Cacao swollen shoot virus* (CSSV) ont été collectés et entretenus au Virus Museum du Cocoa Research Institute of Ghana. Les isolats étaient précédemment nommés en lettres capitales ou par le nom du lieu de leur première collecte. L'analyse approfondie de la variabilité moléculaire du CSSV grâce à des techniques de séquençage avancées ont révélé la présence d'au moins huit espèces du virus en Afrique de l'Ouest si l'on utilise les recommandations de l'International Committee on Taxonomy of Viruses, lequel prend en compte la diversité nucléotidique de la région RT/RNaseH (Kouakou et al. 2012, Oro et al. 2012, Abrokwhah et al. 2016, 2022, Chingandu et al. 2017, Muller et al. 2018, Muller

et al. 2021, Ramos-Sobrinho et al. 2021, Ameyaw et al. 2024). Le *Cacao mottle leaf virus* est un synonyme de l'espèce du Cacao Swollen Shoot Ghana M virus (CSSGMV) (Brunt et al. 1996, Ramos-Sobrinho et al. 2021, Ameyaw et al. 2024).

7.2.1. Symptômes

Les symptômes de la maladie du CSSV sont très variables et dépendent de l'espèce du virus et de la souche virale et du stade d'infection. Les symptômes les plus courants sur les variétés sensibles (comme Amelonado d'Afrique de l'Ouest) sont un liseré rouge le long des nervures, caractéristique des jeunes feuilles (pousses nouvelles) (Fig. 7.2.1), des liserés jaunes le long des nervures, une moucheture et des mosaïques inter-nervures dans le cas des feuilles matures (Fig. 7.2.2), une décoloration des nervures des feuilles et des gonflements des tiges (Fig. 7.2.3). Certaines souches du virus (par exemple, certains isolats peu virulents et les types à mosaïque foliaire) n'induisent pas d'œdème dans les plantes infectées.

7.2.2. Distribution géographique

Bénin, Côte d'Ivoire, Ghana, Liberia, Nigeria, Sierra Leone, Sri Lanka (c.f. section 7.6), Togo (Brunt et al. 1996, Kouakou et al. 2012, Oro et al. 2012, Abrokwah et al. 2016, Ameyaw et al. 2024).

7.2.3. Hôtes

L'infection naturelle par le CSSV a été décrite pour *Adansonia digitata*, *Bombax* spp., *Ceiba pentandra*, *Cola chlamydantha*, *Cola gigantea*, *Theobroma cacao* et d'autres espèces forestières de malvaceae, *Corchorus* spp., ont été infectées expérimentalement.

7.2.4. Transmission

Le CSSV est transmis par au moins 14 espèces de cochenilles (*Hemiptera* : *Pseudococcidae*).

Alors que des résultats PCR positifs ont été obtenus par l'utilisation d'amorces spécifiques du CSSV sur de l'ADN de plantules issues d'autofécondation d'arbres infectés, aucune expression du CSSV fut décelée chez ces plantules, ni visuellement, ni par "transcription inverse" (RT) PCR (Ameyaw et al. 2013). Le dépistage ultérieur des graines de cacao récoltées sur des plantes infectées a confirmé la non-transmission du virus par les graines. Malgré la découverte récente de séquences du badnavirus intégrées dans la plupart des groupes génétiques du cacaoyer (Muller et al. 2021), il n'y a aucune indication que les séquences intégrées aient menées à l'infection des plantes de cacao. Cependant, l'inoculation délibérée de graines de cacao par les cochenilles vectrices ou par transmission mécanique / de sève avec des particules virales purifiées mènent à un taux d'infection élevé dans les plantes de cacao qui en résultent. Ces techniques sont principalement utilisées pour la transmission en laboratoire et afin d'enquêter sur le virus.

7.2.5. Morphologie des particules

Les particules sont bacilliformes et mesurent 121-130 x 28 nm.

7.2.6. Traitement

Au fil des années, il n'y a eu aucun remède efficace pour le virus dans les plantes de cacao infectées. Une fois qu'une plante de cacao devient infectée, elle ne peut être soignée mais reste infectée systématiquement à moins qu'elle ne soit enlevée ou morte. Toutefois, le passage par embryogenèse somatique s'est révélé réduire la charge virale bien que des recherches supplémentaires soient requises afin d'établir si cette technique peut ou non être utilisée pour éliminer complètement le CSSV (Quainoo et al. 2008, Edward and Wetten, 2016). Cependant, comme la plupart des maladies virales, la maladie peut être contenue ou évitée en isolant les plants sains par des barrières d'espèces immunes contre le CSSV.

7.2.7. Quarantaine et mesures de détection

Plusieurs techniques ont été développées avec succès pour détecter le CSSV, y compris ELISA, ISEM, LAMP et PCR (Sagemann et al. 1985, Muller 2008, Abrokwah et al. 2016, Ameyaw et al. 2021); l'agglutination virobactérienne a également été utilisée (Hughes et Ollennu 1993). Diverses méthodes de détection ont aussi été employées avec succès et ont été compilées (Dzahini-Obiatey 2008, Dzahini-Obiatey et al. 2008). Même si l'efficacité des contrôles moléculaires des virus tels le CSSV progresse, il n'existe, à ce jour, aucune technique de détection totalement indépendante de l'isolat. C'est pourquoi, l'indexation visuelle est toujours recommandée en combinaison avec le criblage moléculaire. Il est important de noter que l'infection par le CSSV peut être latente pendant 20 mois (Pr P Hadley, Université de Reading, com. pers.) Voir Baguettes de greffage

7.2.8. Références et lectures complémentaires

- Abrokwah F, Dzahini-Obiatey H, Galyuon I, Osae-Awuku F, Muller E. 2016. Geographical distribution of cacao swollen shoot virus molecular variability in Ghana. *Plant Disease* 100 :2011-2017. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-16-0081-RE>
- Abrokwah F, Dabie K, Adulley, F. 2022. Genome variability, species diversity, phylogenetic relationships, origin, and geographical distribution of badnaviruses involved in the cacao swollen shoot disease: The case of West Africa 2022. *Tropical Plant Pathology* 47: 201–213.
- Ameyaw GA., Wetten A., Dzahini-Obiatey H., Allainguillaume J., Domfeh O., (2013). Investigations on Cacao swollen shoot virus (CSSV) pollen transmission through cross pollination. *Plant Pathology* 62 : 421-427 <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02640.x>
- Ameyaw GA, Domfeh O, Armooh B, Boakye AY, Arjarquah A. 2021. Inconsistent PCR detection of Cacao swollen shoot virus (CSSV) is linked to the occurrence of different variants across the cocoa regions of Ghana 2021. *Journal Virological Methods* 300: 114400
- Ameyaw GA, Domfeh O, Gyamera E. 2024. Epidemiology and diagnostics of cacao swollen shoot disease in Ghana: past research achievements and knowledge gaps to guide future research. *Viruses* 16(1): 43. <https://doi.org/10.3390/v16010043>. <https://www.mdpi.com/1999-4915/16/1/43>

- Brunt A, Crabtree K, Dallwitz M, Gibbs A, Watson L, Zurcher E. Editors. 1996. Viruses of Plants. Description and Lists from the VIDE Database. CAB International, Wallingford, UK.
- Chingandu N, Kovakou K, Aka R, Amayaw G, Gutierrez O, Herman H-W, Brown JK. 2017. The proposed new species, cacao red vein virus, and three previously recognized badna virus species are associated with cacao swollen shoot disease. *Virology Journal* 14 :199. <https://doi.org/10.1186/s12985-017-0866-6>
- Dzahini-Obiatey H. 2008. Cytopathological and molecular studies of CSSV infected cocoa plants. PhD Thesis, University of Reading, UK.
- Dzahini-Obiatey H, Ollennu LA, Aculey PC. 2008. Cocoa swollen shoot virus in Ghana : A review of diagnostic procedures. *Ghana Journal of Agricultural Science* 41(1) : 123-136. <https://doi.org/10.4314/gjas.v41i1.46155>
- Edward R, Wetten AC. 2016. Virus detection and elimination in cocoa (*Theobroma cacao* L.) through somatic embryogenesis. *Journal of Plant Sciences* 4(3): 52. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20160403.14>
- Hughes J d'A, Adomako D, Ollennu LA. 1995. Evidence from the virobacterial agglutination test for the existence of eight serogroups of cocoa swollen shoot virus. *Annals of Applied Biology* 127 : 297-307. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1995.tb06674.x>
- Hughes J d'A, Ollennu LA. 1993. The virobacterial agglutination test as a rapid means of detecting cocoa swollen shoot virus disease. *Annals of Applied Biology* 122 :299-310. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04035.x>
- Kouakou K, Kébé BI, Kouassi N, Aké S, Cilas C, Muller E. 2012. Geographical distribution of cacao swollen shoot virus molecular variability in Côte d'Ivoire. *Plant Disease* 96 :1445-1450. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0749-RE>
- Marelli J-P, Sanja F, Schepens I, Rando G, Azola M, Ramos-Sobrinho R, Brown JK, Kouadjo CG, Opoku D, Ameyaw G, Bele L, kouakou K, Kouamé C. 2022. Development of an in-field detection and cost-effective kit for cacao swollen shoot disease (CSSD) in Côte d'Ivoire and Ghana. Proceedings of the International Symposium on Cocoa Research, 5-7 December 2022, Montpellier, France.
- Muller E, Ravel S, Agret C, Abrokwa F, Dzahini-Obiatey H, Galyuon I, Kouakou K, Jeyaseelan EC, Allainguillaume J, Wetten A. 2018. Next generation sequencing elucidates cacao badnavirus diversity and reveals the existence of more than ten viral species. *Virus Research* 244 : 235-251. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2017.11.019>
- Muller E, Ullah I, Dunwell JM, Daymond AJ, Richardson M, Allainguillaume J, Wetten A. 2021. Identification and distribution of novel badnaviral sequences integrated in the genome of cacao (*Theobroma cacao*). *Scientific Reports* 11 : 8270 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87690-1>
- Oro F, Mississo E, Okassa M, Guilhaumon C, Fenouillet C, Cilas C, Muller, E. 2012. Geographical differentiation of the molecular diversity of cacao swollen shoot virus in Togo. *Archives of Virology* 157 : 509-514. <https://doi.org/10.1007/s00705-011-1158-x>
- Quainoo AK, Wetten A, Allainguillaume J. 2008. The effectiveness of somatic embryogenesis in eliminating cocoa swollen shoot virus from infected cocoa trees. *Journal of Virological Methods* 149 :91-96. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2008.01.007>
- Ramos-Sobrinho R, Kouakou K, Bi AB, Keith CV, Diby L, Kouame C, Aka RA, Marelli J.-P, Brown JK. 2021. Molecular detection of cacao swollen shoot badnavirus species by amplification with four PCR primer pairs, and evidence that Cacao swollen shoot Togo B virus-like isolates are highly prevalent in Côte d'Ivoire. *European Journal Plant Pathology* 159: 941-947. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-021-02203-0>
- Sagemann W, Lesemann DE, Paul HL, Adomako D, Owusu, GK. 1985. Detection and comparison of some Ghanaian isolates of *cacao swollen shoot virus* (CSSV) by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) and immunoelectron microscopy (IEM) using an antiserum to CSSV strain 1A. *Phytopathologische Zeitschrift* 114 :79-89. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1985.tb04339.x>



Figure 7.2.1 Liseré rouge des nervures sur jeune feuille. Notez l'apparence de fougère du liseré rouge des nervures (H Dzahini-Obiatey, Y Adu-Ampomah, G.A. Ameyaw et Owusu Domfeh non publié)



Figure 7.2.2. Symptômes du CSSV sur feuilles matures. Décoloration des nervures foliaires. Notez la décoloration importante de la chlorophylle le long des nervures tertiaires. Photo prise dans un champ d'agriculteur (H Dzahini-Obiatey, Y Adu-Ampomah, G.A. Ameyaw et Owusu Domfeh non publié)



Figure 7.2.3 Gonflements des tiges. Notez l'œdème en forme de club de golf sur le gourmand basal d'un vieil arbre. Photo prise dans une cacaoyère infectée (H Dzahini-Obiatey, Y Adu-Ampomah, G.A. Ameyaw et Owusu Domfeh non publié)

7.3. Virus de la mosaïque jaune du cacaoyer (*Cacao yellow mosaic virus*, CYMV) : genre *Tymovirus*

7.3.1. Distribution géographique

Ce virus est décrit seulement en Sierra Leone (Blencowe et al. 1963, Brunt et al. 1965).

7.3.2. Symptômes

Présence de zones jaunes visibles sur les feuilles. Aucun gonflement sur les tiges ou les racines.

7.3.3. Transmission

Pas de transmission par les semences. Facilement transmis par inoculation de sève par le biais de nombreuses espèces herbacées.

7.3.4. Morphologie de la particule

Les particules sont isométriques et mesurent environ 25 nm de diamètre.

7.3.5. Traitement

Aucun. Une plante infectée ne peut être guérie.

7.3.6. Indexation

Se référer au paragraphe ci-dessus *Cacao swollen shoot virus* et à la Section 5.2

7.3.7. Références et lectures complémentaires

- Blencowe JW, Brunt AA, Kenton RG, Lovi NK. 1963. A new virus disease of cocoa in Sierra Leone. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 40: 233-236.
- Brunt AA, Kenton RH, Gibb, AJ, Nixon HL. 1965. Further studies on cocoa yellow mosaic virus. *Journal of General MicroBiologie* 38: 81-90. <https://doi.org/10.1099/00221287-38-1-81>

7.4. Cacao mild mosaic virus (CaMMV) et Cacao yellow vein banding virus (CYVBV) : genre Badnavirus

Alina S. Puig¹, Pathmanathan Umaharan²

¹USDA-ARS, Fort Detrick, Maryland, USA. Email : alina.puig@usda.gov

²Cocoa Research Centre, The University of the West Indies, Trinidad et Tobago. Email : Pathmanathan.Umaharan@sta.uwi.edu

Dénominations antérieures (Posnette 1944; Baker et Dale 1947)

CaMMV- *Red Mottle Virus; Cacao Trinidad Virus Souche A*

CYVBV- *Vein-Clearing Virus; Cacao Trinidad Virus Souche B*

7.4.1. Distribution géographique

Ces virus du cacaoyer ont été signalés à Trinidad en 1943 (Posnette 1944) et nommés Cacao Trinidad Virus Souche A et Souche B (Baker et Dale 1947). Ils étaient présents dans toute l'île jusqu'aux années 1950, lorsque le gouvernement a lancé un programme d'élimination des arbres visant les cacaoyers infectés par le virus. Après des décennies sans rapport de matériel symptomatique, les deux virus ont été trouvés dans des plants de cacaoyer en 2007 (Sreenivasan 2009). Le CaMMV a été confirmé dans des zones de production commerciale à Porto Rico (Puig et al. 2020) et au Brésil (Ramos-Sobrinho et al. 2021), et dans des collections de germoplasme aux États-Unis et au Royaume-Uni (Puig 2021, Ullah et al. 2021, Brill et al. 2024), indiquant qu'il pourrait être distribué globalement. De plus, un virus étroitement apparenté a été rapporté en Indonésie (Kandito et al. 2022), qui s'est avéré être très répandu dans le pays (Kandito et al. 2024). Les isolats indonésiens partageaient 90-95% d'homologie avec ceux des Amériques basé sur la région mouvement protéin-coat protéin (MP-CP) du génome. Ceci est moins élevé que l'homologie partagée entre les isolats CaMMV connus et le séquençage de la région RT-RNase H est nécessaire pour déterminer s'ils atteignent les 80% de similarité utilisés par ICTV pour différencier les espèces de Badnavirus. Des symptômes de type viral ont été signalés dans d'autres zones de culture du cacao de la région, notamment en Colombie, en République dominicaine et au Venezuela, mais ceux-ci n'ont pas encore été caractérisés. Jusqu'à présent les rapports de CYVBV ont été limité à

Trinidad.

7.4.2. Hôtes

De nombreux hôtes alternatifs ont été identifiés pour le CaMMV et pourraient servir de réservoirs d'inoculum. Ceux-ci comprennent des espèces apparentées de la famille Malvaceae tel que le *Theobroma grandiflorum*, *Hibiscus* sp., et *Thespesia grandiflora* (Puig et al. 2024). Il n'y a aucuns hôtes connus pour le CYVBV.

7.4.3. Symptômes

Bien que le CaMMV et le CYVBV causent moins de dégâts que certaines souches de CSSV en Afrique de l'Ouest, les premiers chercheurs à Trinidad ont signalé une baisse de rendement et un dépérissement des branches sur les arbres infectés (Baker and Dale 1947, Cope 1953). Une étude préliminaire a trouvé récemment que les semis infectés par le CaMMV étaient plus susceptibles aux maladies causées par le *Lasiodiplodia theobromae*, un des pathogènes les plus répandus qui causent les stries vasculaires sur le cacao (Puig, 2022). Aucun gonflement de la tige n'a été observé, mais les plantes infectées développent plusieurs symptômes sur les feuilles et les cabosses.

Les cabosses des arbres infectés par le CaMMV peuvent développer des mosaïques, des marbrures, des îlots chlorotiques et une déformation (Fig 7.4.1). Les symptômes foliaires courants sont les suivants : bandes rouges le long des nervures, pigmentation rose près des nervures et des bords, mosaïque et bandes jaunes le long des nervures (Fig 7.4.2). La marbrure rouge, symptôme pour lequel ce virus a été initialement nommé, peut se développer à la fois sur les feuilles et les cabosses.

En revanche, le CYVBV est caractérisé par des bandes jaunes dans les nervures majeures et mineures et mineures des feuilles matures qui peut être accompagnée d'une bande rouge.

7.4.4. Transmission

Les deux virus sont transmis par plusieurs espèces de cochenilles et par l'utilisation de matériel infecté lors de greffes, même à partir de tissus asymptomatiques. *Planococcus citri* est considéré comme le vecteur primaire à Trinidad en raison de son abondance, de sa mobilité et de sa capacité à transmettre à la fois le CaMMV et le CYVBV. Quatre autres espèces ont été confirmées comme vecteurs du CaMMV : *Dysmicoccus brevipes*, *D. sp. near brevipes*, *Ferrisia virgata* et *Pseudococcus comstocki*. Cependant, les infections étaient caractérisées par des périodes de latence plus longues que celles observées pour le CSSV. Lorsqu'on laissait les cochenilles infectieuses se nourrir sur les fèves de cacao avant la plantation, les périodes de latence allaient de 40 à 178 jours dans les études de transmission du CaMMV (Kirkpatrick 1950, Kirkpatrick 1953). Peu d'études de transmission ont été réalisées avec le CYVBV, aussi seules deux espèces (*Pl. citri* et *D. sp. near brevipes*) ont été

confirmées comme vecteurs. Dans ces études, les symptômes sont apparus 41-91 jours après l'alimentation. Aucune transmission de CYVBV n'a été observée avec *D. brevipes* (Kirkpatrick 1950).

Après la transmission par greffe, les symptômes du virus apparaissent lorsque de nouvelles feuilles (flush) sont produites. Les expériences de transmission ont montré des périodes d'incubation de 34-125 jours avec le CaMMV, et de 45-136 jours avec le CYVBV (Posnette 1944, Baker et Dale 1947). Comme ces virus sont répartis de manière inégale dans les cacaoyers, tous les bourgeons prélevés sur des plantes infectées ne transmettent pas le virus. Les premiers tests de transmission ont montré qu'environ 50% des arbres greffés développaient des symptômes du virus lorsque du bois de greffe provenant d'arbres infectés était utilisé pour la propagation (Posnette 1944).

En Floride, Puig et al. (2021) ont trouvé *Pseudococcus jackbeardsleyi*, *Maconellicoccus hirsutus*, *Ps. comstocki* et *F. virgata* se nourrissant sur des cacaoyers infectés par le CaMMV (listés par ordre décroissant d'abondance). Bien que *P. jackbeardsleyi* et *M. hirsutus* aient été signalés sur des cacaoyers infectés par le CSSV en Côte d'Ivoire (N'Guessan et al. 2019), leur capacité à transmettre les virus du cacaoyer n'a pas été évaluée. L'acquisition du virus a été estimée à partir de l'ADN des cochenilles à l'aide d'une PCR nichée récemment développée (Puig 2021b), et des séquences CaMMV ont été obtenues à partir d'un sous-ensemble (34,6 à 44,6 %) des quatre espèces. Des tests supplémentaires sont nécessaires pour déterminer si *P. jackbeardsleyi* et *M. hirsutus* peuvent transmettre le virus.

Récemment, la transmission par les semences a été signalée à partir de plantes mères infectées par le CaMMV (Puig 2021a). Dans des études de transmission menées avec des graines de cabosses hautement symptomatiques de Floride (USA), 57,6 et 64,3 % des plantules ont été testées positives pour le CaMMV six et douze semaines après la plantation, respectivement. Bien que la plupart des plantes aient développé des symptômes tels que la mosaïque foliaire et les bandes le long des nervures, ceux-ci n'étaient souvent présents que sur un sous-ensemble de feuilles (Puig 2021a). Une étude ultérieure utilisant seulement des cabosses moyennement symptomatiques en provenance de Hawaï et de Porto-Rico a démontré des taux de transmission de 17.5 et 41.7% pour les cabosses de chaque lieu, respectivement (Puig et al. 2023). Aucune information n'est disponible sur la transmission du CYVBV par les semences.

Des séquences intégrées de badnavirus, soit comme simple ou multiples copies, ont été récemment signalées dans des cacaoyers asymptomatiques appartenant à plusieurs groupes génétiques (Muller et al. 2021, Ullah and Dunwell 2023). Ces séquences intégrées, qui varient d'un génome partiel à un génome entier, sont significativement différentes de celles connues pour causer la maladie et sont

appelées eTcBV1 et eTcBV2 pour endogenous *Theobroma cacao* bacilliform virus 1 et 2. Bien qu'elles ne soient pas considérées infectieuses, il a été démontré que ces séquences intégrées affectent l'expression d'un gène hôte. Les séquences détectées jusqu'à présent sont les plus similaires à une région du génome du CYVBV (jusqu'à 72,5 % d'identité nucléotidique). Cependant, il n'existe aucune preuve spécifique de l'intégration du CaMMV ou du CYVBV dans le génome de *T. cacao* (Chingandu et al. 2017).

7.4.5. Morphologie des particules

Les particules virales n'ont pas été visualisées dans les tissus infectés par le CaMMV ou le CYVBV. On suppose qu'elles possèdent la morphologie caractéristique du genre Badnavirus.

7.4.6. Traitement

Aucun. Les plantes infectées ne peuvent pas être guéries. L'élimination du virus des greffons infectés a été tentée par des traitements à haute température (Posnette 1944) mais sans succès.

7.4.7. Méthodes de quarantaine et de détection

De multiples paires d'amorces sont disponibles pour la détection du CaMMV par PCR, y compris une PCR nichée capable de détecter plusieurs souches différentes. Les résultats des analyses de tissus foliaires indiquent que le virus est distribué de manière inégale et que les tissus pétioles devraient être utilisés dans les diagnostics moléculaires (Puig 2021b). Cependant, en raison de la grande variabilité génétique trouvée dans le CaMMV, il est possible que les amorces actuellement disponibles ne puissent pas détecter certaines souches.

Pour éviter les faux positifs dus à la présence de séquences badnavirales intégrées, le dépistage doit être effectué avec des amorces spécifiques pour le CaMMV et le CYVBV. L'identité des amplicons peut être confirmée par séquençage de Sanger.

Le test biologique actuel, où le greffon est greffé sur une plante indicatrice sensible (ICS 6 ou Amelonado), doit toujours être utilisé en parallèle des outils moléculaires. En plus des symptômes foliaires décrits ci-dessus, les plantes Amelonado peuvent également produire des feuilles presque blanches après une greffe avec un greffon infecté (Puig, non publié). Un nouveau test calorimétrique d'amplification isotherme à médiation par boucle (LAMP) pour la détection du CYVBV a été développé (Ullah et al. 2021).

En raison des preuves de la transmission du CaMMV par les semences, il faut être prudent lors du transport des cabosses. Dans les zones où le CaMMV est présent, les graines cultivées pour les porte-greffes ne doivent être prélevées que sur des arbres qui ont été dépistés pour le virus. Il n'existe aucune étude sur la transmission du CYVBV par les semences.



Figure 7.4.1. Cabosses d'arbres infectées par le CaMMV affichant plusieurs symptômes comme (a) une mosaïque rouge, (b) une marbrure, (c) des îlots chlorotiques, et (d) une déformation (AS Puig, non publié)

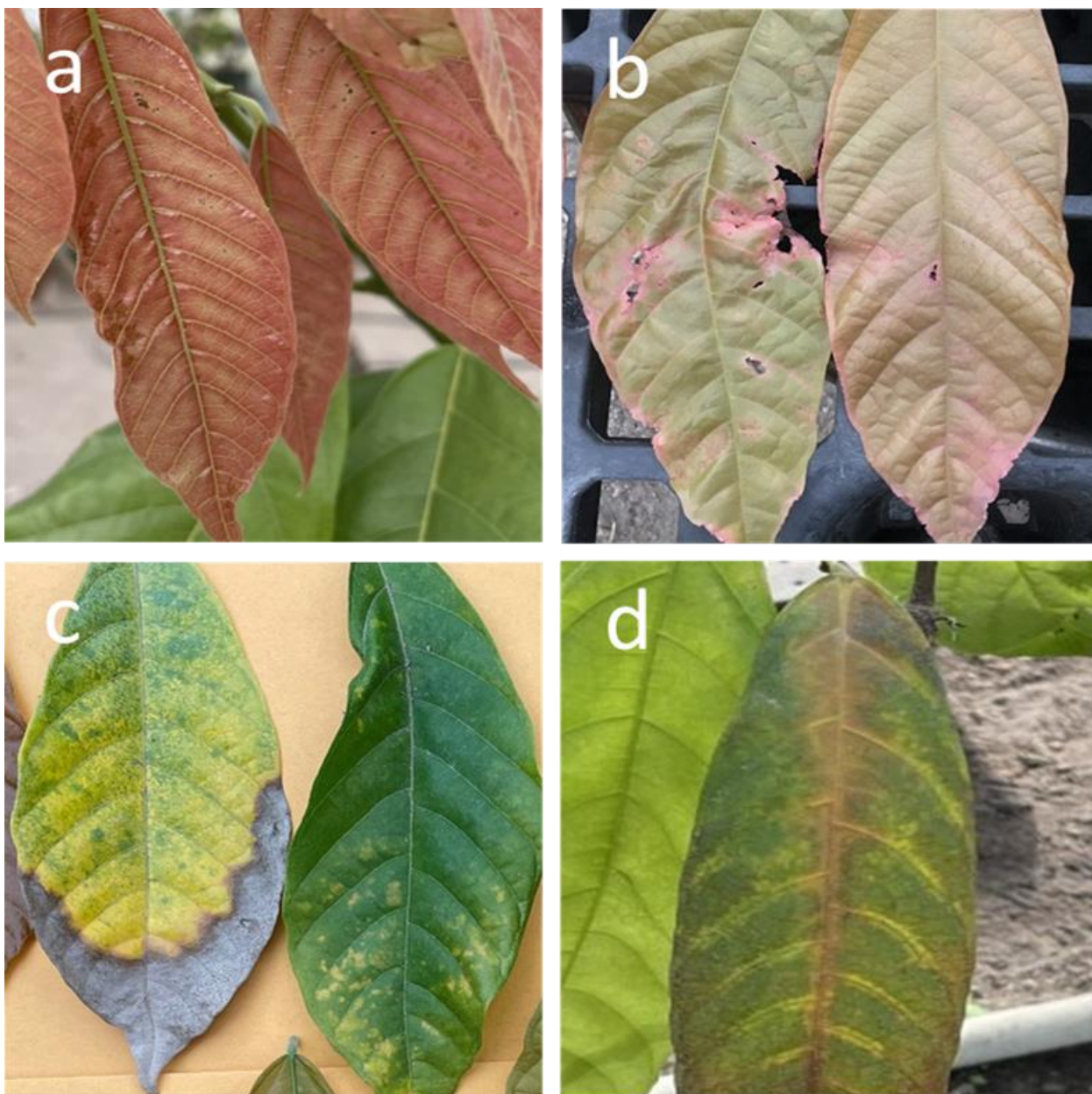


Figure 7.4.2. Symptômes foliaires d'arbres infectés par le CaMMV : (a) bande rouge le long des nervures des jeunes feuilles, (b) pigmentation rosée proche des nervures et des bords de la feuille, (c) mosaïque sur feuilles matures, et (d) bande jaune le long des nervures et nécrose de la nervure centrale (AS Puig, non publié)

7.4.8. Références et lectures complémentaires

Baker RED, Dale WT. 1947. Virus diseases of cacao in Trinidad-II. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 24: 127

Brill E, M Vilalun TK Matsumoto, AS Puig, LM Keith. 2024. First report of Cacao mild mosaic virus associated with cacao (*Theobroma cacao*) in Hawaii, USA. *Plant Disease*. Accepted Sept 2024.

- Chingandu N, Sreenivasan TN, Surujdeo-Maharaj S, Umaharan P, Gutierrez OA, Brown JK. 2017. Molecular characterization of previously elusive badnaviruses associated with symptomatic cacao in the New World. *Archives of Virology* 162(5) : 1363-1371. <https://doi.org/10.1007/s00705-017-3235-2>
- Cope FW. 1953. Statistical studies in the effects of virus infection upon yield in clonal cacao. In Report on cocoa research 1945–51. Imperial College of Tropical Agriculture, University of West Indies, St. Augustine, Trinidad. p. 126-129.
- Kandito A, Hartono S, Trisonyo YA, Somowiyarjo S. 2022. First report of Cacao mild mosaic virus associated with cacao mosaic disease in Indonesia. *New Disease Reports* 45(2): e12071. <https://doi.org/10.1002/ndr2.12071>
- Kandito A, Hartono S, Trisonyo YA, Somowiyarjo S. 2024. Geographical distribution of emerging cacao mosaic disease caused by cacao mild mosaic virus (Badnavirus tesellotheobromae) in Indonesia. *Journal of Phytopathology* 172(1): e13268. <https://doi.org/10.1111/jph.13268>
- Kirkpatrick TW. 1950. Insect transmission of cacao virus disease in Trinidad. *Bulletin of Entomological Research* 41(1) : 99-117. <https://doi.org/10.1017/S0007485300027504>
- Kirkpatrick TW. 1953. Insect pests of cacao and insect vectors of cacao virus diseases. Pages 130-131 in : *Cocoa Research 1945-1951*. Imperial College of Tropical Agriculture, Trinidad and Tobago
- Muller E, Ullah I, Dunwell JM, Daymond AJ, Richardson M, Allainguillaume J, Wetten A. 2021. Identification and distribution of novel badnaviral sequences integrated in the genome of cacao (*Theobroma cacao*). *Scientific reports* 11(1) : 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87690-1>
- N'Guessan PW, Yapi A, N'Guessan FK, Kouamé NND, Gouamené CN, Aka RA, Coulibaly K, Tahi MG, Koné B, Kassin EK, Assi EM. 2019. Inventory and abundance of mealybug species in immature and mature cocoa farms in Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Entomology* 143(10) :1065-1071. <https://doi.org/10.1111/jen.12707>
- Posnette AF. 1944. Virus diseases of cacao in Trinidad. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 21(6): 105-106.
- Puig AS, Ramos-Sobrinho R, Keith CV, Kitchen N, Gutierrez OA, Goenaga R, Brown JK. 2020. First report of Cacao mild mosaic virus (CaMMV) associated with symptomatic commercial cacao (*Theobroma cacao* L.) trees in Puerto Rico. *Plant Disease* 104(11) : 3089 <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-20-0745-PDN>
- Puig AS. 2021a. Seed transmission of a cacao virus from the Americas and the implication on crop cultivation and movement of germplasm. *Plant Health Conference Online*. August 2-6, 2021
- Puig AS. 2021b. Detection of *Cacao Mild Mosaic Virus* (CaMMV) Using nested PCR and evidence of uneven distribution in leaf tissue. *Agronomy* 11(9) : 1842. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091842>
- Puig AS, Wurzel S, Suarez S, Marelli JP, Niogret J. 2021. Mealybug species (Hemiptera : Pseudococcidae) associated with Cacao mild mosaic virus and evidence of virus acquisition. *Insects* 12(11), 994. <https://doi.org/10.3390/insects12110994>
- Puig AS. 2022. Branch dieback on *Theobroma cacao* infected with Cacao mild mosaic virus. *Phytopathology* 112: S3.1. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-112-11-S3.1>
- Puig AS, Medina Rodriguez V, Keith LM, Matsumoto Brower T. 2023. Epidemiology of cacao mild mosaic virus (CaMMV). *International Congress of Plant Pathology*, France, August 20-25, 2023.
- Puig AS, Medina Rodriguez V, Keith LM. 2024a. Alternative hosts of cacao mild mosaic virus. *APS Caribbean Division Meeting*, Mexico, April 15-17, 2024
- Puig AS, Medina Rodriguez V, Keith LM, Dunwell JM, Ullah I. 2024b. Fruit and ornamental plants are natural hosts of cacao mild mosaic virus (CaMMV). [Manuscript submitted for publication].
- Ramos-Sobrinho R, Ferro MM, Nagata T, Puig AS, Keith CV, Britto DS, Gutierrez OA, Marelli JP, Brown JK. 2021. Complete genome sequences of three newly discovered cacao mild mosaic virus isolates from *Theobroma cacao* L. in Brazil and Puerto Rico and evidence for recombination. *Archives of Virology* 166 : 2027–2031. <https://doi.org/10.1007/s00705-021-05063-5>
- Sreenivasan, T. 2009. The enigma of the ICS 76 plants at Reading, UK. Report for CRU, University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad

- Ullah, I, Daymond, AJ, Hadley, P, End, MJ, Umaharan, P, Dunwell, JM. 2021. Identification of Cacao Mild Mosaic Virus (CaMMV) and Cacao Yellow Vein-Banding Virus (CYVBV) in Cocoa (*Theobroma cacao*) Germplasm. *Viruses* 13(11) : 2152. <https://doi.org/10.3390/v13112152>
- Ullah I, Dunwell JM. 2023. Bioinformatic, genetic and molecular analysis of several badnavirus sequences integrated in the genomes of diverse cocoa (*Theobroma cacao* L.) germplasm, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(5), 103648. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103648>

7.5. Cacao polerovirus (CaPV), Cacao Leaf Roll Virus (CaLRV): genre Polerovirus

Ihsan Ullah¹, Jim Dunwell²

¹University of Reading, Reading, UK. Email: I.Ullah@reading.ac.uk

²University of Reading, Reading, UK. Email: J.M.Dunwell@reading.ac.uk

Récemment, plusieurs études basées sur des techniques moléculaires et des approches bio-informatiques ont rapporté la détection d'espèces d'un virus à ARN à brin positif, un membre du genre polerovirus, dans les plantes de cacao. Le polerovirus est un genre diverse qui infecte un large éventail de plantes, des monocots aux eudicots. Des séquences partielles semblables au polerovirus, désignées comme cacao leafroll virus (CaLRV), ont été rapporté pour la première fois dans quatre plantes de cacao au sein des installations de quarantaine de USDA-ARS-SHRS (Adegbola et al. 2023). Un cotton leafroll dwarf virus (CLRVDV) a été rapporté dans les cacaoyers à Bahia au Brésil, présentant des symptômes similaires à ceux d'un virus. (Ramos-Sobrinho et al. 2022). Le séquençage Illumina et la RT-PCR des échantillons de feuilles de cacao a confirmé que les virus détectés sont étroitement liés. Une étude ultérieure approfondie sur la présence de ce virus dans le cacao était basée sur une combinaison d'analyse bio-informatique de la base de données Sequence Read Archive (SRA) (échantillon provenant à l'origine de IC3 CATIE) et de l'analyse moléculaire d'échantillons de feuilles de plantes dans le cadre de l'ICQC, R (Ullah et al. 2023). Cette analyse a permis d'identifier des plantes positives au virus provenant d'un large éventail de germoplasmes différents. Les conclusions principales de cette étude, en terme de caractérisation moléculaire, ont été ultérieurement confirmées par Adegbola et al. (2024) qui ont étudié des échantillons de plantes symptomatiques de cinq accessions conservées à l'USDA-ARS-SHRS, et a réitéré la désignation de CaLRV.

7.5.1 Distribution Géographique

Bien que le virus n'ait seulement été identifié dans des échantillons provenant des Amériques (Costa Rica, Brésil) jusqu'à présent, sa présence dans d'autres pays n'a pas encore été enquêtée.

7.5.2 Hôtes

Aucuns hôtes alternatifs n'ont encore été rapporté bien que le CLRDV étroitement lié a été détecté dans 23 espèces d'herbes qui poussent à côté de champs de coton en Géorgie, USA (Sedham et al. 2021).

7.5.3 Symptômes

Certaines plantes qui ont testé positives pour le Polerovirus présente des symptômes similaires à ceux d'un virus, tels que le mosaïcisme foliaire, la clairance veineuse et des taches jaunes (Ramos-Sobrinho et al. 2022), ou la distorsion des feuilles avec un enroulement des feuilles vers le bas, et la décoloration et malformation des feuilles (Adegbola et al. 2023, 2024). Cependant, il n'existe pas encore de preuves permettant d'établir un lien définitif entre la présence du virus et de symptômes spécifiques, car le virus CaPV a été détecté dans des plantes asymptomatiques ainsi que dans celles avec de la clairance veineuse (Ullah et al. 2023), de plus, certaines feuilles présentant des symptômes semblables ne testent pas positives pour le virus (Ramos-Sobrinho et al. 2023, Ullah et al. 2023). Il est possible que la symptomatologie soit causée par une combinaison de virus, le génotype du cacao et d'autres stress nutritionnels et environnementaux. Jusqu'à présent, on ne sait pas quel impact (le cas échéant) le virus a sur la croissance et le rendement du cacao.

7.5.4 Transmission

On sait que les polerovirus tels que le cotton leafroll dwarf virus (CLRDV) son transmis par les pucerons (Edula et al. 2023, Hoffman et al. 2001), bien qu'il n'existe pas de telles preuves expérimentales issues du cacao. Il n'existe aucune information concernant la transmissibilité par les greffes ou les graines.

7.5.5 Morphologie des Particules

Aucune étude n'a encore été entreprise pour visualiser les particules virales dans les tissus infectés par le CaPV. On suppose qu'ils ont une morphologie caractéristique du genre Polerovirus.

7.5.6 Remèdes

Aucunes études concernant des méthodes pour éliminer le virus de plantes infectées n'ont été rapportées.

7.5.7 Quarantaine et Méthodes de Détection

La variabilité, voire l'absence, des symptômes visuels dans les matériels infectés rend ce virus difficile à détecter à l'aide des procédures d'indexation de virus standard. Les tests RT-PCR multiplex qui comprennent un ensemble d'amorces spécifiques au CaPV et un ensemble d'amorces de la protéine porteuse 1 de l'acyle du cacao (ACP1) comme contrôle interne sont décrits dans Ullah et al. (2023).

7.5.8 Références et Lectures Complémentaires

- Adegbola RO, Keith CV, Gutierrez OA, Goenaga RJ, Brown JK. 2023. A previously undescribed Polerovirus (Solemoviridae) infecting *Theobroma cacao* germplasm. *Plant Disease* 107: 975. https://doi.org/10.1094/PDIS-06-22-1449-PDN_
- Adegbola RO, Keith CV, Gutierrez O, Goenaga R, Brown JK. 2024. Complete genome characterization of cacao leafroll virus, a newly described cacao-infecting polerovirus. *Archives of Virology* 169(4):83. <https://doi.org/10.1007/s00705-024-06013-7>
- Edula SR, Bag S, Milner H, Kumar M, Suassuna ND, Chee PW, Kemerait RC, Hand LC, Snider JL, Srinivasan R, Roberts PM. 2023. Cotton leafroll dwarf disease: An enigmatic viral disease in cotton. *Molecular Plant Pathology* 24(6): 513-526. <https://doi.org/10.1111/mpp.13335>
- Hoffmann K, Verbeek M, Romano A, Dulleman AM, Van den Heuvel JFJM, Van der Wilk F. 2001. Mechanical transmission of poleroviruses. *Journal of Virological Methods* 91: 197–20. [https://doi.org/10.1016/S0166-0934\(00\)00256-1](https://doi.org/10.1016/S0166-0934(00)00256-1)
- Ramos-Sobrinho R., Ferro MMM, Lima GSA, Nagata T. 2022. First report of Cotton Leafroll Dwarf Virus infecting cacao (*Theobroma cacao* L.) trees in Brazil. *Plant Disease* 107: 1251. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-22-1570-PDN>
- Ullah I, Kamran M, Dunwell JM. 2023 Identification of a novel polerovirus in cocoa (*Theobroma cacao*) germplasm and development of molecular methods for use in diagnostics. *Pathogens* 12: 1284. <https://doi.org/10.3390/pathogens12111284>
- Sedhain NP, Bag S, Morgan K, Carter R, Triana P, Whitaker J, Kemerait RC, Roberts PM. 2021. Natural host range, incidence on overwintering cotton and diversity of cotton leafroll dwarf virus in Georgia USA. *Crop Protection* 144: 105604. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105604>

7.6. Autres virus et maladies de type viral

Mis à jour : Alina S. Puig

USDA-ARS, Fort Detrick, Maryland, USA. USA. Email : alina.puig@usda.gov

Le virus de la mosaïque a été signalé en Indonésie en 1962 et on pensait qu'il était similaire aux virus du Swollen shoot du cacaoyer en Afrique de l'Ouest. Les premiers travaux de H. Semangun ont montré qu'il était transmis par greffage et par les cochenilles. Les particules virales visualisées dans les arbres infectés étaient bacilliforme ; ce qui est typique du genre Badnavirus (Kenten et Woods 1976, Probawati 2019). Les symptômes comprennent une bande rouge le long des nervures (Red vein banding), une mosaïque et une décoloration chlorotique en forme de plume sur les feuilles ; cependant, aucun œdème de la tige n'a été observé sur les arbres infectés en Indonésie. Probawati et al. (2019) ont montré que les séquences obtenues à partir de plantes infectées en Indonésie ressemblaient étroitement aux séquences virales d'Afrique de l'Ouest, telles que le Cacao swollen shoot Togo A virus (AJ781003) et l'isolat New Juaben du CSSV (AJ608931).

Au Sri Lanka (anciennement connu sous le nom de Ceylan), des cacaoyers

présentant des symptômes de mosaïque foliaire et de gonflement de la tige ont été documentés (Peiris 1953, Orellana et Peiris 1957). Des essais en laboratoire ont révélé que *Planococcus citri* et *Planococcus lilacinus*, les cochenilles farineuses les plus répandues dans la région, pouvaient transmettre le virus (Carter 1956). En 2018, un génome complet du virus (7215 pb) a été obtenu à partir d'une feuille symptomatique du Sri Lanka (Muller et al. 2018). Cette nouvelle espèce a été nommée Cacao bacilliform Sri Lanka virus (CBSLV) et partageait 65.9 % d'identité nucléotidique avec le génome de l'isolat Gha25-15 du Cacao swollen shoot Togo A (MF642716).

Des maladies de type viral ont été signalées sur le cacaoyer au Venezuela, en Colombie et en République dominicaine (Posnette et Palma 1944, Ciferri 1948). Des tests de transmission ont été effectués en République dominicaine, et il a été démontré que la maladie était transmissible par greffe (Ciferri 1948). Cependant, aucune autre étude n'a été menée.

7.6.1. Références et lectures complémentaires

- Carter W. 1956. Notes on some mealybugs (Coccidae) of economic importance in Ceylon. *FAO Plant Protection Bulletin* 4 : 49.
- Ciferri R. 1948. Una virosis del cacao en Colombia y en la República Dominicana. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 8(29-30) : 79-84.
- Kenten RH, Woods RD. 1976. A virus of the cacao swollen shoot group infecting cocoa in North Sumatra. *PANS* 22 :488-490. <https://doi.org/10.1080/09670877609414338>
- Orellana RG and Peiris JWL. 1957. The swollen shoot phase of the virus disease of cacao in Ceylon. *FAO Plant Protection Bulletin*. 5 : 165-168
- Muller E, Ravel S, Agret C, Abrokwa F, Dzahini-Obiatey H, Galyuon I, Kouakou K, Jeyaseelan EC, Allainguillaume J, Wetten A. 2018. Next generation sequencing elucidates cacao badnavirus diversity and reveals the existence of more than ten viral species. *Virus Research* 244 :235-251. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2017.11.019>
- Peiris JWL. 1953. A virus disease of Cacao in Ceylon. *Tropical Agriculturist* 109(2) : 135-138.
- Posnette AF, Palma M. 1944. Observations on cacao on the Paria peninsula, Venezuela. *Tropical Agriculture* 21(7).
- Probowati W, Somowiyarjo S, Hartono S. 2019. Molecular characterization of Mosaic Virus from the cocoa trees showing mosaic symptoms in Yogyakarta, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20 (12). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201232>

8. Maladies causées par des champignons et des oomycètes

Parmi les différentes maladies affectant les cacaoyers, les maladies dues aux champignons et aux oomycètes constituent une contrainte majeure. Certaines sont répandues dans le monde alors que d'autres sont limitées aux régions de culture du cacaoyer situées dans les Amériques, en Afrique et en Asie du Sud-Est. Dans les sections suivantes, différents experts ont résumé les informations de base sur les différentes maladies considérées d'importance économique. Une compilation des résultats de la recherche concernant la pourriture brune, la moniliose et la maladie du balai de sorcière a été publiée par Fulton (1989) et un inventaire exhaustif des pathogènes du cacaoyer est décrit par Bailey et Meinhardt (2016).

Références

- Bailey BA, Meinhardt LW. (Editors) 2016. Cacao Diseases : A History of Old Enemies and New Encounters. Springer International, Switzerland.
- Fulton RH. 1989. The cacao disease trilogy : black pod, Monilia pod rot, and witches' broom. *Plant Disease* 73 :601-603. <https://doi.org/10.1094/PD-73-0601>

8.1. Maladie du balai de sorcière du cacaoyer

Mise à jour : Karina P Gramacho¹ Nara G R B Patrocínio^{1,2} et Rayanne F Pereira^{1,2*}

¹CEPLAC/CEPEC/SEFIT. Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 22. Itabuna, BA, Brésil

Email : karina.gramacho@agro.gov.br, gramachokp@hotmail.com

²Biologiste moléculaire, Ilhéus, BA, Brésil. Email : ngrbpatrocinio@uesc.br

*Email : rayanne_frp@hotmail.com

8.1.1. Agent causal

Moniliophthora perniciosa (Stahel) Aime & Phillips-Mora (Syn. *Crinipellis perniciosa*) cause une maladie destructive connue sous le nom de la maladie du balai de sorcière (WBD). La WBD a mené à des baisses conséquentes dans la production du cacao et, dans certains cas, a causé l'abandon complet de plantations dans les régions affectées.

Deux biotypes principaux s'expriment au sein de la variabilité existante pour ce champignon : le biotypes C (sur le cacao et ses espèces proches) et S (sur la solanacée). Des variants du biotype C semblent exister en fonction de l'origine géographique (par exemple Équateur, Pérou, Brésil, Bolivie).

8.1.2. Symptômes

Monliophthora perniciosa peut infecter tous les tissus en croissance active (tiges, coussinets floraux, cabosse(fruits)), induisant divers symptômes qui dépendent de l'organe végétal infecté. Le champignon a une longue période d'incubation (généralement 4-6 semaines) entre la pénétration initiale et l'apparition des symptômes ; plus courte pour les infections systémiques des fleurs. Les symptômes typiques sont les balais végétatifs (balai plagiotrope / orthotrope) qui se développent suite à l'infection d'un bourgeon apical actif sur une tige allongée donnant naissance à des balais terminaux et axillaires. Des œdèmes de la tige, du pétiole ou du pulvinus se forment suite à l'infection de l'axe principal au niveau d'un entre-nœud ou d'un nœud concerné. La mort du tissu pulvinus entraîne la mort de la feuille sans abcès, donnant une feuille nécrotique. Les balais sont initialement verts et se nécrosent après plusieurs semaines. Les balais nécrosés peuvent rester attachés ou tomber dans la canopée ou à la surface du sol. Les symptômes du balai de sorcière sont représentés sur les Fig. 8.1.1 et Fig. 8.1.2.

L'infection des coussinets floraux peut rester asymptomatique ou produire des balais végétatifs, des fleurs anormales, des fruits en forme de carotte ou de fraise (chrimoya ; fruit sans graines) (Fig. 8.1.2 C).

Les cabosses peuvent être infectées à n'importe quel stade mais sont plus sensibles jeunes (de 0 à 2 mois). Les cabosses infectées souffrent d'hypertrophie, de déformation, de maturation précoce et de nécrose externe, qui s'installe avant que la cabosse n'atteigne sa taille maximale et se répand rapidement sur toute la surface. La nécrose externe se développe sur les gousses matures directement infectées entre 11 et 13 semaines après la pénétration du champignon. La forme de cette nécrose dépend de l'âge du fruit infecté et du génotype de l'arbre. Les zones infectées peuvent rester tuméfiées à mesure que le reste du fruit meurt. Le niveau des dommages internes dépend du moment où l'infection se produit et peut varier d'une pourriture aqueuse à une agglutination des fèves desséchées et compactées. Bien que, dans la plupart des cas, les fèves soient partiellement/complètement cimentées entre elles et à la paroi du fruit, les infections des cabosses en cours de maturation peuvent entraîner des zones nécrotiques localisées sur les parois du fruit, certaines graines conservant leur viabilité.

Pour plus de détails sur la symptomatologie de la maladie, voir Purdy et Schmidt (1996) et Silva et al. (2002).

8.1.3. Distribution géographique

Originaire du bassin amazonien, la maladie du balai de sorcière a été signalée pour la première fois en 1895 au Suriname et s'est rapidement propagée au cours des 30 années suivantes dans les régions productrices proches du bassin amazonien. La maladie est actuellement présente en Bolivie, au Belize (rapport non corroboré), au

Brésil (Bahia, Pará, Rondônia, Espírito Santo, régions amazoniennes, Mato Grosso, Minas Gerais (biotype S, voir ci-dessous), en Colombie, en Équateur, en Guyane française, à Grenade, en Guyane, au Panama (au sud du canal de Panama), au Pérou, à Sainte-Lucie (Kelly et al. 2009), à Saint-Vincent, au Suriname, à Trinidad-et-Tobago et au Venezuela. En 2019, un champignon à pigmentation rose a été trouvé fructifiant sur des branches non identifiées de la Serra Vamba d'Angola, qui a ensuite été identifié comme *Monliophthora perniciosa*, allié au biotype C de l'espèce et étroitement lié aux types trouvés en Amérique latine (Aime et al. 2024). Bien que l'Angola ne soit pas un grand producteur de cacao, la présence du champignon dans l'hémisphère oriental est préoccupante, ce qui souligne la nécessité de sensibiliser à la menace potentielle pour l'industrie cacaoyère en développement en Angola et dans les pays voisins, de renforcer la surveillance et d'introduire des mesures pour prévenir sa propagation.

8.1.4. Hôtes

Le champignon est endémique de la région amazonienne, non seulement chez le cacaoyer sauvage mais aussi chez le cacaoyer cultivé. L'espèce *M. perniciosa* est constituée de populations géographiquement séparées (Ploetz et al. 2005, Patrocínio et al. 2017) qui infectent une large gamme d'hôtes. Sur la base de la spécificité de l'hôte, le champignon a été regroupé en quatre biotypes en fonction de la gamme d'hôtes : C (Malvaceae) ; H (Malpighiaceae) ; L (Bignoniaceae), et S (Solanaceae). Les hôtes les plus importants sont les espèces de la famille des Malvaceae : *Theobroma cacao* (cacao), *T. grandiflorum* (cupuaçu), *T. sylvestris*, *T. obovata*, *T. bicolor*, *Herrania* spp.

Les hôtes alternatifs incluent *Bixa orellana* (Famille : Bixaceae), *Solanum cernuum*, *S. grandiflorum* var. *Setosum*, *S. paniculatum* L. (jurubeba), et *S. stipulaceum*, (caçara), *S. lasiantherum*, *S. rugosum*, *S. lycocarpum* (tomate), *S. melongena* (aubergine), *Capsicum annuum* L. (poivre), *C. frutescens* (piment), *Athenaeum pogogena* (Famille : Solanaceae) ; *Banisteriopsis caapi*, *Mascagnia* cf. *Sepium*, *Stigmaphyllon blanchetti*, (Famille : Malpighiaceae) ; *Arrabidaea verrucosa* (Famille : Bignoniaceae).

Pour une revue de la présence de *M. perniciosa* sur des hôtes putatifs, voir De Souza et al. (2018), Evans (2016), Lisboa et al. (2020), Patrocínio et al. (2017).



Figure 8.1.1. Symptômes au champ de WBD : a) canopée balai végétatif terminal, b) balai végétatif développé d'un coussinet floral c) fruits de fraise. Source: Ceplac/Cepec/Fitomol-Lab

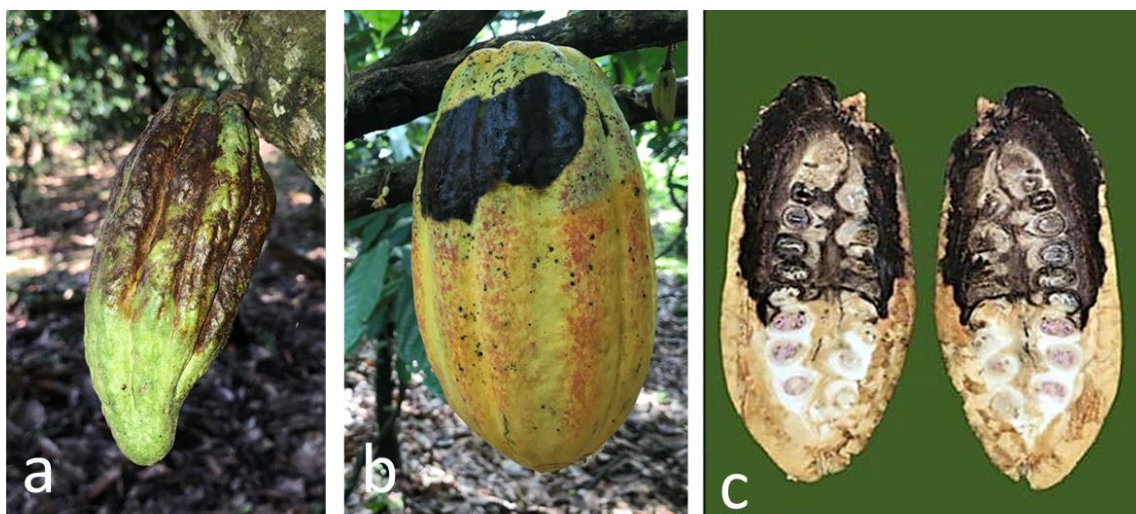


Figure 8.1.2. Symptômes de la maladie du balai de sorcière sur des fruits : A) gonflements et distorsions, b) lésion nécrotique externe, et c) nécrose interne avec des fèves aqueuses. Source: Ceplac/Cepec/Fitomol-Lab

8.1.5. Biologie

M. perniciosa est un champignon hémibiotrophique, homothallique, avec une longue phase biotrophique (45-60 jours) (Purdy et Schmidt 2006). Les basidiospores, les seules propagules infectieuses, sont produites sur les basidies situées sur la face inférieure des chapeaux des Basidiocarpes (basidiomata) semblables à des champignons roses/rouges, environ 4 à 8 semaines après le début de la pluie. Les Basidiocarpes peuvent seulement se former sur les tissus nécrosés, tel que la tige,

les graines/fèves, les nervures foliaires ou les tissus des fruits qui ont subi une nécrose (Fig. 8.1.3 A-C).

Le vent est le premier mode de dissémination des spores, bien que la dispersion puisse également se faire par l'eau et par l'homme. Les basidiospores étant sensibles à la lumière ultraviolette et facilement desséchées, elles perdent rapidement leur capacité de germination (Purdy et Schmidt, 1996). Par conséquent, l'agent pathogène est susceptible d'être dispersé sur de longues distances seulement en introduisant du matériel malade par l'action anthropique, car le champignon peut survivre en tant qu'infection cachée dans certaines parties de la plante (voir la section Précautions de Quarantaine ci-dessous). Les spores ont de multiples modes de pénétration et peuvent infecter directement à travers l'épiderme, la base des trichomes et/ou les stomates (Sena et al. 2014, Meraz-Pérez et al. 2021). Peu après l'infection, l'agent pathogène établit une phase biotrophique. Cependant, l'infection peut devenir latente, et les symptômes se développeront quand la plante recommence sa croissance sous des conditions adéquates d'humidité (80%) et de température (25°C) (Purdy and Schmidt 1996, Silva et al. 2002). La longueur de la phase biotrophique variera selon des facteurs tels que la souche du WBD, le génotype de l'hôte, la nutrition de la plante et les conditions environnementales. Après le passage à la phase nécrotrophe, *M. perniciosa* survit comme saprophyte dans les balais secs, les cabosses momifiées, les coussinets floraux et les bourgeons dormants infectés. Ces infections ont une importance épidémiologique car elles permettent la survie du champignon entre les périodes successives de croissance et de fructification des plantes. Bien que des chlamydospores aient été signalées dans les balais secs, leur rôle dans le cycle de vie n'est pas bien compris. Cependant, elles pourraient représenter une phase de dormance après l'infection de l'hôte (Meinhardt et al. 2008).



Figure 8.1.3. Production de basidiocarpe sur (a) fruits de cacao nécrosés, (b) nervure foliaire du cacao et (c) tiges (balai séché) de cacaoyer.

8.1.6. Mesures de détection

Dans certains cas, les symptômes liés au WBD sont très semblables à ceux d'autres maladies cacaoyères tel que le black pod rot (*Phytophthora* spp.) et le frosty pod rot (*M. roreri*). L'isolation et l'identification des pathogènes nécessite des connaissances spécialisées.

L'espèce est identifiée au biais d'une combinaison d'analyses morphologiques et moléculaires. Les diagnostics moléculaires cible trois loci spécifiques – le gène ribosomal 28S RNA (28S), la région d'espacement transcrit interne (ITS) de la répétition d'ADNr, et le facteur d'allongement de translation 1- α (EF1 α) spécifiquement conçu pour les membres de la famille des Marasmiaceae (Aime and Phillips-Mora 2005). Une PCR spécifique à l'espèce permettant d'identifier *M. pernicioso* à partir d'une culture pure est également disponible (da Silva et al. 2022).

8.1.7. Mesures de quarantaine

Les parties végétales suivantes sont susceptibles de véhiculer l'agent pathogène dans les échanges et les transports :

- Fruits (cabosses) : organes de fructification (externes) et/ou hyphes (internes)
- Feuilles : Hyphes (Interne)
- Tiges (au-dessus du sol)/pousses/troncs/branches : organes de fructification, hyphes (externe) et/ou hyphes (interne) ; généralement visible à l'œil nu.
- Graines : hyphes (interne), invisibles à l'œil nu.

Il n'est pas recommandé de déplacer ces parties de végétaux dans des zones indemnes de maladies à l'intérieur d'un pays ou d'une région, sauf si le matériel peut être transféré par une installation de quarantaine. L'existence de sous-populations au sein du biotype C (par exemple, selon leur pays : Équateur, Pérou, Brésil, Bolivie) avec différents niveaux de virulence, ainsi que le potentiel de pathogénicité croisée entre les biotypes, rendent les précautions de quarantaine essentielles même lors du déplacement de matériel végétal entre des zones où sévit la maladie. Pour la même raison, l'échange de matériel malade et d'isolats du champignon pour la recherche entre régions/pays est déconseillé.

Moniliophthora pernicioso semble pouvoir être transmis par les graines, le transfert des fèves reste la méthode la plus sûre de transférer du matériel génétique. Les fèves peuvent être collectées sur des cabosses apparemment saines et traitées par un fongicide au cuivre ou un autre fongicide recommandé pour réduire le risque de transmission du pathogène.

Il est conseillé de maintenir le matériel nouvellement introduit dans une serre et sous stricte surveillance dans une station de quarantaine pendant au moins un an pour s'assurer de l'absence de maladie avant sa libération aux fins d'utilisation.

8.1.8. Références et lectures complémentaires

- Aime MC and Phillips-Mora W. 2005. The Causal agents of witches' broom and frosty pod of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) form a new lineage of Marasmiaceae. *Mycology* 97(5):1012-1022. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832751>
- Aime MC, Nzuzi AM, Lautenschläger T. 2024. *Moniliophthora perniciosa* in Angola, Africa-the first record in the eastern hemisphere. *Plant Disease* 108(5):1152-1156. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-23-1396-SR>
- CABI Crop Protection Compendium (<https://www.cabi.org/cpc/>)
- da Silva NJA, Reis SPM, Diorato VS, Rocha JSA, Barbosa CS, Ciampi-Guillardi M., Patrocínio NGRB, Niella GR, Solis K, Peñaherrera S, Manco MJS, Teixeira GA, Arévalo-Gardini E, Gramacho KP. 2022. A molecular diagnostic for *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao, that differentiates it from its sister taxon *Moniliophthora roreri*. *Crop Protection* 158: 106003. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106003>
- de Souza JT, Pereira Monteiro F, Ferreira MA, Gramacho KP, Martins ED, Luz N. 2018. In: Umaharan, P. (Ed.). *Achieving Sustainable Cultivation of Cocoa* (1st ed.). *Cocoa diseases: witches' broom*. pp. 239–270. <https://doi.org/10.19103/AS.2017.0021.14>
- Evans HC, 2016. Witches' Broom Disease (*Moniliophthora perniciosa*) : History and Biology. In : Bailey BA., Meinhardt LW, eds. 2016 *Cacao Diseases : a History of Old Enemies and New Encounters* Springer International Publishing, 137–177. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_5
- European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2021. Available from URL <https://gd.eppo.int/taxon/CRNPPE>.
- Kelly PL, Reeder R, Rhodes S, Edwards N. 2009. First confirmed report of witches' broom caused by *Moniliophthora perniciosa* on cacao, *Theobroma cacao*, in Saint Lucia. *Plant Pathology* 58 :798-798. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02024.x>
- Lisboa DO, Evans HC, Araújo JPM, Elias SG, Barreto RW. 2020. *Moniliophthora perniciosa*, the mushroom causing witches' broom disease of cacao : Insights into its taxonomy, ecology and host range in Brazil. *Fungal Biology* 124, 983–1003. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.09.001>
- Meinhardt LW, Rincones J, Bailey BA, Aime C, Griffiths GW, Zhang D, Pereira GAG. 2008. *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao : What's new from this old foe? *Molecular Plant Pathology* 9, 577–588. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00496.x>
- Meraz-Pérez IM, Carvalho MR, Sena KF, Soares YJB, Estrela Jnr AS, Lopes UV, dos Santos Filhos LP, Araújo SA, Soares VLF, Pirovani CP, Gramacho KP. 2021. The *Moniliophthora perniciosa*-Cacao pod pathosystem : Structural and activated defense strategies against disease establishment. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 115, 101656. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101656>
- Patrocínio NGRB, Ceresini PC, Gomes LIS, Resende MLV, Mizubuti ESG, Gramacho KP. 2017. Population structure and migration of the witches' broom pathogen *Moniliophthora perniciosa* from cacao and cultivated and wild solanaceous hosts in southeastern Brazil. *Plant Pathology* 66, 900–911. <https://doi.org/10.1111/ppa.12636>
- Ploetz RC, Schnell RJ, Ying Z, Zheng Q, Olano CT, Motamayor JC, Johnson ES. 2005. Molecular diversity in *Crinipellis perniciosa* with AFLPs. *European Journal of Plant Pathology* 111, 317–326. <https://doi.org/10.1007/s10658-004-3821-5>
- Purdy LH, Schmidt RA, 1996. Status of cacao witches' broom: Biology, Epidemiology, and Management. *Annual review of phytopathology* 34, 573–594. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.34.1.573>
- Sena K, Alemanno L, Gramacho KP. 2014. The infection process of *Moniliophthora perniciosa* in cacao. *Plant Pathology* 63, 1272–1281. <https://doi.org/10.1111/ppa.12224>
- Silva SDVM, Luz EDMN, Almeida OD, Gramacho K, Bezerra, JL. 2002. Redescritção da sintomatologia causada por *Crinipellis perniciosa* em cacaueiro. *Agrotropica* 1: 1–23

8.2. Moniliose

Mise à jour: Wilbert Phillips-Mora

Phytopathologiste du cacaoyer, San José, Costa Rica. Email : wphillip@catie.ac.cr

8.2.1. Agent causal

Moniliophthora roreri (Cif.) H.C. Evans, Stalpers, Samson & Benny.

8.2.2. Symptômes

En conditions naturelles, la maladie affecte seulement les cabosses. L'infection peut se produire dès les tous premiers stades du développement (0-3 mois) et la sensibilité à la maladie décroît avec l'âge des cabosses. Les fruits qui sont infectés très tôt dans leur développement meurent rapidement. Le champignon a une longue période d'incubation (3-4 semaines) entre la pénétration initiale et l'apparition des symptômes.

Symptômes externes du fruit : des petites lésions humides s'élargissant en zones nécrosées à délimitation irrégulière ; un ou plusieurs œdèmes (Fig. 8.2.1) et une maturation prématurée montrant différents modèles en mosaïque vert et jaune. Un stroma fongique blanc (Fig. 8.2.2) recouvre la zone nécrosée en 3-5 jours, avec la formation abondante de spores crème à brun clair. C'est le stade le plus caractéristique de la maladie sur le terrain. Après une période d'environ trois mois, les cabosses infectées se dessèchent et se momifient sur les arbres en restant attachées au tronc pendant de longues périodes (Fig. 8.2.3). Ces cabosses constituent une source majeure d'inoculum responsable de nouvelles vagues d'infection de la maladie pendant un long laps de temps.

Symptômes internes du fruit : Les chérelles infectées ne développent pas de graines et sont remplies de tissus gélatineux et désorganisés. Lorsque l'infection se produit à un stade ultérieur, les tissus du fruit, y compris des parties de l'enveloppe, du placenta, de la pulpe et des fèves s'agglomèrent en une masse compacte et homogène, dans laquelle il est difficile de distinguer les parties constituantes. Ces tissus baignent dans un liquide de décomposition résultant de la macération des tissus, rendant les cabosses plus lourdes que des cabosses saines. Les cabosses peuvent être partiellement ou totalement détruites, selon le stade de maturation où se produit l'infection.

8.2.3. Distribution géographique

M. roreri était confiné au nord-ouest de l'Amérique du Sud jusque dans les années 1950. Son apparition au Panama en 1956 a marqué un changement dans sa répartition géographique. Aujourd'hui, on la trouve dans 14 pays d'Amérique

tropicale. Cette maladie est présente en Colombie et en Équateur des deux côtés des Andes, à l'ouest du Venezuela, au Pérou, à Panama, au Costa Rica, au Nicaragua, au Honduras, au Guatemala, au Belize et au Mexique (Phillips-Mora et al. 2007). Elle a été décrite au Salvador (Phillips-Mora et al. 2010) et a aussi été détectée pour la première fois dans les Caraïbes en Jamaïque en 2016 (IPPC 2016, Johnson et al. 2017). Au Brésil, elle a d'abord été rapportée dans une zone urbaine de l'état d'Acre, proche de la frontière péruvienne en 2021 (CEPLAC 2021). En 2022, le pathogène a été détecté en attaquant les espèces *Theobroma* et *Herrania* dans d'autres cilles, telles que Tabatinga et Benjamim Constant, dans l'état d'Amazonas, près des frontières péruvienne et colombienne (communication personnelle, Ana Francisca Tiburcia, Universidad Federal de Amazonas).

8.2.4. Hôtes

Apparemment, toutes les espèces sont étroitement inféodées aux genres *Theobroma* et *Herrania*, les plus importantes étant les espèces cultivées *T. cacao* (cacaoyer), *T. grandiflorum* (cupuaçu) et *T. bicolor* (pataxte).

8.2.5. Biologie

M. roreri semble être un champignon anamorphe ; cependant, un mécanisme cytologique, qui semble peu actif dans la nature, lui permettrait une reproduction sexuée (Evans et al. 2002).

M. roreri est un hémibiotrophe avec une longue phase biotrophe (45-90 jours) (Bailey et al. 2018). Les spores, produites en abondance sur les cabosses malades, sont les seules propagules infectieuses de *M. roreri*, et les infections naturelles n'ont été observées que sur les fruits. Les spores restent viables pendant plusieurs semaines et peuvent résister à l'exposition à la lumière solaire. Les masses poudreuses sèches de spores sont efficacement dispersées dans l'air par tout contact physique avec la cabosse infectée (Evans, 1981). Le vent est le principal mode de dissémination des spores, bien que la dispersion puisse également se faire par l'eau, les insectes, les êtres humains et d'autres animaux. La transmission de la maladie par des graines infectées n'a pas été observée et est très peu probable. Les spores germent et pénètrent dans la cabosse à tous les stades de développement, directement à travers l'épiderme ou via les stomates sans la présence de blessures (Suárez 1972).

8.2.6. Mesures de quarantaine

Les parties végétales suivantes sont susceptibles de véhiculer l'agent pathogène dans les échanges et les transports :

- Fruits (y compris les cabosses) : hyphes externes et spores visibles à l'œil nu ; à transmission interne.
- Tiges (au-dessus du sol)/pousses/troncs/branches : Spores.

- Graines : ne se transmet pas normalement par les graines mais les spores peuvent être transportées à leur surface.

L'agressivité de *M. roreri*, sa capacité à survivre à différentes conditions environnementales, sa dispersion naturelle rapide, sa propension à la dispersion par l'homme et la sensibilité de la plupart des génotypes commerciaux de cacaoyer, font de ce champignon une réelle menace pour la culture du cacaoyer dans le monde (Phillips-Mora and Wilkinson 2007).

L'homme est responsable de la propagation de cette maladie sur de grandes distances et au-delà des barrières géographiques. Les infections cachées peuvent avoir un rôle très important dans la dissémination de la maladie dans de nouveaux secteurs. En plus des précautions à prendre lors des mouvements de matériel végétal décrites ci-dessous, il faut noter que les spores peuvent aussi survivre sur les vêtements, les chaussures et sur le corps humain. Donc, après la visite d'un secteur infecté, des mesures appropriées doivent être prises avant d'entrer dans une région non infectée (destruction ou lavage approprié des vêtements, de l'équipement et des chaussures utilisés, pas de visites dans des zones indemnes de maladie pendant une certaine durée de temps, etc.).

Puisque les fruits sont les seules parties de la plante de cacaoyer infectées par *M. roreri* dans les conditions naturelles, les efforts de quarantaine doivent tenter d'empêcher tout transfert de fruits à partir des zones infectées vers de nouvelles exploitations, territoires ou pays.

La maladie n'est pas transmise par contamination interne des fèves. Cependant, les spores d'une grande longévité peuvent être transportées sur des plantes entières ou leurs parties (fèves, feuilles, baguettes, etc.). Les spores pulvérulentes adhèrent aisément à de tels tissus et restent viables dans cet état pendant de nombreux mois. Par conséquent, le transfert de telles parties végétales dans des secteurs indemnes de maladie doit seulement être effectué après une désinfection. Le traitement par un fongicide réduit l'inoculum et limite considérablement les risques d'une introduction indésirable.

Des clones résistants ont été identifiés provenant de différentes origines génétiques et géographiques, il s'agit par exemple de EET-233, GU-133 C, NA-807, PA-169, RB-33/3, UF-273 et UF-712 (Phillips-Mora et al. 2017). Les hybrides de certains de ces clones, tels que CATIE-R1, CATIE R-4 et CATIE-R6 ont été mis à la disposition des agriculteurs d'Amérique centrale en 2007 avec un très bon succès, confirmant que l'utilisation de cultivars résistant est le moyen le plus approprié et le plus rentable de gérer la maladie.

8.2.7. Références et lectures complémentaires

Bailey BA, Evans HC, Phillips-Mora W, Ali SS, Meinhardt LW. 2018. *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. *Molecular Plant Pathology* 19(7) :1580-1594. <https://doi.org/10.1111/mpp.12648>

- CEPLAC. 2021 Foco de praga que atinge cultivo de cacau e cupuaçu é detectado no Acre. News article published online 7 July 2021. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/foco-de-praga-que-atinge-cultivo-de-cacau-e-cupuacu-e-detectado-no-acre>
- Evans HC, 1981. Pod rot of cacao caused by *Moniliophthora* (*Monilia*) *roreri*. London, UK : Commonwealth Mycological Institute. *Phytopathological papers* no. 24, 44 p.
- Evans HC, Holmes KA, Phillips W, Wilkinson MJ. 2002. What's in a name : *Crinipellis*, the final resting place for the frosty pod rot pathogen of cocoa? *Mycologist* 16 :148-152. <https://doi.org/10.1017/S0269915X02004093>
- IPPC. 2016. Detection of Frost Pod Rot in Jamaica. Pest Report, September 2016.
- Johnson ES, Rutherford MA, Edgington S, Flood J, Crozier J, Cafá G, Buddie AG, Offord L, Elliott SM, Christie KV. 2017. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot on *Theobroma cacao* in Jamaica. *New Disease Reports* 36, 2. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2017.036.002>
- Phillips-Mora W, Aime MC, Wilkinson MJ. 2007. Biodiversity and biogeography of the cacao (*Theobroma cacao*) pathogen *Moniliophthora roreri* in tropical America. *Plant Pathology* 56 :911-922. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01646.x>
- Phillips-Mora, W., Wilkinson, M. J. 2007. Frosty pod of cacao : A disease with a limited geographic range but unlimited potential of damage. *Phytopathology* 97 :1644-1647. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01646.x>
- Phillips-Mora W, Castillo J, Arciniegas A, Mata A, Sánchez A, Leandro M, Astorga C, Motamayor J, Guyton B, Seguíne E, Schnell R. 2010. Overcoming the main limiting factors of cacao production in Central America through the use of improved clones developed at CATIE. Proceedings of the 16th International Cocoa Research Conference, COPAL, Bali, Indonesia, 16-21 November 2009. COPAL-CPA, Lagos, pp 93-99.
- Phillips-Mora W, Mata-Quiros A, Arciniegas-Leal A. 2017. Generation of cacao clones with durable resistance against frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*). International Symposium on Cocoa Research. Lima, Perú. 13-17 November 2017.
- Suárez, C. 1972. Mecanismo de penetración y proceso de infección de *Monilia roreri* Ciferri & Parodi en frutos de cacao. Fourth International Cocoa Research Conference, pp. 506–510. St. Augustine, Trinidad and Tobago : Cocoa Producers' Alliance.



Figure 8.2.1. Moniliose : œdèmes caractéristiques de l'infection sur jeune cabosse
(Dr W Phillips-Mora et Mr A Mora, CATIE, Costa Rica)



Figure 8.2.2. À gauche: maturation précoce, nécrose et jeune pseudostroma blanc sur cabosse infectée par *M. royeri*. A droite : cabosse verte saine (Dr W Phillips-Mora et Mr A Mora, CATIE, Costa Rica)



Figure 8.2.3. *Moniliose* : nécrose des graines et maturation précoce des cabosses infectées (Dr W Phillips-Mora et Mr A Mora, CATIE, Costa Rica)



Figure 8.2.4. *Moniliose*: évolution de la maladie d'une tache nécrotique à une lésion sporulante, et une cabosse desséchée momifiée (W Phillips-Mora, CATIE, Costa Rica)

8.3. *Phytophthora* spp.

Mise à jour : G Martijn ten Hoopen^{1,3}, S Nyassé² et R Umaharan³

¹CIRAD, UMR PHIM F-34398 Montpellier, France

PHIM, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France

Email : tenhoopen@cirad.fr

²IRAD, Nkolbisson Centre, BP 2123, Yaoundé, Cameroun. Email : snyasse@yahoo.fr

³CRC, University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad et Tobago.

Email : romina.umaharan@sta.uwi.edu

8.3.1. Agents causaux

Phytophthora palmivora, *P. megakarya*, *P. citrophthora*, *P. tropicalis* (*P. capsici*) et, de temps en temps, d'autres espèces de *Phytophthora*, par exemple, *P. heveae*, *P. megasperma*, *P. nicotinae* var. *parasitica*, *P. katsurae*, *P. meadii*, *P. botryosa* (Surujdeo-Maharaj et al. 2016). Toutefois, seules les quatre premières espèces citées ont une importance commerciale.

8.3.2. Hôtes alternatifs

Phytophthora palmivora – de très nombreuses espèces végétales, avec entre autres, le cocotier, le papayer, *Citrus* spp., *Hevea*, le manguier, le piment (*Capsicum* spp.), palmier à huile et la tomate.

P. tropicalis, que l'on pensait auparavant conspécifique de *P. capsici*, semble être recouvert plus communément que *P. capsici* sur des plantes ligneuses pérennes, dont le cacaoyer (Surujdeo-Maharaj et al. 2016).

P. capsici – entre autres piments, courges et tomate (voir par ex. Tian & Babadoost 2004).

P. citrophthora – entre autres, *Citrus* spp., courges, caoutchouc (*Hevea*)

P. megakarya – hôtes alternatifs putatifs – *Cola nitida* (Nyassé et al. 1999), *Irvingia* sp. (Holmes et al. 2003) *Funtumia elastica*, *Sterculia tragacantha*, *Dracaena mannii* et *Ricinodendron heudelotii* (Opuku et al. 2002, Bailey et al. 2016). Récemment, Akrofi et al. (2015) ont retrouvé le pathogène sur des racines asymptomatiques de plusieurs autres espèces dans des cacaoyères, dont l'ananas, *Athyrium nipponicum*, le papayer, le manguier, l'avocatier, le chou caraïbe (*Xanthosoma sagittifolium*) ou le taro (*Colocasia esculentum*), le palmier à huile et même le bananier.

La plupart des hôtes alternatifs des espèces de *Phytophthora* mentionnées ci-dessus sont souvent trouvés en association étroite avec le cacaoyer.

Pour une synthèse générale des *Phytophthora* spp. affectant le cacaoyer, voir aussi Surujdeo-Maharaj et al. (2016) et Bailey et al. (2016). Pour de plus amples informations sur les espèces végétales affectées par les divers *Phytophthora* spp., voir par ex. Erwin et Ribeiro (1996), le CABI Crop Protection Compendium

(<http://www.cabi.org/cpc/>) et la base de données sur les champignons de l'USDA-ARS (<https://nt.ars-grin.gov/fungalatabases/>).

8.3.3. Symptômes

Phytophthora spp. peut attaquer toutes les parties de la plante de cacaoyer (même si cela est quelque peu dépendant de l'espèce) mais les manifestations principales de l'infection sont :

- La pourriture de la cabosse – une pourriture brune ferme de la cabosse (Fig. 8.3.1) (économiquement parlant, l'aspect le plus important de la maladie induite par *Phytophthora*). Les cabosses à tous les stades de développement peuvent être affectées. Les infections sont initiées par des sporanges, des chlamydospores et des zoospores et les symptômes de la maladie apparaissent normalement 3-4 jours après l'infection.
- Le chancre de la tige – lésions noires et suintantes sur la tige (Fig 8.3.2). Le chancre de la tige se développe souvent suite à une dissémination de mycélium des cabosses vers les coussinets floraux et le long de la tige ou directement à travers les blessures.
- La rouille de la feuille et de la plantule – nécrose extensive des feuilles et des tiges des plantules (Fig. 8.3.3).
- L'infection du coussinet floral.
- L'infection des racines.

8.3.4. Distribution géographique

Phytophthora est présent dans tous les pays/régions producteurs de cacao dans le monde, bien que les différentes espèces attaquant le cacaoyer aient pour la plupart une distribution restreinte. Au moins onze espèces de *Phytophthora* ont été identifiées sur le cacaoyer (Surujdeo-Maharaj et al. 2016 et références dans le texte). *Phytophthora palmivora* a une distribution pantropicale. *Phytophthora megakarya* est la seule espèce de *Phytophthora* qui attaque le cacao connue originaire d'Afrique. Elle est présente au Gabon, à São Tomé et Príncipe, à Bioko (anciennement Fernando Po), au Cameroun, au Nigeria, au Togo, au Ghana et en Côte d'Ivoire. Toutefois, au Ghana et en Côte d'Ivoire, les deux principaux producteurs de cacao au monde, *P. megakarya* est encore dans une phase invasive. Pour plus d'information sur les espèces de *Phytophthora* présentes en Afrique subsaharienne, voir Bose et al. (2023). *P. tropicalis*/*P. capsici* est retrouvée aux Amériques, dans les Caraïbes, en Asie et en Afrique (par ex. Brésil, Cameroun, République dominicaine, El Salvador, Guatemala, Inde, Jamaïque, Mexique, Trinidad, Venezuela), alors que *P. citrophthora* est présent sur le cacaoyer aux Amériques et en Asie (par ex. Brésil, Mexique, Inde, Indonésie). *P. megasperma* a été retrouvé au Venezuela, *P. nicotianae* var. *parasitica* à

Cuba, *P. heveae*, en Malaisie et *P. theobromicola* sp. nov. a récemment été décrit au Brésil.

8.3.5. Biologie

L'activité de *Phytophthora* spp. est fortement liée aux conditions humides même si le sol sert de réservoir permanent et est la source la plus fréquente d'inoculum primaire. L'infection de parties végétales est causée par les spores (zoospores, sporanges) qui sont transportées par l'eau, les éclaboussures, les fourmis et d'autres animaux. Les principales activités humaines qui peuvent contribuer à propager *Phytophthora* spp. sont la construction de routes, la récolte de bois de construction, l'exploration de mines, le commerce de pépinière et la randonnée.

8.3.6. Mesures de quarantaine

Les parties végétales suivantes sont susceptibles de véhiculer le pathogène lors du commerce et du transport :

- Fruits (cabosses) – l'infection est invisible aux stades précoces de l'infection de la cabosse mais est aisément reconnaissable aux stades tardifs en raison des lésions des cabosses (fermes, mouchetures brun sombre) et de la production de zoospores sur les lésions (Fig. 8.3.1).
- Racines (*Phytophthora* est souvent trouvé en association avec les racines du cacaoyer) – l'infection est invisible à l'œil nu.
- Bourgeons
- Tronc/branches – particulièrement si présence de chancres (Appiah et al. 2004)
- Feuilles
- Les milieux de culture accompagnant les plantes, particulièrement, la terre, peuvent contenir des inocula de *Phytophthora*.

Cabosse : D'une manière générale, les cabosses ne doivent pas être utilisées pour le transfert de matériel génétique. Toutefois, si elles le sont, elles doivent subir une quarantaine d'au moins une semaine avant l'envoi et la distribution. Les symptômes de *Phytophthora* apparaissant seulement après quelques jours, les cabosses malades seront facilement reconnaissables dans cette période d'une semaine et peuvent donc être détruites. Pour réduire le risque par la suite, les cabosses doivent être immergées dans un bain de pesticide (par ex. un mélange de Metalaxl-M et de composé cuivré) avant leur distribution.

Plantes entières en terre : Le transfert de plantes entières présente un risque extrêmement élevé, surtout si elles sont en terre. Le mouvement de plantes (même si celles-ci ne montrent aucun symptôme) au sein d'un pays ou d'une région où

Phytophthora spp. est encore en phase invasive est FORTEMENT DÉCONSEILLÉ, à moins que le matériel ne soit transféré à partir d'une structure de quarantaine.

Bourgeons : Seuls les bourgeons d'arbres (apparemment) sains doivent être utilisés. Aucun prélèvement ne doit être fait à partir d'arbres présentant des chancres ou d'autres signes de maladie. Comme les zoospores de *Phytophthora* ont une durée de conservation relativement limitée et sont sensibles aux pesticides et à la sécheresse, le risque de dispersion de propagules de *Phytophthora* éventuellement présentes sur le bourgeon peut être encore réduit par une application/bain de pesticide (par ex., un mélange de Mefenoxam et d'un composé cuivré) (Opoku et al. 2007).

Feuilles : *Phytophthora* peut être présent sur les feuilles. Les feuilles et les plantes montrant les symptômes de rouille (Fig. 8.3.3) ne doivent pas être utilisées pour le transfert. Des propagules de *Phytophthora* peuvent survivre sur de courtes périodes de temps sur les feuilles. Les traitements de pesticide et le stockage dans des conditions sèches devraient être suffisants pour éliminer ce risque.

Transport par les hommes : Les hommes sont les coupables les plus probables de la dispersion sur de longues distances de *Phytophthora*, soit par négligence lors du transport des matériels végétaux (cabosses, bourgeons, etc.), de terre, soit à cause des activités humaines comme la construction de routes et les randonnées pédestres.

NB : Comme *P. megakarya* est plus agressif et cause des pertes de rendement plus importantes que *P. palmivora* (Appiah 2001, Ali et al. 2016), il faut rester très prudent lors du transport de matériels végétaux/terre au Ghana, au Togo et en Côte d'Ivoire où *P. palmivora* et *P. megakarya* sont présents par endroits. Certaines zones de production dans ces trois pays ne sont pas encore affectées par *P. megakarya*.

Les parties végétales suivantes sont peu susceptibles de véhiculer le pathogène lors du commerce et du transport :

- Graines provenant de cabosse ne montrant aucun signe évident d'infection.

8.3.7. Références et lectures complémentaires

- Akrofi, AY., Amoako-Attah, I., Assuah, M., Asare, EK. 2015. Black pod disease on cacao (*Theobroma cacao*, L) in Ghana : Spread of *Phytophthora megakarya* and role of economic plants in the disease epidemiology. *Crop Protection* 72 : 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.015>
- Ali SS, Amoako-Attah I, Bailey RA, Strem MD, Schmidt M, Akrofi AY, Surujdeo-Maharaj S, Dias CV, Goss E, Begoude BAD, Ten Hoopen GM, Marelli J-P, Phillips-Mora W, Meinhardt L, Bailey BA. 2016. PCR-based identification of cacao black pod causal agents and identification of biological factors possibly contributing to *Phytophthora megakarya*'s field dominance in West Africa. *Plant Pathology* 65: 1095-1108. Doi: 10.1111/ppa.12496.
- Appiah AA. 2001. Variability of *Phytophthora* species causing black pod disease of cocoa (*Theobroma cacao* L.) and implications for assessment of host resistance. London, UK : PhD Thesis University of London.

- Appiah AA, Opoku IY, Akrofi AY. 2004. Natural occurrence and distribution of stem cankers caused by *Phytophthora megakarya* and *Phytophthora palmivora* on cocoa. *European Journal of Plant Pathology* 110 : 983-990. <https://doi.org/10.1007/s10658-004-0811-6>
- Bailey BA, Ali SS, Akrofi AY, Meinhardt L. 2016. *Phytophthora megakarya*, a causal agent of black pod rot in Africa. In : Bailey BA, Meinhardt LW, editors. *Cacao Diseases : a History of Old Enemies and New Encounters* Eds. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 267- 303. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_8
- Bose T, Spies CFJ, Hammerbacher A, Coutinho TA. 2023. *Phytophthora*: an underestimated threat to agriculture, forestry, and natural ecosystems in sub-Saharan Africa. *Mycological Progress* 22: 78. <https://doi.org/10.1007/s11557-023-01926-0>
- Decloquement J, Sobrinho R-R, Galvão Elias S, Santos Britto D, Puig AS, Reis A, Fernandes da Silva RA, Honorato-Júnior J, Martins Newman Luz ED, Batista Pinho D. and Marelli, J-P. 2021. *Phytophthora theobromicola* sp. nov. : A new species causing black pod disease on cacao in Brazil. *Frontiers in Microbiology* 12 : 537399 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.537399>
- Erwin DC, Ribeiro OK. 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA.
- Holmes KA, Evans HC, Wayne S, Smith J. 2003. *Irvingia*, a forest host of the cocoa black-pod pathogen, *Phytophthora megakarya*, in Cameroon. *Plant Pathology* 52 :486-490. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2003.00869.x>
- Mchau GRA, Coffey MD. 1994. An integrated study of morphological and isozyme patterns found within a worldwide collection of *Phytophthora citrophthora* and a redescription of the species. *Mycological Research* 98 : 1291-1299. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80301-8](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80301-8)
- N'Goran JAK, Lachenaud P, Kébé IB, N'Guessan KF, Tahi GM, Pokou D, Sounigo O, N'Goran K, Eskes AB. 2006. In : Eskes AB, Efron Y, editors. *Global Approaches to Cocoa Germplasm Utilization and Conservation*. CFC Technical Paper No. 50. pp. 35-40.
- Nyassé S, Grivet L, Risterucci AM, Blaha G, Berry D, Lanaud C, Desprésaux D. 1999. Diversity of *Phytophthora megakarya* in Central and West Africa revealed by isozyme and RAPD markers. *Mycological Research* 103 :1225-1234. <https://doi.org/10.1017/S0953756299008369>
- Opoku IY, Akrofi AY, Appiah AA. 2002. Shade trees are alternative hosts of the cocoa pathogen *Phytophthora megakarya*. *Crop Protection* 21 : 629-634. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00013-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00013-3)
- Opoku IY, Akrofi AY, Appiah AA. 2007. Assessment of sanitation and fungicide application directed at cocoa tree trunks for the control of *Phytophthora* black pod infections in pods growing in the canopy. *European Journal of Plant Pathology* 117 : 167-175. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9082-8>
- Ramírez Martínez, J., Cárdenas Toquica, M., Guevara-Suarez, M., Duarte, D., Victorino Jimenez L. D, Argüello Bernal, BK., Gutiérrez Rodríguez, E., Restrepo Restrepo, S. (2021). Oomycete species associated with *Theobroma cacao* crops in Colombia. *Plant Pathology* 70 :1695–1707. <https://doi.org/10.1111/ppa.13410>
- Surujdeo-Maharaj S, Sreenivasan TN, Motilal LA, Umaharan P. 2016. Black pod and other *Phytophthora* induced diseases of cacao : history, biology, and control. In : Bailey BA, Meinhardt LW, editors. *Cacao Diseases : A History of Old Enemies and New Encounters*. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 213-266. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_7
- Tian D, Babadoost M. 2004. Host range of *Phytophthora capsici* from pumpkin and pathogenicity of isolates. *Plant Disease* 88 :485-489.



Figure 8.3.1. Cabosses attaquées par *Phytophthora megakarya*. Noter la sporulation abondante (GM ten Hoopen, CIRAD)

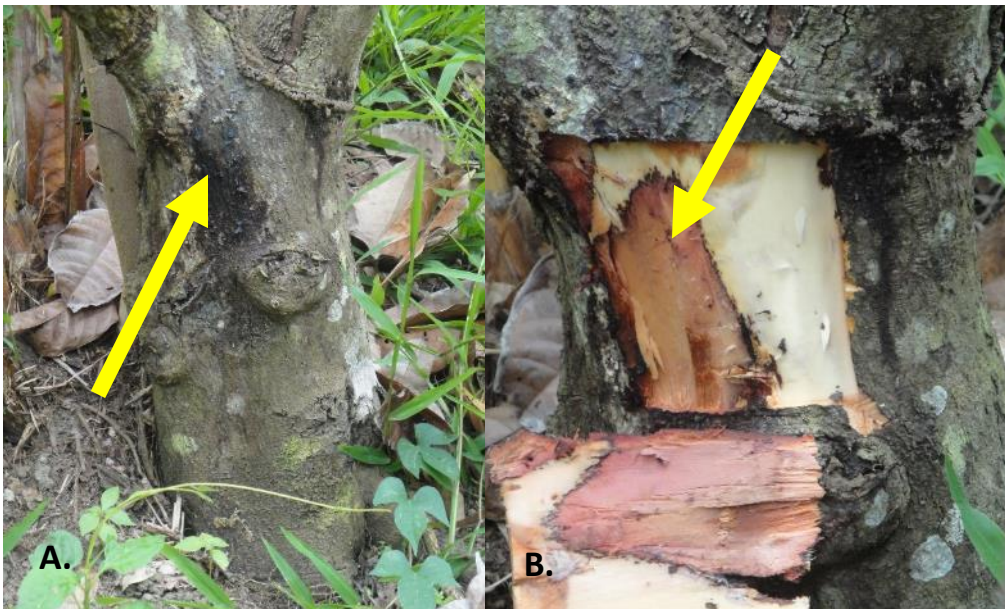


Figure 8.3.2 (A) Tronc de cacaoyer présentant des symptômes de chancre (coloration noire)
(B) Coloration de l'aubier (T Sreenivasan, CRC)



Fig 8.3.3 Feuilles de cacaoyer attaquées par *P. palmivora*. (V Singh, CRC)

8.4. *Vascular streak dieback* / Maladie des stries vasculaires (VSD)

Mise à jour: Julie Flood

Emeritus Fellow, CABI, Bakeham Lane, Egham, Surrey TW20 9TY, Royaume-Uni

Email : j.flood@cabi.org

8.4.1. Agent causal

Ceratobasidium theobromae (P.H.B. Talbot & Keane) Samuels & Keane (2012)

Synonyme: *Rhizoctonia theobromae* (P.H.B. Talbot & Keane) Oberq., R. Bauer, Garnica, R. Kirschner (2013)

Précédemment connu sous le nom : *Oncobasidium theobromae* P.H.B. Talbot & Keane

8.4.2. Symptômes

Le symptôme initial le plus caractéristique de ce dépérissement avec nécrose vasculaire est une chlorose généralisée d'une feuille, habituellement sur la deuxième ou troisième pousse foliaire en dessous de l'extrémité, avec des taches vertes de 2-5 mm de diamètre, ça et là (Keane et Prior 1991). Cette feuille tombe en quelques jours et les symptômes se développent progressivement sur les feuilles

adjacentes (Fig. 8.4.1 a, b). En général, les lenticelles s'agrandissent notablement, ce qui provoque la rugosité de l'écorce des branches infectées. Trois faisceaux vasculaires noircis sont visibles quand on gratte la surface sèche des cicatrices laissées sur les tiges par la chute de la feuille malade (Fig. 8.4.2a). Cela permet de distinguer les cicatrices laissées par cette maladie de celles de la chute normale des feuilles sénescentes. On observe aussi des faisceaux vasculaires noircis sur des pétioles isolés d'arbres infectés (Fig. 8.4.2b). Un autre symptôme caractéristique des tiges infectées est la coloration rapide du cambium au brun rouille si on l'expose à l'air après avoir enlevé l'écorce. La présence de stries brunes dans le bois des branches encore vivantes est un autre diagnostic de la maladie. L'infection par les hyphes du pathogène peut être observée dans les vaisseaux du xylème des tiges et des feuilles, où le xylème infecté est parcouru de stries brunes aisément visibles quand on fend les tiges (Fig. 8.4.3a). L'infection par les hyphes a été observée en général dans la tige à plus de 1 cm et jamais à plus de 10 cm, au-delà des régions de stries vasculaires évidentes. Les cabosses sont parfois infectées dans la mesure où le champignon peut coloniser le système vasculaire central de la cabosse mais les cabosses infectées ne montrent aucun symptôme externe. La chute des feuilles peut se produire jusqu'à l'extrémité en croissance qui alors meurt.

Des bourgeons latéraux peuvent proliférer, puis meurent, causant des symptômes de 'balai'. Le champignon peut s'étendre intérieurement à d'autres branches ou au tronc ; si le tronc est atteint, en général l'arbre meurt.

Quand une feuille infectée tombe en conditions humides, les hyphes peuvent émerger de la cicatrice de la feuille et se développer en un basidiocarpe (basidioma), sous forme d'un tapis blanc, plat et velouté sur la cicatrice de la feuille et l'écorce adjacente. La présence de ces basidiocarpes (basidiomata) est aussi un diagnostic de la maladie (Fig. 8.4.3b).

Outre les symptômes décrits ci-dessus, ces 10 dernières années environ, d'autres symptômes ont été trouvés. Il s'agit de la nécrose de plusieurs feuilles infectées qui restent attachées à la branche pendant des semaines (McMahon et Purwantara 2016) (Fig. 8.4.1b). Il est remarquable de pouvoir trouver tous les symptômes sur le même génotype, voire sur la même branche. Les facteurs conduisant à ces changements de symptômes ne sont pas encore connus même s'ils pourraient être dus à une réponse de résistance augmentée, peut-être associée au changement climatique (augmentation des températures ou des concentrations en CO₂) mais il est aussi suggéré que les symptômes nécrotiques pourraient être associés à une carence en nutriments essentiels, comme le potassium (K), touchant la canopée puisqu'il n'y a pas vraiment de preuves de l'existence d'une souche alternative du pathogène responsables de tels symptômes (McMahon et Purwantara 2016).

8.4.3. Distribution géographique

La maladie a été observée dans la plupart des zones de culture du cacaoyer en Asie du Sud et du Sud-Est, depuis la Papouasie-Nouvelle-Guinée (Îles de Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Bretagne, Nouvelle-Irlande) à l'est, jusqu'à l'île d'Hainan (Chine) au nord et l'État du Kerala (Inde) à l'ouest. Elle fut un grave problème des grandes plantations commerciales en Malaisie occidentale et à Sabah et est répandue en Indonésie, y compris dans les cacaoyères de cacao fin de l'est, du centre et de l'ouest de Java, à Sumatra, à Kalimantan, aux Moluques et dans les nouvelles grandes zones cacaoyères du Sulawesi. Junaid et al. (2020) ont rapporté la présence de VSD dans plusieurs villages dans l'arrondissement Barru dans le Sud de Sulawesi. Elle a aussi été rapportée au sud de la Thaïlande, au Myanmar, au Viêtnam et au sud des Philippines (Keane et Prior 1991, Flood et Murphy 2004, McMahon et Purwantara 2016). Il semble évident que le champignon se développe sur un hôte indigène, non encore identifié, en Asie du Sud-Est / Mélanésie et se soit adapté au cacaoyer quand il a été introduit dans la région.

À l'exception d'un rapport qui reste unique sur avocatier en Papouasie-Nouvelle-Guinée (Keane et Prior 1991), le champignon a généralement été associé avec le cacao, donc sa distribution géographique reflète généralement celle du cacaoyer en Asie du Sud et du Sud-Est et en Mélanésie. Pour le cacao, la limite naturelle la plus orientale de la maladie est probablement la Nouvelle-Bretagne (Papouasie-Nouvelle-Guinée) et sa découverte en Nouvelle-Irlande est certainement due à une infraction de quarantaine. Son introduction s'est probablement effectuée par un transport "officieux" de matériel de cacaoyer provenant de régions lourdement infectées de la Nouvelle-Bretagne (péninsule de la Gazelle) vers la Nouvelle-Irlande malgré une campagne de sensibilisation aux risques liés aux mouvements officiels dans les ports et les aéroports et alors que les mouvements officiels de matériel génétique de cacaoyer obéissent à des procédures de quarantaine rigoureuses. La maladie n'est pas répertoriée à Manus ou dans le nord des Îles Salomon situées plus à l'est bien que le cacaoyer y soit répandu. Cette distribution suggère que l'hôte indigène putatif ne s'étende pas dans le Pacifique au-delà de la Nouvelle-Bretagne ou que le pathogène n'ait pas atteint les limites de distribution de son hôte indigène (ce qui semble peu probable). Même dans l'île principale de Papouasie-Nouvelle-Guinée et en Nouvelle-Bretagne, l'incidence de la maladie est inégale, avec des plantations isolées indemnes de maladie (Prior 1980).

La limite méridionale est la côte papoue de la Papouasie-Nouvelle-Guinée, mais l'hôte, voire les hôtes, original inconnu pourrait exister au nord de l'Australie. Les variations morphologiques entre les souches collectées dans la région semblent infimes, bien qu'une étude phylogénique conduite par Samuels et al. (2012) indique une certaine variabilité génétique régionale avec trois haplotypes identifiés issus du

Vietnam, de Malaisie/Indonésie et de Papouasie. Il n'est pas fait mention de la maladie en Afrique mais récemment, *Ceratobasidium theobromae* a été associé avec une maladie du manioc en Asie du Sud-Est et au Brésil et avec un syndrome pathologique des plantes vivaces ligneuses aux États-Unis (voir ci-dessous) donc la distribution de la maladie pourrait changer quand plus d'enquêtes auront été menées.

8.4.4. Hôte alternatif

L'avocatier a longtemps été établi comme un hôte alternatif (Keane and Prior 1991) mais récemment, Leiva et al. (2023) ont rapporté qu'un champignon du gène *Ceratobasidium* et partageant plus de 98.3-99.7% d'identité nucléotidique au Internal Transcribed Spacer (ITS), avec *Ceratobasidium theobromae* s'est avéré être étroitement associé avec la maladie du balai de sorcière du manioc en Asie du Sud-Est. Gil-Ordóñez et al. (2024) en continuant l'étude de *C. theobromae* du manioc en Asie du Sud-Est, ont rapporté une localisation tissulaire du champignon dans le xylème et l'épiderme le long de la tige du manioc. Ils ont également effectué d'autres analyses génomiques qui ont fourni des preuves moléculaires supplémentaires que le champignon est *C. theobromae*, mais la culture du champignon s'est avérée difficile en raison de la contamination durant l'isolement et la sous-culture. En raison de ces problèmes de maintien du champignon in vitro, les postulats de Koch n'ont pas encore été atteints pour la maladie et cela doit être confirmé. Le manioc, membre des Euphorbiaceae, est originaire d'Amérique du Sud (tout comme le cacao), tandis que l'avocat est originaire d'Amérique centrale. Gil-Ordóñez et al. (2024) ont suggéré que la maladie du balai de sorcière du manioc en Asie du Sud-Est pourrait être un exemple d'une nouvelle maladie rencontrée en Asie du Sud-Est (comme le VSD dans le cacao). Cependant un premier rapport a aussi été établi comme quoi le champignon associé avec la maladie du balai de sorcière dans les terres indigènes de la municipalité d'Oiapoque, Amapá, Brésil, pose une menace conséquente à la production du manioc là-bas (Embrapa 2024) donc la situation au Brésil reste trouble.

En plus de ce qui précède, récemment en Amérique du Nord, on a également signalé un syndrome similaire chez diverses espèces vivaces ligneuses, y compris des espèces de *Cercis* (Beckerman et al., 2022), tandis que Bily et Bush (2023) ont signalé un flétrissement et un dépérissement sévère chez les érables, les gainiers du Canada, les cornouillers et de nombreuses autres espèces vivaces ligneuses. La maladie, qui a été désignée dans la littérature sous le nom de VSD et *Ceratobasidium theobromae* (synonyme : *Rhizoctonia theobromae*), a été systématiquement associée aux tissus vasculaires de pouponnières présentant les symptômes décrits ci-dessus. Lyanapathiranage et al. (2024) ont également signalé que le champignon était constamment associé à des gainiers du Canada symptomatiques de VSD, mais

l'agent causal n'a pas encore été confirmé de façon concluante. La détermination de la pathogénicité est cruciale, mais les postulats de Koch n'ont pas été entièrement atteints avec ces hôtes (comme avec le manioc) en raison de la nature fastidieuse du champignon. Un champignon ressemblant à *Rhizoctonia* a été isolé du bois de gainier du Canada avec des symptômes de stries vasculaires et l'inoculation des tiges des plantes d'essai avec des bouchons mycéliens a produit des symptômes similaires, donc les postulats de Koch ont été partiellement atteints, mais les tentatives de ré isolation du champignon des plantes inoculées ont échoué (Liyanapathirana et al., 2024). Beaucoup plus de recherches sont nécessaires afin de confirmer la relation exacte entre le pathogène des plantes vivaces et ligneuses aux USA avec le pathogène qui affecte le cacao en Asie, avant que des implications pour la quarantaine puisse être déterminées.

8.4.5. Biologie

La formation de basides et l'expulsion des basidiospores se produit principalement la nuit après que les basidiocarpes (organes de fructification fongique) aient été humidifiés par la pluie (Keane et al. 1972). Prior (1982) a montré que la tombée de la nuit stimule aussi la sporulation. Des basidiospores ont été produites 8-12 h après que les basidiocarpes aient été soumis à l'obscurité, tandis que ceux exposés à la lumière artificielle continue pendant la nuit n'ont pas sporulé. Il semble qu'une baisse de température de 5°C ait aussi stimulé la sporulation sur des basidiocarpes en laboratoire (Prior 1982). Les basidiocarpes restent fertiles pendant environ dix jours seulement sur des branches vivantes d'arbres ; mais sur des branches coupées, ils cessent de répandre des spores après seulement deux jours. Les basidiospores sont grandes (15-25 μm x 6,5-8,5 μm), hyalines, à paroi lisse et fine et ont approximativement deux fois la longueur des stérigmates (McMahon et Purwantara 2016). Les cellules hyphales sont binuclées, ce qui est caractéristique du genre *Ceratobasidium* mais cette caractéristique se voit remise en question pour des raisons taxonomiques par Oberwinkler et al. (2013).

Les basidiospores sont dispersées par le vent la nuit et sont rapidement détruites par la lumière du soleil. L'exposition à l'atmosphère normale, ombragée, d'une plantation pendant seulement 20 minutes a été suffisante pour réduire la germination de 80 % (Keane 1981). L'exposition des spores à la lumière directe du soleil pendant 12 minutes réduit la germination de 95 %. Les spores étant rapidement tuées par une exposition aux conditions normales de jour sous les tropiques et ayant besoin d'eau libre pour germer, leur dispersion efficace se limite probablement aux quelques heures d'obscurité et d'humidité élevée suivant leur libération.

La dispersion des spores est probablement davantage limitée par la canopée dense des cacaoyers et des arbres d'ombrage dans les plantations. Par conséquent, la

propagation de la maladie des vieux cacaoyers infectés vers les populations adjacentes saines plus jeunes est limitée et très peu d'infections primaires se produisent au-delà de 80 m des cacaoyers malades.

La propagation de la maladie est aussi limitée par le taux relativement faible de sporulation du champignon. Une infection ne produit des basidiocarpes que si la chute des feuilles se produit en période humide et ces basidiocarpes ont une durée de vie courte. Par conséquent, moins de 10 % d'une abscission foliaire induite par la maladie aboutit à la production de basidiocarpes (et donc de basidiospores). Les aspects épidémiologiques de la maladie sont discutés plus en détail par Keane (1981) et Keane et Prior (1991) et plus récemment par McMahon et Purwantara (2016).

Les basidiospores ne présentent pas de dormance et de l'eau libre est nécessaire pour la germination des spores et l'infection. Lorsque l'on place une suspension de spores sur de jeunes feuilles, celles-ci germent en 30 minutes si les feuilles restent humides mais la croissance s'arrête une fois que l'eau s'est évaporée (Prior 1979). Le premier signe de pénétration se produit après 12 heures, avec un gonflement de l'extrémité du tube germinatif pour former un appressorium qui adhère à la surface de la feuille. Des cellules épidermiques adjacentes ont montré un brunissement suite à la présence du champignon. Souvent l'infection ne progresse pas plus loin, mais parfois des hyphes de pénétration se forment sous les appressoria. Il n'a pas été observé d'hyphes pénétrant dans les éléments du xylème des nervures bien que Prior (1979) ait observé des stries de cellules mésophylliennes décolorées allant de la surface à la gaine entourant le xylème. Au laboratoire, après dépigmentation et coloration, les hyphes en croissance ont été observés dans la feuille inoculée aux alentours des nervures (Keane 1972, Prior 1979) mais cela n'a pu être relié aux spores vides restées sur la surface foliaire. Il a été montré (Prior 1979) que la rosée se forme en premier sur les poils et les glandes situés sur les nervures des jeunes feuilles de cacaoyer. Cela pourrait piéger les spores et pourrait expliquer les cas de pénétration juste sur les nervures, comme observé par Keane (1972).

Le champignon peut être isolé à partir de matériel végétal infecté et transféré sur un Milieu de Culture pour *Corticium* (CCM, Kotila, 1929) mais ne peut pas être maintenu en sous-culture car d'autres moisissures à croissance plus rapide proliféreront. Une stérilisation superficielle avec de l'hypochlorite de sodium à 10 % et de l'éthanol à 70 % (Keane et al. 1972) augmente la probabilité d'obtenir des cultures pures (McMahon et Purwantara 2016). Cependant, la sporulation n'est pas induite en routine sur des milieux artificiels et même si des basidiospores sont produites, elles restent en nombre insuffisant pour les utiliser dans des tests de pathogénicité.

Jusqu'à présent, les tests de pathogénicité n'ont réussi qu'avec des plantes inoculées exposées aux conditions naturelles de température et de dépôt de rosée à ciel ouvert la nuit. Tout comme la sporulation, il semble que l'infection exige des conditions très particulières, difficiles à simuler en laboratoire. Dans ces essais, les symptômes se déclarent chez de jeunes plantules de 3 semaines environ 6-9 semaines après leur infection par les basidiospores pendant les périodes nocturnes de rosée (Keane 1981) ou après qu'elles aient été inoculées par une suspension de basidiospores (Prior 1978) ; chez de jeunes plants de 6 mois, les symptômes se développent après 10-12 semaines (Keane et al. 1972).

Les pics d'occurrence de la maladie au champ s'observent quelques mois après les pics de pluviométrie saisonniers (Prior 1980, 1981). Le champignon pénètre les jeunes feuilles qui commencent alors à se développer après le début des pluies. La branche ou le jeune plant pousse encore pendant trois à cinq mois avant que le champignon ne se soit suffisamment ramifié pour provoquer les symptômes de la maladie dans les feuilles attaquées ; en conséquence, les premiers symptômes apparaissent sur la deuxième ou troisième poussée foliaire derrière l'extrémité en croissance.

Ceratobasidium theobromae peut coloniser le système vasculaire des cabosses ; ce qui peut se révéler important pour les mesures de quarantaine et la potentialité de transmettre la maladie via des cabosses infectées distribuées pour les semences. Cependant, aucune infection n'a été jamais détectée dans la graine et Prior (1985) a écarté la possibilité de transmission par les semences.

Les difficultés de la culture et du maintien du champignon en culture ont limité les études de la diversité génétique et du génome. Cependant, Ali et al. (2019) ont décrit un génome assemblé *de novo* de 33.90 Mbp. La prédiction génique *ab initio* a identifié 9264 gènes codant pour des protéines, dont 800 sont uniques à *C. theobromae* par rapport à *Rhizoctonia* spp., un groupe étroitement apparenté. Le génome présenté soutient un modèle de pathogenèse typique, où le champignon secrète des effecteurs impliqués dans la suppression de la défense des plantes ainsi que des enzymes nécessaires à la dégradation des parois cellulaires et d'autres composants cellulaires. Les auteurs estiment que ces résultats constituent un modèle à tester et à comparer à l'avenir.

8.4.6. Mesures de quarantaine

Parties végétales susceptibles de véhiculer le pathogène lors de leur commerce/transport :

- Fruits (cabosses) : Hyphes ; à transmission interne ; invisibles.
- Feuilles : Hyphes ; à transmission interne ; visibles à l'œil nu.
- Racines : Hyphes ; à transmission interne ; invisibles.

- Tiges (aériennes)/tiges/troncs/branches : Hyphes, organes de fructification ; à transmission interne ; à transmission externe ; visibles à l'œil nu.

Parties végétales non connues pour véhiculer le pathogène lors de leur commerce/transport :

- Milieu de culture accompagnant les plantes
- Graines.

Des plantes entières ou des boutures ne doivent pas être envoyées à partir de zones infestées par *C. theobromae*. Lorsque du matériel clonal est exigé, il doit provenir, si possible, sous forme de baguettes, de régions indemnes de maladie. Les baguettes de greffage provenant d'une région infestée doivent être envoyées à une station de quarantaine intermédiaire dans une région indemne de maladie et greffée sur des porte-greffes issus de graines collectées dans des régions indemnes de maladie. Le greffon doit être conservé pendant trois poussées de croissance et confirmé comme indemne de *C. theobromae* avant prélèvement des baguettes et envoi à la destination finale. Dans des pays comme la Papouasie-Nouvelle-Guinée, il a été constaté qu'une période de quarantaine post-entrée de six mois dans une serre d'ombrage bien isolée permet de détecter le VSD et ce traitement a remplacé l'ancienne recommandation d'une période de quarantaine post-entrée sur une île isolée.

L'examen microscopique des sections transversales de baguettes de greffage et de pédoncules de cabosses est une précaution supplémentaire contre les risques de transmission de la maladie parce que les hyphes du pathogène sont de grande taille et facilement détectés. Les hyphes ont été décelés dans les pédoncules et le placenta des cabosses issues de branches malades mais les graines de ces cabosses ont germé normalement et il n'y avait aucune preuve de transmission par les semences. L'immersion de graines dans une solution de 1g/L de propiconazole + 5g/L de métalaxyl a causé une réduction faible mais statistiquement significative de la hauteur de tige du jeune plant. Cependant, la longueur de racine et le pourcentage de germination n'ont pas été affectés et ce traitement prophylactique des graines peut être utile lorsque les autorités de quarantaine exigent des précautions complémentaires.

L'examen microscopique des sections transversales des baguettes de greffage, pour vérifier la présence d'hyphes de *C. theobromae* dans le xylème peut être une précaution complémentaire pour assurer l'absence d'infection à la station de quarantaine et est conseillé (Prior 1985).

Bien que les fèves ne semblent pas transmettre la maladie, une immersion de précaution dans un fongicide du groupe des triazoles a été préconisée (Prior 1985). Les autorités de quarantaine en Malaisie exigent actuellement que les graines soient traitées avec du thirame.

Les méthodes de lutte ont été passées en revue récemment (McMahon et Purwantara 2016) et incluent des méthodes culturales, des essais de lutte chimique et la sélection pour la résistance de l'hôte que l'on considère comme la stratégie la plus prometteuse pour la lutte contre le VSD. Guest et Keane (2018) déclarent qu'une lutte intégrée basée sur la production de plantes indemnes de maladie dans des pépinières couvertes, sur la gestion de la canopée et la taille régulière des branches infectées, sur le maintien de faibles niveaux d'ombrage et sur l'utilisation de génotypes de cacaoyer partiellement résistants, permettrait de contrôler adéquatement la maladie dans les zones actuellement touchées, bien qu'ils préconisent le développement de variétés résistantes adaptées à l'Amérique latine et à l'Afrique au cas où la maladie se propagerait en dehors de l'Asie du Sud-Est. Les stratégies de biocontrôle, telles que l'utilisation de champignons endophytes ou d'éliciteurs bactériens, sont également prometteuses dans le cadre d'une stratégie de lutte intégrée (Vanhove et al. 2016, Asman et al. 2018, Rosmana et al. 2015, 2019).

8.4.7. Références et lectures complémentaires

- Abdoellah S. 2009. The effect of vascular streak die-back (VSD) attack on macronutrients content of cocoa leaves. In : Proceedings of the 16th International Cocoa Research Conference, Bali, Indonesia 16-21 November, 2009. pp. 325-334.
- Ali SS, Asman A, Shao J, Firmansyah AP, Susilo AW, Rosmana A, McMahon P, Junaid M, Guest D, Kheng TW, Meinhardt LW, Bailey BA. 2019. Draft genome sequence of fastidious pathogen *Ceratobasidium theobromae*, which causes vascular-streak dieback in *Theobroma cacao*. Short Report. *Fungal Biology and Biotechnology* 6 :14 <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0077-6>
- Anderson RD. 1989. Avocado, an alternate host for *Oncobasidium theobromae*. *Australasian Plant Pathology* 18 :96-97. <https://doi.org/10.1071/APP9890096>
- Asman A., Amin N, Rosmana A, Abdullah T. 2018.. Endophytic fungi associated with cacao branch and their potential for biocontrol vascular streak dieback disease on cacao seedling. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science* 157 : 012039
- Beckerman J, Creswell T, Bonkowski J, Baysal-Gurel F. 2022. Vascular Streak Dieback of Redbud: What Plant Pathologists Know So Far. <https://www.hriresearch.org/vascular-streak-dieback-update>.
- Bily D, Bush E. 2023. Vascular Streak Dieback: An Emerging Problem on Woody Ornamentals in the United States. Virginia Cooperative Extension. Virginia Tech SPES-483P 2023
- Chan CL, Syed KSW. 1976. Vascular-streak dieback of cocoa in Peninsular Malaysia. In : Proceedings of the Cocoa Coconut Seminar, Tawau, Sabah. East Malaysia Planters' Association. pp. 134-144. de Oliveira GAP, Pereira EG, Dias CV, Souza TLF, Ferretti GDS, Cordeiro Y, Camillo LR, Cascardo J, Almeida FC, Valenta AP, Silva JL. 2012 *Moniliophthora perniciosa* necrosis and Ethylene Inducing Protein 2 (MpNep2) as a metastable dimer in solution : Structural and functional implications. *PLoS One* 7 e45620. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045620>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2005. PQR database (version 4.4). Available from URL <http://www.eppo.org/DATABASES/pqr/pqr.htm>.
- Frison EA, Feliu E (Editors). 1989. FAO/IPGRI technical guidelines for the safe movement of cocoa germplasm. FAO/IPGRI technical guidelines for the safe movement of cocoa germplasm. 29 pp.
- Flood J, Murphy R. (Editors). 2004. Cocoa Futures : A source book of some important issues facing the cocoa industry. CABI-FEDERACAFE, USDA, Chinchina, Colombia. 163 pp.

- Gil-Ordóñez A, Pardo JM, Sheat S, Xaiyavong K, Leiva AM, Arinaitwe W, Winter S, Newby J & Cuellar WJ. 2024. Isolation, genome analysis and tissue localization of *Ceratobasidium theobromae*, a new encounter pathogen of cassava in Southeast Asia. *Scientific Reports* 14: 18139
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-69061-8>
- Guest DI, Keane PJ. 2018. Cacao diseases : vascular-streak dieback In : Umaharan P. editor. Achieving sustainable cultivation of cocoa. Burleigh-Dodds Science Publishing, London.
- Holderness M. 1990. Control of vascular-streak dieback of cocoa with triazole fungicides and the problem of phytotoxicity. *Plant Pathology* 39 :286-293. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1990.tb02505.x>
- Jayawardena MP, Patmanathan M, Ramadasan K. 1978. Thinning and vascular streak dieback control in high density cocoa plantings under coconuts. In : Proceedings of International Conference on Cocoa and Coconuts, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 322-339.
- Junaid M, Purwantara A, Guest D. 2020. First report of vascular streak dieback symptom of cocoa caused by *Ceratobasidium theobromae* in Barru District, South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth Environment Science*. 486. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012170>
- Keane PJ. 1972. Aetiology and epidemiology of vascular-streak dieback of cocoa. PhD Thesis, University of Papua New Guinea.
- Keane PJ. 1981. Epidemiology of vascular-streak dieback of cocoa. *Annals of Applied Biology* 98 :227-241. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1981.tb00756.x>
- Keane PJ, Flentje NT, Lamb KP. 1972. Investigation of vascular-streak dieback of cocoa in Papua New Guinea. *Australian Journal of Biological Sciences* 25 :553-564. <https://doi.org/10.1071/BI9720553>
- Keane PJ, Prior C. 1991. Vascular-streak dieback of cocoa. *Phytopathological Papers* No. 33. 39 pp.
- Keane PJ, Turner PD. 1972. Vascular-streak dieback of cocoa in West Malaysia. In : RL Wastie and DA Earp (eds). Proceedings of the Conference on Cocoa and Coconuts in Malaysia. The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia. pp 50--57.
- Kotila JE. 1929. A study of the biology of a new spore-forming *Rhizoctonia*, *Corticium praticola* . *Phytopathology* 19 : 1059- 1099.
- Lai AL. 1985. Pest and disease records, Burma : New record of cocoa disease. *Quarterly Newsletter, Asia and Pacific Plant Protection Commission* 28(4) :9.
- Leiva AM, Pardo JM, Arinaitwe W, Newby J, Vongphachanh P, Chittarath K, Oeurn S, Hang LT, GilOrdóñez A, Rodriguez R, Cuellar WJ. 2023. *Ceratobasidium* sp. is associated with cassava witches' broom disease, a reemerging threat to cassava cultivation in Southeast Asia. *Scientific Reports* 13: 22500
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-49735-5>
- Landicho DM, Montañez RJM, Camagna M, Neang S, Bulasag AS, Magdaraog PM, Sato I, Takemoto D, Maejima K, Pinili MS. 2024. Status of cassava witches' broom disease in the Philippines and identification of potential pathogens by metagenomic analysis. *Biology* 13: 522.
<https://doi.org/10.3390/biology13070522>
- Liyanapathirana P, Avin FA, Bonkowski J, Beckerman J, Munster M, Hadziabdic D, Trigiano RN, Baysal-Gurel F. 2024. Vascular streak dieback: A novel threat to redbud and other woody ornamental production in the United States. *Plant Disease* (published online 8th August 2024) <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-24-0905-FE>
- McMahon PJ, Purwantara A, Susilo AW, Sukanto S, Wahab A, bin Purang H. Hidayat M, Ismail D, Taproni T, Lambert S, Guest DI, Keane PJ. 2010. On farm selection for quality and resistance to pest/diseases of cocoa in Sulawesi ii) quality and performance of selections against *Phytophthora* pod rot and vascular streak die back. *International Journal of Pest Management* 56 :351-261.
- McMahon PJ, Purwantara A. 2016. Vascular streak dieback (*Ceratobasidium theobromae*) : history and biology. In : Bailey BA, Meinhardt LW, editors. Cacao Diseases : a History of Old Enemies and New Encounters. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 307-335.
<https://doi.org/10.1080/09670874.2010.503284>

- Minimol JS, Suma B, Ummer M, Jayasree PA. 2016. Parental contribution analysis in hybrids bred for vascular streak dieback (VSD) disease resistance in cocoa. *Journal of Plantation Crops* 44: 2. <https://doi.org/10.19071/jpc.2016.v44.i1.3011>
- Oberwinkler F, Reiss K, Bauer R, Kirschner R, Garnica S. 2013. Taxonomic re-evaluation of the *Ceratobasidium-Rhizoctonia* complex and *Rhizoctonia butinii*, a new species attacking spruce. *Mycological Progress* 12 : 763-776. <https://doi.org/10.1007/s11557-013-0936-0>
- Pawirosoemardjo S, Purwantara A, Keane PJ. 1990. Vascular-streak dieback of cocoa in Indonesia. *Cocoa Growers' Bulletin* 43 :11-24.
- Prior C. 1978. A method of inoculating young cocoa plants with basidiospores of *Oncobasidium theobromae*. *Annals of Applied Biology* 88 :357-362. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1978.tb00725.x>
- Prior C. 1979. Resistance of cocoa to vascular-streak dieback disease. *Annals of Applied Biology* 92 :369-376. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1979.tb03886.x>
- Prior C. 1980. Vascular streak dieback. *Cocoa Growers' Bulletin* 29 :21-26.
- Prior C. 1981. Vascular-streak dieback disease in Papua New Guinea. In : Proceedings of the 6th International Cocoa Research Conference, Caracas, Venezuela 1977. pp. 300-305.
- Prior C. 1982. Basidiospore production by *Oncobasidium theobromae* in dual culture with cocoa callus tissue. *Transactions of the British Mycological Society* 78 :571-574. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(82\)80175-7](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(82)80175-7)
- Prior C. 1984. Approaches to the control of diseases of cocoa in Papua New Guinea. *Journal of Plant Protection in the Tropics* 1 :39-46.
- Prior C. 1985. Cocoa quarantine : measures to prevent the spread of vascular-streak dieback in planting material. *Plant Pathology* 34 :603-608. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1985.tb01412.x>
- Prior C. 1987. Chemical control of vascular-streak dieback disease of cocoa in Papua New Guinea. *Plant Pathology* 36 :355-360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1987.tb02243.x>
- Prior C. 1992. Comparative risks from diseases of cocoa in Papua New Guinea, Sabah and the Caribbean. In : Keane PJ, Putter CAJ, editors. Cocoa pest and disease management in Southeast Asia and Australasia. FAO, Rome, Italy. pp. 109-116.
- Rosmana A, Samuels GJ, Ismaiel A, Ibrahim ES, Chaverri P, Herawati J, Asman A. 2015. Tropical *Plant Pathology* 40: 19. <https://doi.org/10.1007/s40858-015-0004-1>
- Rosmana A, Taufik M, Asman A, Jayanti NJ, Hakkar AA. 2019. Dynamic of Vascular Streak Dieback Disease Incidence on Susceptible Cacao Treated with Composted Plant Residues and *Trichoderma asperellum* in Field. *Agronomy* 9 : 650. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100650>
- Samuels GJ, Ismaiel A, Rosmana A, Junaid M, Guest D, McMahon P, Keane P, Purwantara A, Lambert S, Rodriguez-Carres M, Cubeta MA. 2012. Vascular Streak Dieback of cacao in Southeast Asia and Melanesia : *in planta* detection of the pathogen and a new taxonomy. *Fungal Biology* 116(1) : 19. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2011.07.009>
- Sidhu M. 1987. Some short-term investigations into the management of vascular streak dieback disease on young cocoa in Giram Estate, Sabah, Malaysia. *Planter* 63 :47-58.
- Talbot PHB, Keane PJ. 1971. *Oncobasidium*, a new genus of tulasnelloid fungi. *Australian Journal of Botany* 19 :203-206. <https://doi.org/10.1071/BT9710203>
- Vanhove W, Vanhoudt N, Van Damme P. 2016. Biocontrol of vascular streak dieback (*Ceratobasidium theobromae*) on cacao (*Theobroma cacao*) through induced systemic resistance and direct antagonism. *Biocontrol Science and Technology* 26(4) : 492–503. <https://doi.org/10.1080/09583157.2015.1128527>
- Zainal Abidin MA, Varghese G, Mainstone BJ. 1981. Vascular streak dieback of cocoa in Malaysia. I. A survey of its incidence and identification of the pathogen involved. *Planter* 57 :3-13.
- Zainal Abidin MA, Varghese G, Mainstone BJ. 1986. Aspects of the epidemiology of vascular streak dieback of cocoa in Malaysia. In : Proceedings International Conference on Cocoa and Coconuts Progress and

Outlook, Kuala Lumpur, Malaysia, 15-17 Oct. 1984. Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 405-411.

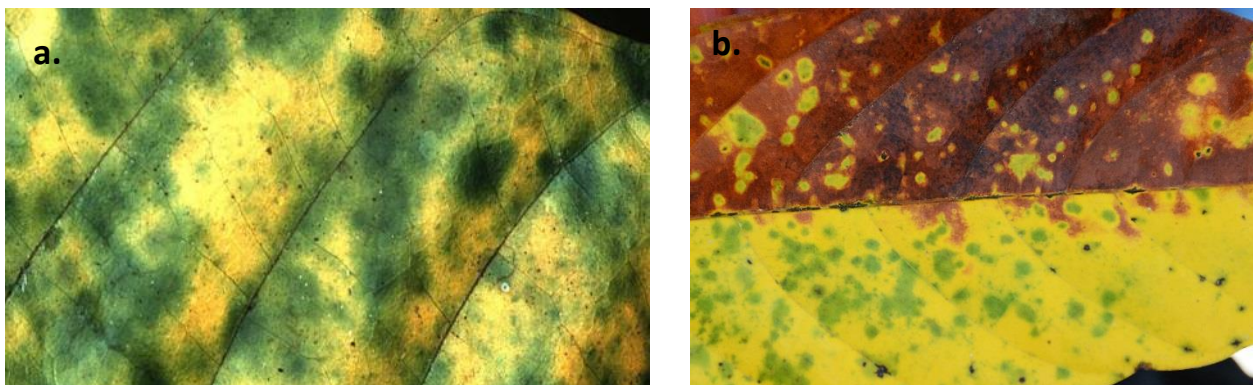


Figure 8.4.1. a) Maladie des stries vasculaires (VSD) : chlorose foliaire (M Holderness, CABI) et b) Feuille nécrosée avec des mouchetures éparses de tissu vert (AJ Daymond, Université de Reading)



Figure 8.4.2. a) Tige infectée par le VSD montrant des lenticelles agrandies et des faisceaux vasculaires noircis visibles dans la cicatrice laissée par la chute de la feuille malade (J Flood, CABI) et b) Pétiole infecté par le VSD (AJ Daymond, Université de Reading)



Figure 8.4.3. a) VSD : stries brunes dans du bois infecté (CABI) et b) basidiocarpe, sous forme d'un tapis blanc, plat et velouté sur la cicatrice de la feuille (CABI)

8.5. Verticilliose du cacaoyer

Mise à jour en 2021: Mário Lúcio Vilela de Resende¹, Anne-Sophie Bouchon², Adriano Augusto de Paiva Custódio¹ et Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros¹

¹Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, CEP 37200-000, Brésil
Email : mlucio@ufla.br

² Plant Health Sustainable Solutions (PHSS), Nancy, France UK Email : anne-sophie.bouchon@phss.fr

8.5.1. Agent causal

Verticillium dahliae Klebahn (Ascomycota, dans la famille Plectospharellaceae)

8.5.2. Symptômes

Les symptômes généraux du *Verticillium* sont l'épinastie (Fig. 8.5.1A), le jaunissement, la nécrose et le flétrissement ou l'abscission des feuilles (Fig. 8.5.1B- D), suivies de retard du développement ou de la mort de la plante (Resende et al. 1996). Selon Fradin et Thomma (2006), le flétrissement débute en général à l'extrémité d'une feuille infectée, dans les plus vieilles tiges puisque l'invasion est acropétale (de la base à l'apex). Dans le cacaoyer, les plantes infectées présentent

généralement un flétrissement soudain suivi d'une nécrose de la feuille et des poussées foliaires.

Des types semblables de symptômes défoliants (Fig. 8.5.1B) et non défoliants (Fig. 8.5.1C) peuvent se produire sur le cacaoyer comme sur d'autres hôtes. Par exemple, sur le coton et l'olivier, des pathotypes de *V. dahliae* sont décrits défoliants ou non défoliants (Schnathorst and Mathre 1966, Bejarano-Alcázar et al. 1996), mais d'autres auteurs (Ashworth Jr 1983, Dervis et al. 2010) ont suggéré un continuum de symptômes lié à l'agressivité relative parmi les souches de *V. dahliae*, plutôt que l'existence de pathotypes distincts. Chez l'olivier et le coton, la résistance de certains cultivars peut varier en fonction du pathotype de *V. dahliae* ou des groupes de compatibilité végétative (GCV) (López-Escudero et al 2004, Göre et al. 2014).

Généralement, on pense que le symptôme de flétrissement survient à cause du stress hydrique causé par l'occlusion vasculaire alors que la défoliation peut aussi impliquer des déséquilibres des régulateurs de croissance. Ainsi, Talboys (1968) a suggéré que la défoliation est liée au niveau de stress hydrique, tandis que Tzeng et DeVay (1985) et Resende et al. (1996) ont mis en évidence une augmentation de la production d'éthylène, respectivement, chez des plants de coton et de cacaoyer inoculés avec des isolats défoliants comparés à ceux infectés par des isolats non défoliants.

Dans des sections de tige, on peut voir une décoloration brune des tissus vasculaires (Fig. 8.5.1 E, F). Un brunissement, des thylloses (Fig. 8.5.1 G) et des dépôts de gommes et de gels (Fig. 8.5.1 G) peuvent être observés à l'intérieur des nervures. Les niveaux des symptômes observés dépendent principalement de la concentration d'inoculum, du pathotype de *Verticillium*, de la variété végétale et du stade de développement de la plante, de la température, de l'humidité du sol et de la nutrition, particulièrement la teneur en potassium (Trocmé 1972, Emechebe 1975, Resende 1994, Bouchon 2020). L'infestation des racines par les nématodes parasites peut augmenter l'occurrence et la sévérité des maladies causées par des champignons telluriques comme *V. dahliae* (Johnson and Santo 2001, Bae et al. 2011). *Verticillium dahliae* attaquant le cacaoyer semble être favorisé par des températures comprises entre 20°C et 28°C, bien que différents GCV aient des températures optimales différentes (Resende 1994, Bouchon 2020).

Dans les champs de cacaoyer, les symptômes de l'infection par *V. dahliae* apparaissent au moment où l'arbre commence à produire des cabosses, c'est-à-dire 2 à 3 ans après la plantation (Matovu 1973). Des attaques sévères, consécutives à des conditions particulièrement sèches ou à une accumulation d'eau, peuvent provoquer la mort d'un cacaoyer une semaine après une situation de santé et de vigueur apparentes (Leakey 1965). Dans d'autres cas, on observe une récupération naturelle de l'arbre, dépendant principalement du génotype (Resende 1994).

Au Brésil, une incidence accrue de verticilliose a été notée dans les zones sèches en combinaison avec un manque d'ombre (de Almeida et al., 1989). On a montré que l'ombrage du cacaoyer réduisait à la fois l'incidence et la gravité de la verticilliose du cacaoyer en Ouganda (Trocmé 1972, Matovu 1973).

8.5.3. Distribution géographique

Les *Verticillium* spp. sont des champignons telluriques de distribution mondiale, responsables d'une maladie vasculaire aboutissant à des pertes sévères du rendement et de la qualité chez plusieurs espèces cultivées (Inderbitzin et al. 2011).

Au Brésil, la verticilliose est un grave problème dans les États de Bahia et d'Espírito Santo (Resende et al. 1995, Agrianual 2009). La verticilliose fait partie des maladies graves du cacaoyer en Ouganda causant jusqu'à 30 % de perte de rendement dans certaines exploitations (Emechebe et al. 1971, Matovu 1973, Bouchon 2020). La verticilliose a récemment été rapportée dans la Province du Nord Kivu en République démocratique du Congo (Bouchon 2020). *Verticillium dahliae* a aussi été trouvé sur le cacaoyer en Colombie (Granada 1989, Resende et al. 1995) et au Pérou (Bouchon 2020, Leon-Ttacca et al. 2019). En Équateur, un agent pathogène provoquant le flétrissement du cacaoyer a également été identifié comme appartenant au genre *Verticillium* mais n'a pas été identifié au niveau de l'espèce (Zavala et al. 2010). La maladie a également été signalée dans d'autres pays producteurs de cacao, notamment São Tomé et Príncipe, le Gabon et le Sri Lanka (Chalot and Luc 1906, Kaden 1933, Navel 1921, Park 1933, 1934 cité par Oliveira et Luz 2005).

8.5.4. Hôtes alternatifs

Plus de 400 espèces dicotylédones sont hôtes de *V. dahliae*, y compris d'autres membres de la famille des Malvaceae comme le coton (Malcolm et al. 2013).

8.5.5. Biologie

Le mycélium végétatif de *V. dahliae* est hyalin, habituellement ramifié, septé et multinucléé (Fig. 8.5.2A). L'apparence des conidiophores est caractéristique : ils sont verticillés en raison de la production de conidies à l'extrémité des cellules conidiogènes; entre 2 et 3 cellules conidiogènes par nœud sont produites en verticilles. Les conidies sont ellipsoïdes à ovoïdes (Fig. 8.5.2 A), (Inderbitzin et al. 2011). Les microscélérotés, qui sont les structures de latence, sont couramment observés. Les conidies et les microscélérotés sont couramment utilisés pour identifier *V. dahliae* au niveau de l'espèce.

Des variations morphologiques distinctes (aspects de la culture, taille des conidies et des microscélérotés) se sont avérées discriminantes pour les différents groupes de compatibilité végétative de *V. dahliae* attaquant le cacaoyer en Ouganda et au Pérou (Bouchon 2020) (Fig. 8.5.2 B).

Le cycle de vie de *V. dahliae* peut être divisé en trois phases : l'une dormante, l'autre parasitaire et la dernière saprophyte. Une adaptation unique de ces organismes est que, jusqu'aux stades avancés de la colonisation vasculaire, le pathogène se limite exclusivement au xylème, lequel contient des fluides à faibles teneurs en sucres, acides aminés et sels inorganiques divers (Resende 1994). La germination des microsclérotés dans des sols infestés est stimulée par les exsudats racinaires et le tube germinatif pénètre dans l'hôte par les racines, poursuit sa croissance inter- et intracellulaire dans le cortex et s'étend au xylème. L'invasion systémique se produit quand des générations successives de conidies sont produites et transportées par la transpiration du xylème aux parties aériennes de la plante (Veronese et al. 2003). Il a été décrit que la colonisation de la plante à ce stade semble alterner des cycles de prolifération fongique et d'élimination fongique, l'élimination étant vraisemblablement induite par les réponses de défense de la plante (Fradin et Thomma 2006). Pendant la nécrose tissulaire ou la sénescence de la plante, le champignon entre dans la phase saprophyte. En plus des tissus vasculaires, les tiges et les racines de la plante sont aussi colonisées. Dans le cas d'une infection par *V. dahliae*, de grandes quantités de microsclérotés sont produites (Fig. 8.5.2 B et 8.5.2 C).

8.5.6. Mesures de quarantaine

Les parties végétales suivantes sont susceptibles de véhiculer le pathogène dans les échanges/transports (informations provenant de diverses cultures) :

- Fruits (y compris les cabosses) : Hyphes ; à transmission interne ; invisibles.
- Feuilles : Hyphes ; à transmission interne ; invisibles à l'œil nu.
- Racines : Hyphes ; à transmission interne ; invisibles.
- Tiges (au-dessus du sol)/pousses/troncs/branches : Hyphes, sclérotés ; à transmission interne ; à transmission externe ; invisibles à l'œil nu.
- Graines : hyphes, sclérotés, spores ; invisibles à l'œil nu.
- Milieu de culture accompagnant les plantes

Bien que *V. dahliae* soit très répandu, il est important d'empêcher la propagation de différentes souches entre les zones de culture du cacaoyer. Une attention particulière est nécessaire en raison de la longue durée de vie des microsclérotés, qui peuvent survivre dans le sol, par exemple, pendant plus de 10 ans. Il est nécessaire de restreindre le mouvement du matériel génétique dans les zones où la maladie n'est pas présente et de collecter les branches pour le greffage des bourgeons dans des zones exemptes du pathogène. Lorsqu'il provient de zones infectées, le matériel végétal doit être placé dans une station de quarantaine, pour observation et analyses, car le champignon peut rester dormant dans les tissus végétaux.

Verticillium dahliae peut être isolé du xylème des racines, des tiges, des branches, des brindilles et même des feuilles et des graines de nombreuses cultures commerciales. Des protocoles de diagnostic ont été publiés pour plusieurs combinaisons culture/espèces de *Verticillium* (par exemple, OEPP, 2020). Le diagnostic est souvent réalisé après l'isolement du champignon à partir de tissus vasculaires excisés sur milieu sulfate-alcool-agar (SAA) à la streptomycine ou sur milieu semi-sélectif NP-10 (Kabir et al. 2004). Bien que des tests sérologiques aient été développés pour certifier le matériel de plantation, les efforts récents pour détecter et identifier les espèces de *Verticillium* ont principalement porté sur l'utilisation de techniques de diagnostic moléculaire utilisant l'amplification PCR (par exemple, Maurer et al. 2013) et des tests *in planta* ont été développés pour des cultures telles que l'olivier (Mousavi et al. 2020). Bouchon (2020) a utilisé une technique PCR pour identifier les GCV de *V. dahliae* attaquant le cacaoyer.

Pour lutter contre la verticilliose des arbres, une stratégie de lutte intégrée combinant des mesures de lutte biologiques, chimiques, physiques et culturales est nécessaire pour réduire les pertes dues à *V. dahliae* et empêcher sa propagation à de nouvelles zones de plantation. Du matériel de plantation propre est un point de départ important, et pour les autres cultures, l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes (OEPP) recommande que le matériel de plantation provienne d'un champ où la verticilliose n'a pas été observée au cours des cinq dernières années et que les envois et leurs plantes mères aient été trouvés indemnes de la maladie au cours de la dernière période de végétation. De plus, la solarisation peut éradiquer les agents pathogènes potentiellement présents dans le sol associé au matériel de plantation (Kanaan et al. 2015). Même si la résistance génétique est souhaitable, il n'existe pas encore de matériel de plantation de cacaoyer présentant un niveau de résistance satisfaisant, même si certains clones se sont révélés partiellement résistants à la maladie (Resende 1994, Oliveira et Luz 2005, Pereira et al. 2008, Bouchon 2020). Les mesures de gestion intégrées ont été récemment révisées (Bouchon and ten Hoopen 2022) et comprennent l'élimination des résidus de culture infectés et l'élimination des arbres morts et de leurs systèmes racinaires (Oliveira et Luz 2005), la prévention des dommages causés aux racines des cacaoyers lors de la manipulation des plantules ou du désherbage (Emechebe 1975) et l'utilisation d'un ombrage et d'un engrais appropriés qui peuvent améliorer la gestion de la maladie et prolonger la vie des plantes (Oliveira et Luz 2005, Pereira et al. 2008). L'importance de la gestion des mauvaises herbes dans les zones de culture du cacaoyer a été soulignée par Resende (1994) car les mauvaises herbes peuvent agir comme un réservoir de *V. dahliae* (Resende 1994). La recherche sur les agents de lutte biologique contre *V. dahliae* montre des résultats prometteurs, mais ces études sont principalement menées dans des conditions d'environnement contrôlé (Deketelaere et al. 2017, Leon-Ttacca et al. 2019, Montes-Osuna & Mercado-

Blanco, 2020). Les amendements organiques ou biologiques du sol peuvent être efficaces pour réduire la verticilliose dans certains systèmes de culture (Montes-Osuna et Mercado-Blanco 2020).

8.5.7. Références et lectures complémentaires

- Agrianual. 2009. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo : FNP Consultoria & Agroinformativos. 500 pp.
- Ashworth Jr, L. 1983. Aggressiveness of random and selected isolates of *Verticillium dahliae* from cotton and the quantitative relationship of internal inoculum to defoliation. *Phytopathology* 73(9): 1292-1295. <https://doi.org/10.1094/Phyto-73-1292>
- Auger SJ, Esterio GM, Jürgensen EE. 1995. Immunodiagnosis of *Verticillium dahliae* Klebahn on grape (*Vitis vinifera*) and apricot (*Prunus armeniaca*). *Fitopatologia* 30(3): 138-142.
- Bae J, Neu K, Halterman D, Jansky S. 2011. Development of a potato seedling assay to screen for resistance to *Verticillium dahliae*. *Plant Breeding*, 130(2), 225-230. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2010.01821.x>
- Bejarano-Alcázar J, Blanco-López M, Melero-Vara J, Jiménez-Díaz RM. 1996. Etiology, importance, and distribution of *Verticillium* wilt of cotton in southern Spain. *Plant Disease* 80(11): 1233-1238. <https://doi.org/10.1094/PD-80-1233>
- Bouchon A. 2020. Vascular wilt disease of *Theobroma cacao* in Uganda and DR Congo caused by *Verticillium dahliae* : studies on management using a genetic approach. PhD Thesis, University of Aberdeen, UK.
- Bouchon AS, ten Hoopen, GM 2022. Integrated Management of *Verticillium* Wilt of Cacao. *Frontiers in Agronomy* 4: 1–15. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.911969>
- CABI/EPPO. Data Sheets on Quarantine Pests : *Verticillium* spp. on hops. Available from URL : <https://gd.eppo.int/taxon/VERTDH/documents>. Date accessed : 20 May 2021.
- de Almeida O, de Almeida L, de Figueiredo J. 1989. Obtencao, em meio de cultura, de propágulos de *Verticillium dahliae* Kleb., causador da murcha de-verticillium em cacauero (*Theobroma cacao* L.). *Agrotrópica (Brasil)* 1(3) : 213-215.
- Deketelaere S, Tyvaert L, França SC, Höfte M. 2017. Desirable traits of a good biocontrol agent against *Verticillium* wilt. *Frontiers in Microbiology* 8 : 1186. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01186>
- Dervis S, Mercado-Blanco J, Erten L, Valverde-Corredor A, Pérez-Artés E. 2010. *Verticillium* wilt of olive in Turkey : a survey on disease importance, pathogen diversity and susceptibility of relevant olive cultivars. *European Journal of Plant Pathology* 127(2) : 287-301. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9595-z>
- Emechebe A. 1975. Some host factors affecting inoculation of cacao seedlings with *Verticillium dahliae*. *East African Agricultural and Forestry Journal* 40(3) : 271-277. <https://doi.org/10.1080/00128325.1975.11662744>
- Emechebe A, Leakey CL, Banage W. 1971. *Verticillium* wilt of cacao in Uganda : symptoms and establishment of pathogenicity. *Annals of Applied Biology* 69(3): 223-227. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1971.tb04674.x>
- Fradin EF, Thomma BP. 2006. Physiology and molecular aspects of *Verticillium* wilt diseases caused by *V. dahliae* and *V. albo-atrum*. *Molecular Plant Pathology* 7(2): 71-86. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2006.00323.x>
- Gómez-Gálvez F, Rodríguez-Jurado D. 2018. Potential efficacy of soil-applied disinfectant treatments against *Verticillium* wilt of olive. *Crop Protection* 106: 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.002>
- Gómez-Alpizar L. 2001. *Verticillium dahliae*. PP-728 Pathogen Profiles (online). NC State University, 2001. Available from URL : <http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Verticillium/Vertifin.htm>. Date accessed : 20 May 2021
- Göre M, Erdoğan O, Caner Ö, Aydın M, Berk, S. 2014. VCG diversity and virulence of *Verticillium dahliae* from commercially available cotton seed lots in Turkey. *European Journal of Plant Pathology* 140(4) : 689-699. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0500-z>

- Granada G. 1989. Marchitez del cacao por *Verticillium dahliae*. *Cacaotero Colombiano (Colombia)* 12(37) : 17-28.
- Inderbitzin P, Bostock RM, Davis RM, Usami T, Platt HW, Subbarao KV. 2011. Phylogenetics and taxonomy of the fungal vascular wilt pathogen *Verticillium*, with the descriptions of five new species. *PloS One* 6(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028341>
- Johnson DA, Santo GS. 2001. Development of wilt in mint in response to infection by two pathotypes of *Verticillium dahliae* and co-infection by *Pratylenchus penetrans*. *Plant Disease* 85(11) : 1189-1192. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.11.1189>
- Kabir Z, Bhat R, Subbarao K. 2004. Comparison of media for recovery of *Verticillium dahliae* from soil. *Plant Disease* 88(1), 49-55. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.1.49>
- Kanaan H, Medina S, Krassnovsky A, Raviv M. (2015). Survival of *Macrophomina phaseolina* sl and *Verticillium dahliae* during solarization as affected by composts of various maturities. *Crop Protection* 76, 108-113. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.006>
- Leakey C. 1965. Sudden death disease of cacao in Uganda associated with *Verticillium dahliae* Kleb. *East African Agricultural and Forestry Journal* 31(1), 21-24. <https://doi.org/10.1080/00128325.1965.11662020>
- Leon-Ttacca B, Arévalo-Gardini E, Bouchon, AS. 2019. Sudden death of *Theobroma cacao* L. caused by *Verticillium dahliae* Kleb. in Peru and its *in vitro* biocontrol. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria* 20(1), 133-148. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art :1251
- López-Escudero FJ, Del Río C, Caballero J, Blanco-López M. 2004. Evaluation of olive cultivars for resistance to *Verticillium dahliae*. *European Journal of Plant Pathology* 110(1) : 79-85. <https://doi.org/10.1023/B :EJPP.0000010150.08098.2d>
- Malcolm GM, Kuldau GA, Gugino BK, Jiménez-Gasco M d M. 2013. Hidden host plant associations of soilborne fungal pathogens : an ecological perspective. *Phytopathology* 103(6) : 538-544. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-12-0192-LE>
- Matovu S. 1973. A survey of cocoa diseases in Uganda. *East African Agricultural and Forestry Journal* 38(3) : 218-228. <https://doi.org/10.1080/00128325.1973.11662584>
- Maurer KA, Radišek S, Berg G, Seefelder S. 2013. Real-time PCR assay to detect *Verticillium albo-atrum* and *V. dahliae* in hops : development and comparison with a standard PCR method. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 120(3) : 105-114. <https://doi.org/10.1007/BF03356461>
- Montes-Osuna N, Mercado-Blanco J. 2020. *Verticillium* wilt of olive and its control : what did we learn during the last decade? *Plants* 9(6) : 735. <https://doi.org/10.3390/plants9060735>
- Mousavi SA, Keykhasaber M, Fahmideh L, Aran M. 2020. A robust method for identification and in-plant detection of *Verticillium dahliae* in the infected olive trees, using real-time PCR and nested PCR, *Physiological and Molecular Plant Pathology* 112 : 101559. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2020.101559>
- Oliveira M, Luz E. 2005. *Identificação e manejo das principais doenças do cacaueiro no Brasil*. Ilhéus, Brasil : CEPLAC/CEPEC/SEFIT.
- Pereira RB, Resende M, Ribeiro Jr PM, Amaral DR, Lucas GC, Cavalcanti FR. 2008. Activation of defence responses on cocoa against *Verticillium* wilt by natural extracts and acibenzolar-S-methyl. [Ativação de defesa em cacaueiro contra a murcha-de- verticílio por extratos naturais e acibenzolar-S-metil] *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 43(2), 171-178. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000200003>
- Plasencia J, Banttari EE. 1997. Comparison between a culture plate method and an immunoassay to evaluate vascular colonization of potato by *Verticillium dahliae*. *Plant Disease* 81(1), 53-56. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.1.53>
- Resende M. 1994. *Vascular Wilt of Cocoa (Theobroma cacao L.) Caused by Verticillium dahliae Kleb : Studies on Pathogenicity and Resistance* . PhD Thesis, University of Bath,UK.

- Resende M, Flood J, Cooper RM. 1995. Effect of method of inoculation, inoculum density and seedling age at inoculation on the expression of resistance of cocoa (*Theobroma cacao* L.) to *Verticillium dahliae* Kleb. *Plant Pathology* 44(2), 374-383.
- Resende M, Mepsted R, Flood J, Cooper, RM. 1996. Water relations and ethylene production as related to symptom expression in cocoa seedlings infected with defoliating and non-defoliating isolates of *Verticillium dahliae*. *Plant Pathology* 45(5), 964-972.
- Schnathorst W, Mathre D. 1966. Host range and differentiation of a severe form of *Verticillium albo-atrum* in cotton. *Phytopathology*, 56(10), 1155-1161.
- Talboys P. 1968. Water deficits in vascular disease. *Water Deficits and Plant Growth* 2 : 255-311.
- Trocmé O. 1972. Contribution à l'étude d'une maladie du cacaoyer en Ouganda : le dessèchement éco-fongique des branches. *Café, Cacao, Thé* 16(3) : 219-235.
- Tzeng D, De Vay J. 1985. Physiological responses of *Gossypium hirsutum* L. to infection by defoliating and nondefoliating pathotypes of *Verticillium dahliae* Kleb. *Physiological Plant Pathology* 26(1) : 57-72. [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(85\)90030-X](https://doi.org/10.1016/0048-4059(85)90030-X)
- Van de Koppel M, Schots A. 1995. Monoclonal antibody-based double-antibody sandwich-ELISA for detection of *Verticillium* spp. in ornamentals. *Phytopathology* 85(5) : 608-612. <https://doi.org/10.1094/Phyto-85-608>
- Veronese P, Narasimhan ML, Stevenson RA, Zhu J, Weller SC, Subbarao KV, Bressan RA. 2003. Identification of a locus controlling *Verticillium* disease symptom response in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal* 35(5) : 574-587. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.2003.01830.x>
- Zavala MGM, Feijoo MIJ, García ELP. 2010. Actualización de la micobiota patogénica del cacao “arriba”(*Theobroma cacao*) presente en la costa Ecuatoriana. *Revista Tecnológica-ESPOL* 23(1) : 21-26.

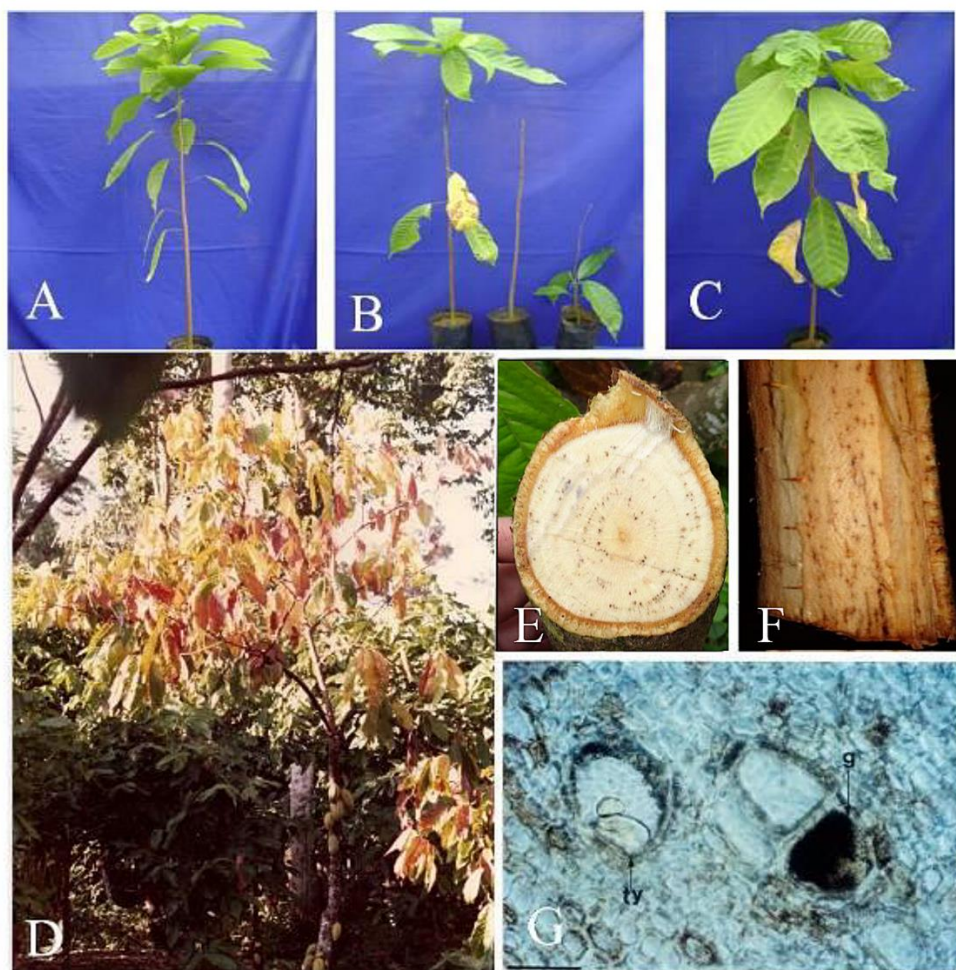


Figure 8.5.1. Symptômes externes (A-D) et internes (E-G) des interactions *Verticillium dahliae* – cacaoyer (MLV Resende, Univ. Federal de Lavras, Brésil) :

- A** Épinastie (de la base vers l'apex – direction acropétale)
 - B** Défoliation
 - C** Non défoliation
 - D** Flétrissement général des feuilles au champ
 - E** Section transversale d'une branche de cacaoyer montrant des décolorations vasculaires
 - F** Section longitudinale montrant des stries vasculaires
 - G** Section transversale d'une tige de cacaoyer infectée en microscopie optique : dépôts de gomme brun foncé (g) et de thylloses (ty), produites en réponse à l'infection.
- (Les barres d'échelle représentent 50 μ m).

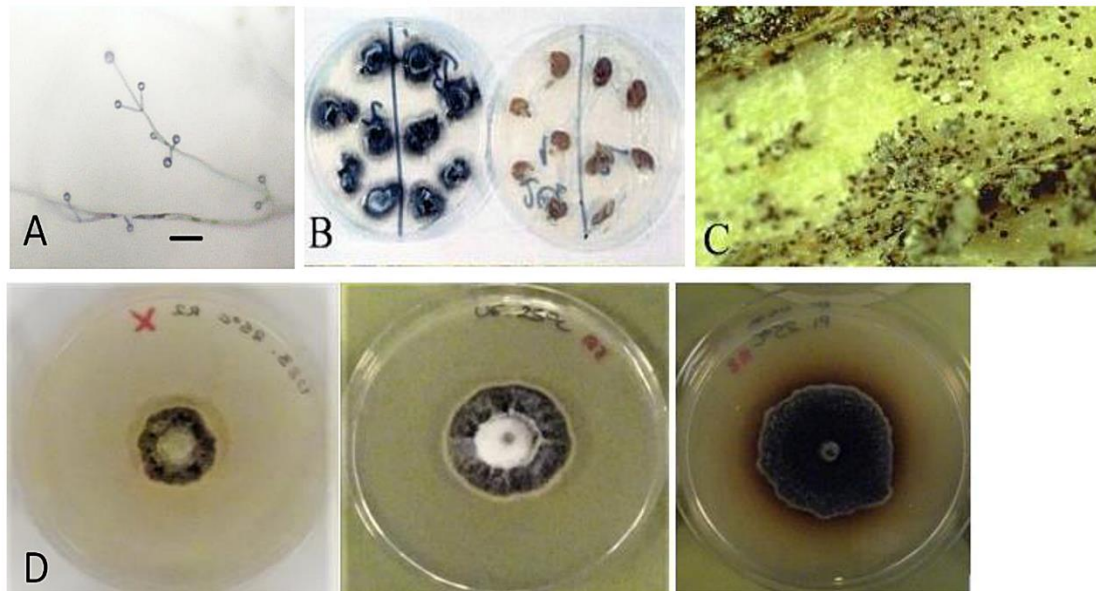


Figure 8.5.2. Cycle biologique de *Verticillium dahliae* :

A Isolat de *V. dahliae* (les barres d'échelle représentent 160 µm ; AS Bouchon)

B Morphologie d'une colonie typique de *V. dahliae* re-isolée à partir de section transversale de tige de cacaoyer sur un milieu gélifié alcoolisé. (Boîte de Petri contenant des échantillons de plants infectés à gauche et non infectés à droite) (MLV Resende)

C Microscférotes dans une tige de coton infectée (Gómez-Alpizar 2001).

D Colonies de *V. dahliae* après 14 jours d'incubation à 25°C sur milieu dextrose agar pour la pomme de terre (à gauche VCG4A, au milieu : VCG4B à droite : Pérou ; AS Bouchon)

8.6. Flétrissement à *Ceratocystis* ou Mal de machete

Mise à jour par Karina P Gramacho¹, Danilo Vera Coello², Emili R J Assuão^{1,3}, basée sur la version premièrement contribué par Carmen Suárez-Capello^{1*}

¹CEPLAC/CEPEC/SEFIT. Rodovia Ilhéus-Itabuna, km22. Itabuna, BA, Brésil

¹Email: gramachokp@hotmail.com; karina.gramacho@agro.gov.br

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Iniap/ E.E. Tropical Pichilingue. Email : danilo.vera@iniap.gob.ec

³Molecular Biologist, Ilhéus, BA, Brésil ; email : emilirane@hotmail.com

*In memoriam, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Quevedo, Équateur.

8.6.1. Agent causal

Ceratocystis cacaofunesta Engelbr. & T.C. Harr.

Ce pathogène est un membre du clade latino-américain du complexe d'espèces *C. fimbriata*, qui présente une variation génétique importante et un grand éventail d'hôtes. Pour une étude extensive du genre, se référer à Marin et Wingfield (2006), et à la récente mise à jour pour *C. cacaofunesta* incluse dans le CABI Invasive Species Compendium (CABI 2021).

Le flétrissement à *Ceratocystis* ou Mal de machete est causé par une espèce spécialisée à l'infection de Theobrome cacao, dénommée désormais *C. cacaofunesta* (Engelbrecht et Harrington 2005). Des études antérieures ont suggéré que *C. fimbriata* était un complexe d'espèces cryptiques montrant une spécialisation d'hôte (Baker et al. 2003, Engelbrecht et Harrington 2005). Les techniques moléculaires modernes et les différences morphologiques entre les isolats du cacaoyer (*Theobroma cacao*), de la patate douce (*Ipomoea batatas*), et du sycomore (*Platanus* spp.) ont permis de reclasser l'espèce spécifique du cacaoyer en *Ceratocystis cacaofunesta* (Engelbrecht et Harrington 2005).

8.6.2. Symptômes

Les arbres infectés montrent un feuillage mou et brun, sur une branche unique ou sur l'arbre entier, selon que seule une branche ou la tige principale a été infectée. Le premier symptôme est un jaunissement général des feuilles (chlorose), suivi du brunissement des tiges et du flétrissement et du dessèchement des feuilles durant 2 à 4 semaines. Cependant, les feuilles restent généralement attachées à la plante pendant de longues durées (Delgado and Suárez, 2003). L'assombriement vasculaire interne se produit en raison de l'enfermement des conidies dans les cellules du parenchyme entourant les vaisseaux du xylème (Santos et al. 2013). Ainsi, un grand nombre de vaisseaux peuvent être simultanément colonisés et bloqués, ce qui empêche le transport de l'eau à travers la plante et entraîne le flétrissement (Talboys, 1972). Le champignon tuera également les cellules du cambium et du tissu de l'écorce, créant un chancre sur la tige ou la branche, généralement associé à l'affaiblissement de l'arbre. Les chancres du *Ceratocystis* ne sont visibles qu'à un stade très avancé du processus d'infection sur les arbres matures.

En général, le Mal de machete se reconnaît par un feuillage brun et mou restant accroché à l'arbre et ne tombant pas, même en secouant la branche (Fig. 8.6.1.a). Un autre symptôme typique bien connu est l'odeur des fruits mûrs dans la zone infectée. Les scolytes à ambrosia du genre *Xyleborus* sont attirés par les arbres malades et forent dans les branches ou la tige principale (Fig. 8.6.1.b) (Saunders 1965). Leurs déjections sont poussées à l'extérieur de la tige ou de la branche et se déposent à la base de l'arbre en masses légères, pulvérulentes (Fig. 8.6.1.d). Ceci est reconnu comme étant le premier signe positif du Mal de la Machette. Il est fréquent de repérer les déjections avant même le jaunissement visible des feuilles.

8.6.3. Hôtes alternatifs

Cette forme spécialisée du complexe *Ceratocystis* est apparemment associée aux hôtes *Theobroma cacao* et au genre apparenté *Herrania*, d'autres espèces de *Theobroma* ne se sont pas révélées sensibles (Engelbrecht et al. 2007, CABI 2021).

8.6.4. Distribution géographique

Le flétrissement du cacaoyer par *Ceratocystis* (comme *Ceratocystis fimbriata* Ellis et Halstead) a une distribution géographique répandue en Amérique Centrale, Amérique du Sud, et dans les Caraïbes. Cette maladie affecte conséquemment les cacaoyers et a été décelé à l'origine en Équateur occidental en 1918 (Rorer 1918). Il a été la cause de graves dégâts en Colombie après 1940, et à la fin des années 1950, il a atteint le Venezuela (Thorold 1975), le Costa Rica (Thorold 1975) et également Trinidad (Spence et Moll 1958). Ultérieurement, la maladie a été rapporté dans de nombreux pays sud-américains, y compris l'Amazonie péruvienne (Soberanis et al. 1999), l'Équateur, la Colombie et le Venezuela (Thorold 1975) ; en Amérique Centrale : au Costa Rica, Guatemala (Schieber and Sosa 1960), Mexique et Haïti (CABI 2021). La maladie se trouve aussi en Guyane Française (M Ducamp, pers. comm.). Au Brésil, la maladie a été repérée dans le sud-ouest de l'Amazonie (Rondônia) en 1978 (Bastos et Evans 1978). Et dans les années 1990 elle a aussi été rapporté à Bahia (Bezerra 1997), et est devenue une importante maladie émergente. Elle est répandue dans la région productrice de cacao de l'état de Bahia (Luz et al. 2013) et, en 2022 s'étendait aux nouvelles plantations de cacao de la région Cerrado de l'ouest de Bahia.

Deux sous-lignées étroitement apparentées existent dans cette espèce, l'une d'Équateur occidental et l'autre comportant les isolats du Brésil, de Colombie et du Costa Rica. Les deux sous-lignées diffèrent peu dans leur morphologie mais sont inter-stériles et possèdent des marqueurs microsatellites uniques (Engelbrecht et al. 2007). Engelbrecht et Harrington (2005) différencient l'espèce *C. cacaofunesta* par sa pathogénicité sur le cacaoyer et la localisent en Équateur occidental, au Brésil, au Costa Rica, et en Colombie. Les isolats de Bahia, en particulier, se sont révélés plus agressifs que les autres isolats d'Amérique latine (Silva et al. 2004).

8.6.5. Biologie

Ceratocystis cacaofunesta infecte les cacaoyers à travers des plaies fraîches, généralement infligées par des pratiques agricoles telles que l'élagage et les plaies dues à la récolte, les insectes foreurs et d'autres dommages mécaniques (Malaguti, 1952). À l'intérieur de la plante, le champignon provoque la nécrose des cellules parenchymateuses des rayons, compromettant le xylème et se déplaçant à travers le xylème secondaire, avançant vers l'apex de la plante et colonisant transversalement (Fig. 8.6.1.c) (Harrington, 2004). Le champignon tue aussi les

tissus du cambium et de l'écorce, provoquant un chancre sur la tige ou la branche, d'habitude associé à l'affaiblissement de l'arbre. Les chancres par *Ceratocystis* sont seulement visibles à la fin du processus d'infection sur des arbres matures ; sur des jeunes plants âgés de six mois inoculés par le champignon, les symptômes peuvent mettre six à huit mois à se déclarer, selon le degré de résistance de la plante.

Les génotypes résistants présentent une colonisation minimale et restreinte, principalement avec des conidies non germées. En revanche, les génotypes sensibles subissent une colonisation importante avec la production de nombreuses périthèces et conidiophores (Santos et al. 2013). Ces structures reproductives sont disséminées à de nouvelles plantes, lançant de nouveaux cycles d'infection. Dans les efforts de reproduction pour améliorer la résistance, le CCN 51 est utilisé comme étalon sensible et le TSH 1188 comme étalon résistant.

Les propagules fongiques peuvent être dispersées via des insectes vecteurs, en particulier les scolytes à *Ambrosia* du genre *Xyleborus* qui sont attirés par les arbres infectés par l'odeur caractéristique de banane produite par le champignon. Sur les surfaces coupées des plantes malades, le champignon produit des tapis sporulés avec des périthèces (corps fructifères) (Fig. 8.6.2) qui exsudent des masses collantes de spores pour la dispersion des insectes. En plus de coller aux corps des insectes à l'extérieur, les spores du pathogène peuvent rester viables lorsqu'elles passent dans le tract intestinal des scolytes (Iton 1966, Paladines-Rezabala et al. 2022) et peuvent donc être propagées lorsque les scolytes volent vers les arbres voisins. De plus, en excavant leurs galeries, les scolytes aident à propager le champignon dans les tissus cacaoyers et la sciure et les excréments contenant des spores viables sont expulsés, contaminant le sol. Ils peuvent être répandus par le vent, la pluie et l'activité humaine. Bien que les déjections puissent transmettre l'infection à d'autres plantes (Iton 1960, Hughes et al. 2023), les outils d'élagage, surtout les lames de machette (Malaguti, 1952), sont très efficaces pour la propagation de la maladie. Dans de nouvelles régions, principal moyen de propagation du champignon est l'introduction de semis asymptomatiques contaminés et de sols infestés.

Le mécanisme de survie principal du champignon sont les plantes infectées restantes dans la zone, y compris les racines, les troncs et les branches. Dans le sol, le champignon peut survivre principalement sous forme de chlamydospores, des structures résistantes qui lui permettent de persister dans des conditions défavorables jusqu'à ce qu'il trouve un nouvel hôte.

8.6.6. Mesures de Quarantaine

Les parties végétales susceptibles de propager le pathogène lors de leur commerce/transport sont les suivantes :

- Racines : Hyphes ; à transmission interne, invisibles
- Tiges (en surface)/pousses/troncs/branches : Hyphes, organes de fructification ; à transmission interne et externe ; visibles à l'œil nu.
- Milieux de culture associés aux plantes
- Des structures infectieuses viables du champignon peuvent être transférées par les insectes.
- Parties végétales non connues pour véhiculer le pathogène lors de leur commerce/transport : graines

La maladie se propage par le mycélium, les spores asexuées (endoconidies et aleurioconidies) et les spores sexuées (ascospores). Les aleurioconidies sont des spores à paroi épaisse qui permettent au champignon de survivre longtemps dans le bois ou le sol. Il a été reporté des périodes de survie de cinq ans. Donc, les boutures non traitées emballées et le sol présentent des probabilités élevées de propagation de *C. cacaofunesta* sur de longues distances (CABI, 2021).

Une fois l'infection survenue, une croissance extensive du mycélium se produit dans le tissu du cacaoyer bien avant que les symptômes ne soient visibles. Tous ces faits doivent être pris en compte lors du transfert de plantes ou de parties de plantes, car le transport sans restriction de boutures ou d'autres matériels de propagation est potentiellement dangereux. Par conséquent, il faut éviter tout transfert de plantes entières ou de boutures à partir de zones où *C. cacaofunesta* est présent. Il est recommandé, lorsque du matériel de propagation végétative est nécessaire, de le traiter avec un insecticide et un fongicide avant de l'expédier vers une station de quarantaine intermédiaire dans une zone indemne de maladie. Le matériel en bourgeon doit être maintenu en isolement pendant plusieurs poussées de croissance successives, pour confirmer qu'il est indemne de *C. cacaofunesta*.

Actuellement, l'identification est recommandée basée sur la culture et les caractéristiques moléculaires comme décrites par Engelbrecht et Harrington (2005). Bien que les techniques de diagnostics moléculaire ou sérologique pour *C. cacaofunesta* n'ont pas encore été signalées, des séquences d'ADN de l'ADN-IT et d'autres gènes uniques aux espèces de *Ceratocystis* pourraient être développées pour le diagnostic (CABI 2021). L'identification moléculaire peut être améliorée par des analyses phylogénétiques qui utilisent de multiples régions de gènes, y compris des séquences de l'ADN-IT. En outre des études de population ont identifié des marqueurs microsatellites uniques qui peuvent être utilisés pour l'identification

des pathogènes (Steimel et al. 2004, Engelbrecht et al. 2007b). La spécialisation de l'hôte semble être un facteur majeur définissant les groupes d'espèces de *Ceratocystis* étroitement liées et morphologiquement indiscernables (Engelbrecht 2004 ; Baker et al 2003). La reconnaissance de ces populations uniques en tant qu'espèces faciliterait la gestion de la maladie et le développement de mesures de quarantaine plus efficaces pour minimiser le risque d'introduction de formes spécialisées de l'agent pathogène dans de nouvelles régions.

8.6.7. Références et lectures complémentaires

- Baker CJ, Harrington TC, Krauss U, Alfenas AC. 2003. Genetic variability and host specialization in the Latin American clade of *Ceratocystis fimbriata*. *Phytopathology* 93, 1274–84. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.10.1274>
- Bastos CN, Evans HC. 1978. Ocorrência de *Ceratocystis fimbriata* Ell & Halst. na Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica* 8 :543–544. <https://doi.org/10.1590/1809-43921978084543>
- Bezerra JL. 1997. *Ceratocystis fimbriata* causing death of budded cocoa seedlings in Bahia, Brazil. *INCOPED Newsletter* 1 :6.
- CABI. 2021. CABI Invasive Species Compendium. *Ceratocystis cacaofunesta*. Last updated Dec. 10, 2020. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/120176> *fimbriata* <https://www.cabi.org/isc/datasheet/12143>
- Delgado R, Suárez, C. 2003. Diferencias en agresividad entre aislamientos de *Ceratocystis fimbriata* de Ecuador y Brasil em cacao. In XII Seminario Nacional de Sanidad Vegetal, November 19-21, 2003. Latacunga, Ecuador. 8p
- Engelbrecht, CJB 2004. Host specialization, intersterility, and taxonomy of populations of *Ceratocystis fimbriata* from sweet potato, sycamore, and cacao. Retrospective Theses and Dissertations. 935. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/935>
- Engelbrecht CJB, Harrington TC. 2005. Intersterility, morphology and taxonomy of *Ceratocystis fimbriata* on sweet potato, cacao and sycamore. *Mycologia* 97 : 57–69. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832839>
- Engelbrecht CJB, Harrington TC, Alfenas AC, Suarez C. 2007. Genetic variation in populations of the cacao wilt pathogen, *Ceratocystis cacaofunesta*. *Plant Pathology* 56 :923–933. Harrington TC. 2000. Host specialization and speciation in the American wilt pathogen *Ceratocystis fimbriata*. *Fitopatologia Brasileira* 25 : 262–263. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01735.x>
- Harrington TC. 2000. Host specialization and speciation in the American wilt pathogen *Ceratocystis fimbriata*. *Fitopatologia Brasileira* 25: 262–263. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01735.x>
- Harrington TC. 2004. *Ceratocystis fimbriata* [update on the original text prepared by C.J. Baker and T.C. Harrington]. In : CABI Crop Protection Compendium. CAB International : Wallingford, UK. Retrieved March 15th, 2006, from <http://www.public.iastate.edu/~tcharrin/CABInfo.html>
- Hughes MA, Roy K, Harrington TC, Brill E, Keith LM. 2022. *Ceratocystis lukuohia*-infested ambrosia beetle frass as inoculum for *Ceratocystis* wilt of 'ōhi'a (*Metrosideros polymorpha*). *Plant Pathology* 72 (2): 232–245. <https://doi.org/10.1111/ppa.13653>
- Iton EF. 1960. Studies on a wilt disease of cacao at River Estate. II. Some aspects of wind transmission. In : Annual Report on Cacao Research, 1959–1960. Imperial College of Tropical Agriculture, University of the West Indies, St Augustine, Trinidad. pp. 47–58.
- Iton EF, Conway GR. 1961. Studies on a wilt disease of cacao at River Estate III. Some aspects of the biology and habits of *Xyleborus* spp. and their relation to disease transmission. In : Annual Report on Cacao Research 1959–1960. Imperial College of Tropical Agriculture, University of the West Indies, St Augustine, Trinidad. pp. 59–65.

- Iton EF. 1966. *Ceratocystis* Wilt. In Annual report on Cacao research, 1965 (pp. 48–49). St Augustine, Trinidad: Imperial College of Tropical Agriculture, University of the West Indies.
- Luz EDMN, Magalhães DMA, Oliveira dos Santos MV, Santos Filho LP. 2013. Atualidades no manejo de doenças do cacau   no Brasil. In: Núcleo de Estudos em Fitopatologia, org. Patologia Florestal: desafios e perspectivas. 1   ed. Lavras, MG, NEFIT - Núcleo de Estudos em Fitopatologia. pp. 313-334
- Malaguti G. 1952. *Ceratostomella fimbriata* en el cacao de Venezuela. *Acta Cientifica Venezolana* 3 :94–97.
- Marin M, Wingfield M. 2006. A review of *Ceratocystis sensu stricto* with special reference to the species complexes *C. coerulescens* and *C. fimbriata*. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*.Vol.59, No.1. p.3045-3075.
- Paladines-Rezabala A, Moreira-Morrillo AA, Mielles A, Garcés-Fiallos, FR. 2022. Avances en la comprensión de la interacción entre *Ceratocystis cacaofunesta* y *Xyleborus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en árboles de cacao. *Scientia Agropecuaria* 13(1): 43-52.
- Rorer JB. 1918. Enfermedades y plagas del cacao en el Ecuador y métodos modernos apropiados al cultivo del cacao. Asociación de Agricultores. Guayaquil, Ecuador.
- Santos RMF, Silva, SDVM, Sena K, Micheli F, Gramacho KP. (2013). Kinetics and histopathology of the Cacao-*Ceratocystis cacaofunesta* interaction. *Tropical Plant Biology* 6(1): 37–45. [https:// doi:10.1007/s12042-012-9115-8](https://doi.org/10.1007/s12042-012-9115-8).
- Saunders JL. 1965. The *Xyleborus-Ceratocystis* complex of cacao. *Cacao* 10 :7–13.
- Schieber E, Sosa ON. 1960. Cacao canker in Guatemala incited by *Ceratocystis fimbriata*. *Plant Disease Reporter* 44 :672.
- Silva, SDVM, Gomes, ARS, Mandarino, EP, dos Santos-Filho, LP, Damaceno, VO. 2007. Indicac  es de resistencia a murcha-de-Ceratocystis em genótipos de cacau  eiros no sul da Bahia, Brasil. In Proceedings of the 15th International Cocoa Research Conference, vol2 (p967). San José, Costa Rica : Cocoa Producer’s Alliance.
- Silva SDVM, Paim MC, Castro WM. 2004. Caca   “Jaca” Resistente a *Ceratocystis fimbriata* na Regi  o Cacaueira da Bahia, Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, 29, 538–540. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000500011>
- Soberanis W, Rios R, Arevalo E, Zuniga L, Cabezas O, Krauss U. 1999. Increased frequency of phytosanitary pod removal in cacao (*Theobroma cacao*) increases yield economically in eastern Peru. *Crop Protection* 18 :677–685. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00073-3)
- Spence JA, Moll ER. 1958. Preliminary observations on a wilt condition of cocoa. *Journal of the Agricultural Society of Trinidad* 58 :349–59.
- Thorold CA. 1975. Diseases of Cocoa. Oxford University Press, Oxford, UK.



Figure 8.6.1. a) A jeune arbre avec le Mal de la Machette, b) Création de galeries par les scolytes à Ambrosia sur un arbre infecté, c) Nécrose interne, et d) Déjections abondantes de scolytes à Ambrosia a la base d'un arbre infecté

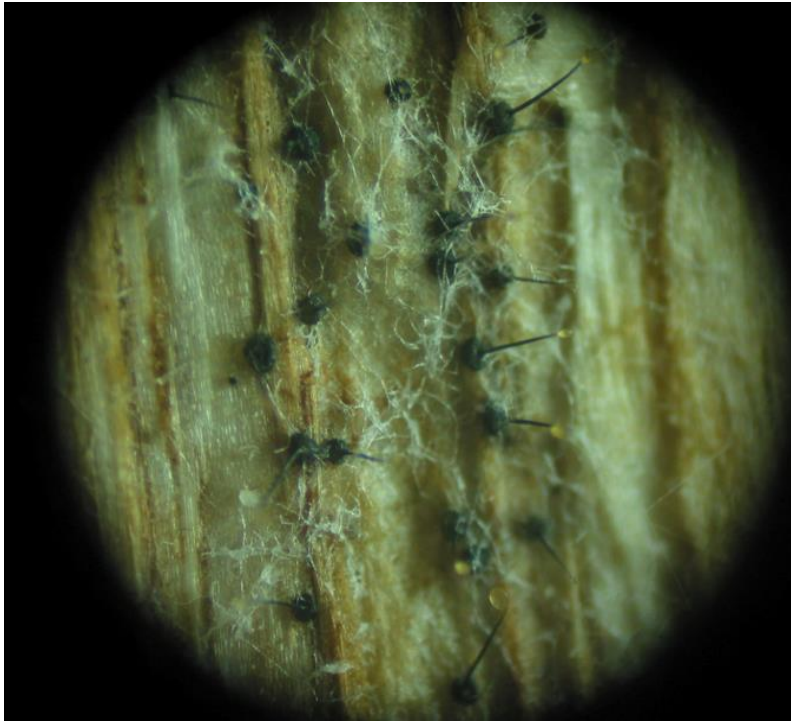


Figure 8.6.2. Périthèces de *Ceratocystis cacaofunesta* croissant dans le xylème de branche de cacaoyer inoculé avec le pathogène (C. Suárez-Capello, UTEQ, Équateur)

8.7. Pourridié à *Rosellinia*

Mise à jour en 2017 : Fabio Aranzazu Hernández¹, Darwin H. Martínez Botello¹ et G Martijn ten Hoopen²

¹FEDECACAO, Departamento de Investigación, Cra 23 No. 36-16, Oficina 203, Bucaramanga, Santander, Colombie.

Email : fabioaranzazu@hotmail.com

²CIRAD, Campus International de Baillarguet, UMR PHIM TAA-120/K, 34398 Montpellier, France

Email : tenhoopen@cirad.fr

8.7.1. Agents causaux

Rosellinia bunodes (Berk. et Br.) Sacc.

Rosellinia pepo Pat.

Rosellinia paraguayensis Starb, décrit une seule fois sur le cacaoyer à Grenade (Waterston 1941).

8.7.2. Symptômes

Le pathogène tellurique *Rosellinia* spp. provoque des symptômes sévères de maladie aérienne différents de ceux causés par beaucoup d'autres maladies des racines. Chez le cacaoyer et le caféier, les premiers symptômes sont un jaunissement

et un dessèchement des feuilles, une défoliation, le dessèchement des branches et finalement la mort de l'arbrisseau ou de l'arbre (Fig.8.7.1). Les fruits immatures tendent à mûrir prématurément, restent vides de fèves, deviennent noirs et se dessèchent si on ne les récolte pas (Merchán 1989, 1993, Mendoza 2000, Ten Hoopen et Krauss 2006).

Bien que *R. bunodes* et *R. pepo* produisent des symptômes externes semblables, il existe des différences quant à la forme du mycélium sur les racines. Sur les racines, *R. pepo* est présent sous forme de filaments ressemblant à une toile d'araignée grisâtre qui noircissent et s'agglomèrent en une masse laineuse. Sous l'écorce, des sortes d'étoiles blanches peuvent être observées (Fig. 8.7.2). *Rosellinia bunodes* montre des filaments branchus noirs fermement attachés aux racines qui peuvent s'épaissir en nœuds irréguliers (Fig. 8.7.3). *Rosellinia bunodes* peut s'observer à l'extérieur comme à l'intérieur de l'écorce des racines (Fig. 8.7.3) et peut s'étendre bien au-dessus de la surface de sol en conditions humides (Sivanesan et Holliday 1972).

Dans les Amériques, il semble que *Rosellinia* et *Ceratocystis cacaofunesta* (autrefois *C. fimbriata*, voir également le Chapitre 8.6 de ce guide) cohabitent puisqu'on les trouve souvent ensemble sur le cacaoyer (Aranzazu et al. 1999, Ten Hoopen et Krauss 2006). Les symptômes d'un des pathogènes pourraient masquer la présence de l'autre.

8.7.3. Distribution géographique

Rosellinia bunodes et *R. pepo* sévissent dans les zones tropicales d'Amérique centrale et du Sud, en Afrique de l'Ouest, dans les Caraïbes et en Asie. La distribution de *R. pepo* est probablement plus restreinte que celle de *R. bunodes* (Waterston 1941, Saccas 1956, Sivanesan et Holliday 1972, Holliday 1980). Pour de plus amples informations, voir aussi <https://nt.ars-grin.gov/fungalatabases/> et le CABI Crop Protection Compendium (<http://www.cabi.org/cpc/>)

8.7.4. Hôtes

Rosellinia bunodes et *R. pepo* attaquent de nombreuses cultures de rente et arbres fruitiers comme, entre autres, l'avocatier (*Persea americana*), le bananier plantain (*Musa AAB*), le caféier, le cacaoyer, la lime (*Citrus aurantifolia*), le muscadier (*Myristica fragrans*), *Inga* spp., *Leucena* spp., *Erythrina* spp. et *Populus deltoides* (Waterston 1941, Saccas 1956, Booth et Holliday 1972, Sivanesan et Holliday 1972, Aranzazu et al. 1999, Ten Hoopen et Krauss 2006, Kleina et al., 2018).

Nombre de ces hôtes sont souvent trouvés en association avec le cacaoyer.

8.7.5. Biologie

Les attaques de Pourridié à *Rosellinia* se caractérisent souvent par une apparition en foyers qui s'étend circulairement en raison de la façon dont le pathogène infeste les

plantes environnantes. Il est généralement admis que les *Rosellinia* spp. se propagent par contact direct des racines entre plantes hôtes (Aranzazu et al. 1999). À ce jour, le rôle des ascospores ou des sclérotés n'est pas clair dans l'épidémiologie. Il n'existe aucune preuve que les outils des agriculteurs jouent un rôle dans la propagation de la maladie.

Les points d'infection initiale sont souvent associés avec des arbres d'ombrage mourant ou déjà morts. Le système racinaire en décomposition permet l'infection par *Rosellinia* qui produit par la suite assez d'inoculum pour pouvoir infecter des arbres sains (Ten Hoopen et Krauss 2006). L'impact économique de *Rosellinia* se traduit par la perte progressive des arbres producteurs, la destruction des arbres infectés et les coûts directs de la lutte. En outre, un agriculteur ne peut pas replanter une parcelle infectée pendant plusieurs années.

Rosellinia bunodes et *R. pepo* ont des besoins similaires en termes de sols et de conditions climatiques. Les deux organismes sont souvent associés aux sols acides, riches en matière organique (Waterston 1941, López et Fernández 1966, Mendoza et al. 2003). Dans ces zones où les deux espèces cohabitent, il n'est pas rare que toutes les deux infectent un arbre en même temps.

8.7.6. Mesures de quarantaine

Parties végétales susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Racines
- Troncs/branches
- Milieu de culture des plantes pouvant héberger un inoculum de *Rosellinia*.

Parties végétales peu susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Cabosses
- Les graines ne semblent pas transmettre la maladie
- Feuilles

Les plantes entières ou les parties de plantes ne doivent pas être envoyées à partir de zones infestées par *Rosellinia*. Le matériel clonal doit être fourni sous forme de baguettes provenant si possible de zones indemnes de maladie. Les baguettes provenant de zones infestées doivent être envoyées à une station de quarantaine intermédiaire située dans une zone indemne de maladie et greffées sur des porte-greffes issus de graines collectées dans des zones indemnes. Si la baguette provient d'un secteur infesté, il faut faire attention que l'arbre mère et tous ses voisins ne montrent pas de symptômes de la maladie.



Figure 8.7.1. Arbre infecté par *Rosellinia* sp. F Aranzazu, FEDECACAO)



Figure 8.7.2. Étoiles de *Rosellinia pepo* sur racines (F Aranzazu, FEDECACAO)



Figure 8.7.3. Filaments noirs et nœuds irréguliers dus à *Rosellinia bunodes* (ici sur un caféier) (BL Castro, Cenicafé)



Figure 8.7.4. Mycélium de couleur grise de *Rosellinia* croissant sur une écorce de racine (F Aranzazu, FEDECACAO)

8.7.7. Références

- Aranzazu F, Cárdenas J, Mujica J, Gómez R. 1999. Manejo de las llagas radicales (*Rosellinia* sp.). Boletín de Sanidad Vegetal 23. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) and Corpoica, Santafé de Bogotá, Colombia.
- Booth C, Holliday P. 1972. *Rosellinia pepo*. Descriptions of pathogenic fungi and bacteria, No. 354. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, UK. <https://doi.org/10.1079/DFB/20056400354>
- Holliday P. 1980. *Fungus diseases of tropical crops*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 6070pp.
- Kleina HT, dos Santos AF, Silveira Duarte HS, Machado EB. (2018) Physiological characterization of *Rosellinia bunodes* and Symptomatology of *Rosellinia* root rot in Poplar Seedlings. Rev. Árvore 42 (1) <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000100011>
- López S, Fernández O. 1966. Llagas radicales negra (*Rosellinia bunodes*) y estrellada (*Rosellinia pepo*) del café. II. Efecto de la humedad y pH del suelo en el desarrollo micelial e infección. Cenicafé 17 :61-69.
- Mendoza RA. 2000. Aislamiento selectivo y pretamizado en bioensayos de micoparásitos contra *Rosellinia* spp. M.Sc. Thesis, CATIE, Costa Rica.

- Mendoza RA, Ten Hoopen GM, Kass DCJ, Sánchez VA, Krauss U. 2003. Evaluation of mycoparasites as biocontrol agents of *Rosellinia* root rot in cocoa. *Biological Control* 27 :210-227. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(03\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(03)00014-8)
- Merchán VM. 1989. Manejo de enfermedades en cacao. *Ascolfi Informa* 15 :10-14.
- Merchán VM. 1993. Experiencias en el manejo de *Rosellinia*. *Ascolfi Informa* 19 : 23-24.
- Saccas AM. 1956. Les *Rosellinia* des caféiers en Oubangui-Chari. *L'Agronomie Tropicale* 11 :551-595 & 11 :687-706.
- Sivanesan A, Holliday P. 1972. *Rosellinia bunodes*. Descriptions of pathogenic fungi and bacteria No. 351. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, UK. <https://doi.org/10.1079/DFB/20056400351>
- Ten Hoopen GM, Krauss U. 2006. Biology and control of *Rosellinia bunodes*, *Rosellinia necatrix* and *Rosellinia pepo* : a review. *Crop Protection* 25 :89-107. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03.009>
- Waterston JM. 1941. Observations on the parasitism of *Rosellinia pepo* Pat. *Tropical Agriculture* 18 :174-184

8.8. Autres pathogènes fongiques du fruit et de la canopée

Mise à jour en 2021 : Andrews Y. Akrofi¹, Eric Kumi-Asare² et Ishmael Amoako-Atta².

¹C.K. Memorial Lodge, c/o Apiredede Calvary Presbyterian Church, P.O. Box 79, Adukrom-Akuapem, Ghana. Email : andrewsakrofi@yahoo.com

² Cocoa Research Institute of Ghana, P.O. Box 8, Akim Tafo, Ghana. Email : cocoaresearch@gmail.com

Introduction : En plus des principales maladies couvertes dans les sections précédentes, il existe un certain nombre d'espèces fongiques émergentes qui peuvent également avoir des effets graves sur la production de cacao dans des foyers locaux, en particulier avec les changements des conditions environnementales dus au réchauffement climatique et aux pratiques de culture du cacaoyer. En outre, il existe plusieurs espèces dont la distribution et la gamme d'hôtes sont très étendues qui peuvent être associées à divers symptômes chez le cacaoyer, tels que le dépérissement, les galles et les chancres. Toutefois, il n'est pas toujours clair de savoir s'il s'agit de pathogènes opportunistes pénétrant par des blessures existantes, d'infections latentes ou de souches pathogènes d'espèces endophytes. Une brève description de certains des organismes responsables est fournie ci-dessous, mais des détails supplémentaires peuvent être trouvés dans Akrofi et al. (2016).

Références générales

- Akrofi AY, Amoako-Atta I, Acheampong K, Assuah MK, Melnick RL. 2016. Fruit and Canopy Pathogens of Unknown Potential Risk. In B. A. Bailey & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases : A History of Old Enemies and New Encounters*. Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-24789-2>

8.8.1. Maladie rose

Erythricium salmonicolor (Berk. & Broome) Burdsall (Syn. *Corticium salmonicolor* Berk. & Broome) (syn. *Phanerochaete salmonicolor* Berk. & Broome, Julich). Nommée maladie rose en français, *Pink disease* en anglais et *mal rosado* en espagnol et portugais.

8.8.1.1. Hôtes alternatifs

On le trouve sur de nombreuses espèces végétales, y compris des cultures comme l'hévéa, le théier, le caféier, les agrumes, le manguier et le kola, des cultures de couverture comme *Cajanus cajan*, *Crotolaria* et des arbres d'ombrage comme *Leucaena* et *Gliricidia* (Smith 1985, Wood et Lass 1985), *Eucalyptus* (Seth et al. 1978).

8.8.1.2. Distribution

Largement distribué (signalé sur le cacaoyer au Brésil, au Cameroun, en Colombie, en Inde, au Ghana, au Nigeria, en Malaisie, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, aux Samoa occidentales et à Trinidad). Bien qu'elle ait été signalée pour la première fois au Ghana comme une maladie mineure en 1962, elle semble se propager et émerge comme une maladie importante du cacaoyer (Akrofi et al. 2014, 2016) avec plusieurs souches génétiquement distinctes signalées (Kwarteng et al. 2018).

8.8.1.3. Symptômes

La maladie se présente sous la forme d'un mycélium blanc clairsemé (fils) en forme de toiles d'araignée sur l'écorce, qui se propage principalement le long de la face inférieure de la branche. Des pustules blanc rosé apparaissent à travers les fissures de l'écorce et les ouvertures naturelles, à environ 1 à 8 cm derrière le bord antérieur de l'infection. Les hyphes pénètrent dans la branche, provoquant la mort des tissus distaux et par la suite, la mort progressive des feuilles distales à l'infection. Une couche d'organes de fructification (conidies) de couleur rosâtre à orange est observée sur les branches infectées, les feuilles mortes restant attachées pendant plusieurs semaines. Quatre formes de croissance distinctes ont été observées sur l'écorce des arbres infectés : le stade de toile d'araignée avec du mycélium végétatif blanc/rose clair passant facilement inaperçu lorsque l'écorce est humide (Fig. 8.8.1a), des incrustations/pustules rose saumon sur n'importe quelle partie de la branche (Fig. 8.8.1b), des pustules crèmes qui sont plus visibles sur la face inférieure des branches infectées (Fig. 8.8.1c) et des fructifications oranges qui se développent à partir des pustules crémeuses sur les tiges infectées mourantes (Fig. 8.8.1d). Ceci est suivi par le dépérissement des branches infectées avec des feuilles mortes qui pendent (Fig. 8.8.1e). Toutes les formes de croissance peuvent être trouvées ensemble sur l'écorce malade en même temps, mais les plus voyantes et distinctives sont les incrustations rose saumon formées par les fructifications hyphales sur les branches et les tiges de l'arbre (Akrofi et al., 2016).

8.8.1.4. Biologie

Le champignon peut se propager par les basidiospores (largement ellipsoïdales avec un apiculus proéminent) qui sont produites dans les basidiocarpes (basidiomata) dans la croûte rose/orange que l'on trouve principalement sur la face inférieure des branches infectées. Les basidiospores sont libérées peu après une pluie et doivent se déposer sur l'écorce brune humide pour que la germination et la pénétration soient réussies. Le champignon peut également se propager à partir des conidies produites par les pustules oranges/rouges. Celles-ci peuvent rester viables pendant environ 20 jours dans des conditions sèches mais une humidité élevée est nécessaire pour la germination. La plupart des spores sont disséminées par le vent, les éclaboussures de pluie, les fourmis et d'autres insectes, bien qu'il ait été suggéré que la distribution discontinue de la maladie dans les fermes au Ghana pourrait être le résultat de l'implication humaine (Akrofi et al. 2014, Kwarteng et al. 2018).

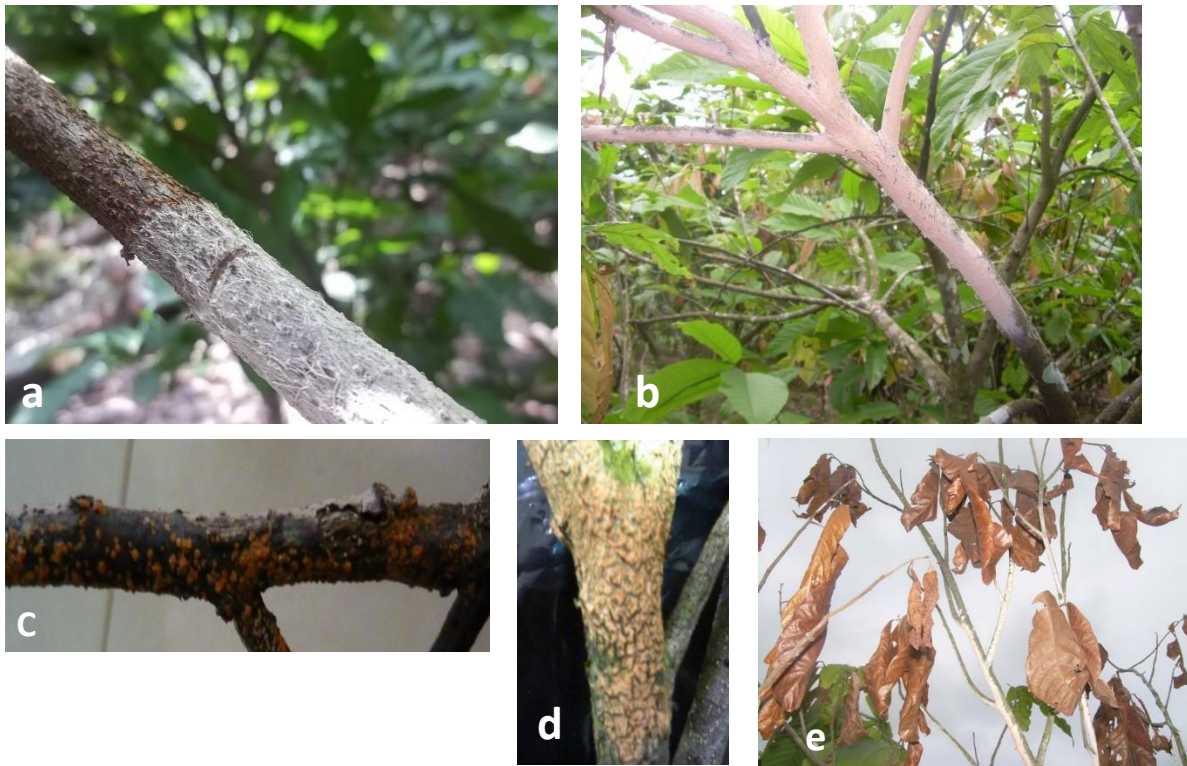


Figure 8.8.1 Symptômes de la maladie rose du cacaoyer : (a) mycélium végétatif blanc/ rosé clair passant aisément inaperçu si l'écorce est humide ; (b) incrustations/pustules rosées à saumonées sur la branche ; (c) pustules crèmes plus visibles sur la face inférieure des branches infectées ; (d) organes de fructification oranges issus des pustules crèmes sur les branches infectées mourantes et (e) dépérissement d'une branche infectée dont les feuilles mortes restent accrochées (Source: AY Akrofi).

8.8.1.5. Mesures de quarantaine

Parties végétales susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Troncs/branches/tiges/jeunes pousses
- Feuilles

Parties végétales peu susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Cabosses
- La transmission de la maladie par les semences n'a pas été démontrée.

La transmission de l'agent pathogène par les semences n'a pas été démontrée mais les conidies peuvent survivre pendant 20 jours sur les pousses et les branches. Lorsque du matériel clonal est requis, il doit être fourni sous forme de baguettes de greffage provenant de zones indemnes de la maladie, si possible. Lors du prélèvement de ces baguettes sur des plantes poussant dans une zone infestée, il faut veiller à ce que l'arbre mère et tous ses voisins ne présentent pas de symptômes de la maladie. Plusieurs fongicides, dont des formulations à base de cuivre, se sont avérés actifs contre *E. salmonicolor* et doivent être utilisés en bain fongicide pour les baguettes de greffage.

8.8.1.6. Références

- Akrofi AY, Amoako-Atta I, Assuah M, Kumi-Asare E. 2014. Pink disease caused by *Erythricium salmonicolor* (Berk. & Broome) Burdsall : An epidemiological assessment of its potential effect on cocoa production in Ghana. *Journal of Plant Pathology & Microbiology* 5 : 215. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000215>
- Akrofi AY, Amoako-Atta I, Acheampong K, Assuah MK, Melnick RL. 2016. Fruit and Canopy Pathogens of Unknown Potential Risk. In BA Bailey & LW Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases : A History of Old Enemies and New Encounters*. Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-24789-2>
- Kwarteng FG, Cornelius E, Acquah KK, Asare EK. 2018. Morphological and Molecular Identification of the Fungus Associated with Pink Disease of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Eastern Region of Ghana. *International Journal of Pathogen Research* 1(1) : 1–8. <https://doi.org/10.9734/ijpr/2018/v1i111161>
- Seth SK, Bakshi BK, Reddy MAR, Singh S. 1978. Pink disease of Eucalyptus in India. *European Journal of Forest Pathology* 84 : 200-216. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1978.tb00628.x>
- Smith ESC. 1985. A review of the relationship between shade types and cocoa pests and disease problems in Papua New Guinea. *Papua New Guinea Journal of Agriculture, Forest and Fisheries* 33 (3-4) : 77-78.
- Wood GAR, Lass RA. 1985. *Cocoa*. Tropical Agricultural Series (4th Ed., 620pp). London, Longman.

8.8.2. Anthracnose du cacaoyer

Les espèces telles que *Colletotrichum theobromicola* et *C. siamense*, dans le complexe *Colletotrichum gloeosporioides* et *C. aeschynomenes* ont été associées à la maladie de *Colletotrichum* du cacaoyer. Bien que certaines espèces de *Colletotrichum* provoquent des maladies, d'autres, comme *C. tropicale*, sont les principaux champignons endophytes foliaires dans les cacaoyers sains et peuvent être utilisés comme agents de lutte biologique en raison de leur capacité à réduire l'incidence des maladies.

8.8.2.1. Hôtes alternatifs

Les espèces de *Colletotrichum* provoquent l'anthraxose dans de nombreuses cultures dont le manguier, l'avocatier, l'amandier et le fruit de la passion (Freeman et al. 1996, Nelson 2008, Anaruma et al. 2010). *C. gloeosporioides*, un complexe d'espèces de *Colletotrichum* comprenant *C. theobromicola* (Roljas et al. 2010) et *C. siamense*, a été signalé comme provoquant l'anthraxose du cacaoyer (Suryanto et al. 2014, James et al. 2014, Asare et al. 2021). *C. aeshynomenes* a été responsable d'un rapport récent de la maladie de l'anthraxose du cacaoyer au Brésil (Nascimento et al. 2019).

8.8.2.2. Distribution

L'anthraxose est largement distribuée et se révèle particulièrement préoccupante pour les zones cultivant la variété sensible "Porcelana" dans les régions d'Amérique du Sud, dans certaines régions cacaoyères d'Inde, de Malaisie, du Brésil et récemment au Ghana (références citées dans Akrofi et al. 2014, Akrofi et al. 2016, Asare et al. 2021).

8.8.2.3. Symptômes

Les symptômes foliaires (notés notamment sur les jeunes feuilles exposées à des niveaux de lumière élevés) comprennent des lésions nécrotiques brunes entourées d'un halo jaune chlorotique. En cas d'infections sévères, de larges zones des feuilles peuvent être brûlées, ce qui peut entraîner une défoliation et un dépérissement des branches (Fig. 8.8.2A). Sur les cabosses de cacaoyer, le pathogène provoque des lésions brunes molles couvertes de masses de spores orange ou acervules, souvent en anneaux concentriques (Fig. 8.8.2 B).



Figure 8.8.2. Symptômes de l'anthraxose montrant des lésions brun foncé sur des feuilles de cacaoyer(A) et des cabosses recouvertes d'une masse de spores oranges ou acervules en anneaux concentriques (B) (Source : E Kumi Asare, CRIG, Ghana).

8.8.2.4. Biologie et dissémination

Colletotrichum infecte les plantes par la germination des conidies et la formation d'appressoria avec lesquels le pathogène pénètre dans les tissus de l'hôte (Zakaria 2021). Les spores sont produites sur les lésions des tiges et des fruits lorsque les conditions environnementales sont humides. Les spores sont disséminées par le vent, l'eau de pluie ou d'irrigation, les insectes et les outils. L'infection du feuillage se produit pendant la saison des pluies, souvent via des blessures causées par les insectes. La maladie peut être contrôlée par une prophylaxie efficace. Plusieurs fongicides, dont des formulations à base de cuivre, se sont avérés efficaces.

8.8.2.5. Mesures de quarantaine

Parties végétales susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Troncs/ branches/ tiges/ jeunes pousses
- Feuilles
- Cabosses

Parties végétales peu susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Il n'a pas été démontré que les graines transmettent la maladie.

Lorsque du matériel clonal est requis, il doit être fourni sous forme de baguettes de greffage provenant de zones indemnes de la maladie, si possible. Lors du prélèvement des baguettes de greffage sur des plantes poussant dans une zone infestée, il faut veiller à ce que l'arbre qui fournit le greffon et tous ses voisins ne présentent pas de symptômes de la maladie. Plusieurs fongicides, dont des formulations à base de cuivre, se sont avérés actifs contre *Colletotrichum* spp. et des bains de fongicides à base de cuivre peuvent être utilisés pour traiter les greffons.

8.8.2.6. Références

- Akrofi AY, Amoako-Atta I, Acheampong K, Assuah MK, Melnick RL. 2016. Fruit and Canopy Pathogens of Unknown Potential Risk. In B. A. Bailey & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases : A History of Old Enemies and New Encounters*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_11
- Anaruma AD, Schmidt FL, Duarte MCT, Figueira GM, Delarmelina C, Benato EA, Sartoratto A. 2010. Control of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. in yellow passion fruit using *Cymbopogon citratus* essential oil. *Brazilian Journal of Microbiology* 41 : 66–73. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100012>
- Asare EK, Domfeh O, Avicor SW, Pobee P, Bukari Y, Amoako-Attah I. 2021. *Colletotrichum gloeosporioides* s.l. causes an outbreak of anthracnose of cacao in Ghana. *South African Journal of Plant and Soil* 38(2) : 107–11. <https://doi.org/10.1080/02571862.2020.1863485>
- Freeman S, Katan T, Shabi E. 1996. Characterization of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from avocado and almond fruits with molecular and pathogenicity tests. *Applied and Environmental Microbiology* 62 : 1014–1020. <https://doi.org/10.1128/aem.62.3.1014-1020.1996>
- James RS, Ray J, Tan YP, Shivas RG. 2014. *Colletotrichum siamense*, *C. theobromicola* and *C. queenslandicum* from several plant species and the identification of *C. asianum* in the Northern Territory, Australia. *Australasian Plant Disease Notes* 9 : 1–6. <https://doi.org/10.1007/s13314-014-0138-x>

- Nascimento AD, Lima MO, Feijó FM, Júnior JH, Sobrinho RR, Assunção IP, Lima GSA. 2019. First report of *Colletotrichum aeshynomenes* causing anthracnose in cacao (*Theobroma cacao*) in Brazil. *Plant Disease* 103 : 3284. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-18-2047-PDN>
- Nelson SC. 2008. Mango anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Plant Disease* 48 : 1–9.
- Rojas EI, Rehner SA, Samuels GJ, Van Bael SA, Herre EA, Cannon P. 2010. *Colletotrichum gloeosporioides* s.l. associated with *Theobroma cacao* L. and other plants in Panamá : multilocus phylogenies distinguish host-associated pathogens from asymptomatic endophytes. *Mycologia* 102 : 1318–1338. <https://doi.org/10.3852/09-244>
- Suryanto D, Wahyuni S, Siregar EBM, Munir E. 2014. Utilization of chitinolytic bacterial isolates to control anthracnose of cacao leaf caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *African Journal of Biotechnology* 13 : 1631–1637. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3687>
- Zakaria L. 2021. Diversity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose disease in tropical fruit crops—A Review. *Agriculture* 11 : 297. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040297>

8.8.3. Dépérissement par *Lasiodiplodia*, pourriture noire des cabosses et Galle des coussinets

Lasiodiplodia theobromae (syn. *Botryodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. et Maubl), état asexué du champignon *Botryosphaeria rhodina*. Également connu sous le nom de pourriture noire des cabosses, pourriture à *Diplodia*, "Pourriture Noire", "Podredumbre de carbone". Dans les maladies de la galle des coussinets et du dépérissement, les espèces de *Lasiodiplodia* sont souvent trouvées avec d'autres espèces telles que *Fusarium decemcellulare* et d'autres espèces de *Fusarium*.

8.8.3.1. Hôtes

Largement répandu et connu pour provoquer diverses maladies sur une gamme de cultures arboricoles tropicales et subtropicales, dont le manguier, l'anacardier, *Jatropha podagrica* et des cultures agronomiques comme l'igname et le bananier/plantain.

8.8.3.2. Distribution

La pourriture des cabosses du cacaoyer par *Lasiodiplodia* a été signalée dans des régions d'Afrique de l'Ouest, notamment au Cameroun, au Nigeria et au Ghana (références citées dans Akrofi et al. 2016), au Bangladesh (Shamim et al. 2010) et elle a également été signalée comme une contrainte à la production de cacao en Inde (Kannan et al. 2010) et aux Philippines (Alvinda 2017).

8.8.3.3. Symptômes et biologie

L'infection des cabosses se fait généralement par des blessures causées par des insectes ou d'autres ravageurs, mais l'infection de cabosses non endommagées a été récemment signalée à Hawaï (Puig et al. 2021). Le premier symptôme est une lésion brune qui finit par noircir. Ces lésions produisent d'abondantes conidies noires qui donnent l'impression que la cabosse est recouverte de suie (Fig. 8.8.3). Les spores sont facilement dispersées par le vent. *L. theobromae*, ainsi que les espèces de *Fusarium*, sont associées à la maladie du dépérissement au cours de laquelle les

feuilles des rameaux extérieurs jaunissent, puis se dessèchent mais restent attachées aux rameaux pendant plusieurs semaines. Les champignons infectent les tiges par l'intermédiaire des plaies causées par des mirides en quête de nourriture et des coupes d'élagage et se développent de manière systémique en se propageant du rameau à la branche principale. Dans les cas graves, l'infection s'étend au tronc et peut éventuellement entraîner la mort de l'arbre. Les tiges et les branches infectées présentent une décoloration interne avec des stries brunes dans les tissus vasculaires. Des exsudats blancs et jaunâtres provenant des troncs infectés (gommose) ont également été signalés. Ces symptômes ressemblent à ceux d'autres maladies. L'association de *L. theobromae* avec d'autres pathogènes du cacaoyer est envisagée, tels les espèces de *Phytophthora* induisant un chancre (Jaiyeola et al. 2014) et la maladie des stries vasculaires (VSD) (Alvindia et Gallema 2017, McMahon et Purwantara 2016) (références citées dans Ali et al. 2019). *L. theobromae* a également été isolé de galles des coussinets à Cuba (Pérez et al. 2012) et au Venezuela (Castillo et al. 2016). Dans cette dernière étude, des souches pathogènes de *L. theobromae* ainsi que des souches de *Fusarium decemcellulare*, se sont révélées capables d'induire des galles dans les plants de cacaoyer. Des variations génétiques et des différences de pathogénicité des souches de *L. theobromae* (et dans certains cas de *L. pseudotheobromae*) ont également été signalées dans des isolats du Ghana, de l'Inde, de l'Indonésie, des Philippines et de Porto Rico (Adu-Acheampong 2009, Ali et al. 2019, Castillo et al. 2016, Puig et al. 2021).



Fig. 8.8.3 Cabosse de cacao couverte des conidies noires typiques qui donnent l'impression que la cabosse est recouverte de suie (Source : E Kumi Asare, CRIG).

8.8.3.4. Mesures de quarantaine

Parties végétales susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Troncs/branches/tiges

- Feuilles
- Cabosses
- Racines

Parties végétales peu susceptibles de transmettre la maladie :

- Il n'a pas été démontré que les semences transmettent la maladie.

Lorsque du matériel clonal est requis, il doit être fourni sous forme de baguettes de greffage provenant de zones indemnes de la maladie, si possible. Lors du prélèvement de baguettes à partir de plantes poussant dans une zone infestée, il faut veiller à ce que l'arbre qui fournit le greffon et tous ses voisins ne présentent pas de symptômes de la maladie.

8.8.3.5. Références et lectures complémentaires

- Adu-Acheampong R. 2009. Pathogen diversity and host resistance in dieback disease of cocoa caused by *Fusarium decemcellulare* and *Lasiodiplodia theobromae* (Issue Dic) [Imperial College of Science, Technology and Medicine, London]. PhD thesis.
<http://eprints.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/4670/1/Adu-Acheampong-RK-2009-PhD-Thesis.pdf>
- Ali SS, Asman A, Shao J, Balidion JF, Strem M, Puig AS, Meinhardt LW, Bailey BA. 2019. Genome and transcriptome analysis of the latent pathogen *Lasiodiplodia theobromae*, an emerging threat to the cacao industry. *Genome*, gen-2019-0112. <https://doi.org/10.1139/gen-2019-0112>.
- Alvinda DG, Gallema FLM. 2017. *Lasiodiplodia theobromae* causes vascular streak dieback (VSD)-like symptoms of cacao in Davao Region., Philippines. *Australasian Plant Disease Notes* 12:54.
<https://doi.org/10.1007/s13314-017-0279-9>
- Castillo DS, del Parra D, Noceda C, Pérez-Martínez S. 2016. Co-occurrence of pathogenic and non-pathogenic *Fusarium decemcellulare* and *Lasiodiplodia theobromae* isolates in cushion galls disease of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Plant Protection Research* 56(2): 129–138.
<https://doi.org/10.1515/jppr-2016-0020>
- Chaithra M, Vanitha S, Ramanathan A, Jegadeeshwari V, Rajesh V, Hegde V, Apshara, ES. (2020). Morphological and Molecular Characterization of Endophytic Fungi Associated with Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in India. *Current Journal of Applied Science and Technology* 1–8.
<https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v38i630447>
- Jaiyeola I, Akinrinlola RJ, Ige GS, Omoleye OO, Oyedele A, Odunayo BJ. 2014. Bot. canker pathogens could complicate the management of *Phytophthora* black pod of cocoa. *African J. Microbiol. Res.* 8: 3094–3100.
- Kannan C, Karthik M, and Priya, MKK (2010). *Lasiodiplodia theobromae* causes a damaging dieback of cocoa in India. *Plant Pathology* 59(2): 410. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02192.x>
- Mbenoun M, Zeutsa EHM, Samuels GJ, Amougou FN, Nyassé S. 2008. Dieback due to *Lasiodiplodia theobromae*, a new constraint to cocoa production in Cameroon. *Plant Pathology* 57(2): 381.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01755.x>
- McMahon P, Purwantara A. 2016. Vascular streak dieback (*Ceratobasidium theobromae*, history and biology. In *Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters*. Edited by B. A. Bailey and L.W. Meinhardt. Springer International Publishing, New York, N.Y. pp. 307–335.
- Puig AS, Keith LM, Matsumoto TK, Gutierrez OA, Marelli JP. 2021. Virulence tests of *Neofusicoccum parvum*, *Lasiodiplodia theobromae*, and *Phytophthora palmivora* on *Theobroma cacao*. *European Journal of Plant Pathology* 159: 851–862. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02210-1>
- Shamsi S. Naher N, Momtaz S. 2010. First report of *Lasiodiplodia* pod rot disease of cacao (*Theobroma cacao* L.) from Bangladesh. *Bangladesh Journal of Plant Pathology* 26 (No.1/2): 81–82.

8.8.4. Maladie des filaments blancs

Quatre espèces de *Marasmiellus* distinguées à partir de cinq morphotypes (basés sur la forme et la couleur uniques des brins de mycélium, la présence et l'absence de rhizomorphes dans les conditions de terrain et les structures de fructification), des séquences génétiques ITS, LSU et mtSSU ont été signalées sur le cacaoyer (Amoako-Atta et al. 2020). Ces espèces sont : (a) *Marasmius crinis-equi* (F.Muell. ex Berk) Dennis (brins de mycélium noirs de type "crin de cheval") ; (b) *Marasmius tenuissimus* (Jungh.) Singer (brins de mycélium brunâtres) ; (c) *Marasmiellus palmivorus* Sharples (brins de mycélium blanchâtres à blanc brunâtre) et (d) *Marasmiellus scandens* Massee (brins de mycélium crème pâle ou blanc terne).

8.8.4.1. Hôtes

Ces pathogènes se retrouvent sur de nombreuses cultures tropicales dont le bananier, le bananier plantain, le taro, l'igname, le cocoyam, le cocotier, le maïs, l'ananas, le gingembre, le théier, l'hévéa et le caféier (Dechassa, 2019 ; Nelson et Javier, 2001 ; Dutta et Archaya, 2018 ; Farr et Rossman, 2017) ; le palmier à huile, le cocotier (Pong et al. 2012, Amoako Atta et al. 2020).

8.8.4.2. Distribution

Sa distribution est mondiale et il est particulièrement commun dans les régions tropicales humides. Il est largement distribué au Brésil et aux Antilles et dans certaines parties d'Amérique centrale (Barros 1981, Ceresini et al. 2012), en Équateur, au Pérou, au Belize et au Suriname (Koch et al. 2018) au Ghana, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, au Brésil, à Trinidad-et-Tobago, en Inde, en Malaisie (Amoako-Atta et al. 2020).

8.8.4.3. Symptômes et biologie

Le champignon se développe sous la forme d'un réseau de brins secs en forme de toile (rhizomorphes), principalement sur les pétioles et sur les surfaces inférieures des feuilles et des branches, et peut être principalement de couleur noire (filaments noirs) (Fig. 8.8.4A) ou blanche (filaments blancs) (Fig. 8.8.4B). Les brins, dont l'épaisseur peut atteindre 2 mm, se ramifient toujours à partir des pétioles sur les limbes des feuilles et s'étalent ensuite en de nombreux brins fins (1-4µm). Ces brins fins provoquent une nécrose brun foncé et plus tard, la feuille entière se dessèche et prend l'aspect du papier. Les feuilles atteintes sont d'une couleur brune à brun foncé et s'accrochent les unes aux autres et restent suspendues par les brins sur l'arbre (Fig. 8.8.4C) (Opoku et al. 2007, Amoako-Atta et al. 2016). Dans les arbres gravement infectés, l'épaisse masse de feuilles mortes suspendues à la canopée (Fig.8.8.4D) fait obstacle aux nouvelles pousses et crée un environnement favorable au développement de ravageurs et de maladies comme la pourriture par *Phytophthora* (David 2005).

Les feuilles et les branches mortes portant des mycéliums constituent une source majeure d'inoculum qui sont disséminés par le vent, la pluie, les insectes, les oiseaux nicheurs et les activités humaines (César et al. 2018). À certains moments de la croissance du mycélium, le champignon forme des amas hyphaux de forme irrégulière, concaves (1-3 mm de haut et 2-8 mm de large) sur les bords des feuilles ou sur les nervures (Fig.8.8.4E). Ces amas servent de structures de survie, mais pas d'organes de fructification, et se trouvent à la fois sur les feuilles vivantes et mortes, mais rarement sur les branches. Les amas absorbent facilement l'humidité et deviennent collants dans des conditions de terrain, ce qui leur permet d'adhérer à des feuilles et des branches d'hôtes sains pour commencer de nouvelles infections dans les 24 heures. Les champignons se développent généralement plus rapidement sur les branches (4,9 - 49,7 mm/jour) que sur les feuilles (0 - 37,6 mm/jour). La maladie peut atteindre une proportion épidémique lorsque la température chaude, l'humidité élevée, l'ombre et les branches surplombantes prédominent.



Fig. 8.8.4. Signes et symptômes de la maladie des filaments sur feuilles de cacaoyer : A : Brins des hyphes du pathogène à filaments noirs sur branche de cacaoyer B : brins des hyphes du pathogène à filaments blancs sur branche de cacaoyer; C : rhizomorphes blancs du pathogène à filaments blancs sur la surface foliaire infectées détachées et suspendues; D : Masse de feuilles mortes détachées et suspendues dans la canopée et E : amas hyphaux sur les bords des feuilles (Source : I Amoako-Atta & E Kumi-Asare, CRIG).

8.8.4.4. Mesures de quarantaine

Parties végétales susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Troncs/branches/tiges
- Feuilles

Parties végétales peu susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Cabosses
- Graines

Lorsque du matériel clonal est requis, il doit être fourni sous forme de baguettes de greffage provenant de zones exemptes de maladies, dans la mesure du possible. Lors du prélèvement de baguettes de greffage de plantes poussant dans une zone infestée, il faut veiller à ce que l'arbre qui fournit les baguettes et tous ses voisins ne présentent pas de symptômes de la maladie. Plusieurs fongicides, dont des formulations à base de cuivre et de cuivre-mefenoxam, se sont avérés actifs contre le champignon de brûlure foliaire. Un traitement fongicide réduirait l'inoculum et limiterait considérablement les chances d'une introduction indésirable.

8.8.4.5. Références

- Amoako-Atta I, Akrofi AY, Bin-Hakeem R, Asamoah M, Kumi-Asare E. 2016. White thread blight disease caused by *Marasmiellus scandens* (Massee) Dennis & Reid on cocoa and its control in Ghana. *African Journal of Agricultural Research* 11 (50) : 5064-5070.
- Amoako-Attah I, Ali, SS, Aime MC, Odamtten GT, Cornelius E, Nyaku ST, Asare EK, Yahaya B, Bailey B. 2020. Identification and characterization of fungi causing thread blight diseases on cacao in Ghana. *Plant Disease* 104(11) : 3033-3042 <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-20-0565-RE>
- Barros NO. 1981. Cacao. *Manual de Asistencia Técnica*, Vol. 23. Instituto Colombiano Agropecuario, Bogota, Colombia.
- Ceresini PC, Costa-Souza E, Zala M, Furtado EL and Souza NL. 2012. Evidence that the *Cerotobasidium*-like white blight and black rot fungal pathogens from persimmon and tea crops in the Brazilian Atlantic Forest agroecosystem are two distinct phylopecies. *Genetics and Molecular Biology* 35 :480-497. <https://doi.org/10.1590/s1415-47572012005000032>
- César E, Bandala VM, Montoya L, Ramos A. 2018. A new *Gymnopus* species with rhizomorphs and its record as nesting material by birds (Tyrannidae) in the subtropical cloud forest for Eastern Mexico. *MycKeys* 42 : 21-34. <https://mycokeys.pensoft.net/article/28894/>
- David S. 2005. Learning About Sustainable Cocoa Production. A Guide for Participatory Farmer Training. I. Integrated Crop and Pest Management Sustainable Tree Crop Program. IITA, Yaoundé, Camerroun.
- Dechassa N. 2019. Occurrence, distribution, biology and management of coffee thread blight (*Corticium koleroga* (Cke) Hoehnel) : A review. *Journal of Environment and Earth Science* 9 (2).
- Dutta AK, Acharya K. 2018. A new host of for the parasitic macrofungus *Marasmius palmivorus* Sharples (Marasmiaceae) *Current Science* 114 :1400-1407.
- Farr DF, Rossman A.Y. 2017. Fungal Databases, U.S. National Fungal Collections, ARS, USDA. Retrieved 20th July, 2021, from <https://nt.ars-gov.grin.gov/fungaldatabases>.
- Koch RA, Lodge DJ, Sourell S, Nakasone K, McCoy AG, Aime MC. 2018. Tying up loose threads : Revised taxonomy and phylogeny of an avian-dispersed neotropical rhizomorph-forming fungus. *Mycological Progress* 17 : 989-998.

- Kusunoki M, Kawabe Y, Ikeda T, Aosh K. 1997. Role of birds in dissemination of the thread blight disease caused by *Cylindrobasidium argenteum*. *Mycoscience* 38 : 1-5
- Nelson SC, Javier B. 2001. Report document on diagnosis of banana, yam and other diseases in Pohnpei. No. 20 (Second Update, August 2014). College of Micronesia, Kolonia, Pohnpei, Federated States of Micronesia.
- Opoku IY, Assuah MK, Domfeh O. 2007. Manual for the identification and control of diseases of cocoa. CRIG Technical Bulletin No.16, Akim-Tafo, Ghana.
- Pong VM, Zainal, Abidin MA, Al-maliky BSA., Kadir J, Wong MY. 2012. Isolation, fruiting and pathogenicity of *Marasmiellus palmivorus* Sharples Desjardin (comb. prov.) in oil palm plantations in West Malaysia. *Pertanika. Journal of Tropical Science* 35 :37-48.

8.8.5. Pourriture de la cabosse à *Trachysphaera* (pourriture farineuse) : *Trachysphaera fructigena*

8.8.5.1. Hôtes

Provoque la pourriture des fruits du cacaoyer, du caféier, des bananiers et des avocatiers (Asare-Nyako et Dakwa 1974, Akrofi et al. 2016).

8.8.5.2. Distribution

Distribution limitée mais commune dans les pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre (UK, CAB International (1988)).

8.8.5.3. Symptômes et biologie

Le champignon infecte les tissus blessés des cabosses suite à des dommages causés par l'homme, les insectes, les rongeurs et les oiseaux (Opoku et al., 2007) et provoque des lésions brunes sur les cabosses matures. Des masses conidiennes blanches denses devenant ensuite brun rosé, sont produites à la surface des lésions (Fig.8.8.5). Les conidies ont un aspect farineux et sont rugueuses au toucher lorsqu'on les frotte entre les doigts en raison des échinulations sur les parois conidiennes (Asare-Nyako et Dakwa, 1974). Les symptômes sur les cabosses de cacaoyer sont similaires à ceux causés par *Phytophthora* (cabosse noire) mais contrairement aux spores de *Phytophthora*, les conidies de *Trachysphaera fructigena* peuvent être transportées par le vent.

8.8.5.4. Mesures de quarantaine

Parties végétales susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Cabosses

Parties végétales peu susceptibles de véhiculer le pathogène :

- Troncs/branches/tiges
- Feuilles

La maladie des cabosses du cacaoyer causée par *Trachysphaera fructigena* est une composante insignifiante des maladies des cabosses. Lorsque du matériel clonal est

requis, il doit être fourni sous forme de baguettes de greffage provenant de zones exemptes de maladies, dans la mesure du possible. Lors du prélèvement sur des plantes poussant dans une zone infestée, il faut veiller à ce que l'arbre qui fournit le greffon et tous ses voisins ne présentent pas de symptômes de la maladie. Des fongicides à base de cuivre se sont avérés actifs contre le champignon.

8.8.5.5. Références

- Akrofi AY, Amoako-Atta I, Acheampong K, Assuah MK, Melnick RL. 2016. Fruit and Canopy Pathogens of Unknown Potential Risk. In B. A. Bailey & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases : A History of Old Enemies and New Encounters*. Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-24789-2>
- Asare-Nyako A, Dakwa JT. 1974. Mealy pod of cocoa (*Trachysphaera fructigena* Tabor and Bunting). In : Gregory, P.H ed. *Phytophthora diseases of cocoa*. London, UK : Longman, 266-272.
- Opoku IY, Assuah MK, Domfeh O. 2007. Manual for the identification and control of diseases of cocoa. CRIG Technical Bulletin No.16, Akim-Tafo, Ghana.
- UK CAB International 1988. *Trachysphaera fructigena*. [Distribution map]. *Distribution Maps of Plant Diseases*, Wallingford, UK : CAB International .Map 249. DOI :[10.1079/DMPD/20046500249](https://doi.org/10.1079/DMPD/20046500249)



Figure 8.8.5. Masse de conidies blanches sur cabosse de cacaoyer infectée par *Trachysphaera fructigena* (Source : Andrews Akrofi).

9. Insectes ravageurs et mites

Mise à jour : Colin Campbell

480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, Royaume-Uni
Email : cam_campbell@tiscali.co.uk

Une grande diversité d'insectes est associée au cacaoyer, reflétant souvent la composition de la faune forestière locale, mais incluant aussi des ravageurs associés spécifiquement aux espèces d'ombrage et aux autres espèces cultivées dans le système de culture. Entwistle a répertorié près de 1400 espèces se nourrissant sur cacaoyer dans sa liste d'espèces de 1972. Ce nombre atteint presque 3200 si on y intègre les ennemis naturels, les pollinisateurs et les mites (Bigger, 2012) bien que certaines de ces espèces puissent être des visiteurs occasionnels. Par exemple, *Conotrechalus humeropictus* Fiedler est l'une des neuf espèces de charançons polyphages *Conotrechalus* spp les plus souvent trouvés infestant les arbres forestiers en Amazonie, mais est considéré comme le principal ravageur du cacao dans le nord-ouest du Brésil (Mendes et al. 1997) car, en plus des dommages causés aux fèves, et comme d'autres organismes nuisibles semblables, les trous d'entrée et de sortie des larves sur les cabosses permettent l'entrée d'agents pathogènes fongiques (Laker et al. 1993).

Les principaux insectes ravageurs du cacaoyer sont le Foreur des cabosses (section 9.2), les mirides (sections 9.5 et 9.6) et les cochenilles (section 9.8). Cependant, comme avec le *C. humeropictus*, d'autres ravageurs peuvent avoir une importance locale, ou des explosions démographiques peuvent survenir de temps en temps, nécessitant la vigilance des personnes impliquées dans tout mouvement de matériel génétique pour réduire au minimum le risque de contaminer le matériel végétal.

9.1. Recommandations générales pour minimiser le risque de répandre les insectes ravageurs

Une extrême prudence doit être apportée au transport de cabosses entières en raison du risque de présence de ravageurs et d'œufs à la surface ou à l'intérieur des cabosses. Des précautions particulières sont nécessaires dans les zones infectées par le *Conotrechalus* spp., le Foreur des cabosses ou le Foreurs des cabosses Américain (voir les sections 9.2 et 9.3).

En transférant du matériel végétal tel que des baguettes de greffage, il faut veiller à les prélever sur des branches qui ne montrent aucun signe visuel d'insectes vivants ou de dégâts causés par des insectes. Les baguettes doivent être traitées avec un pesticide approprié selon les directives locales. Toutefois, comme certains œufs d'insectes peuvent ne pas être éliminés par une immersion dans un pesticide, il est

conseillé à la réception des baguettes que les plants greffés soient maintenus dans des serres à l'épreuve des insectes et examinés chaque jour pour y détecter la présence d'insectes et, dans la mesure du possible, d'autoclaver ou de détruire totalement par d'autres moyens tous les emballages.

9.1.1. Références

- Bigger M. 2012. Geographical distribution list of insects and mites associated with cocoa, derived from literature published before 2010. Available from URL : https://incocoa.org/docs/MBiggercocoa_insects_Mdly.pdf
- Entwistle PF. 1972. Pests of Cocoa. Longman, UK. 779 pp.
- Laker HA, Trevisan O, Bezzerà JL 1993. Fungi associated with pods of cocoa (*Theobroma cacao* L.) attacked by the borer *Conotrachelus humeropictus* Fiedler in Rondonia State, Brazil. *Tropical Agriculture* 70: 332-336.
- Mendes ACB, Magalhães BP, Ohashi OS 1997. Biologia de *Conotrachelus humeropictus*, Fiedler, 1940 (Coleoptera: Curculionidae), praga do cacaueiro e do cupuacuzeiro na Amazonia Brasileira. *Acta Amazonica* 27: 135-144.

9.2. Foreur des cabosses (*Conopomorpha cramerella* – FCC ou CPB)

Mise à jour : Saripah Bakar et Alias Awang

Malaysian Cocoa Board, 5th to 7th Floor, Wisma SEDCO, Lorong Plaza Wawasan, off Coastal Highway, Locked Bag 211, 88999 Kota Kinabalu, Sabah, Malaisie
Email : sari@koko.gov.my

9.2.1. Agent causal

Conopomorpha cramerella (Snellen) (Lepidoptera : Gracillariidae).

9.2.2. Symptômes

Les symptômes d'une infestation du foreur de la cabosse du cacaoyer (FCC ou CPB *C. cramerella*) se repèrent sur les cabosses immatures infestées par des taches jaunes avant la maturation et par le durcissement des cabosses (Azhar 1988). En revanche, des taches vertes sont visibles sur les cabosses matures (Fig. 9.2.1). Ces symptômes sont dus aux larves qui creusent des tunnels à l'intérieur de la cabosse (Bakar et al. 2021). Les infestations sérieuses se passent quand plus de 3 ou 4 larves se nourrissent et empêchent le développement de la cabosse, menant à une maturation précoce ou prématurée. Les trous d'entrée des larves sur la surface de la cabosse sont rarement visibles à l'œil nu mais peuvent être détectés en arasant l'enveloppe. Les larves se nourrissent du mucilage et du placenta, laissant des excréments sombres et des traces de fouissement (Fig. 9.2.3). Comme toute cette étape du cycle de vie se déroule à l'intérieur des cabosses, les larves sont presque entièrement protégées de toute approche de contrôle. Les larves laissent des trous de sortie de 1-2 mm de diamètre dans les parois des cabosses (Fig. 9.2.4). Les trous de sortie

peuvent être observés sur la coque de la cabosse ; tandis que de très petits trous noirs d'entrée peuvent être observés sur la cabosse lorsqu'elle est tranchée. Les fèves des cabosses infestées mènent à l'agrégation des fèves où les fèves durcissent, s'agrégent souvent et sont difficiles, voire impossibles, à extraire (Fig. 9.2.5) (Azhar 1988, 1990, 1995, Azhar and Long 1993, 1996, Lee et al. 2013). Les fèves peuvent commencer à germer dans la cabosse infestée quand elles sont presque mûres (Azhar 1986). Les cabosses infestées avec les fèves agrégées sont inutilisables et la cabosse entière doit être jetée quand l'infestation est sévère (McMahon et al. 2015)

9.2.3. Distribution géographique

CPB a été détecté pour la première fois dans une plantation de cacaoyer au Sulawesi, en Indonésie, dans les années 1860 (Wardoyo 1980). Le ravageur a été signalé aux Philippines en 1936, en Malaisie en 1980 et en Papouasie-Nouvelle-Guinée en 2006 (Ooi et al. 1987, Khoo et al. 1991, Azhar 1995, Yen et al. 2010, Saripah and Alias 2016). En 2011, il a été signalé dans le nord du Queensland, en Australie ; heureusement, le ravageur a été éradiqué avec succès en Australie. Il est également rencontré au Sri Lanka, en Inde, aux Philippines, à Taïwan et en Thaïlande (<https://www.cabi.org/isc/datasheet/7017#todistribution>). Le CPB reste le principal ravageur en Asie du Sud-Est et dans les archipels du Pacifique occidental (Azhar et al. 2000, Shapiro et al. 2008, Sulistyowati 2015, Niogret et al. 2019, Iamba et Masu 2020, Niogret et al. 2023, Saripah et al. 2021).



Figure 9.2.1. CPB - Jaunissement inégal de cabosses immatures dû à une infestation par le foreur des cabosses (Saripah B, Malaysian Cocoa Board)

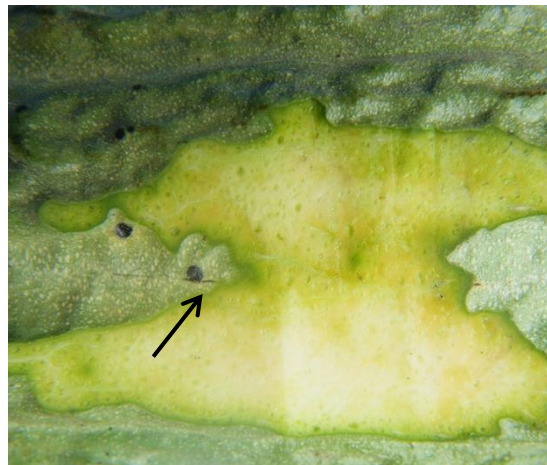


Figure 9.2.2. CPB - Trou d'entrée visible après arasement de la coque de la cabosse (Saripah B, Malaysian Cocoa Board)

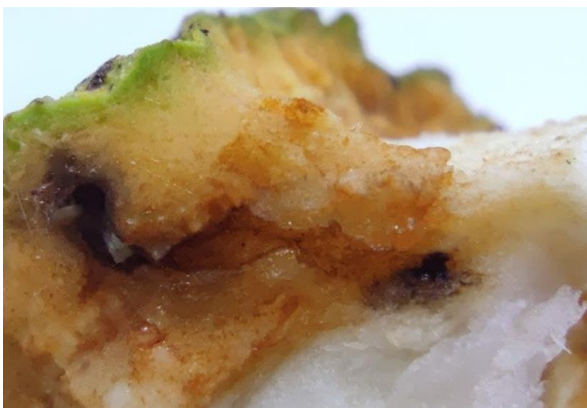


Figure 9.2.3. CPB - Galeries témoignant de l'infestation des larves dans le mucilage et la coque de la cabosse (Saripah B, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.4. CPB - Trous de sortie à la surface de la cabosse (Saripah B, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.5. CPB - Fèves agglomérées en une masse solide résultant d'un fort niveau d'infestation du foreur de la cabosse du cacaoyer (Saripah B, Malaysian Cocoa Board)



9.2.4. Plantes Hôtes

CPB présente une polyphagie, se nourrissant de nombreuses plantes hôtes appartenant aux familles Sapindaceae, Malyaceae et Fabaceae (www.gracillariidae.net/species/2385). CPB attaque les fruits de la famille Sapindaceae y compris *Nephelium lappaceum* (rambutan) (Fig. 9.2.6), *Pometia pinnata* (Fijian longan), *Nephelium mutabile* (pulasan) et *Euphoria malaiense*; de la famille des Leguminosae, *Cynometra cauliflora* (nam-nam), *Cynometra cauliflora* ainsi que *Cola nitida* et *Lansium domesticum* (langsat) de la famille des Malvaceae (Ooi et al. 1987). Un autre fruit rapporté comme étant associé au CPB est *Litchi chinensis*. On pense que *N. lappaceum* est l'hôte pionnier, mais il est probable que sa courte saison de fructification (2 à 3 mois) ait entraîné la propagation aux cacaoyers (Azhar et Long 1993, Posada et Vega 2005, Wardoyo 1980). Les Sapindaceae et les Leguminosae pourraient être les hôtes originaux du foreur des cabosses du fait que le cacaoyer n'est pas indigène à l'Asie du Sud-Est. Une étude récente a démontré une nette préférence des foreurs femelles pour les cabosses de cacaoyer par rapport aux fruits de leurs hôtes indigènes (*N. lappaceum*, *P. pinnata* et *L. domesticum*) (Niogret et al. 2020).



Figure 9.2.6 Infestation de CPB sur *N. lappaceum* (Saripah, B. Malaysian Cocoa Board)

9.2.5. Biologie

Le cycle de vie du CPB est relativement court, environ 27 à 33 jours, comme l'illustre la Fig. 9.2.7. Les femelles gravides commencent à voler au crépuscule et recherchent les cabosses de cacaoyer, pondant leurs œufs directement sur l'enveloppe extérieure (Niogret et al. 2020). Le dépôt des œufs peut avoir lieu sur des cabosses à un stade de développement relativement précoce (70 mm de longueur), jusqu'à la maturité. Une femelle adulte pond des œufs seuls ou par groupes de deux ou trois sur la surface de la cabosse de cacaoyer et peut pondre 40-100 et jusqu'à 300 œufs pendant son stade de maturité (Lee et al. 2013, Saripah et al. 2021). La préférence d'oviposition du CPB dépend du stade de développement des cabosses et du comportement de ponte sur des cabosses non mûres de taille normale et sur des

cabosses trop mûres (Niogret et al. 2020). Les œufs fraîchement pondus sont de couleur orange avec une longueur d'environ 0,5-0,6 mm. Les œufs sont ovales, fortement aplatis, et généralement pondus individuellement près des sillons sur la surface des cabosses. Le stade de l'œuf dure de 2 à 7 jours. Les œufs éclosent généralement au bout d'environ trois jours, passant au cours de leur maturation d'une couleur orange à presque incolore. Les larves du premier instar creusent généralement un tunnel à travers la coquille de l'œuf (Niogret et al. 2023) et percent immédiatement les parois de la cabosse (Fig. 9.2.8). À l'intérieur de la cabosse, les larves se nourrissent pendant 14-21 jours du mucilage, de la pulpe, du placenta et parfois des téguments des cotylédons. Cette alimentation perturbera la croissance des fèves de cacao et affectera leur approvisionnement d'éléments nutritifs. Le stade larvaire complet dure 14-18 jours, avec 4-6 instars (Lim et al. 1982). Une fois matures, les larves percent la paroi de la cabosse (Fig. 9.2.9) et laissent des traces de trous de sortie à la surface de la cabosse. Les pré-pupes vont immédiatement tisser leur cocon de soie de forme ovale et entamer la pupaison ailleurs dans la canopée, dans un sillon de cabosse, sur les feuilles vertes ou mortes, les cabosses ou autres débris (Fig. 9.2.10).

Les pupes changent de couleur, passant du vert clair initial au gris foncé au fur et à mesure de leur maturation. L'achèvement de la pupaison prend généralement 6 à 8 jours (Saripah et al. 2019) au bout desquels émerge l'adulte. Il se repose souvent transversalement sous les branches de la jorquette, en particulier dans les zones ombragées. Les adultes mesurent environ 5 mm de long pour une envergure de 13 mm, et les ailes antérieures des adultes nouvellement émergés présentent une bande blanche en zigzag avec une tache jaune-orange à l'extrémité. Les papillons adultes sont actifs la nuit mais se reposent le jour en recroquevillant leurs ailes, leurs antennes et leurs pattes étroitement sur le corps et s'orientent en croix sur la face inférieure des branches inclinées horizontalement. La longévité des adultes est généralement d'environ une semaine et peut atteindre exceptionnellement 30 jours. Ce lépidoptère multivoltine continue à déposer ses œufs, le plus grand nombre d'œufs et de trous d'entrée étant généralement enregistré à des longueurs de cabosse supérieures à 150 mm (Saripah 2019).

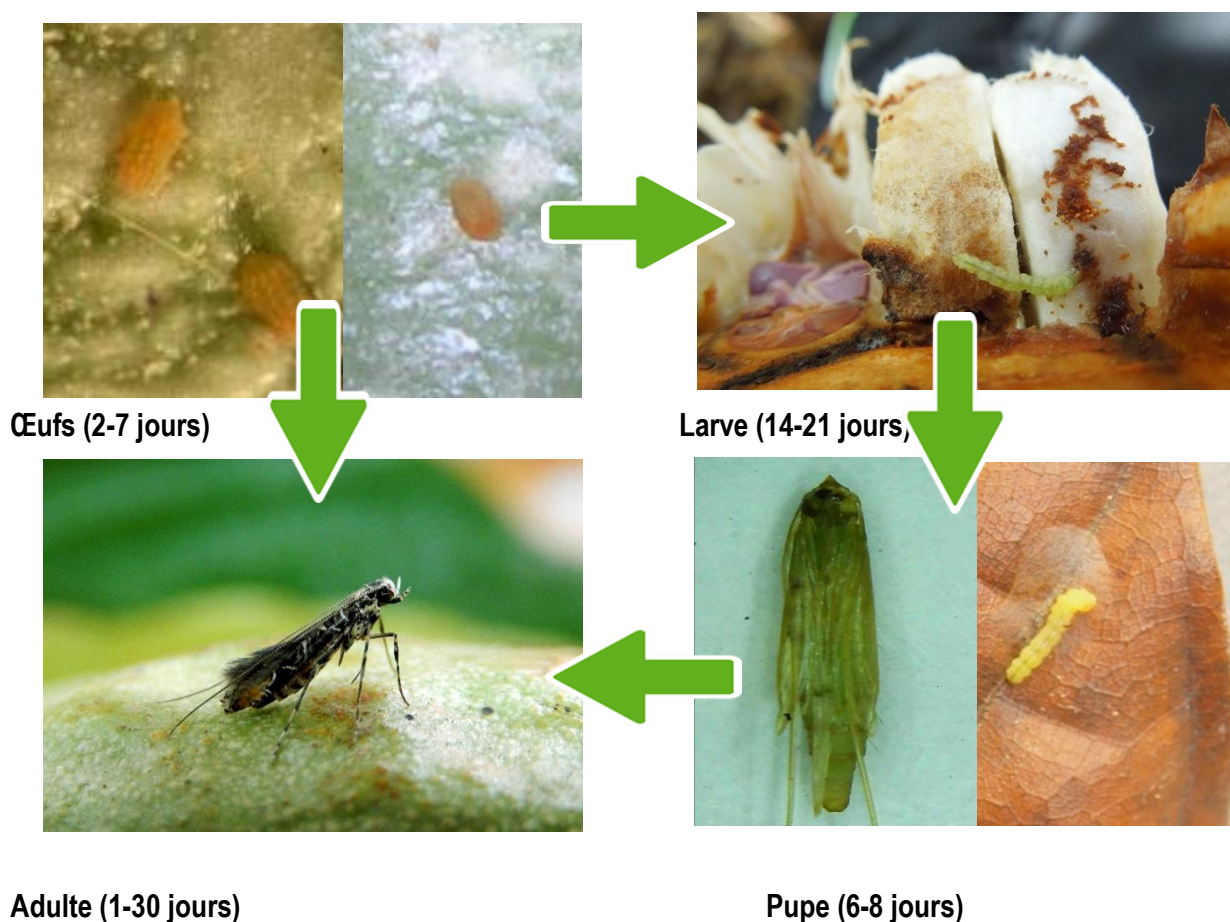


Figure 9.2.7. Cycle de vie et durée de vie des différents stades du foreur des cabosses CPB)
(A Alias, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.8. Larve nouvellement éclos de foreur des cabosses en train de forer son tunnel dans la paroi de la cabosse (A Alias, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.9. Larve de foreur des cabosses en train d'émerger de son tunnel de sortie dans la paroi de la cabosse (A Alias, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.10. Pupe de foreur des cabosses dans son cocon de soie sur feuille de la litière (A Alias, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.11. Pupes de CPB après que les cocons de soie soient enlevé (Saripah B, Malaysian Cocoa Board)

9.2.6. Mesures de quarantaine

Lors du transfert de graines :

1. Les cabosses entières non ouvertes présentant des signes du CPB, en particulier les trous de sortie et des couleurs de maturation inégales sur la surface de la cabosse, ne doivent PAS être envoyées depuis des zones infectées.
2. Lorsque le transfert de cabosses est nécessaire, elles doivent être transférées dans un conteneur avec un couvercle fermé, ou dans un sac en toile ou un sac en plastique fermé pendant le processus de transport.
3. Les graines doivent provenir de cabosses saines sans aucun signe d'insectes foreurs ou de champignon dans la cabosse.
4. Les fèves doivent être lavées à l'eau et traitées avec un mélange insecticide/fongicide approprié puis emballées dans un matériau d'emballage neuf.

Lors du transfert de baguettes de greffage :

1. Les baguettes doivent provenir d'arbres ne montrant aucun signe de présence d'insectes foreurs des cabosses.
2. La baguette doit être traitée avec un mélange insecticide/fongicide approprié et emballée dans un matériau d'emballage neuf.

3. Les baguettes avec cocons de CPB ne doivent PAS être envoyés à de nouvelles zones.

9.2.7. Références et lectures complémentaires

- Azhar I. 1986. A threat of cocoa pod borer (*Conopomorpha cramerella*) infestation to the Malaysian cocoa industry. 1. On the biology and damage. *Teknologi Koko-Kelapa MARDI* 2 :53-60 (In Malay with English summary).
- Azhar I. 1988. Identification of insect pests of cocoa through damage and symptoms. MARDI Rep. No. 22. 26 pp.
- Azhar I. 1990. Cocoa pollinators and approaches to enhance pollination in Malaysia. MARDI Report No 138. pp 1-9.
- Azhar I. 1995. An overview on the management of key insect pests of cocoa with major emphasis on the cocoa pod borer, *Conopomorpha cramerella*. *The Planters* 71: 469-480.
- Azhar I, Long GE. 1993. Role of pod shape, color and spatial distribution on egg distribution and egg parasitism of the cocoa pod borer, *Conopomorpha cramerella* (Snellen) (Lepidoptera : Gracillariidae). *MARDI Research Journal* 21 :59-70.
- Azhar I, Long GE. 1996. Effect of cocoa pod age on distribution and egg parasitism of the cocoa pod borer in Malaysia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 81: 81-89.
- Bakar S, M. Latip SNH, Awang A, Zhang A. 2021. Composition of three Zingiberaceae essential oils and their efficacy against the survivability of cocoa pod borer, *Conopomorpha cramerella* (Snellen) eggs. *Journal of Bangladesh Agricultural University* 19(1) :22-29. <https://doi.org/10.5455/JBAU.36604>.
- Lamba K, Masu H. 2020. An integrated approach of managing *Conopomorpha cramerella* Snellen : Application of plant extracts in a push-pull system. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8(6) :1040-1046. <https://doi.org/10.22271/j.ento.2020.v8.i6n.7974>
- Lee CH, Kelvin L, Haya R, Navies M, Saripah B, editors. 2013. Cocoa Planting Manual, Sustainable Cocoa. Sabah, Malaysia : Malaysian Cocoa Board.
- Lim GT, Tay EB, Pang TC, Pan KY. 1982. The biology of cocoa pod borer *Acrocercops cramerella* Snellen and its control in Sabah, Malaysia. In Proceedings of International Conference on Plant Protection in the Tropics. Kuala Lumpur : Malaysian Plant Protection Society (MAPPS). pp 257-87.
- McMahon P, bin Husing H, Lambert S, Mulia S, Nurlaila, Susilo AW, Sulistyowati E, Sukanto S, Israel M, Saftar, A, Amir A, Purwantara A, Iswanto A, Guest D, Keane P. 2015. Testing local cocoa selections in three provinces in Sulawesi: (i) Productivity and resistance to cocoa pod borer and *Phytophthora* pod rot (black pod). *Crop protection* 70: 28-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.001>
- Niogret J, Arni Ekayanti, Ingram K, Lambert S, Kendra PE, Alborn H, Nancy D, Epsky ND. 2019. Development and behavioral ecology of *Conopomorpha cramerella* (Lepidoptera : Gracillariidae). *Florida Entomologist* 102(2) : 382-387. <https://doi.org/10.1653/024.102.0214>.
- Niogret J, Arni Ekayanti, Kendra PE, Ingram K, Lambert S, Epsky ND, Marelli JP. 2020. Host preferences of the cocoa pod borer, *Conopomorpha cramerella*, the main threat to cocoa production in Southeast Asia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 168(3) : 221-227. <https://doi.org/10.1111/eea.12882>.
- Niogret J, Savantil AB, Ekayanti A, Jaus MP, Wulan W, Mitzo E ..., Conlong D. 2023. Development of a Diet Production System for *Conopomorpha cramerella* (Lepidoptera: Gracillariidae), a Major Cocoa Production Pest in Southeast Asia and the Pacific Islands. *Insects*, 14(8): 708.
- Ooi PAC, Chan LG, Khoo KC, Teoh CH, Jusoh MM, Ho CT, Lim GS. 1987. Management of the cocoa pod borer. Malaysian Plant Protection Society. Kuala Lumpur, Malaysia. 192 pp.

- Posada F, Vega FE. 2005. Establishment of the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota : Hypocreales) as an endophyte in cocoa seedling (*Theobroma cacao*) *Mycologia* 97 :1195–1200.
- Saripah B. 2019. Infestations of two major pests of cocoa, *Conopomorpha cramerella* and *Helopeltis* spp. under natural condition. *Pelita Perkebunan* 35(3) :186-192.
<https://doi.org/10.22302/iccricri.jur.pelitaperkebunan.v35i3.359>
- Saripah B, Noor Hajjar MLS, Alias A, Zhang A. 2019. Inhibitory effect of Zingiberaceae essential oils against *Conopomorpha cramerella* (Snellen) Lepidoptera : Gracillariidae. *Journal of Bangladesh Agricultural University* 17(3) :349-354. <https://doi.org/10.3329/jbau.v17i3.43210>.
- Saripah B, Alias A. 2016. Evaluation of best management practices for cocoa pod borer in cocoa ecosystem. *Malaysian Cocoa Journal* 9(1) :108-120.
- Shapiro LH, Scheffer SJ, Maisin N, Lambert S, Purung H, Sulistyowati E, Vega FE, Gende P, Laup S, Rosmana, A, Djam S, Hebbar P. 2008. *Conopomorpha cramerella* (Lepidoptera : Gracillariidae) in the Malay Archipelago : Genetic signature of a bottleneck population? *Annual Entomology Society of America* 101(5) :930-938.
- Sulistyowati E. 2015. Hama utama tanaman kakao dan pengendaliannya. In T. Wahyudi, Pujiyanto & Misnawi, editors. *Kakao : Sejarah, Botani, Proses Produksi, Pengolahan, dan Perdagangan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. pp. 307–334.
- Wardojo S (1980). The cocoa pod borer – a major hindrance to cocoa development. *Indonesia Agriculture Research and Development Journal* 2 :1–9.
- Yen JDL, Waters EK, Hamilton AJ. 2010. Cocoa pod borer (*Conopomorpha cramerella* Snellen) in Papua New Guinea : Biosecurity models for New Ireland and the autonomous region of Bougainville. *Risk Analysis* 30 :293–309. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2009.01297.x>

9.3. Foreur de la cabosse / Foreur de la cabosse Américain (*Carmenta* spp.)

Mise à jour : Colin Campbell¹ et Leila Bagny Beilhe²

¹480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, Royaume-Uni
Email : cam_campbell@tiscali.co.uk

²CIRAD, Campus International de Baillarguet, UMR PHIM TAA-120/K, 34398 Montpellier, France
Email : leila.bagny@cirad.fr

9.3.1. Agents causaux

Carmenta foraseminis Eichlin et *C. theobromae* (Busck) (Lepidoptera :Sesiidae) des néotropiques sont des espèces morphologiquement similaires. Bien qu'elles soient légèrement dissemblables en taille (Delgado Puchi 2005), elles ne peuvent être séparées avec certitude qu'en examinant les genitalia mâles ; *C. spp.* near *chrysophanes* (Meyrick) provoque des dégâts similaires sur le cacaoyer en Papouasie-Nouvelle-Guinée (PNG).

9.3.2. Symptômes

Les dégâts causés par *C. foraseminis* dans les cabosses de cacaoyer sont similaires à ceux causés par le foreur des cabosses du cacaoyer (*Conopomorpha cramerella*

(Snellen), en Asie du Sud-Est (Section 9.2). Les œufs nouvellement pondus sont de couleur brun rougeâtre, de forme allongée-ovale (2,4-3,2 x 1,7-2,2 mm) avec de courtes stries longitudinales. *Carmenta theobromae* affecte principalement l'épicarpe du fruit et est donc moins dommageable. Les œufs de *C. theobromae* sont nettement plus courts que ceux de *C. foraseminis* (2,4-3,3 contre 3,5-3,8 mm de long). Les trous d'entrée et de sortie des larves sont de taille similaire à ceux de *C. cramerella* (Section 9.2) et les dommages internes aux fèves dans les cabosses sont également similaires à ceux de cette espèce (Fig. 9.3.1). La pupaison a lieu à l'intérieur de la cabosse, les insectes émergeant à l'état adulte. Dans les infestations sévères, environ 60% des cabosses peuvent être infestées.

9.3.3. Distribution géographique

Carmenta foraseminis a été signalé sur cacaoyer au Brésil, en Colombie, au Panama, au Pérou et au Venezuela. De même, *C. theobromae* est signalé comme un ravageur du cacaoyer en Colombie, au Panama, au Pérou, à Trinidad et au Venezuela. *Carmenta* spp. sont également trouvés en Équateur.

9.3.4. Plantes hôtes autres que *T. cacao*

Des larves de *C. foraseminis* ont été trouvées dans des fruits d'*Eschweilera* spp. et de *Gustavia* spp. *C. theobromae* est un ravageur important du goyavier (*Psidium guajava*). *C. chrysophanes*, un foreur de tiges sur le cacaoyer plutôt qu'un mangeur de graines comme *C. sp. near chrysophanes*, se nourrit aussi sur balsa (*Ochroma lagopus*) en PNG et *Alphitonia*, *Eucalyptus* et *Ficus* spp. en Australie.

9.3.5. Biologie

La biologie des deux espèces néotropicales est décrite par Delgado Puchi (2005). Les *Carmenta* spp. sont des papillons de jour à ailes claires. Les adultes ont une courte durée de vie et meurent dans la semaine qui suit leur émergence. Les œufs, pondus généralement sur des cabosses âgées de 80 à 120 jours (Sotomayer-Parian et Soto-Cordova, 2018), éclosent en 10 à 20 jours, après quoi les larves percent la paroi de la cabosse et se nourrissent des fèves en développement et du mucilage, causant des dommages similaires à ceux causés par le foreur des cabosses du cacao (*Conopomorpha cramerella* - section 9.2). Le cycle de vie complet s'achève entre 90 et 110 jours. La biologie de *C. sp. near chrysophanes* et de *C. chrysophanes* sur le cacao est inconnue.

9.3.6. Mesures de quarantaine

Les cabosses entières non ouvertes ne doivent pas être envoyées des zones infestées car il est souvent difficile d'évaluer leur niveau d'infestation de l'extérieur. Les fèves provenant de cabosses saines à l'ouverture doivent être lavées et traitées avec un mélange insecticide/fongicide approprié avant d'être expédiées.

9.3.7. Références :

- Alomía J, Alomía C, Vega B. 2021. *Carmenta foraseminis* Eichlin and *Phytophthora palmivora* on fruits of *Theobroma cacao* L. in Satipo, Peru. *Manglar* 18(3): 283-288.
- Delgado Puchi N. 2005. Caracterización morfológica de los Sesiidae (Insecta : Lepidoptera) perforadores del fruto del cacao (*Theobroma cacao* L.), presentes en la región costera del estado Aragua, Venezuela. *Entomotropica* 20, 97-111.
- Sotomayor-Parian RM, Soto-Cordova MM. 2018. A new path to predict susceptibility of cocoa pod against *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin using a mathematical model. In *Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI)*. Buenos Aires, Argentina, pp. 1-4.



Figure 9.3.1. Larves de *Carmenta* (L. Bagnybeilhe)

9.4. Autres Lépidoptères nuisibles

Mise à jour: Colin Campbell

480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, Royaume-Uni

Email : cam_campbell@tiscali.co.uk

9.4.1. Foreur de la tige du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon* Felder (Lepidoptera : Cossidae)

Les larves de ce papillon percent les tiges ligneuses, les branches et les racines du cacaoyer en Afrique occidentale et centrale (pour exemple voir CABI Digimap 2005), entraînant la mort des branches ou des jeunes arbres affectés. Les femelles adultes sont dépourvues de pièces buccales, mais chacune peut pondre plus de 1600 œufs au cours de sa brève existence de 4 jours (Adu-Acheampong et al. 2004). Les œufs de forme ovoïde de 400 x 600 µm de couleur jaune pâle à rose, qui peuvent être pondus sur n'importe quelle partie de l'arbre, éclosent après environ onze jours

d'incubation, après quoi les larves nouvellement écloses s'enfoncent immédiatement dans les tiges fraîches. Cependant, les tiges d'un diamètre inférieur à 1,5 cm sont peu susceptibles d'être attaquées, aussi toute pousse récoltée pour être utilisée comme greffon au-dessus de cette taille doit être soigneusement inspectée pour détecter les trous de pénétration révélateurs, car les larves dans leurs tunnels sont protégées des effets d'un bain insecticide.

9.4.2. Mineurs de la coque

Le transfert de lépidoptères mineurs de la coque tels que les Tortricidés *Thaumatotibia Cryptophlebia encarpa* (Meyrick) de Malaisie et de Papouasie-Nouvelle-Guinée, *Gumnandrosoma (Ecdytolopha) aurantianum* (Lima) du Venezuela et *G. (E.) punctidescanum* (Dyar) de Trinidad, les Gracillariidés *Marmara* spp. du Brésil, de Trinidad et Tobago, *Spulerina* spp. d'Afrique de l'Ouest et le Noctuid *Characoma stictigrapta* Hampson d'Afrique serait indésirable mais moins désastreux qu'un transfert accidentel du foreur des cabosses, car les dommages que ces mineurs de la coque causent aux cabosses de cacaoyer sont surtout superficiels, bien qu'ils soient susceptibles aux infections pathogéniques. Les galeries nécrotiques laissées par ces espèces près de la surface des cabosses ne risquent pas de passer inaperçues lors d'une inspection visuelle des cabosses avant l'expédition.

9.5. Mirides (et autres hétéroptères suceurs de sève)

Mise à jour : Colin Campbell

480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, Royaume-Uni

Email : cam_campbell@tiscali.co.uk

Les insectes suceurs de sève des familles Miridae et Pentatomidae sont des ravageurs du cacaoyer dans toutes les zones géographiques à l'exception des Antilles, tandis que quelques genres de ces familles sont des prédateurs d'autres insectes.

Les espèces de ravageur les plus importantes varient selon les régions de culture du cacaoyer et une section spéciale (9.6) est incluse pour couvrir le moustique du cacaoyer (*Helopeltis theobromae*) particulièrement inquiétant en Asie du Sud-Est.

9.5.1. Agent causal, distribution et symptômes

Parmi les 56 espèces de Miridae déjà reconnues sur le cacaoyer dans le monde, 37 se nourrissent de la plante, quatre sont des prédateurs et le statut des espèces restantes est inconnu (Bigger 2009). Environ sept espèces de *Monalonion* se nourrissent de tiges et de fruits du cacaoyer en Amérique latine, ainsi que quelques genres moins connus. *Sahlbergella singularis* Haglund (Fig. 9.5.1) et *Distantiella theobroma* Distant (Fig. 9.5.2) sont les espèces les plus communes et les plus dévastatrices en Afrique centrale et

occidentale, endommageant souvent gravement la canopée alors qu'elles causent des blessures superficielles lorsqu'elles se nourrissent des cabosses. Toutefois, les lésions nécrotiques résultantes (Fig. 9.5.3 et Fig. 9.5.4) sont par la suite envahies par des pathogènes comme la pourriture brune de la cabosse (*Phytophthora* spp.) et les maladies causées par *Fusarium* spp. et *Lasiodiplodia* spp. (Adu-Acheampong et Archer 2011).

Monalonia est remplacé en Afrique centrale et occidentale, en Inde, en Asie du Sud-Est et en Papouasie-Nouvelle-Guinée, par son homologue *Helopeltis* dont on connaît à ce jour 21 espèces (Bigger 2009). La plupart des *Helopeltis* en dehors d'Afrique causent de graves dégâts aux fruits et dégradent les tiges de la canopée. Bien que les espèces vivant en Afrique se nourrissent principalement de fruits, provoquant souvent de nombreuses lésions nécrotiques sur les parois des cabosses, leurs pièces buccales ne leur permettent pas d'atteindre les fèves et le dégât économique causé reste faible.

9.5.2. Biologie

La biologie de toutes les espèces phytophages est très semblable et a été étudiée en détail par Entwistle (1972). Dans tous les genres, les femelles pondent leurs œufs en les injectant dans les tissus végétaux laissant exposées seulement deux minuscules cornes d'attache à l'enveloppe chorionique et un léger bombement de l'opercule en forme de dôme. Les œufs éclosent d'habitude en 11-16 jours. Les nymphes muent cinq fois pendant leur développement, devenant adultes trois quatre semaines après l'éclosion. La plupart des espèces se réfugient dans des coins sombres, sous les cabosses et sous les branches pendant les heures de jour, n'émergeant que la nuit pour s'alimenter. Il leur arrive aussi souvent de se laisser tomber du tissu où elles se nourrissent si elles sont dérangées, ou de se déplacer rapidement hors de vue. Le risque le plus grand en quarantaine est de ne pas éliminer tous les œufs présents sur les baguettes de greffage lors de l'immersion de celles-ci dans un insecticide, alors que la période d'incubation des œufs est assez longue pour permettre aux nymphes du premier instar d'émerger la nuit, longtemps après, sans avoir été détectées.

9.5.3. Autres phytoravageurs

En dehors de mirides, plus de 150 Hétéroptères suceurs de sève de 14 familles ont été répertoriés sur le cacaoyer dans le monde entier dont 55 espèces sont rapportées comme s'en nourrissant (Bigger, 2009). La plupart d'entre elles sont des ravageurs mineurs, mais dans le contexte de l'export de matériel végétal, deux espèces de Pentatomides méritent d'être soulignées. *Antiteuchus tripterus* (Fabricius) en Amérique latine est un vecteur d'une maladie importante, la pourriture fongique de la cabosse causée par *Moniliophthora roreri* (Section 8.2) et la présence de l'insecte peut être indicatif d'une infection latente de cette maladie. En l'Afrique de l'Ouest

et centrale, la punaise des cabosses *Bathycoelia thalassina* (Herric-Schäffer) est devenue de plus en plus répandue par suite de la plantation accrue de cacaoyers hybrides qui portent des cabosses toute l'année. Les deux espèces sont des grands insectes en forme de bouclier apparent (> 1,5 cm de long) dont les femelles pondent leurs œufs par paquets sur les tiges et les cabosses. A partir de là, ni les œufs ni les stades actifs échapperont à une inspection visuelle du matériel d'exportation. De plus, les femelles de *A. tripterus* qui gardent activement leurs œufs et les nymphes écloses récemment, les rendent encore plus évidents.

9.5.4. Références

Adu-Acheampong R, Archer S. 2011. Diversity of fungi associated with mirid (Hemiptera : Miridae) feeding lesions and dieback disease of cocoa in Ghana. *International Journal of Agricultural Research* 6 : 660-672.

Bigger M. 2012. Geographical distribution list of insects and mites associated with cocoa, derived from literature published before 2010. Available from URL : <http://www.incocoa.org/incoped/documents.php>

CAB International, UK. 2005 CABI Digimap for *Eulophonotus myrmeleon*.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/DMPP20056600483>

Entwistle PF. 1972. *Pests of Cocoa*. Longman, UK. 779 pp.



Fig 9.5.1 Adultes de *Sahlbergella singularis* (KF N'Guessan, CNRA)



Fig. 9.5.2 Adultes de *Distantiella theobroma* (KF N'GUESSAN, CNRA)



Fig 9.5.3 Lésions de Mirides (couleur sombre) sur cabosse de cacaoyer (KF N'GUESSAN, CNRA)



Figure 9.5.4. Larves de Mirides sur branche de cacaoyer et lésions de Mirides (couleur sombre) sur cabosse de cacaoyer (KF N'GUESSAN, CNRA)

9.6. Moustique du cacaoyer

Mise à jour : Saripah Bakar, Alias Awang et Azhar Ismail

Malaysian Cocoa Board, 5th to 7th Floor, Wisma SEDCO, Lorong Plaza Wawasan, off Coastal Highway,
Locked Bag 211, 88999 Kota Kinabalu, Sabah, Malaisie
Email : sari@koko.gov.my

9.6.1. Agent causal

Helopeltis theobromae (Miller) (Hemiptera : Miridae)

Synonyme commun *Helopeltis theivora* (Waterhouse) (Hemiptera : Miridae). *Helopeltis theobromae* (Miller) (Hemiptera : Miridae); *Helopeltis antonii* (Signoret) (Hemiptera : Miridae); *Helopeltis bradyi* (Waterhouse) (Hemiptera : Miridae).

9.6.2. Symptômes

Helopeltis spp. sont présents pendant les stades fructifères et végétatifs de la plante hôte. Ces insectes se nourrissent en perçant et suçant les cacaoyers, surtout les branches et les brindilles pendant la période après que les cabosses aient été récoltées, correspondant au stade végétatif de la plante hôte (Etam et al. 2023). La nymphe et l'adulte d'*Helopeltis* infestent les jeunes tiges (Fig. 9.6.1), les pédoncules et les cabosses de cacaoyer sur lesquels un unique insecte peut provoquer environ 25-35 lésions par jour. L'exsudation d'une gomme résineuse résulte des piqûres d'alimentation réalisées par les pièces buccales suçueuses de cet insecte (Thube et al. 2016). Les lésions fraîches sur la cabosse sont gorgées d'eau et de couleur vert foncé. Les tissus autour du point d'entrée du stylet se nécrosent en raison de l'infection par des agents pathogènes secondaires (Thube et al. 2019). Les lésions deviennent plus foncées et légèrement concaves, alors que les anciennes lésions sont de couleur foncée mais sont généralement convexes (Fig. 9.6.2). *Helopeltis* spp. commence à attaquer les cabosses de cacaoyer à un stade précoce du développement des cabosses, et les dégâts sont clairement visibles à partir du moment où les cabosses mesurent 70 mm de long (Saripah 2019). Les *Helopeltis* se nourrissent du tissu parenchymateux de l'enveloppe de la cabosse de cacaoyer, ce qui provoque généralement l'abscission des jeunes cabosses (flétrissement des chérelles). Les jeunes cabosses, surtout celles de moins de trois mois (Fig. 9.6.4), ont peu de chances de survivre (Wan Ibrahim 1983). Par conséquent, une infestation précoce peut réduire le nombre de cabosse atteignant la maturité. Les cabosses plus âgées ont plus de chances de survivre aux attaques, les cabosses de 85 mm à 150 mm de long présentant le plus grand nombre de lésions (Saripah, 2019). Bien que l'impact des infestations soit réduit sur les cabosses plus âgées, qui tolèrent souvent les dommages directs à moins que le nombre de lésions alimentaires infligées soit élevé (Khoo et al. 1991), les dommages causés par les mirides peuvent conduire à l'invasion par des ravageurs secondaires (Fig. 9.6.5) ou des organismes pathogènes. Les infestations sévères sur la cabosse de cacaoyer peuvent provoquer des fissures ou la perte complète de la cabosse. Thube et al. (2019) ont signalé que *H. theivora* préfère se nourrir et pondre sur les cabosses en développement plutôt que sur les feuilles et les pousses de cacaoyer. L'infestation sur les pousses se produit souvent lorsque seules quelques cabosses sont disponibles ou comme source de nourriture alternative (Alias 1983). La couleur des lésions fraîches sur les pousses est brun pâle, de forme ovale, et devient noire après 2-3 jours. La lésion sur les pousses mesure environ 4-7 mm de long. Dans les infestations très graves, l'arbre entier a l'air brûlé. Les activités d'alimentation des miridés sont marquées par la présence de chancres (taches sombres ou lésions), de taches noires, de feuilles flétries et, occasionnellement, de cacaoyers à croissance ralentie en raison du manque de feuilles. Parmi ce groupe d'espèces, *H. theivora* est le plus prévalent et influent,

causant une potentielle réduction de rendement de 40% dans les fermes de cacao Indiennes (Thube et al. 2023).



Figure 9.6.1. Infestation par *Helopeltis* sur jeunes tiges (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.6.2. Lésions anciennes sur cabosse de cacaoyer de couleur noire (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.6.3. Symptômes d'une infestation par *Helopeltis* sur des cabosses de cacaoyer de tailles différentes (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.6.4. Infestation par *Helopeltis* sur chérelle (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.6.5. Infestation de ravageurs secondaires (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)

9.6.3. Distribution géographique

Le ravageur est actuellement largement répandu en Asie, notamment en Inde (Thube et al. 2019), en Malaisie (Saripah 2019), en Indonésie (Siswanto et al. 2020) et aux Philippines. L'Inde abrite quatre espèces d'*Helopeltis*: *H. antonii* Signoret, *H. theivora* Waterhouse, *H. bradyi* Waterhouse, et *H. cinchomae* Mann. Parmi eux, *H. antonii* domine, prospérant sur plus de 35 espèces végétales de 24 familles différentes (Srikumar and Bhat, 2012). De plus, trois espèces de moustique du thé, *Helopeltis antonii* Signoret, *H. theivora* Waterhouse, et *H. bradyi* Waterhouse, ont été documentées sur des plantes de cacao en Inde (Thube et al. 2019, Thube et al. 2023). *H. Theivora* est le principal ravageur responsable pour l'endommagement des jeunes tiges, des cherelles, et des cabosses (Malhotra and Apshara, 2017). Neuf espèces d'*Helopeltis* ont été rapporté comme étant présentes en Indonésie ; *H. bradyi*, *H. chinconae*, *H. bradyi*, *H. cuneata*, *H. fasciaticollis*, *H. insularis*, *H. sulawesi*, *H. sumatranus*, et *H. theivora* (Stonedahl, 1991). Deux de ces espèces ont seulement été rapportées relativement récemment, celles-ci étant *H. bradyi* (Melina et al. 2016, Siswanto et al. 2020) et *H. antonii* Purwaningsih et al (2014). Quelques espèces d'*Helopeltis* ont été rapportées aux Philippines, notamment *H. bakeri* (Serrana et al. 2022, Pag-ong et al. 2024). En Malaisie, *H. clavifer*, *H. theobromae* et *H. theivora* ont été rapportées soit dans l'état de Sabah ou dans Peninsula Malaysia (Azhar 1989, Lee et al. 2023, Saripah 2019). Dans la région d'Afrique de l'Ouest, *Helopeltis* spp. sont

fréquemment observés dans des plantations de cacao dans le sud du Cameroun. (Etam et al. 2023).

9.6.4. Plantes hôtes

Helopeltis spp. est un insecte polyphagédont hôtes sont le cacaoyer, le manguier, *Acalypha* spp. et le cerisier du Japon (Khoo et al. 1991). En outre, *Helopeltis* spp. attaque également les boutons floraux et les fruits du goyavier, de l'anacardier et du pommier. Il infeste également les plantations de théier en Inde (Sarmah et Phukan 2004, Sarmah et Bandyopadhyay 2009, Bhuyan et al. 2017) et en Indonésie (Gusti Indriarti et Soesanthy 2014). Il y a aussi un rapport d'*Helopeltis* spp. qui infecte la goyave cristalline, *Psidium guajava* en Indonésie (Muhlison et al. 2023) et l'arbre de neem, *Azadirachta indica* en Inde (Chaitanya et al. 2024).

9.6.5. Biologie

Le cycle de vie d'*Helopeltis* dure entre 21 et 35 jours et jusqu'à 29 jours pour *H. theivora* (Thube et al. 2019). Une femelle adulte peut pondre approximativement 80 œufs (Kalshoven 1980), de forme ovale avec deux protubérances choriales (Khoo et al. 1991). La femelle pond ses œufs habituellement sur la surface extérieure de la cabosse ou sous l'écorce des jeunes tiges. L'œuf éclot en 5-7 jours et est suivi de 5 stades nymphaux (Entwistle 1965) avec une période d'incubation de 2-17 jours. La couleur de la nymphe passe du vert clair (Fig. 9.6.5) au vert sombre en devenant adulte. Les nymphes sont plus petites et aptères. Les adultes ont environ 5-10 mm de long (Fig. 9.6.6).

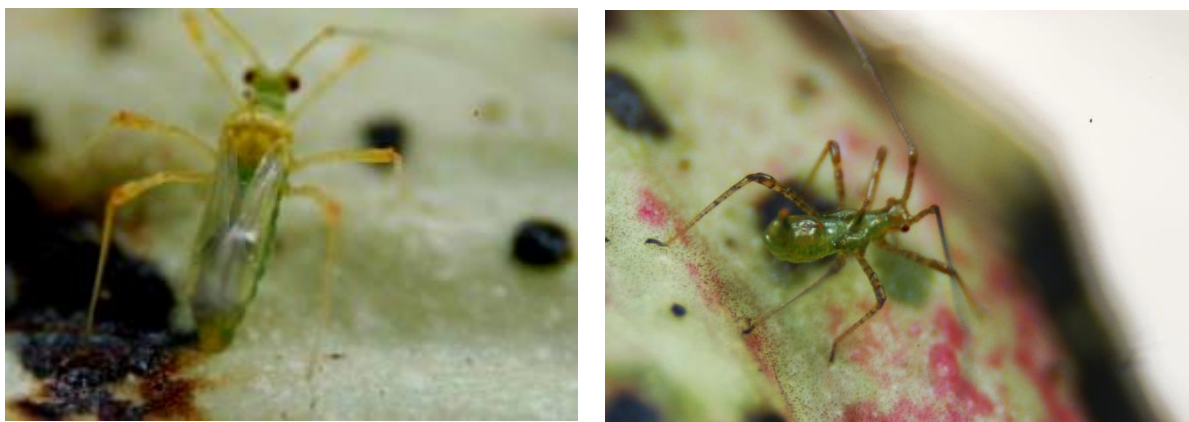


Figure 9.6.6 Nympe d'*Helopeltis* de couleur vert pale (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.6.7. Adulte d'*Helopeltis* , généralement de 5,5mm de longueur (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)

9.6.6. Mesures de Quarantaine

Le transport de cabosses provenant de régions infestées par *Helopeltis* est déconseillé en raison de la présence possible d'œufs dans des lésions récentes. Tout autre matériel végétal doit être inspecté soigneusement avant le transit. La présence d'œufs peut être confirmée par coloration du matériel par le bleu de lactophenol et l'examen ensuite au microscope.

9.6.7. Références

- Albacete SC, Amalin DM, Carvajal TM, Wise JC. 2023. Evaluation of Philippine-sourced clay particles as coating agents of cacao pods and carrier of entomopathogen against cacao pest, *Helopeltis bakeri* Poppius. *Frontiers in Agronomy* 5: 1213131. doi: 10.3389/fagro.2023.1213131
- Alias A. 1983. Kajian pengaruh pucuk dan pod koko sebagai sumber makanan ke atas *Helopeltis theobromae* Miller (Hemiptera : Miridae). Bachelor Thesis. Universiti Putra Malaysia, Malaysia.
- Entwistle PF. 1965. Cocoa Mirids - Part 1. A world review of biology and ecology. *Cocoa Growers Bulletin* 5 :16-20.
- Entwistle PF. 1972. *Pests of Cocoa*. Longman, UK.
- Etam PBN, Mahob RJ, Massé PSM, Baleba L, Feudjio R, Mboutngam MM....., Bilong CFB. 2023. Field assessment of cocoa dieback due to the neglected mosquito true bug, *Helopeltis* sp. (Hemiptera: Miridae) and associated aathogenic fungi infections in Southern Cameroon. *International Journal of Agricultural Science* 8: 325-335
- Gerard BM. 1968. A note on mirid damage to mature cacao pods. *Nigeria Entomologists' Magazine* : 59-60.
- Kalshoven LGE. 1980. *Pests of crops in Indonesia*. (Revised and edited by P.A. Van Der Laan). PT Ichtar Baru-Van Hoeve, Jakarta, Indonesia. 701 pp.
- Khoo KC, Ooi PAC, Ho CT. 1991. *Crop Pests and their Management in Malaysia*. Tropical Press Sdn. Bhd, Kuala Lumpur, Malaysia. 242 pp.
- Lee CH, Kelvin L, Haya R, Navies M, Saripah, B. (Eds). 2013. *Cocoa Planting Manual, Sustainable Cocoa*. Sabah, Malaysia: Malaysian Cocoa Board, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia.
- Malhotra SK, Apshara SE. 2017. Genetic resources of cocoa (*Theobroma cacao* L.) and their utilization-An Appraisal. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 77(02): 199-213.

- Melina S, Martono E, Trisyono Y. 2016. Confirmation that *Helopeltis* species attacking cacao in Yogyakarta is *Helopeltis bradyi* Waterhouse, not *Helopeltis antonii* Signoret (Heteroptera: Miridae). *Journal Entomologi Indonesia* 13(1): 9-20.
- Muhlison W, Tri Wahyu Saputra Y, Pamungkas YA. 2023. Population and intensity of damage to mosquito bugs (*Helopeltis* spp.) in several crystal guava (*Psidium guajava* L.) Cultivation techniques, Panti District, Jember Regency. *Jurnal Online PERTANIAN TROPIK* 10(3): 41-50.
<https://doi.org/10.32734/jpt.v10i3.15831>
- Pag-ong AIG, Barrion AT, Amali DM 2024. Feeding damage evaluation of bug, *Helopeltis bakeri* Poppius on pods. *Philippine Journal of Science* 153(2): 517-520.
- Purwaningsih A, Mudjiono G, Karindah S. 2014. The influence of habitat management on pod borer *Conopomorpha cramerella* and mirid *Helopeltis antonii* attack on cocoa. *Journal of Industrial and Beverage Crops* 1(3): 149-156.
- Saripah B. 2019. Infestations of two major pests of cocoa, *Conopomorpha cramerella* and *Helopeltis* spp. under natural condition. *Pelita Perkebunan*, 35(3):186-192. [/doi.org/10.22302/icri.jur.pelitaperkebunan.v35i3.359](https://doi.org/10.22302/icri.jur.pelitaperkebunan.v35i3.359)
- Sarmah M, Bandyopadhyay T. 2009. Colour variation and genetic diversity in Tea Mosquito Bug [*Helopeltis theivora* (Hemiptera : Miridae)] Population from Badlabeta Tea Estate, Upper Assam, India. *Journal of Entomology* 6 :155-160.
- Sarmah M, Phukan AK. 2004. Seasonal incidence and extent of damage by tea mosquito bug. *Helopeltis theivora* (Waterhouse) on tea *Camellia sinensis*. *Two and a Bud* 51(1-2):45-48.
- Serrana J M, Ormenita L A C, Almarinez BJM, Watanabe K, BarrionAT, AmalinDM. 2022. Life history and host plant assessment of the cacao mirid bug *Helopeltis bakeri* Poppius (Hemiptera: Miridae). *Phytoparasitica* 50(1): 1-12.
- Siswanto, Trisawa IM, Karmawati E, Suhesti S. 2020. Control of *Conopomorpha cramerella*, *Helopeltis* sp., and *Phytophthora palmivora* using botanical and biological pesticides. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 418: 012086 doi:10.1088/1755-1315/418/1/012086.
- Srikumar KK, Bhat PS. 2012. Field survey and comparative biology of tea mosquito bug (*Helopeltis* spp.) on cashew (*Anacardium occidentale* Linn.). *Journal of Cell and Animal Biology* 6(14): 200-206.
- Stonedahl GM, Malipatil MB, Houston W. 1995. A new mirid (Heteroptera) pest of cashew in northern Australia. *Bulletin of Entomological Research* 85(2): 275-278.
- Thube SH, Mahapatro GK, Mohan C, Pandian TPR, Apshara E, Jose CT. 2020. Biology, feeding and oviposition preference of *Helopeltis theivora*, with notes on the differential distribution of species of the tea mosquito bug species complex across elevations. *Animal Biology* 70: 67-70. doi 10.1163/15707563-20191083
- Thube SH, Pandian RTP, Jose CT, Bhavishya A, Paichal SK, Navik, O, ...Mahapatro GK. 2023. A novel damage intensity index for tea mosquito bug *Helopeltis* spp. infestation in cocoa. *Indian Journal of Entomology* 86: 633-636. doi 10.55446/IJE.2023.1555
- Thube SH, Saneera EK, Prathibha PS. 2016. Pests of cocoa and their management. *Cashew Cocoa Journal* 4:34-38.
- Wan Ibrahim A. 1983. *Helopeltis* - Biology, ecology and control. MAPPS : Advances in Cocoa Plant Protection in Malaysia :16-18.

9.7. *Pseudotheraptus devastans* (Dist.)

Mise à jour: Godfred K. Awudzi

Cocoa Research Institute of Ghana, PO Box 8, New Tafo, Ghana

Email : anthocyanin22@yahoo.com

9.7.1. Agent causal

Pseudotheraptus devastans (Dist.) (Hemiptera : Coreidae)

9.7.2. Symptômes et Biologie

Les nymphes et les adultes de *P. devastans* se nourrissent des cabosses en insérant leurs stylets dans les fèves à travers l'enveloppe, ce qui entraîne une déformation importante des cabosses et l'agglutination ou l'agglomération des fèves à l'intérieur des cabosses, provoquant une réduction massive des rendements (Figures 9.7.1-9.7.4) (Lodos, 1965). Les lésions alimentaires causées par *P. devastans* sont similaires à celles des mirides mais celles de *P. devastans* sont plus importantes sur les cabosses (Lodos, 1965). Sur les jeunes pousses, l'alimentation peut entraîner un dépérissement. Comme pour les espèces de Pentatomidés, l'augmentation des plantations de cacaoyer hybride a favorisé leur survie et leur développement (Awudzi et al. 2019). Ceci est attribué à la disponibilité des cabosses tout au long de l'année sur le cacaoyer hybride qui fournit des sites d'alimentation illimités pour le ravageur. Les populations atteignent leur pic en mars et avril, ce qui justifie des activités de lutte antiparasitaire. Les blessures créées sur les fruits attaqués par la punaise sont ensuite envahies par des champignons opportunistes (par exemple, *Fusarium decemcellulare* (anamorphe d'*Albonectria* (*Calonectria*) *rigidiuscula*) et d'autres champignons responsables de pourritures (par exemple, *Phytophthora* spp.) pour provoquer des flétrissements et des pourritures de fruits respectivement (Akrofi et al. 2016).

9.7.3. Distribution Géographique

Pseudotheraptus devastans a été signalé en Afrique de l'Ouest, en Afrique centrale et en Afrique de l'Est où il est un ravageur des cultures, notamment du cocotier et du manioc (CABI, 2021). Ces dernières années, l'incidence et les dégâts causés par *P. devastans* dans les exploitations de cacaoyer au Ghana sont devenus de plus en plus importants (Awudzi et al. 2024), vraisemblablement associé avec l'introduction de cultures fructifères dans les plantations de cacao. Des études récentes de ravageurs et de population indiquent que le ravageur est dorénavant présent dans toutes les régions productrices de cacao en *Pseudotheraptus devastans*, bien qu'il était auparavant restreint à l'est du Ghana (Lodos 1965), et est largement répandu dans les régions productrices de cacao en Côte d'Ivoire (Kouamé et al. 2023).

9.7.4. Plantes hôtes autres que *T. cacao*

Ce ravageur est également connu pour s'attaquer à d'autres cultures communément cultivées dans les exploitations cacaoyères, comme le manioc, le cocotier, le manguier, le goyavier, l'anacardier et l'avocatier (Yeboue et al. 2015).

9.7.5. Mesures de quarantaine

Des précautions doivent être prises lors du transport des cabosses. S'assurer que les cabosses ne sont pas déformées par des lésions d'alimentation profondes s'étendant dans le cortex. Les coques des cabosses doivent restées enfermées pendant au moins une semaine après l'écabossage des cabosses pour contenir les œufs qui pourraient éclore.

9.7.6. Références et lectures complémentaires

- Akrofi AY, Amoako-Atta I, Acheampong K, Assuah MK, Melnick RL. 2016. Fruit and Canopy Pathogens of Unknown Potential Risk. In BA Bailey & LW Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases : A History of Old Enemies and New Encounters*. Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-24789-2>
- Awudzi G K, Adu-Acheampong R, Ahadzi SK, Avicor SW. 2019. Field guide for cocoa insect pest's identification, damage symptoms and management. Akyem-Tafo : Cocoa Research Institute.
- Awudzi GK, Avicor SW, Konlan S, Dogbatse JA, Bukari Y, Adu-Acheampong R. 2024. Spatial variation in cocoa insect pest populations and its implication for pest management. *Forests, Trees and Livelihoods* 33(2): 179–191. <https://doi.org/10.1080/14728028.2024.2324799>
- CABI 2021. Data Sheet on *Pseudotheraptus devastans*. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/45032> (accessed September 2021).
- Kouamé NN, N'Guessan FK, N'Guessan PW, Acka Kotaix AJ, Tano Y. 2021. Bionomics and Importance of an Emerging Pest *Pseudotheraptus devastans* (Distant) (Heteroptera: Coreidae) in the Cocoa Orchards of Côte d'Ivoire. *Journal of Experimental Agriculture International* 43: 114–121. <https://doi.org/10.9734/jeai/2021/v43i530695>
- Lodos N. Damage caused by *Psuedotheraptus* sp. (Hemiptera Coreidae) to cocoa in Ghana. 1st International Cocoa Research Confrence, 1965 Abidjan, Côte d'Ivoire. pp.167-170.
- Obilo OP, Ikotun B, Ihejirika GO, Ibeawuchi II, Oben TT. 2010. The effect of the incidence of cassava anthracnose disease (CAD) on the performance and yield of cassava cultivars. *Crop Protection* 29 : 482-486.
- Yeboue NL, Soro S, Tra Bi CS. 2015. Heteroptera Coreidae (*Anoplocnemis curvipes*, *Homoeocerus pallens*, *Leptoglossus membranaceus* and *Pseudotheraptus devastans*) : Four crop pests and their wild host plants. *American Research Journal of Agriculture*, 1(4) <https://www.arjonline.org/papers/arja/v1-i4/2.pdf>



Figure. 9.7.1. Nympe de *Pseudotheraptus devastans* (G Awudzi)



Figure 9.7.2. Adulte de *Pseudotheraptus devastans* (G Awudzi)



Figure 9.7.3. Lésions d'alimentation de *Pseudotheraptus devastans* sur cabosses de cacaoyer (G Awudzi)



Figure 9.7.4. Déformation de cabosses de cacaoyer par *Pseudotheraptus devastans* (G Awudzi)

9.8. Cochenilles

Mise à jour : Colin Campbell

480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, Royaume-Uni

Email : cam_campbell@tiscali.co.uk

9.8.1. Agent causal

Divers genres (Hemiptera : Pseudococcidae)

À de rares exceptions (telles *Planococcus lilacinus* (Cockerell) d'Asie du Sud-Est et du Pacifique Sud, qui a une salive phytotoxique), les cochenilles (Pseudococcidae) endommagent rarement directement le cacaoyer. Leur rôle principal est celui de vecteur viral. Toutes les espèces ne sont pas vectrices de virus et celles qui le sont diffèrent dans leur efficacité. Seules 14 des 26 espèces répertoriées sur le cacaoyer en Afrique occidentale sont vectrices du CSSV. Plus de 80 espèces ont été recensées jusqu'ici sur le cacaoyer (Bigger 2012). Chaque niche alimentaire imaginable d'une plante peut être exploitée par une espèce ou plus, mais pour les considérations de quarantaine, les bourgeons terminaux et les cabosses représentent les sites nourriciers les plus vulnérables. Au Ghana, 22% des bourgeons terminaux disséqués sont infestés principalement par des nymphes, trop petites et trop bien cachées entre les écailles du bourgeon pour une détection à l'œil nu (Campbell 1983). Bien que la plupart des espèces de cochenille se nourrissent de tissus aériens, 10% d'entre elles se nourrissent spécialement de racines, certaines d'elles étant maintenant reclassifiées à la famille Rhizoecidae (Hodgson 2012).

9.8.2. Distribution géographique

Les cochenilles sont omniprésentes et infestent les cacaoyers dans toutes les régions. Quelques espèces très polyphages ont une distribution mondiale (comme *Ferrisia virgata* (Cockerell), *Planococcus citri* (Rosso) et *Pseudococcus longispinus* (Targioni Tozzetti)) mais la plupart d'entre elles ont une gamme d'hôtes plus restreinte et leur distribution est plus régionale. Le cacaoyer étant une plante introduite dans de nombreuses régions, les cochenilles se sont adaptées au cacaoyer à partir des hôtes indigènes.

9.8.3. Biologie

Les cochenilles sont des petits insectes suceurs de sève, excédant rarement 4 mm de long. En général, le dos de la femelle adulte est recouvert de cire, dont l'étendue, la distribution et la couleur sont souvent spécifiques de l'espèce et aident à leur identification. Les femelles sont aptères. La forme de leur corps varie beaucoup selon l'espèce, mais chez nombre d'espèces communes sur le cacaoyer, elle est surtout ovale et aplatie dorso-ventralement. Les pièces buccales sont sous le corps, presque au niveau de la première paire de pattes et forment un bec court d'où émerge un stylet.

L'insecte utilise ce stylet pour traverser les tissus corticaux de la plante et accéder au phloème dont il peut aussi absorber les particules virales. La longueur du stylet dépasse souvent la moitié de celle du corps de l'insecte mais il peut être retiré intact en quelques secondes si l'insecte est dérangé. La reproduction peut être sexuée et/ou parthénogénétique. Les mâles ne possèdent pas de pièces buccales et seules les femelles adultes et les nymphes sont donc vectrices de virus. La plupart des espèces déposent leurs œufs, souvent près de la mère, en masse par centaines, protégés par des ovisacs blancs duveteux. Cependant, certaines espèces comme *Formicoccus njalensis* (*Planococcoides*) (Fig. 9.8.1.), un vecteur du CSSV en Afrique occidentale, donnent naissance à des jeunes vivants ou pondent des œufs qui éclosent en quelques minutes. Les nouveau-nés et les nymphes nouvellement écloses, à peine visibles à l'œil nu, représentent le stade de dispersion de l'insecte. Ils se dispersent en marchant, provoquant une diffusion radiale des maladies virales, mais peuvent aussi être portés sur de longues distances par des courants aériens provoquant alors une diffusion des virus par « bonds ». Les jeunes nymphes s'installent souvent dans des bourgeons apicaux et peuvent être transportées par mégarde avec une baguette de greffage si l'on ne prend pas les précautions décrites plus haut dans les précautions générales. Elles se dissimulent dans les fissures de l'écorce et les sillons de la surface des cabosses en développement. Les nymphes peuvent aussi se nourrir des cotylédons d'une graine de cacaoyer endommagée lors de l'ouverture de la cabosse ; il sera donc judicieux de plonger les cabosses dans un insecticide avant d'en extraire les graines à exporter.

9.8.4. Références

- Adu-Acheampong R, Padi B, Sarfo J. 2004. The life cycle of the cocoa stem borer *Eulophonotus myrmeleon* in Ghana. *Tropical Science* 44 : 28–30. [Doi.org/10.1002/ts.127](https://doi.org/10.1002/ts.127)
- Bigger M. 2012. Geographical distribution list of insects and mites associated with cocoa, derived from literature published before 2010. Available from URL : https://incocoa.org/docs/MBiggercocoa_insects_Mdly.pdf
- Campbell CAM. 1983. The assessment of mealybugs (*Pseudococcidae*) and other Homoptera on mature cocoa trees in Ghana. *Bulletin of Entomological Research* 73 :137-151.
- Entwistle PF. 1972. *Pests of Cocoa*. Longman, UK. 779 pp.
- Hodgson CJ 2012. Comparison of the morphology of the adult males of the rhizocine, phenacoccine and pseudococcine mealybugs (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea), with the recognition of the family Rhizoecidae Williams. *Zootaxa* 3291: 1-79.



Figure 9.8.1. Adultes et nymphes de *Formicoccus njalensis* (WP N'Guessan, CNRA)

9.9. Scolytes à Ambrosia

Mise à jour : Colin Campbell

480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, Royaume-Uni

Email : cam_campbell@tiscali.co.uk

9.9.1. Agents causaux

Quelque 135 espèces de coléoptères à Ambrosia (Coleoptera : Scolytinae) ont été recensées sur le cacaoyer (Bigger, 2012), presque toutes capables d'infliger de sérieux dégâts suite à l'invasion de champignons phytopathogènes dans leurs tunnels d'alimentation. Les plus préoccupants sont *Xylosandrus compactus* (Eichhoff) (synonyme senior de *Xyleborus morstatti* Hagedorn) en raison de son ubiquité et de sa petite taille (femelle d'environ 1,7 x 0,8 mm), et *Xyleborus ferrugineus* (Fabricius) (femelle d'environ 2,7 x 0,9 mm). 2,7 x 0,9 mm) en raison de son association symbiotique avec le champignon *Ceratocystis cacaofunesta* qui provoque le flétrissement et le dépérissement des branches, voire la mort de l'arbre entier, en Amérique du Sud et dans les Caraïbes. Les deux espèces sont connues pour attaquer les cacaoyers sains. Dix-huit espèces de champignons ont été identifiées associées à *X. compactus* ; certaines sont saprophytes tandis que d'autres comme *Lasiodiplodia theobromae* (*Botryodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Mauble.) et *Fusarium decemcellulare* Brick sont phytopathogènes. Le statut des deux espèces de coléoptères sur le cacaoyer est résumé en détail par Entwistle (1972), bien que les repères d'échelle qu'il présente pour *Xylo. compactus* soient deux fois plus grands que leur taille réelle.

9.9.2. Symptômes

De nombreuses espèces des genres *Xylosandrus* et *Xyleborus* creusent des galeries dans les troncs ou les petites branches, provoquant un dépérissement, et sont donc particulièrement dangereuses en tant que ravageurs des plantes de pépinière. Le coléoptère adulte creuse des galeries ramifiées souvent sous-épidermiques, mais pénétrant parfois dans le bois jusqu'à une profondeur de 5 cm ou plus sur les branches plus âgées. Les premiers signes d'infestation sont souvent le flétrissement des jeunes tiges qui finissent par dépérir. Le décollement de l'écorce pour exposer les tunnels de surface dans le cambium n'est pas toujours définitif pour *Xylo. compactus* car les femelles percent souvent des trous radiaux directement jusqu'à la moelle dans les tiges plus fines (voir Fig. 23.1D dans Entwistle, 1972) alors que *Xyle. ferrugineus* produit de telles galeries ramifiées.

9.9.3. Distribution géographique

Xylo. compactus est largement distribué en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud. Il a été introduit dans certaines îles du Pacifique et est également présent en Italie et en France. Il a été signalé comme infestant les cacaoyers au Cameroun, Ghana, Indonésie, Côte d'Ivoire, Malaisie occidentale, Nigeria, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Sierra Leone et Ouganda. *Xyle. ferrugineus* est également largement répandu et a été signalé sur cacaoyer au Brésil, Costa Rica, Équateur, Mexique, Trinidad & Tobago, Venezuela et Zaïre.

9.9.4. Plantes hôtes autres que *T. cacao*

Les deux espèces sont très polyphages. *Xylo. compactus* attaque plus de 220 espèces végétales appartenant à 60 familles (OEPP, 2020), dont plusieurs plantes cultivées importantes, mais l'hôte le plus fréquemment documenté est probablement le caféier *Coffea arabica* et *C. canephora*. *Xyle. ferrugineus* a une gamme d'hôtes encore plus large, incluant de nombreuses cultures arboricoles principalement tropicales.

9.9.5. Biologie

Les scolytes à *Ambrosia* cultivent des symbiotes fongiques à l'intérieur des systèmes de tunnels creusés par les femelles. Les champignons se multiplient sur les parois des tunnels et constituent l'unique nourriture des adultes et des larves. *Xylo. compactus* s'attaque principalement aux pousses de l'année en cours, tandis que *Xyle. ferrugineus* s'attaque normalement aux branches de plus de 10 cm de diamètre, y compris les troncs récemment abattus. *Xylo. compactus* peut également percer les racines pivotantes des semis. Chez les deux espèces, les femelles produisent des mâles à partir d'œufs non fécondés tandis que les œufs fécondés produisent une progéniture femelle. Les mâles restent dans les galeries de couvain qui sont bloquées par les femelles après l'oviposition, protégeant ainsi le couvain des ennemis naturels. L'accouplement se fait principalement entre frères et sœurs à

l'intérieur des galeries. La pupaison et l'accouplement des adultes du couvain ont lieu dans le matériel végétal infesté. Les œufs pondus en grappe à l'intérieur de la galerie éclosent en 3 à 5 jours. Le cycle de vie complet se déroule en 30 jours environ.

9.9.6. Mesures de quarantaine

Comme ils se reproduisent par parthénogenèse arrhénotoque, le transfert d'une seule femelle peut potentiellement déclencher une infestation. La source la plus probable de transfert international sont les baguettes de greffage infestées, car les trous d'entrée des femelles ont généralement un diamètre inférieur à 1 mm et passent donc facilement inaperçus. Dans les rameaux, les femelles et le couvain ne sont pas sensibles aux pesticides de contact, que ce soit par pulvérisation ou par trempage. Toutes les parties de baguette doivent être inspectées au microscope pour détecter la présence de trous d'entrée avant l'expédition.

9.9.7. Références et lectures complémentaires

Bigger M. 2012. A geographical distribution list of insects and mites associated with cocoa, derived from the literature published before 2012. 382 pp. Available from URL : https://incocoa.org/docs/MBiggercocoa_insects_Mdly.pdf

Entwistle PF. 1972. *Pests of Cocoa*, Longman Group, London, UK.

EPPO. 2020. EPPO Technical Document No. 1081, EPPO Study on the risk of bark and ambrosia beetles associated with imported non-coniferous wood. EPPO Paris. Available at https://www.eppo.int/RESOURCES/eppo_publications

9.10. Mites phytophages

Mise à jour : Colin Campbell

480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, Royaume-Uni

Email : cam_campbell@tiscali.co.uk

9.10.1 Agents causaux

En dehors des Amériques, les mites phytophages sont peu documentées sur le cacaoyer. Entwistle (1972) ne cite que deux exemples, un exemple de *Tetranychus* sp. au Nigeria et de *Metatetranychus* sp. au Ghana. Les mites phytophages sur le cacaoyer sont représentées par, *Eriophyidae* (acariens gallicoles), trois genres avec une espèce chacun (Rodrigues et al. 2017) ; *Tarsonemidae* (acariens blancs), trois genres et douze espèces se nourrissant probablement principalement d'algues, de champignons et de lichens (Ochoa et al. 1995, Rezende et al. 2015, Sousa et al. 2018, 2020) ; *Tenuipalpidae* (acariens plats), deux genres et six espèces (Castro et al. 2021) ; *Tetranychidae* (araignées rouges), six genres et treize espèces (Anon 2021, Migeon et Dorkeld 2021) avec l'inclusion de *Tetranychus urticae* Koch ; *Tuckerellidae* (acariens ornés ou paons), trois *Tuckerella* spp. (Escobar-Garcia et al. 2021a). Plusieurs espèces parmi ces familles endommagent les cultures dans les régions néotropicales dont le

cacaoyer. Probablement en raison de la rareté des spécialistes taxonomiques, leur importance ailleurs est inconnue. Seules les espèces répertoriées comme économiquement importantes sont nommées ci-dessous.

9.10.2 Symptômes

L'acarien des bourgeons du cacaoyer *Aceria reyesi* (Nuzzaci) Eriophyidae s'attaque aux bourgeons terminaux des branches, provoquant une atrophie, une chute prématurée des feuilles et un raccourcissement des entre-nœuds et, dans les infestations sévères, la mort de l'arbre (de Carvalho et al. 2018). *Brevipalpus yothersi* Baker (Tenuipalpidae) se nourrit principalement de la surface des cabosses, provoquant des cicatrices et des lésions superficielles de surface concentrées dans les sillons des cabosses (Escobar-Garcia et al. 2021b). Une accumulation de piqûres d'alimentation par *Tetranychus mexicanus*, (McGregor), *T. urticae*, et les Tetranychidae en général, entraîne un blanchiment, un jaunissement ou un bronzage des feuilles, suivi d'une dessiccation, et finalement une défoliation et parfois la mort de la pousse. Les *Tetranychus* spp. colonisent principalement les surfaces inférieures des feuilles tandis que d'autres membres de la famille préfèrent les surfaces supérieures des feuilles, par exemple *Oligonychus yothersi* (McGregor). Les *Tuckerella* spp. se nourrissent dans les fissures des branches et sur les épicarpes des cabosses où ils induisent des extrusions liégeuses qui provoquent de graves malformations lors du développement des cabosses.

9.10.3 Distribution géographique

Aceria reyesi a été trouvé sur le cacaoyer au Brésil, au Costa Rica, à Cuba, en Équateur et au Venezuela et, en raison de sa taille microscopique et de son comportement cryptique, il est possible qu'il se soit répandu sans être détecté plus largement dans les Néotropiques et au-delà. Au vu de la révision de Beard et al. (2015) du complexe d'espèces *Brevipalpus phoenicis*, il semble probable que les premiers signalements de dégâts alimentaires sur le cacaoyer attribués à *B. phoenicis* (Geijskes) à Cuba, au Honduras, en Malaisie et en Inde, (Castro et al. 2021) et en Malaisie (Lim, 1998) se réfèrent probablement à *B. yothersi*. De même, la distribution presque mondiale de *B. phoenicis* (Castro et al. 2021) sur d'autres plantes hôtes peut aussi se référer principalement à *B. yothersi*, car Beard et al. (2015) ont confirmé la présence de ce dernier dans 32 pays au niveau mondial alors qu'ils listent la distribution de *B. phoenicis* comme étant le Costa Rica et, sur les importations de plantes, les Pays-Bas et les États-Unis. *B. yothersi* endommage également le cacaoyer au Pérou (Escobar-Garcia et al. 2021b). *Tetranychus mexicanus* est présent au Mexique et dans la plupart des pays néotropicaux (Migeon et Dorkeld, 2021) alors que *T. urticae* est ubiquiste. *Tuckerella ornata* Tucker, initialement décrit en Afrique du Sud, est également présent au Brésil, au Costa Rica, à Cuba, en Guadeloupe, en Namibie, aux Philippines et en Zambie. *Tu knorri* Baker & Tuttle, initialement décrit

en Thaïlande, est également présent au Brésil, en Chine, au Costa Rica, à Cuba, en République Dominicaine, en Iran et aux Philippines. *Tu pavoniformis* (Ewing), décrit à l'origine à Hawaï, est également présent à Cuba, en République dominicaine, au Costa Rica, à Trinidad-et-Tobago et au Venezuela.

9.10.4 Plantes hôtes autres que *T. cacao*

Aceria reyesi a été enregistré uniquement sur le cacaoyer. Les tenuipalpidés, tétranyques et tuckerellidés infestant le cacaoyer sont polyphages. Par exemple, *B. yothersi* est signalé dans 42 familles de plantes et est un ravageur sérieux des agrumes, tandis que *T. mexicanus* est signalé dans 44 familles de plantes. Les *Tuckerella* spp. sur cacaoyer sont des ravageurs sérieux des agrumes et infestent également une large gamme d'autres plantes, y compris des cultures.

9.10.5 Biologie

Les adultes d'*Aceria reyesi* sont en forme de carotte (environ 0,2x0,04 mm), effilés de la tête à l'arrière, et d'un blanc translucide. Contrairement à la plupart des acariens, ils ne possèdent que quatre pattes, situées près de la tête. La reproduction est sexuée et plusieurs générations superposées d'acariens peuvent habiter un seul bourgeon. Les adultes *Brevipalpus yothersi* sont également petits (environ 0,2x0,18 mm), en forme de bouclier, aplatis dorso-ventralement et de couleur rouge-orange. Les mâles sont rares, ils se reproduisent donc probablement principalement par parthénogenèse. Des colonies denses peuvent se développer sur les cabosses infestées et on sait qu'elles exploitent les fissures de surface créées par *Tuckerella* spp. (Escobar-Garcia et al. 2021b). Les tétranyques à deux points, *Tetranychus urticae*, se reproduisent par arrhénotomie parthénogénétique, dans laquelle les œufs non fertilisés se transforment en mâles et les œufs fertilisés en femelles. Les femelles vierges produisent initialement une progéniture mâle ; plus tard, lorsqu'ils sont sexuellement matures, les fils s'accouplent avec leur mère, une stratégie de reproduction commune chez les *Tetranychidae*. Les femelles adultes de *T. urticae* ont une forme elliptique d'environ 0,4 mm de long et sont jaune verdâtre ou presque translucides avec deux taches abdominales sombres. Les mâles sont similaires mais plus petits. Les nymphes n'ont pas de taches sombres qui sont des accumulations de déchets corporels visibles à travers la paroi translucide du corps. Les colonies sont souvent recouvertes d'une toile de soie qui facilite la dispersion par le vent. Les femelles de *Tetranychus mexicanus* ont une taille et une forme similaires à celles de *T. urticae*, mais sont d'une couleur rouge sang uniforme. Les stades mobiles de *Tuckerella* spp. sont petits (environ 0,3 x 0,2 mm), ovales dans leur contour et aplatis dorso-ventralement. Ochoa (1989) présente une clé taxonomique de quatre espèces de *Tuckerella* au Costa Rica qui inclut les trois espèces trouvées sur le cacaoyer (*Tu ornata* (Tucker), *Tu. knorri* Baker & Tuttle et *Tu pavoniformis* (Ewing)). Ils sont de couleur rouge carmin avec des soies blanches en éventail sur le pourtour et en

rangées transversales sur le dos, et, selon les espèces, cinq ou six paires de soies caudales flagellées de même longueur que le corps. Les soies aident également à la dispersion par le vent. Les mâles sont communs, la reproduction est donc probablement sexuée. Sur le cacaoyer, ils colonisent les coussinets de fleurs, les fissures de l'écorce et les cabosses. Leur alimentation provoque des galles à la surface des cabosses en développement, créant de graves déformations (Escobar et al. 2021a).

9.10.6 Mesures de quarantaine

Les acariens phytophages sont des organismes de quarantaine d'importance internationale. Alors que les colonies établies peuvent être visibles à l'œil nu, les nouvelles infestations commencées par des individus dispersés ne peuvent être détectées que par un examen microscopique minutieux du matériel végétal avant l'exportation. Même dans ce cas, les ériophyides tels que *A. reyesi*, cachés entre les écailles des bourgeons terminaux, peuvent facilement passer inaperçus. De plus, l'immersion des pousses dans un acaricide de contact peut ne pas être totalement efficace contre les larves et les œufs cachés dans les bourgeons ou les fissures de l'écorce. La survie d'un seul individu d'une espèce à reproduction parthénogénétique peut déclencher une nouvelle infestation. Toutes les acquisitions de cacaoyer en provenance des pays néotropicaux doivent être inspectées au microscope à leur arrivée, et les plantes issues de bourgeons doivent être maintenues isolées jusqu'à ce que l'absence d'infestation soit confirmée.

9.10.7 Références

Anon (2021) Tetranychidae database.

http://www.lea.esalq.usp.br/tetranychidae/edita_hosp.php accessed 20/05/2021

Beard JJ, Ochoa I, Braswell WE, Baughan GR. 2015. *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) species complex (Acari : Tenuipalpidae) - a closer look. *Zootaxa* 3944 : 1-67. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3944.1.1>

Castro EB, Mesa, NC, Feres RJF, Moraes GJ, Ochoa R, Beard JJ, Demite PR. 2021. Tenuipalpidae database. <http://www.tenuipalpidae.ibilce.unesp.br> accessed 16/05/2021.

de Carvalho AN, Navia, D, de Lillo E, Ferragut FJ, Oliveira AR. 2018. The cacao bud mite, *Aceria reyesi* (Nuzzaci 1973)—supplementary description, distribution and comparison with *Gymnaceria cupuassu* Oliveira, Rodrigues & Flechtmann 2012 (Acari : Eriophyidae). *Systematic and Applied Acarology* 23 : 501-520. <https://doi.org/10.11158/saa.23.3.9>

Entwistle PF. 1972. *Pests of Cocoa*, Longman Group, London, UK.

Escobar-Garcia HA, Beard JJ, Ochoa R. 2021a. Peacock mites on cocoa in Peru (Acari : Tuckerellidae : *Tuckerella*) : their economic importance and a key to species. *Systematic and Applied Acarology* 26 : 519-528. <https://doi.org/10.11158/saa.26.3.2>

Escobar-Garcia HA, Júnior de Andrade D, Carrillo D, Ochoa R. 2021b. *Theobroma cacao*, a new host for *Brevipalpus yothersi* (Acari : Tenuipalpidae) in Peru. *Acarologia* 61 : 211-216. <https://doi.org/10.24349/acarologia/20214427>

Lim GT. 1992. Recent development of cocoa insect pests management in Sabah Malaysia. In : PAC Ooi, GS Lim & PS Teng (editors). *Proceedings of the 3rd International Conference on Plant Protection in the Tropics*. Malaysian Plant Protection Society; Kuala Lumpur; Malaysia pp. 36-53.

- Migeon, A. and Dorkeld, F. (2021) Spider Mites Web : a comprehensive database for the Tetranychidae. <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb> (Accessed 16/05/2021).
- Ochoa R. 1989. The genus *Tuckerella* in Costa Rica (Acari : Tuckerellidae). *International Journal of Acarology* 15 : 205-207. <https://doi.org/10.1080/01647958908683850>
- Ochoa R, Naskrecki P, Colwell RK. 1995. *Excelsotarsonemus kaliszewskii*, a new genus and new species from Costa Rica (Acari : Tarsonemidae). *International Journal of Acarology* 21 : 67-74.
- Rezende JM, Ochoa R, Lofego AC. 2015. Ten new species of *Daidalotarsonemus* (Prostigmata : Tarsonemidae) from Costa Rica. *International Journal of Acarology* 41 : 449-493. <https://doi.org/10.1080/01647954.2015.1080929>
- Rodrigues DFS, Navia D, Oliveira AR, Ferragut F, Flechtmann CHW. 2017. Two new eriophyoid mite species (Trombidiformes : Eriophyoidea) from the cocoa tree, and a note on *Shevtchenkella biseta* (Nalepa). *Zootaxa* 4237 : 112-130. <https://doi.org/10.11158/saa.23.11.3>
- Sousa ASG, Rezende JM, Lofego AC. 2020. Two new species of *Tarsonemus* (Acari : Tarsonemidae) from Bahia, Brazil. *Systematic and Applied Acarology* 25 : 986-1012. <https://doi.org/10.11158/saa.25.6.4>
- Sousa ASG, Rezende JM, Lofego AC, Ochoa R, Oliveira AR. 2018. *Daidalotarsonemus* and *Excelsotarsonemus* species (Acari : Tarsonemidae) found in shaded cacao plantations in Brazil, with a description of a new species. *International Journal of Acarology* 44 : 68-79. <https://doi.org/10.1080/01647954.2018.1471096>

10 Nématodes parasites

Enrique Arevalo-Gardini^{1,2}, Betsabe Leon Ttacca^{1,4}, Cesar O. Arévalo-Hernández^{1,2}, Manuel Canto-Saenz³ et Virupax Baligar⁵

¹Instituto de Cultivos Tropicales, Tarapoto, Pérou. Email : enriquearevaloga@gmail.com

²Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas, Yurimaguas, Pérou, Email: earevalo@unaaa.edu.pe

³Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Pérou. Email : mcanto@lamolina.edi.pe

⁴Universidad Nacional de Cañete, Cañete, Pérou. Email : bleon@undc.edu.pe

⁵USDA-ARS. Beltsville, Maryland, USA. VC. Email : V.C.Baligar@ars.usda.gov

Les nématodes parasites jouent un rôle très important dans la production de cacao même si leur impact est difficile à évaluer puisque les symptômes qu'ils causent peuvent souvent être attribués par erreur à des stress abiotiques. La présence de galles de nématodes sur les racines de cacaoyer est connue depuis 1900 (Sosamma et al. 1979) et la plupart des premiers travaux sur le diagnostic et la lutte contre les nématodes chez le cacaoyer ont été effectués dans les pays producteurs de cacao d'Afrique occidentale et en Jamaïque (Meredith 1974). On connaît un grand nombre de nématodes parasites associés à des plantes de cacaoyer saines et malades (Orisajo 2009). Le cacaoyer est gravement affecté par les nématodes *Meloidogyne* spp. D'après les études de pathogénicité, les pertes estimées varient de 15 à 30 %, mais peuvent atteindre 40 à 60 % (Fademi et al. 2006). Les dégâts causés par ce nématode sont les plus importants sur les jeunes plants, où les pertes peuvent atteindre 100%. Cependant, les pertes réelles de rendement causées par d'autres genres de nématodes sont encore méconnues. D'après les conclusions publiées, d'autres nématodes peuvent être aussi nuisibles au cacaoyer que *Meloidogyne* spp. quand leurs populations sont élevées (Fademi et al. 2006).

10.1 Agents causaux

Plus de 25 genres de nématodes endoparasites et ectoparasites sont associés au cacaoyer (Sosamma et al. 1979, Campos et Villain 2005). *Meloidogyne* spp. a été décrit comme étant le plus destructeur en raison de sa pathogénicité et de sa grande distribution dans toutes les régions de production de cacao (Villain et al. 2018). Campos et Villain (2005) et Villain et al. (2018) ont présenté une liste de plusieurs espèces de *Meloidogyne* attaquant le cacaoyer et les pays concernés. Elles comprennent *M. arenaria* et *M. thamesi* (Brésil), *M. incognita* (Nigeria, Inde, Malaisie, Venezuela, Brésil), *M. exigua* (Bolivie), *M. javanica* (Malawi, Afrique centrale).

10.2 Symptômes

Les plantes infectées montrent une réduction de hauteur, de diamètre et de poids sec. Le dépérissement de la tige, le flétrissement, le jaunissement et le brunissement

des feuilles, la formation de petites feuilles et le dessèchement des feuilles, qui tombent avant que la plante ne meure, sont des symptômes communs d'une infestation par les nématodes (Fig. 10.1). Cela dit, il peut être difficile de distinguer les symptômes causés par l'infestation de nématodes d'autres symptômes causés par d'autres stress biotiques et abiotiques (Orisajo et al. 2021, Okeniyi et al. 2009). Les plantes infectées montrent des gonflements des hypocotyles et des racines. La formation de galles sur les racines, la rupture du cortex, une désorganisation totale de la stèle, la destruction du xylème, du phloème, du péricycle et de l'endoderme ainsi que l'arrêt brutal de l'extrémité racinaire avec des racines nourricières maigres sont d'autres symptômes observés sur des racines infectées (Fig. 10.2) (Asare-Nyako et Owusu 1979, Afolami 1982, Afolami et Ojo 1984, Campos et Villain 2005).

10.3 Distribution géographique

Le nématode à galles des racines du cacaoyer a été décrit pour la première fois en 1900 (Sosamma et al. 1979). L'infestation par les nématodes sur le cacaoyer est répertoriée dans la plupart des régions productrices de cacao du monde (Tableau 10.1). L'infestation par les nématodes a été signalée au Congo (1921), Zaïre (1921), en Côte d'Ivoire (1930), à São Tomé (1930), à Java (1941), au Ghana (1955), au Malawi (1960), au Nigeria (1967), au Brésil (1968), en Inde (1980), au Costa Rica (1980), en Bolivie (1982), au Pérou (2007), en Malaisie, à Java, aux Philippines, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, en Jamaïque, au Venezuela et en Équateur (Sosamma et al. 1979, Sosamma et al. 1980, López -Chaves et al. 1980, Sharma 1982, Crozzoli et al. 2001, Wood et Lass 2001, Campos et Villain 2005, Arévalo-Gardini et al. 2007, Orisajo, 2009, Villain et al. 2018).

Tableau 10.1. Distribution géographique des nématodes endoparasites et ectoparasites associés au cacaoyer

Genre	Distribution géographique
<i>Anguillulina</i>	Nigeria
<i>Aphelenchoides</i>	Brésil, Nigéria, Pérou, Venezuela
<i>Aphelenchus</i>	Brésil, Pérou
<i>Atylenchus</i>	Costa Rica, Pérou
<i>Basiria</i>	Brésil
<i>Belonolaimus</i>	Brésil
<i>Boleodorus</i>	Brésil
<i>Criconema</i>	Venezuela
<i>Criconemella</i>	Côte d'Ivoire
<i>Criconemoides</i>	Brésil, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Équateur, Ghana, Malaisie, Nigeria, Pérou, Vénézuéla
<i>Crossonema</i>	Pérou
<i>Diphtherophora</i>	Brésil
<i>Discocriconemella</i>	Côte d'Ivoire
<i>Ditylenchus</i>	Pérou
<i>Dolichodorus</i>	Belize, Brésil, Costa Rica
<i>Dorylaimidos</i>	Équateur, Pérou
<i>Dorylaimus</i>	Pérou
<i>Eutylenchus</i>	Nigeria
<i>Haplolaimus</i>	Brésil, Costa Rica
<i>Helicotylenchus</i>	Brésil, Venezuela, Côte d'Ivoire, Équateur, Ghana, Malaisie, Nigéria, Pérou, Philippines, Vénézuéla
<i>Hemicriconemoides</i>	Brésil, Venezuela, Nigeria
<i>Heterodera</i>	Belize, Brésil, Nigeria
<i>Longidorus</i>	Belize, Brésil, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria
<i>Neodiplogaster</i>	Guatemala
<i>Meloidogyne</i>	Brésil, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Équateur, Ghana, Inde, Java, Malaisie, Nigéria, Papouasie Nouvelle Guinée, Pérou, São Tomé, Vénézuéla, Zanzibar
<i>Mesocriconema</i>	Nigéria, Venezuela
<i>Monotrichodorus</i>	Venezuela
<i>Mononchus</i>	Équateur, Pérou
<i>Ogma</i>	Venezuela
<i>Paralongidorus</i>	Nigeria
<i>Parachichodorus</i>	Brésil
<i>Paratylenchus</i>	Belize, Côte d'Ivoire, Ghana, Pérou, Venezuela
<i>Peltamigrattus</i>	Brésil, Venezuela
<i>Pratylenchus</i>	Brésil, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Équateur, Ghana, Inde, Indonésie, Jamaïque, Malaisie, Nigéria, Pérou, Vénézuéla
<i>Psilenchus</i>	Nigeria, Pérou, Venezuela
<i>Rhabditidos</i>	Équateur, Pérou
<i>Rhadinaphelenchus</i>	Pérou
<i>Radopholus</i>	Côte d'Ivoire, Jamaïque, Nigeria
<i>Rotylenchulus</i>	Belize, Brésil, Inde, Indonésie, Jamaïque, Nigéria, Pérou, Vénézuéla
<i>Rotylenchus</i>	Brésil, Équateur, Nigeria, Pérou, Vénézuéla
<i>Scutellonema</i>	Brésil, Jamaïque, Nigeria, Pérou

Tableau 10.1. Distribution géographique des nématodes endoparasites et ectoparasites associés au cacaoyer (Continué)

Genre	Distribution géographique
<i>Tetylemus</i>	Nigeria
<i>Trichodorus</i>	Belize, Brésil, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Ghana, Inde, Mexique, Nigeria, Pérou, Vénézuéla
<i>Trophurus</i>	Brésil, Côte d'Ivoire, Venezuela
<i>Tylenchorhynchus</i>	Brésil, Costa Rica, Inde, Mexique, Nigeria, Pérou, Venezuela
<i>Tylenchulus</i>	Brésil, Pérou
<i>Tylenchus</i>	Brésil, Costa Rica, Nigeria, Pérou, Venezuela,
<i>Xiphidorus</i>	Venezuela
<i>Xiphinema</i>	Brésil, Équateur, Ghana, Malaisie, Mexique, Nigeria, Pérou, Philippines, Venezuela

Source : Tarjan and Jiménez (1973), Sosamma et al. (1979), López -Chaves et al. (1980), Afolami et Caveness (1983), Sharma (1977), Sharma (1982), Crozzoli (2002), Crozzoli et al. (2001), Wood et Lass (2001), Campos et Villain (2005), Arévalo-Gardini et al. (2007), Arévalo-Gardini (2008), Arévalo-Gardini (2014), Okeniyi et al. (2016), Orisajo (2009), Popoola (2018), Bustamante (2019), Daramola et al. (2020) McQueen et al. (2020), Adewale and Dada (2020), Maosa et al. (2024), Vera-Velez et al. (2024).



Figure 10.1. Flétrissement de cacaoyer causé par des nématodes à galles des racines (à gauche) comparé à un plant sain (Orisajo, 2018)



Figure 10.2. Symptômes des dommages infligés par *Meloidogyne* spp. sur des plants de cacaoyer :

A. Plant un mois après sa transplantation en sol infesté de nématodes montrant une réduction de croissance

B. Galles sur racines

C. Second stade larvaire d'une femelle

Source : Instituto de Cultivos Tropicales (E Arévalo-Gardini, 2007)

10.4 Hôtes alternatifs

Il existe des espèces et des cultivars végétaux très sensibles, modérément sensibles et résistants à chaque espèce de *Meloidogyne*. Cependant, la sévérité des symptômes dépendra de la susceptibilité de la plante hôte. Environ 165 espèces végétales hôtes de *Meloidogyne* spp. ont été recensées. *M. arenaria*, *M. incognita* et *M. javanica* possèdent de très nombreux hôtes (Taylor et Sasser 1983), dans de nombreux cas, les plantes d'ombrage utilisées communément comme le bananier ou *Inga* sp. peuvent se révéler une source d'inoculum des cacaoyères (Sosamma et al. 1980, Villain et al. 2018). En Amérique centrale et du Sud, *M. exigua* est un ravageur important de *Coffea arabica* mais se révèle polyphage sur de nombreuses espèces dont le cacaoyer (Botello et al. 2019, Oliveira et al. 2005, Taylor et Sasser 1983, Sasser et Carter 1985).

10.5 Biologie

Nombreux sont les nématodes phytoparasites associés aux plantules malades de cacaoyer. Les bananiers, en tant que plantes d'ombrage, sont la première source d'inoculum. Les sols infestés dans les pépinières induisent l'infestation des plantules qui dissémineront les nématodes dans les plantations. Les eaux de ruissellement contribuent aussi à leur propagation (Campos et Villain 2005, Villain et al. 2018).

10.6 Mesures de quarantaine

Les parties végétales suivantes sont susceptibles de transporter le pathogène dans les échanges et les transports :

- Les racines (œufs et galles souvent invisibles à l'œil nu mais généralement visibles au microscope optique.
- Les milieux de croissance accompagnant les plantes, en particulier la terre, peuvent transporter des œufs et des galles.

Il est crucial d'effectuer une inspection minutieuse du matériel à planter pour détecter la présence de nématodes lors de toute procédure de quarantaine (Oostenbrink 1972). Les œufs et les galles peuvent être présents dans le sol ainsi que dans les racines, de sorte que le transport de toute plante entière avec le sol associé risque de propager le ravageur.

Les plantules obtenues dans la pépinière doivent être examinées avec attention pour la présence de *Meloidogyne* avant leur transplantation. Si une infestation est suspectée, le matériel végétal ne doit pas être transplanté avant un traitement des racines par de l'eau chaude. Quand cela est possible, des matériels résistants ou immunes aux nématodes doivent être utilisés pour la propagation (Taylor et Sasser 1983, Okeniyi et al. 2009). Il a été démontré que les amendements organiques tels que le fumier de volaille et de bétail, et les extraits de feuilles de plantes provenant de *Ocimum gratissimum*, *Carica papaya*, *Azadirachta indica*, *Vernonia amygdalina*, *Bixa orellana*, *Acalypha ciliate*, *Jatropha gossypifolia* et *Allium ascalonicum*, ont un effet suppressif sur les nématodes phytoparasites, ou réduisent les populations dans le sol (Orisajo et al. 2008, Orisajo, 2009, Orisajo et al. 2012, Orisajo et al. 2021). D'autres enquêtes rapportent une baisse dans la densité des nématodes parasites par l'utilisation de l'écorce des cabosses de cacao et/ou de feuilles de neem (Okeniyi et al. 2016). Bien que les nématicides et la stérilisation à la vapeur aient été utilisés pour lutter contre les nématodes dans les pépinières (Afolami, 1993), peu de méthodes de lutte chimique sont sûres pour l'environnement et économiquement viables pour une culture pérenne comme le cacaoyer dans les champs. Des systèmes de lutte intégrée combinant une bonne hygiène, des amendements organiques du sol et le développement de la lutte biologique sont préconisés (Orisajo 2018, Orisajo et al. 2021, Lezaun 2016, Villain et al. 2018).

10.7 Références

- Adewale DB, Dada SO. 2020. Diversity of phyto-parasitic nematodes in the on-farm cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantations of southwestern Nigeria. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 97(2): 137-148.
- Afolami SO. 1982. Symptoms of root-knot nematode infection on *Theobroma cacao*. L. - a preliminary investigation. In : Proceedings of the third research planning conference on root-knot nematodes *Meloidogyne* spp., Nigeria Nov 16-20, 1981. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan. pp. 148-156.

- Afolami SO. 1993. The effect of Basamid granular (Dazomet) on nematodes parasitic on cacao seedling in the nursery. In : Proceedings of the 11th International Cocoa Research Conference, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 18-24 July 1993.
- Afolami SO, Ojo AA. 1984. Screening of *Theobroma cacao* germplasm for resistance against a root –knot nematode- *Meloidogyne incognita* in Nigeria. In : Proceedings of the 9th International Cocoa research conference, February 12-18, 1984, Lomé, Togo. pp. 237-242.
- Afolami SO, Caveness FE. 1983. The Frequency of occurrence and geographical distribution of plant parasitic nematodes associated with *Theobroma cacao* in Nigeria. *Turrialba* 33(1): 97 -100.
- Arévalo Gardini E. 2008. Biodiversity in soils of cocoa systems in San Martin Region. Proceedings of the XI National Congress and IV International Congress of Soil Science, Tarapoto, San Martin, Peru, November 16-21, 2008.
- Arévalo Gardini, E, Zúñiga CL, Baligar VC, Canto SM. 2007. Dynamics of nematode populations in cacao grown under traditional system of management in Peruvian Amazon. Workshop on Pan Amazonian Soil Biodiversity, Rio Branco Acre, Brazil, September 26-29, 2007.
- Arévalo Gardini, E 2014. Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao PhD Thesis, Universidad Nacional Agraria La Molina, Peru
- Asare-Nyako A, Owusu K. 1979. *Meloidogyne incognita* infection of cocoa seedlings. Proceedings of the 7th International Cocoa Research Conference. Douala, Cameroon, November 1979. pp. 457-461.
- Botelho AO, Campos VP, Pereira da Silva JC, Freire ES, Canuto de Pinho RS, Barros AF, Oliveira DF. 2019 Physicochemical and biological properties of the coffee (*Coffea arabica*) rhizosphere suppress the root-knot nematode *Meloidogyne exigua*. *Biocontrol Science and Technology* 29(12): 1181-1196.
<https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1670781>
- Bustamante GV. 2019. Estudio de la ocurrencia de nematodos en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en la zona sur de la provincia del Guayas. *Alternativas* 20(1) : 47-51.
[doi :https://doi.org/10.23878/alternativas.v20i1.280](https://doi.org/10.23878/alternativas.v20i1.280)
- Campos VP, Villain L. 2005. Nematode parasites of coffee and cocoa. In Luc M, Sikora RA, Bridge J, editors. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2nd edition. CABI Bioscience, UK. pp. 529-579.
- Crozzoli, R. 2002. Especies de nematodos fitoparasiticos en Venezuela. *Interciencia*, 27 (7) : 354-364.
- Crozzoli R, Lamberti F, Greco N, Rivas D. 2001. Phytoparasitic nematodes associated with cacao in Choroní, Cumboto and Cuyagua, Aragua State. *Fitopatología Venezolana* 14: 5-12.
- Fademi OA, Orisajo SB, Afolami SO. 2006. Impact of plant parasitic nematodes on cocoa production (in Nigeria) and outlook for future containment of the problem. In Proceedings 15th International Cocoa Research Conference, October 9-14, 2006, San José, Costa Rica. pp. 82.
- López-Chaves R, Salazar-Figueroa L, Azofeifa-Chacón J. 1980. Observations on the spatial distribution of nematodes associated with cocoa in Costa Rica. XII Annual Meeting OTAN, Pointe-à-Pitre, FWI. pp. 17-21.
- Lezaun J. 2016. Nematodos fitoparásitos : una plaga mundial. Crop life.
<https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/nematodos-fitoparasitos>
- Maosa J, Singh PR, Asumaila A, Couvreur M, Bert W. 2024. Characterisation of *Paratylenchus cacao* n. sp. from Ghana, and *P. enigmaticus* (Nematoda: *Paratylenchinae*) from Belgium. *Nematology* 26(4): 415-432. <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10314>
- McQueen, JP, Treonis AM. 2020. Cacao agroforestry in Belize: Effects on soil nematode community structure. *Agroforestry Systems* 94: 1123–1132. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00477-2>
- Meredith JA. 1974. Phytoparasitic nematodes associated with cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Venezuela. *Nematropica* 4 :23-26.

- Okeniyi MO, Afolami SO, Fademi AO, Aikpokpodion P. 2009. Evaluation of cacao (*Theobroma cacao* L.) clones for resistance to root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. *Journal of Applied Biosciences* 17 : 913 - 921
- Okeniyi MO, Orisajo SB, Afolami SO Enikuomehin AO, Popoola AR, Aiyelaagbe IOO. 2016. Distribution and effects of nematode management on plant parasitic nematodes in selected old and moribund cocoa farms in South Western Nigeria. *World Research Journal of Agricultural Sciences* 3(1) : 39-47.
- Oliveira DS, Oliveira RDL, Freitas LG, Silva RV. 2005. Variability of *Meloidogyne exigua* on Coffee in the Zona da Mata of Minas Gerais State, Brazil. *Journal of Nematology* 37 :323–327. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc2620970/>
- Oostenbrink M. 1972. Evaluation and integration of nematode control methods. In : Webster JM, editor. *Economic Nematology*. Academic Press, London and New York. pp. 497-514.
- Orisajo S.B. 2009. Nematodes of Cacao and Their Integrated Management. In: A Ciancio, KG Mukerji editors. *Integrated Management of Fruit Crops and Forest Nematodes*. Springer. pp. 119-134.
- Orisajo SB. 2018. In : Umaharan, P. (Ed.). 2018 Achieving sustainable cultivation of cocoa (1st ed.) Nematode pests of cocoa. pp. 327-344. Burleigh Dodds Science Publishing.
- Orisajo SB, Afolami SO. 2009 Amelioration of nematode parasitism on cocoa seedlings with poultry litter as soil amendment in the nursery and during field establishment. *African Crop Science Conference Proceedings*, Vol. 9. pp. 687 – 690
- Orisajo SB, Afolami SO, Fademi O, Atungwu JJ. 2008. Effects of poultry litter and carbofuran soil amendments on *Meloidogyne incognita* attacks on cacao. *Journal of Applied Biosciences* 7 :214-221. Sasser JN, Carter CC, editors. 1985. *An Advance Treatise on Meloidogyne*. Vol. I. Biology and Control. Raleigh : North Carolina State University Graphics. USA. 422 pp.
- Orisajo SB, Okeniyi MO, Ayanwole SA, Ogundeyi BA. 2021. Managing the hidden enemies of cocoa. *Proceedings of the 39th Annual Conference of the Horticultural Society of Nigeria (HORTSON) "CRIN 2021". THEME: The Role of Horticulture in Food Security and Sustainable Health in Era of Climate Change and Covid-19 Pandemic*. Cocoa Research Institute of Nigeria, Ibadan. 14th – 18th November, 2021. pp 236-240
- Popoola AR. 2018. Distribution and effects of nematode management on plant parasitic nematodes in selected old and moribund cocoa farms in South Western Nigeria. In. <https://www.semanticscholar.org/author/R.-PopoolaA./2100136688>
- Sasser JN, Carter CC (Eds). 1985. *Advance Treatise on Meloidogyne*. Raleigh North Carolina State University Graphics. 19-24.
- Sharma, R.D. 1977. Nematodes of the cocoa Region of Bahia, Brazil. VI. Nematodes associated with tropical fruit trees. *Soc. Brasil. Nemat. Public. N° 2* : 109 -113.
- Sharma RD. 1982. Nematodes associated with cocoa hybrids and clones in Bahia, Brasil. *Nematologia Brasileira* 6 :85-91.
- Sosamma VK, Koshy PK, Sundararaju P. 1979. Nematodes of cocoa (*Theobroma cacao* L.). In : *Proceedings of the Second Annual Symposium on Plantation Crops*, June 26-29, Ootacamund, India. pp. 16-19.
- Sosamma VK, Koshy PK, Sundararaju P. 1980. Plant parasitic nematodes associated with cacao. *Cocoa Growers' Bulletin* 29 :27-30
- Tarjan AC, Jiménez MF. 1973. Debilitation of cacao in Costa Rica by plant nematodes. *Nematropica* 3 (1) : 25-28
- Taylor AI, Sasser JN. 1983. *Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz*. Universidad del estado de Carolina del Norte. 111 pp.
- Vera-Velez R; Ramos-Veintimilla R., Grijalva-Olmedo, J. 2024. Optimizing Pathogen Control through Mixed Cocoa–Plantain Agroecosystems in the Ecuadorian Coastal Region. *Agronomy* 14: 1107. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061107>

-
- Villain L, Salgado SML, Quang PT. 2018. Nematode parasites of coffee and cocoa. In Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. p 536-583. doi:10.1079/9781786391247.0536
- Wood GAR, Lass RA. 2001. Cocoa. 4 ed. Blackwell Science, UK. 620 pp.

ISBN 978-92-9255-329-6 © Bioversity International 2024

Alliance de Bioversity International et CIAT

Headquarters

Via di San Domenico, 1

00153, Rome, Italie



Alliance

