

Guide Technique pour les Transferts Sécourisés de Matériel Génétique de Cacaoyer

Révision des Directives Techniques FAO/IPGRI No. 20
(Troisième Édition, Octobre 2017)

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



CacaoNet est un réseau international pour les ressources génétiques de cacao coordonné par Bioversity International avec un comité de pilotage et des groupes de travail, composés de représentants de diverses institutions travaillant dans le domaine du cacao et d'organisations qui soutiennent la recherche sur le cacao. CacaoNet vise à optimiser la conservation et l'utilisation des ressources génétiques de cacao comme fondement d'une économie cacaoyère durable (des agriculteurs aux consommateurs, en passant par la recherche), en coordonnant et en renforçant la conservation et les efforts de recherche d'un réseau mondial d'acteurs des secteurs public et privé.
<http://www.cacaonet.org/>

Bioversity International est une organisation de recherche pour le développement. Nous avons comme vision que la biodiversité agricole nourrit les hommes et préserve la planète. Nous apportons des preuves scientifiques et proposons des solutions pratiques et politiques pour utiliser et sauvegarder la biodiversité agricole afin d'atteindre une sécurité alimentaire et nutritionnelle durable à l'échelle mondiale. Nous travaillons avec des partenaires dans les pays à faibles revenus dans les différentes régions où la biodiversité agricole peut contribuer à l'amélioration de la nutrition, de la résilience, de la productivité et à l'adaptation au changement climatique.

Bioversity International est membre du Consortium CGIAR, un partenariat mondial de recherche pour un futur sans faim.

www.bioversityinternational.org/

Citation: End MJ, Daymond AJ, Hadley P, éditeurs. 2017. Guide technique pour les transferts sécurisés de matériel génétique de cacaoyer. Révision des Directives techniques FAO/IPGRI No. 20. (Troisième édition, Octobre 2017). Global Cacao Genetic Resources Network (CacaoNet), Bioversity International, Rome, Italie.

ISBN 978-92-9255-080-6

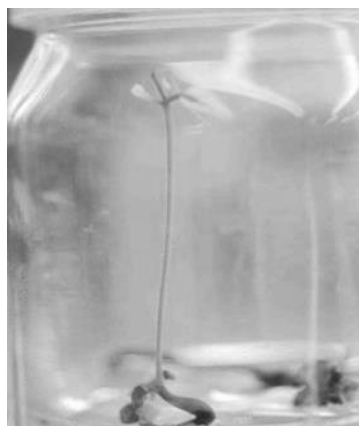
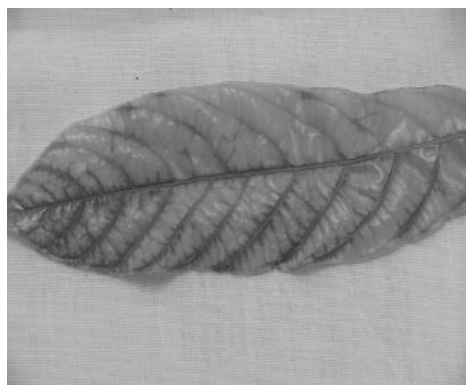
© Bioversity International 2017

Bioversity International HQ
Via dei Tre Denari 472/a
00057 Maccarese (Fiumicino)
Rome, Italie

Guide Technique pour les Transferts Sécourisés de Matériel Génétique de Cacaoyer

Révision des Directives Techniques FAO/IPGRI No. 20
(Troisième Édition, Octobre 2017)

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 lignes directrices pour les transferts sécurisés de matériel génétique de cacaoyer ainsi que ceux qui ont contribué aux premières lignes directrices FAO/IPGRI No.20 sur lesquelles se fonde cette révision (voir la section 2 pour les coordonnées). Nous sommes redevables aux personnes qui ont écrit ou révisé les sections relatives aux maladies et ravageurs spécifiques, et sommes également reconnaissants aux membres du Groupe de travail *Safe Movement* de CacaoNet qui ont fourni des informations supplémentaires et fait des commentaires et suggestions pour améliorer ces lignes directrices. Nous remercions les nombreux instituts et organisations qui ont autorisé leur personnel à contribuer au Groupe de travail *Safe Movement* et, en particulier, COPAL qui a créé les opportunités et fourni le cadre nécessaire pour permettre à ce groupe de travail de se réunir. La publication de ces lignes directrices a été financée grâce à des contributions financières et en nature de Bioversity International, du Programme de recherche du CGIAR sur les forêts, les arbres et l'agroforesterie (CRP-FTA), la Cocoa Research Association Ltd (CRA Ltd, une organisation basée au Royaume-Uni chargée de gérer la recherche sur le cacao au nom de Mars, Mondelēz International et le London Cocoa Trade (ICE Futures Europe) et l'Université de Reading. CacaoNet a reçu un soutien financier supplémentaire de Mars, 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 d'assurer la coordination et l'appui administratif du 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 depuis 2010.

La conception, la mise en page et l'édition technique de cette brochure ont été réalisées par Claudine Picq de Bioversity International ; la traduction en français a été assurée par Patricia Horry. Les versions en anglais et espagnol sont également disponibles.

Bien que tous les efforts aient été faits pour garantir l'exactitude de l'information présentée dans cette publication, CacaoNet, Bioversity International et les auteurs qui y ont contribué sont en aucun cas 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 des sponsors.

Table des matières

1. Introduction	3
2. Personnes ayant contribué à cette révision	5
2.1 Personnes ayant contribué aux Directives techniques FAO/IPGRI No. 20 et aux versions antérieures de ce Guide	7
2.2 Coordination CacaoNet	7
3. Centres de quarantaine intermédiaire et régionaux	8
3.1 Centres de quarantaine intermédiaire.....	8
3.2 Centres de quarantaine régionaux (post-entrée)	9
4. Recommandations générales	10
5. Options pour la circulation du matériel génétique de cacaoyer en fonction des risques de propagation des organismes nuisibles	11
5.1 Semences.....	11
5.2 Baguettes de greffage.....	11
5.3 Plantes entières	12
5.4 Matériel <i>in vitro</i>	13
5.5 Pollen et fleurs écloses	13
5.6 Bourgeons floraux.....	13
6. Inventaire des risques dus aux organismes nuisibles	14
Description des organismes nuisibles du cacaoyer	21
7. Maladies virales	21
7.1 Nécrose du cacaoyer (<i>Cacao necrosis virus</i> , CNV): genre <i>Nepovirus</i>	21
7.2 <i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV): genre <i>Badnavirus</i>	22
7.3 Virus de la mosaïque jaune du cacaoyer (<i>Cacao yellow mosaic virus</i> , CYMV): genre <i>Tymovirus</i>	26
7.4 Autres maladies de type viral.....	26
8. Maladies fongiques et oomycètes	28
8.1 Maladie du balai de sorcière	28
8.2 Moniliose	31
8.3 <i>Phytophthora</i> spp.	34
8.4 Vascular streak dieback (VSD).....	40
8.5 Verticilliose du cacaoyer	51
8.6 Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> ou Mal de machete.....	58
8.7 Pourridié à <i>Rosellinia</i>	65
9. Insectes ravageurs	70
9.1 Recommandations générales de quarantaine pour les insectes ravageurs.....	70

9.2 Foreur des cabosses (« Cocoa Pod Borer », CPB).....	71
9.3 Mirides (et autres hétéroptères suceurs de sève)	75
9.4 Moustique du cacaoyer.....	79
9.5 Cochenilles et autres insectes	82
10. Nématodes parasites	85

1. Introduction

Ces directives présentent les procédures techniques permettant de minimiser le risque d'introduction d'organismes nuisibles lors des mouvements 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 liés à l'exportation et l'importation de matériel génétique ou de fèves de cacao.

La collecte, la conservation et l'utilisation des ressources phylogénétiques 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, les mouvements 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 phylogénétique, 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 phylogénétique. En outre, il est essentiel de connaître les réglementations nationales pertinentes et actualisées régissant l'exportation et l'importation de matériel phylogénétique 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 phylogénétiques. Les normes en matière de mesures phytosanitaires, par exemple l'évaluation du risque des organismes nuisibles (IPPC 2016), doivent être prises en compte lors de la collecte et du transport du matériel génétique.

¹ Le 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. Bioversity International et les experts ayant contribué 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 contribué à cette révision mais les informations fournies demandent à être régulièrement mises à jour. La liste des experts ayant contribué à ces directives techniques est présentée dans cette publication. Toute correspondance quant à cette publication devra être adressée à Bioversity International.

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 descriptions de ravageurs. Une analyse du risque phytosanitaire

² CacaoNet (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.

(*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. 2016. Glossary of Phytosanitary Terms. ISPM No. 5 (2016) in International Standards for Phytosanitary Measures. FAO, Rome. Consultable à l'URL:

<https://www.ippc.int/en/core-activities/standards-setting/ispms/>

IPPC. 2016. Framework for pest risk analysis. Secretariat of the International Plant Protection Convention. Consultable à l'URL:

https://www.ippc.int/static/media/files/publication/en/2016/01/ISPM_02_2007_En_2015-12-22_PostCPM10_InkAmReformatted.pdf

2. Personnes ayant contribué à cette révision

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

Dr NGR Braz,
UESC,
Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 16,
Bahia, BRÉSIL

Dr KP Gramacho
CEPLAC/CEPEC/SEFIT,
Rodovia Ilhéus-Itabuna, km 22,
Itabuna, Bahia,
BRÉSIL
gramackkp@hotmail.com

Dr S Nyassé
Ex-IRAD
Nkolbisson Centre
BP 2123, Yaoundé
CAMEROUN
nyasse@iccnnet.cm

Dr F Aránzazu, Ing. DH Martinez Botello
FEDECACAO
Departamento de Investigación,
Cra 23 No. 36-16 Oficina 203,
Bucaramanga, Santander,
COLOMBIE
fabioaranzazu@hotmail.com

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

Dr C Suarez
Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ)
Vía a Santo Domingo, km 1,
Quevedo EQUATEUR
csuarez@uteq.edu.ec

Dr M Ducamp, Dr P Lachenaud
Cirad-Bios, UMR BGPI,
TA A-54/K
34398 Montpellier Cédex

FRANCE

michel.ducamp@cirad.fr
philippe.lachenaud@cirad.fr

Dr GM ten Hoopen
CIRAD, UPR Bioagresseurs, F-34398
Montpellier, France.
Bioagresseurs, Univ Montpellier, CIRAD,
Montpellier, France.
c/o Cocoa Research Centre,
University of the West Indies,
St Augustine,
TRINIDAD & TOBAGO
tenhoopen@cirad.fr

Dr S Surujdeo-Maharaj, Dr TN Sreenivasan, R.
Umaharan
Cocoa Research Centre
The University of the West Indies
St. Augustine
TRINIDAD ET TOBAGO
Pathmanathan.Umaharan@sta.uwi.edu

Dr J Flood
CABI BioScience
Bakeham Lane, Egham,
Surrey TW20 9TY
ROYAUME-UNI
j.flood@cabi.org

Pr P Hadley, Dr AJ Daymond
School of Agriculture, Policy & Development
University of Reading
Reading, RG6 6AR
ROYAUME-UNI
a.j.daymond@reading.ac.uk

Dr AC Wetten
Department of Applied Sciences,
University of the West of England,
Coldharbour Lane,
Bristol, BS16 1QY
ROYAUME-UNI
andy.wetten@uwe.ac.uk

Dr H Dzahini-Obiatye, Dr O. Domfeh and Dr G.
Ameyaw
Cocoa Research Institute of Ghana
PO Box 8
New Tafo, GHANA
crigmailorg@yahoo.com

Dr J-M Thevenin
Cirad-Bios, UPR 106,
BP 701, 97387 Kourou Cedex,
GUYANE FRANCAISE
jean-marc.thevenin@cirad.fr

Dr I Azhar,
Dr B Saripah, Dr A Alias
Malaysian Cocoa Board,
Locked Bag 211,
88999 Kota Kinabalu,
Sabah, MALAISIE
aliasawang@koko.gov.my

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

Dr E Arevalo-Gardini, Dr BL Ttacca
Instituto de Cultivos Tropicales,
Tarapoto
PÉROU
e.arevalo.ict@terra.com.pe

Dr C Campbell
480 London Road,
Ditton, Aylesford,
Kent, ME20 6BZ,
ROYAUME-UNI
cam_campbell@tiscali.co.uk

Dr MJ End
Cocoa Research Association Ltd.
ROYAUME-UNI
michelle.end@cocoaresearch.org.uk

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

2.1 Personnes ayant contribué 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 JMM Engels, Dr AB Eskes, Dr JJ Galindo, Dr J Hughes d'A, Dr AD Iwaro, Dr AJ Kennedy, Dr DC Nowell, Dr A Posnette, Dr C Prior, Dr LH Purdy, Dr CP Romaine, Dr RJ Schnell, Dr JM Thresh, Pr G Varghese.

2.2 Coordination CacaoNet

Coordination globale

Bioversity International HQ
Via dei Tre Denari 472/a
00057 Maccarese (Fiumicino)
Rome
Italie

Email: cacaonet.secretariat@gmail.com

Coordinateur : Stephan Weise

Email: s.weise@cgiar.org

Conseillère scientifique : Brigitte Laliberté

Email: brig.lalib@gmail.com

Groupe de travail CacaoNet Safe Movement

Coordinator: Mr RA Lass MBE

Cocoa Research Association Ltd.
ROYAUME-UNI

Email: safemovementWG@cocoaresearch.org.uk

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.

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

USDA
Subtropical Horticulture Research Station
13601 Old Cutler Road
Miami, Florida 33158
USA
Email: Osman.Gutierrez@ars.usda.gov

3.2 Centres de quarantaine regionaux (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 mouvements 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

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 cabosses 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.
- 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. 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	Rapporté sur d'autres espèces mais pas sur le cacaoyer	Impossible	Impossible
<i>Monilophthora perniciosa</i>	Maladie du balai de sorcière	Rapporté	Possible	Possible
<i>Monilophthora roleri</i>	Moniliose	Aucune infection naturelle des semences	Possible	Possible
<i>Phytophthora</i> spp.	Pourriture brune des cabosses	Rapporté	Possible	Peu probable
<i>Ceratobasidium theobromae</i>	Vascular streak die-back / Dépérissement avec nécrose vasculaire (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 faire transiter les baguettes 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 Tresh 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 systémiques tels que *Ceratobasidium* (*Oncobasidium*) *theobromae*.

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.

5.3 Plantes entières

Le mouvement des plantes entières en terre est **FORTEMENT DÉCONSEILLÉ** en raison du risque élevé de transfert des ravageurs associés aux racines 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* doit être indexé pour la présence de pathogènes systémiques dans une structure de quarantaine. Tout matériel infecté ou contaminé doit être détruit.

5.5 Pollen et fleurs écloses

Les expéditions de pollen ne sont PAS conseillées 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.

5.7 Référence

Thresh JM. 1960. Mesures de quarantaine destinées à intercepter le matériel de propagation du cacaoyer infesté par les virus sévissant en Afrique occidentale. (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	Précautions spéciales
7.1 Nécrose du cacaoyer (<i>Cacao necrosis virus</i> , CNV): genre <i>Nepovirus</i>	Ghana, Nigeria	Cabosse : risque potentiel Graine : risque faible Baguette : risque élevé Quarantaine conseillée
7.2 <i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV): genre <i>Badnavirus</i>	Bénin, Côte d'Ivoire, Ghana, Liberia, Nigeria, Sierra Leone, Togo (Rapporté aussi au Sri Lanka)	cf. 5.2 Baguette : FACTEUR SPECIAL DE RISQUE: INFECTION LATENTE JUSQU'A DEUX ANS
7.3 Virus de la mosaïque jaune du cacaoyer (<i>Cacao yellow mosaic virus</i> CYMV): genre <i>Tymovirus</i>	Sierra Leone	
7.4 <i>Cacao mild mosaic virus</i> et <i>Cacao yellow vein banding virus</i>	Trinidad	Baguette : risque potential
8.1 Maladie du balai de sorcière	Brésil (Bahia, Espirito Santo, régions de l'Amazonie), Bolivie, Colombie, République Dominicaine, Equateur, Guyane française, Grenada, Guyana, Panama, Pérou, Ste Lucie, St Vincent, Suriname, Trinidad et Tobago, Venezuela	Cabosse entière : risque élevé, déconseillé Graine : risque modéré Baguette : risque modéré cf. 8.1.6 Mesures de quarantaine
8.2 Moniliose	Belize, Bolivie, Colombie, Costa Rica, Equateur, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaïque, Mexique, Nicaragua, Panama, Pérou, Venezuela (occidentale)	Cabosse : risque élevé, non recommandé Graine : risque modéré Baguette : risque modéré Quarantaine conseillée FACTEUR SPECIAL DE RISQUE: LONGUE DUREE DE VIE DES SPORES cf. 8.2.6 Mesures de quarantaine

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 et le niveau de précaution nécessaire lors de l'exportation de végétaux (suite)

Organisme nuisible	Zone géographique	Précautions spéciales
8.3. <i>Phytophthora</i>	La plupart des pays qui produisent du cacao	
<i>P. palmivora</i> (Syn. <i>P. arecae</i>)		Cabosse : risque élevé, déconseillé Graines : risque faible Baguette : risque modéré, quarantaine intermédiaire conseillée
Note: Les espèces de <i>Phytophthora</i> sont répandues et parfois difficiles à distinguer		
<i>P. megakarya</i>	Bioko (Fernando-Po), Cameroun, Côte d'Ivoire, Gabon, Ghana, Nigeria, São Tomé et Príncipe, Togo	cf. 8.3.6 Mesures de quarantaine
<i>P. capsici</i> / <i>P. tropicalis</i>	Brésil, Cameroun, Costa Rica, 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, Cuba, Inde, Malaisie, Philippines	
8.4 Vascular streak die-back (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 (Etat du Kerala), Malaisie occidentale et Sabah, Indonésie, Thaïlande, Myanmar, Vietnam et Philippines méridionales	Cabosse entière : risque élevé, déconseillé Graine : risque faible Baguette : risque élevé - quarantaine intermédiaire conseillée cf. 8.4.6 Mesures de quarantaine

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 et le niveau de précaution nécessaire lors de l'exportation de végétaux (suite)

Organisme nuisible	Zone géographique	Précautions spéciales
8.5. <i>Verticilliose du cacaoyer</i>	Partout dans le monde, particulièrement au Brésil, en Colombie, en Ouganda	Cabosse entière : risque faible Graines : risque faible Baguette : risque modéré <i>cf. 8.5.6 Mesures de quarantaine</i>
8.6. Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)	Brésil, Cameroun, Colombie, Costa Rica, Equateur, Guyane française, Trinidad et Tobago, Venezuela	Cabosse : risque élevé Graine : risque faible Baguette: risque modéré <i>cf. 8.6.6 Mesures de quarantaine</i>
8.7. Pourridié à <i>Rosellinia</i> <i>R. bunodes</i> , <i>R. pepo</i> <i>R. paraguayensis</i>	Partout dans Amérique tropicale, Inde, Indonésie, Malaisie, Philippines, Sri Lanka, Afrique de l'Ouest	Cabosse : risque faible Graine : risque faible Baguette: risque élevé <i>cf. 8.7.6 Mesures de quarantaine</i>
9.2. Foreur des cabosses (CPB)	Asie du Sud-Est dont Malaisie, Indonésie, Philippines et Papouasie-Nouvelle-Guinée	Cabosse : risque élevé, déconseillé Graine : risque élevé Baguette: risque modéré <i>cf. 9.2.6 Mesures de quarantaine</i>
9.3. et 9.4. 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 <i>cf. 9.4.6 Mesures de quarantaine</i>
9.5. Cochenilles	Toutes les régions de culture du cacaoyer	Cabosse : risque modéré Graine : risque faible Baguette: risque modéré

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 6.2. Relevé des risques phytosanitaires par pays (*Phytophthora palmivora* comme plusieurs insectes ravageurs se retrouve dans le monde entier). Il est recommandé aux utilisateurs de vérifier périodiquement les autres rapports de ravageurs/ maladies dans le pays où ils travaillent.

Pays	Risques phytosanitaires
Belize	Moniliose
Bénin	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV)
Bolivie	Maladie du balai de sorcière Moniliose
Brésil	Maladie du balai de sorcière <i>Phytophthora capsici</i> / <i>P. tropicalis</i> <i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotianae</i> Verticilliose du cacaoyer Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) Pourridié à <i>Rosellinia</i>
Cameroun	<i>Phytophthora megakarya</i> <i>Phytophthora capsici</i> Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)
Colombie	Maladie du balai de sorcière Moniliose Verticilliose du cacaoyer Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)
Costa Rica	Moniliose Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) Pourridié à <i>Rosellinia</i> <i>Phytophthora capsici</i>
Côte d'Ivoire	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) <i>Phytophthora megakarya</i>
Cuba	<i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotianae</i>
Equateur	Maladie du balai de sorcière Moniliose Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)

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

Pays	Risques phytosanitaires
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</i> (CNV) <i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) <i>Phytophthora megakarya</i>
Grenada	Maladie du balai de sorcière
Guatemala	Moniliose <i>Phytophthora capsici</i> Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)
Guyana	Maladie du balai de sorcière
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>
Indonésie	Vascular streak dieback (VSD) Pourridié à <i>Rosellinia</i> Foreur des cabosses (CPB)
Jamaïque	<i>Phytophthora capsici</i> Pourridié à <i>Rosellinia</i> Moniliose <i>Thielaviopsis</i> [<i>Ceracystis</i>] <i>paradoxa</i>
Liberia	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV)

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

Pays	Risques phytosanitaires
Malaisie	<i>Phytophthora citrophthora</i> <i>Phytophthora hevea</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Phytophthora nicotiana</i> Vascular streak dieback (VSD) 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</i> (CNV) <i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) <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)
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)

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

Pays	Risques phytosanitaires
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	Virus [décrit] <i>Rosellinia</i>
St Vincent	Maladie du balai de sorcière
Suriname	Maladie du balai de sorcière
Thaïlande	Vascular streak dieback
Togo	<i>Cacao swollen shoot virus</i> (CSSV) <i>Phytophthora megakarya</i>
Trinidad et Tobago	Maladie du balai de sorcière <i>Phytophthora capsici</i> Pourridié à <i>Rosellinia</i> Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete) <i>Cacao mild mosaic virus</i> et <i>Cacao yellow vein banding virus</i>
Ouganda	Verticilliose du cacaoyer
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> Flétrissement à <i>Ceratocystis</i> (Mal de machete)
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: Henry Dzahini-Obiatey, O Domfeh et GA Ameyaw

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

Email: crigmilorg@yahoo.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 Thérapie

Aucune. 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 Section 5.2 Baguettes de greffage).

7.1.7 Références

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): genre *Badnavirus*

Mise à jour: H Dzahini-Obiatey¹, O Domfeh¹ et GA Ameyaw¹ et AC Wetten²

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

Email: crigmilorg@yahoo.com

²Department of Applied Sciences, University of the West of England, Coldharbour Lane, Bristol, UK, BS16 1QY

De nombreux isolats du *Cacao swollen shoot virus* (CSSV) ont été collectés et ont été nommés en lettres capitales ou par le nom du lieu de leur collecte. L'analyse de la

variabilité moléculaire du CSSV révèle la présence d'au moins huit espèces 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, Abrokwah et al. 2016, Chingandu et al. 2017). Le *Cacao mottle leaf virus* est un synonyme du CSSV (Brunt et al. 1996).

7.2.1 Symptômes

Les symptômes de la maladie du CSSV sont très variables et dépendent de la souche virale et du stade d'infection. La plupart des symptômes caractéristiques sur les types sensibles (par exemple Amelonado d'Afrique de l'Ouest) présentent un liseré rouge le long des nervures, caractéristique des jeunes feuilles (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 de gonflement dans les plantes infectées.

7.2.2 Distribution géographique

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

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 n'a pu être décelée chez ces plantules, ni visuellement, ni par "transcription inverse" (RT) PCR (Ameyaw et al. 2010). Il n'y a donc aucune preuve de transmission du CSSV par les semences. Par ailleurs, les plantes peuvent être infectées quand les graines sont inoculées par les cochenilles vectrices infectées ou par transmission mécanique avec du virus purifié.

7.2.5 Morphologie des particules

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

7.2.6 Thérapie

Aucune. Une fois qu'une plante est infectée, elle ne peut être soignée. Toutefois, le passage par l'embryogénèse somatique s'est révélé produire des clones indemnes de virus à partir de plantes donneuses infectées par le CSSV (Quainoo et al. 2008). 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

Les techniques ELISA, ISEM et PCR ont été utilisées avec succès (Sagemann et al. 1985, Muller 2008, Abrokwah et al. 2016) pour détecter le CSSV; l'agglutination virobactérienne a également été utilisée (Hughes et Ollennu 1993). Diverses méthodes de détection ont aussi été employées avec succès et ont été récemment compilées (Dzahini-Obiatay 2008, Dzahini-Obiatay 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 fondé sur la PCR. 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 Section 5.2

7.2.8 Références

- Abrokwah F, Dzahini-Obiatay 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.
- Ameyaw GA, Wetten AC, Allainguillaume J. 2010. Exploring CSSV seed transmission using molecular diagnostic methods. In: *Proceedings of the 16th International Cocoa Research Conference*, Bali, Indonesia, 16-21 November 2009. COPAL-CPA, Lagos, Nigeria, 697-705.
- Brunt A, Crabtree K, Dallwitz M, Gibbs A, Watson L, Zurcher E. (eds). 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. DOI 10.1186/s12985-017-0866-6.
- Dzahini-Obiatay H. 2008. *Cytopathological and molecular studies of CSSV infected cocoa plants*. PhD Thesis, University of Reading, UK.
- Dzahini-Obiatay H, Ollennu LA, Aculey PC. 2008. Cacao swollen shoot virus in Ghana: A review of diagnostic procedures. *Ghana Journal of Agricultural Science* 41(1):123-136.
- Hughes J d'A, Adomako D, Ollennu LA. 1995. Evidence from the virobacterial agglutination test for the existence of eight serogroups of cacao swollen shoot virus. *Annals of Applied Biology* 127:297-307.
- Hughes J d'A, Ollennu LA. 1993. The virobacterial agglutination test as a rapid means of detecting cacao swollen shoot virus disease. *Annals of Applied Biology* 122:299-310.
- 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.

- Muller E. 2008. *Cacao Swollen Shoot Virus*. In: Govind RP, Khurana PSM, Sergio LL, editors. Characterisation, diagnosis and management of plant viruses. Industrial Crops. Studium Press LLC. pp. 423-444.
- 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.
- 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.
- 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.



Figure 7.2.1 Liseré rouge des nervures sur jeune feuille. Noter l'apparence de fougère du liseré rouge des nervures.
(H Dzahini-Obiathey et Y Adu-Ampomah, non publié)



Figure 7.2.2 Symptômes du CSSV sur feuille mature. Chlorose des nervures foliaires. Noter la décoloration étendue de la chlorophylle le long des nervures tertiaires. La photographie a été prise dans une parcelle de planteur
(H Dzahini-Obiathey et Y Adu-Ampomah, non publié)



Figure 7.2.3 Gonflements de la tige. Noter le gonflement basal, en forme de 'club de golf', d'un gourmand d'un arbre âgé. La photo a été prise dans une cacaoyère infectée
(H Dzahini-Obiathey et Y Adu-Ampomah, 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 Thérapie

Aucune. 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

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.

7.4 Autres maladies de type viral

La maladie du Virus de Trinidad a été d'abord décrite en 1944 et une enquête avait déterminé qu'elle se limitait aux régions de Diego Martin, Santa Cruz et Maracas de Trinidad. Deux souches (A et B) du virus ont été identifiées sur la base des symptômes induits sur l'hôte différentiel ICS 6. La souche A produit un liseré rouge des nervures en forme de plume sur tout ou partie des nervures principales des pousses foliaires, avec la première feuille de la pousse montrant les symptômes les plus distincts. Au fil du vieillissement des feuilles, le liseré rouge des nervures s'estompe. Dans certains clones, un symptôme de type mosaïque persiste sur les feuilles matures. La souche B produit un liseré des nervures continu s'étendant aux nervures fines qui persiste après la maturité de la feuille, quoique, dans certaines variétés, cette souche produise un liseré rouge des nervures sur jeune feuille qui disparaît sur feuille mature. A la suite de

campagnes d'élimination et de réallocation des terres dans les secteurs infectés, on a cru avoir éliminé le virus. Cependant, une résurgence possible du virus a été observée en 2009. De récentes études de séquençage sur des feuilles symptomatiques présentant les phénotypes A et B ont montré la présence de deux espèces distinctes de badnavirus, nommées *Cacao mild mosaic virus* et *Cacao yellow vein banding virus* (Chingandu et al. 2017a,b). Les tests ont montré que le virus peut être détecté par la procédure d'indexation décrite pour le *Cacao swollen shoot virus* cité plus haut en utilisant Amelonado ou ICS 6 comme porte-greffe.

Dans le nord de Sumatra, un virus similaire au CSSV a été signalé (Kenten et Wood 1976) mais n'a plus été rapporté depuis lors.

Référence

- Chingandu N, Zia-Ur-Rehman M, Sreenivasan TN, Surujdeo-Maharaj, S, Umaharan P, Gutierrez OA, Brown JK. 2017a. Molecular characterization of previously elusive badnaviruses associated with symptomatic cacao in the New World. *Archives of Virology* 162:1363-1371.
- Chingandu N, Kovakou K, Aka R, Amayaw G, Gutierrez O, Herman H-W, Brown JK. 2017b. 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. DOI 10.1186/s12985-017-0866-6.
- Kenten RH, Woods RD. 1976. A virus of the cacao swollen shoot group infecting cocoa in North Sumatra. *PANS* 22:488-490.

8. Maladies fongiques et oomycètes

Parmi les différentes maladies affectant les cacaoyers, les maladies fongiques constituent une contrainte majeure. Certaines ont une distribution mondiale alors que d'autres sont limitées aux régions de culture du cacao 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 fongiques 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 plus récemment par Bailey et Meinhardt (2016)

Référence

Bailey BA and 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.

8.1 Maladie du balai de sorcière

Mise à jour: Karina P Gramacho¹ et Nara GR Braz²

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

Email: Karina@cepec.gov.br

²UESC, Rodovia Ilheus-Itabuna, km 16, Bahia, Brésil

8.1.1 Agent causal

Moniliophthora (= *Crinipellis*) *perniciosa*

Parmi la variabilité existante de ce champignon, on cite deux principaux biotypes, les biotypes C et S. Des variants du biotype C semblent exister selon l'origine géographique (par exemple Equateur, Pérou, Brésil, Bolivie).

8.1.2 Symptômes

Bien que *M. perniciosa* induise de nombreux symptômes sur les pousses végétatives, les fleurs, les coussinets floraux et les cabosses, l'hypertrophie de la croissance des méristèmes végétatifs infectés (balais) reste le symptôme le plus caractéristique de la maladie du balai de sorcière (Fig. 8.1.1, Fig. 8.1.2).

8.1.3 Distribution géographique

Actuellement, cette maladie est présente en Bolivie, Brésil, Colombie, Equateur, Guyane française, Grenada, Guyana, Panama (à l'est du canal de Panama), Pérou,

République dominicaine, St. Vincent, Suriname, Trinidad et Venezuela. En 2008, cette maladie a été rapportée pour la première fois à Sainte Lucie (les plantations Union Vale, La Dauphine et Robot) (Kelly et al. 2009).



Figure 8.1.1. Symptômes au champ (source: CEPLAC/CEPEC). a) arbre sévèrement attaqué à Bahia, b) balai végétatif terminal, c) coussinet floral malade, d) lésion sur cabosse

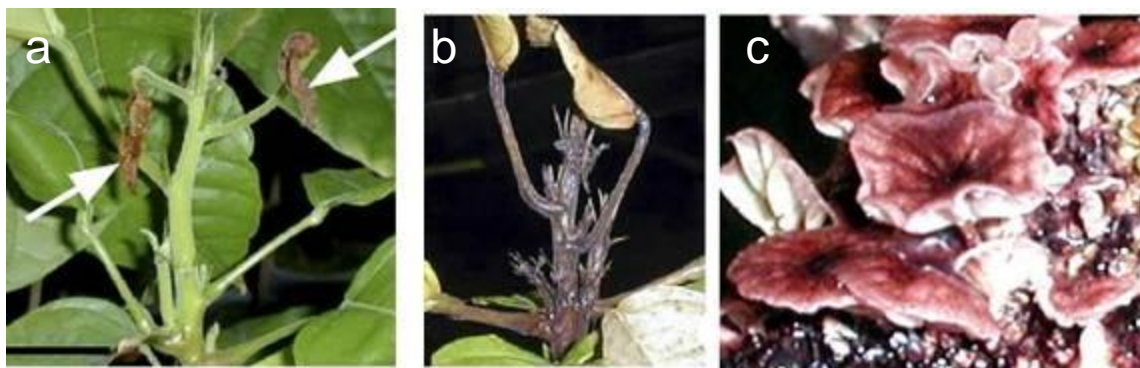


Figure 8.1.2. Symptômes en pépinière (Source: CEPLAC/CEPEC/FITOMOL): a) balai vert terminal, b) balai desséché, c) production "in vitro" de basidiocarpes

8.1.4 Hôtes

Famille des Malvaceae (hôte principal): *T. cacao*, *T. sylvestris*, *T. obovata*, *T. grandiflorum*, *T. bicolor*, *Herrania* spp.

Famille des Solanaceae: *Solanum cernuum*, *S. gilo*, *S. grandiflorum* var. *setosum* (Goias, Brésil), *S. lycocarpum*, *S. melongena*, *S. paniculatum*, *S. stipulaceum*, autres *Solanum* spp., *Capsicum annuum*, *C. frutescens*.

Famille des Malpighiaceae: *Stigmaphyllon blanchetti*, *Heteropterys acutifolia*; *Mascagnia* cf. *sepium* (Para, Brésil).

Autres familles: *Vernonia difusa*, *Bixa orellana*, *Arrabidaea verrucosa*, *Entadas gigas*, *Coussapoa eggersii*, *Barringtonia* spp., *Cecropia* spp., *Bambusa* spp., *Musa* spp.

8.1.5 Biologie

Les basidiospores, seules propagules infectantes de *M. pernicioso*, peuvent infecter tous les tissus méristématiques du cacaoyer (Purdy et Schmidt 1996). Peu après l'infection, le pathogène établit une relation biotrophique avec son hôte, durant

laquelle le champignon est homokaryotique, intercellulaire et non ramifié (Calle et al. 1982, Muse et al. 1996, Orchard et al. 1994, Silva et Matsuka 1999). À ce stade, il cause une hypertrophie des tissus, une perte de la dominance apicale et la prolifération des bourgeons axillaires. La dissémination se fait par le vent.

8.1.6 Mesures de quarantaine

Bien que *M. perniciosus* semble pouvoir être transmis par les semences, le transfert des fèves reste la méthode la plus sûre de transporter le matériel génétique. Les fèves peuvent être collectées sur des cabosses apparemment saines, traitées par un fongicide au cuivre ou au métalaxyl pour réduire le risque de transmission du pathogène.

Il est conseillé de maintenir le matériel nouvellement introduit dans une serre protégée des insectes et sous stricte surveillance dans une station de quarantaine pendant un an en testant l'absence de maladie avant sa libération pour les utilisations communes.

8.1.7 Références et lectures complémentaires

- Baker RED, Holliday P. 1957. Witches' broom disease of cocoa (*Marasmius perniciosus* Stahel). The Commonwealth Mycological Institute Kew Surrey Phytopathological Paper No. 2, 42pp.
- Bastos CN, Andebrahn T. 1986. *T. urucu* (*Bixa orellana*) nova espécie hospedeira da vassoura-de-bruxa (*Crinipellis perniciosus*) do cacauero. Fitopatologia Brasileira 11:963-965.
- Bastos CN, Evans HC. 1985. A new pathotype of *Crinipellis perniciosus* (Witches' broom disease) on solanaceous hôtes. Plant Pathology 34:306-312.
- Calle H, Cook AA, Fernando SY. 1982. Histology of witches-broom caused in cacao by *Crinipellis perniciosus*. Phytopathology 72:1479-1481.
- Ceita GO. 2004. Análise do Processo de Morte Celular em *Theobroma cacao* L. Induzido por *Crinipellis perniciosus* (Stahel) Singer. MSc Thesis, University of Santa Cruz, Ilhéus, Brazil.
- Evans HC. 1981. Witches' broom disease - a case study. Cocoa Growers Bulletin 32:5-19.
- Gonçalves JC. 1965. *Theobroma grandiflorum* (Spreng). Schum. as a source of inoculum of witches' broom disease of *Theobroma cacao* L. Tropical Agriculture (Trinidad) 42:261-263.
- Kelly PL, Reeder R, Rhodes S, Edwards N. 2009. First confirmed report of witches' broom caused by *Moniliophthora perniciosus* on cacao, *Theobroma cacao*, in Saint Lucia. Plant Pathology 58:798-798.
- Lopes JRM, Luz EDMN, Bezerra EJJ, Sacramento CK. 1998. Incidência da vassoura-de-bruxa em cupuaçuzeiro na região sul da Bahia. In: XV Congresso Brasileiro de Fruticultura, Poços de Caldas. Anais do XV Congresso Brasileiro de Fruticultura. Sociedade Brasileira de Fruticultura 1:333-337.
- Muse RB, Collin HA, Isaac S, Hardwick K. 1996. Effects of the fungus *Crinipellis perniciosus*, Agent causal of witches' broom disease, on cell and tissue cultures of cocoa (*Theobroma cacao* L.). Plant Pathology 45:145-154.
- Orchard JE, Collin HA, Hardwick K, Isaac S. 1994. Changes in morphology and measurement of cytokinin levels during the development of witches-brooms on cocoa. Plant Pathology 43: 65-72.
- Orchard JE, Hardwick K. 1998. Photosynthesis, carbohydrate translocation and metabolism of host and fungal tissues in cacao seedlings infected with *Crinipellis perniciosus*. In: proceedings of the 10th International Cocoa Research Conference, Santo Domingo, Dominican Republic. pp. 325-330.

- Pegler DN. 1978. *Crinipellis perniciosa* (Agaricales). Kew Bulletin: 731-736.
- Ploetz RC, Schnell RJ, Ying ZT, Zheng Q, Olano CT, Motamayor JC, Johnson ES. 2005. Analysis of molecular diversity in *Crinipellis perniciosa* with AFLP markers. European Journal of Plant Pathology 111:317-326.
- Purdy LH, Schmidt RA. 1996. Status of cacao witches' broom: Biologie, epidemiology, and management. Annual Review of Phytopathology 34:573-594.
- Resende MLV, Bezerra JL. 1996. *Crinipellis perniciosa* de um novo hospedeiro (*Solanum stipulaceum*) induzindo reação de hipersensibilidade em *Theobroma cacao*. Fitopatologia Brasileira (suplemento) 21:405.
- Resende MLV, Nojosa GBA, Silva LHCP, Niella I GR, Carvalho GA, Santiago DVR, Bezerra JL. 2000. *Crinipellis perniciosa* proveniente de um novo hospedeiro, *Heteropterys acutifolia*, é patogênico ao cacauero. Fitopatologia Brasileira 25:88-91.
- Silva SDVM, Luz EDMN, Almeida OL, Gramacho KP. 2002. Redescrção da sintomatologia causada por *Crinipellis perniciosa* em cacauero. Agrotrópica 14:21.
- Silva SDVM, Matsuka K. 1999. Histologia da interação *Crinipellis perniciosa* em cacauero suscetível e resistente à vassoura-de bruxa. Fitopatologia Brasileira 24:54-59.

8.2 Moniliose

Mise à jour: Wilbert Phillips-Mora

Head Cacao Breeding Programme, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Email: wphillip@catie.ac.cr

8.2.1 Agent causal

Moniliophthora roreri.

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 et la sensibilité décroît avec l'âge des cabosses. Les premiers symptômes se caractérisent par un ou plusieurs œdèmes apparaissant sur la cabosse (Fig. 8.2.1), ou de petites lésions gorgées d'eau, qui s'élargissent en zones nécrosées avec une délimitation irrégulière. Un stroma fongique blanc (Fig. 8.2.2) recouvre le secteur infecté en trois à cinq jours, avec la formation d'un tapis prenant une couleur crème qui libérera des spores brun clair. L'infection tardive de la cabosse aboutit à une maturation prématurée montrant un modèle en mosaïque vert et jaune. Dans les cabosses infectées, les fèves se nécrosent et s'agglutinent en une masse compacte (Fig. 8.2.3).

8.2.3 Distribution géographique

Cette maladie est présente en Colombie et en Equateur 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 récemment été décrite au Salvador (Phillips-Mora et al. 2010) et aussi dans une région de la Jamaïque (IPPC 2016, Johnson et al. 2017) malgré les efforts actuels faits pour la contenir.

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* (cacao) et *T. grandiflorum* (cupuaçu).

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).

Les cabosses sont infectées par les spores qui restent viables pendant plusieurs semaines et peuvent résister à l'exposition à la lumière solaire. La dissémination se fait par le vent. Les infections naturelles ont seulement été observées sur les cabosses, bien que l'inoculation artificielle de fèves par des spores ait produit de jeunes plants infectés. En conditions naturelles, la transmission de la maladie par des graines infectées n'a pas été observée et est peu probable.

8.2.6 Mesures de quarantaine

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, d'équipement et des chaussures utilisés, pas de visites dans des zones indemnes de maladie pendant quelques jours, 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 essayer 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 végétatives 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.

8.2.7 Références

- 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.
- IPPC 2016. Detection of Frosty 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. <http://dx.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.
- 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, Nigeria, 93-99.



Figure 8.2.1. Moniliose : gonflements caractéristiques sur jeunes cabosses (W Phillips-Mora et A Mora, CATIE, Costa Rica)



Figure 8.2.2. A gauche : maturation prématurée, nécrose et jeune pseudostroma blanc sur une grosse cabosse infectée par *M. roreri*. A droite : cabosse verte saine (W Phillips-Mora et A Mora, CATIE, Costa Rica)



Figure 8.2.3. Moniliose : nécrose des fèves et maturation prématurée des cabosses infectées (W Phillips-Mora et A Mora, CATIE, Costa Rica)

8.3 *Phytophthora* spp.

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

¹CIRAD, UPR Bioagresseurs, F-34398 Montpellier, France.

Bioagresseurs, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France. c/o Cocoa Research Centre, University of the West Indies, St Augustine, TRINIDAD & TOBAGO. Email: tenhoopen@cirad.fr

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

³CRC, University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad and 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.) 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 mycelium 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 tigelles des plantules (Fig 8.3.3).
- L'infection du coussinet floral.
- L'infection des racines.

8.3.4 Distribution géographique

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* connue originaire d'Afrique. Elle est présente au Gabon, à São Tomé et Príncipe, à 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. *P. tropicalis*/*P. capsici* est retrouvée aux Amériques, dans les Caraïbes, en Asie et en Afrique (par ex. Brésil, République dominicaine, El Salvador, Guatemala, Inde, Jamaïque, Mexique, Trinidad, Venezuela, Cameroun), 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 au Cameroun.

8.3.5 Biologie

L'activité de *Phytophthora* spp. est fortement liée aux conditions humides, bien que le sol serve de réservoir permanent et soit la source la plus fréquente d'inoculum primaire. L'infection de parties végétatives 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 de la plante mentionnées ci-après 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 inoculum 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 peuvent être 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 Mefenoxam et de composé cuivré) avant leur distribution.

Plantes entière 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. Aucune collecte ne doit être faite 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) (par ex., 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 au sommet des 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 création de route et les randonnées pédestres.

NB: Comme *P. megakarya* est plus agressif et cause des pertes de rendement plus importantes que *P. palmivora* (Appiah 2001), il faut rester spécialement 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 ravageur lors du commerce et du transport:

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

8.3.7 Références

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, Despréaux D. 1999. Diversity of *Phytophthora megakarya* in Central and West Africa revealed by isozyme and RAPD markers. *Mycological Research* 103:1225-1234.
- Opoku IY, Akrofi AY, Appiah AA. 2002. Shade trees are alternative hosts of the cocoa pathogen *Phytophthora megakarya*. *Crop Protection* 21: 629-634.
- 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.
- 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* Eds. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 213-266.
- 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)



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



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

8.4 Vascular streak dieback (VSD)

Mise à jour : Julie Flood

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

Synonyme: *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, sous forme d'un tapis blanc, plat et velouté sur la cicatrice de la feuille et l'écorce adjacente. La présence de ces basidiocarpes 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). Il est remarquable de pouvoir trouver tous les symptômes sur le même génotype, voire sur la même branche. McMahon et Purwantara (2016) suggèrent plus loin que la nécrose foliaire et le brunissement du xylème observé dans le cacaoyer infecté par le VSD ces derniers temps, pourraient être dus à une réponse de résistance augmentée mais ils ont aussi suggéré que les symptômes nécrotiques pourraient être associés à une carence en nutriments essentiels, comme le potassium (K), touchant la canopée. Abdoellah (2009) a conduit une analyse de nutriments des feuilles sur des feuilles infectées et non infectées à l'Est de Java et les résultats ont indiqué que les feuilles infectées avaient une concentration K (en moyenne) plus faible de 20 % associée à l'apparition d'une accumulation de Ca et Mg. De même, au Sulawesi, des concentrations de K considérablement plus faibles ont été détectées dans des feuilles infectées (environ 60 % de la concentration des feuilles saines). Cependant, des baisses semblables de K ont été trouvées sur des plantes montrant des symptômes nécrotiques et chlorotiques plus habituels, ce qui

demande d'approfondir ce travail pour clarifier le rôle du K. L'autre hypothèse possible expliquant les variations des symptômes au champ serait qu'elles soient associées au changement climatique comme l'augmentation des températures ou des niveaux de CO₂ (McMahon et Purwantara 2016). En outre, la production de protéines induites par l'éthylène (NEP) pourrait aussi être impliquée dans l'interaction au VSD, comme c'est le cas pour d'autres moisissures basidiomycètes attaquant le cacaoyer telles *Moniliophthora perniciosa* (d'Oliveira et al. 2012). Il semble peu évident qu'une souche alternative du pathogène soit responsable des symptômes nécrotiques (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 et de l'ouest de Java, à Sumatra, à Kalimantan, aux Moluques et dans les nouvelles grandes zones cacaoyères du 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 est décrit uniquement sur le cacaoyer, donc sa distribution géographique reflète généralement celle du cacaoyer en Asie du Sud et du Sud-Est et en Mélanésie. Sa limite naturelle la plus orientale est probablement la Nouvelle-Bretagne (Papouasie-Nouvelle-Guinée) et sa découverte en Nouvelle-Irlande est certainement due à une infraction de quarantaine. Auparavant, l'introduction de la maladie en Nouvelle-Irlande avait été évitée grâce à des procédures de quarantaine rigoureuses pour les mouvements officiels de matériel génétique de cacaoyer et par une campagne de sensibilisation aux risques liés aux mouvements "officiels" de matériel génétique de cacaoyer dans les ports et les aéroports. Son introduction s'est probablement effectuée par un transport "officiel" de matériel de cacaoyer entre la Nouvelle-Bretagne et la Nouvelle-Irlande. La Nouvelle-Irlande se situe à 70 km à l'est du secteur de production de la péninsule de la Gazelle en Nouvelle-Bretagne, gravement infestée depuis de nombreuses années. La maladie n'est pas répertoriée à Manus ou dans le nord des Iles 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 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 ou dans le Nouveau Monde.

8.4.4 Hôtes alternatifs

Avocatier.

8.4.5 Biologie

La formation de basides et la libération de basidiospores se produit principalement la nuit après que les basidiocarpes (fructifications fongiques) 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 au 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. Elles 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 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. 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 feuilles jeunes 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 : cela 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.

8.4.6 Mesures de quarantaine

Voici une liste des parties végétales susceptibles d'être porteuses du champignon lors de leur commerce/transport :

- Fruits (cabosses) : Hyphes ; à l'intérieur ; invisibles.
- Feuilles : Hyphes ; à l'intérieur ; visibles à l'œil nu.
- Racines : Hyphes ; à l'intérieur ; invisibles.
- Tiges (aériennes)/tiges/troncs/branches : Hyphes, organes de fructification ; à l'intérieur ; à l'extérieur ; visibles à l'œil nu.

Parties végétales non connues pour être porteuses du champignon 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 culturelles, 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. En PNG, des clones de Trinitario comme KA2-101 ont montré une résistance durable depuis les années 1960. Des

génotypes locaux dotés d'une résistance élevée au VSD ou ayant des attributs de bonne qualité ont été sélectionnés et évalués comme des clones dans les champs des agriculteurs avec des résultats prometteurs (McMahon et al. 2010). Récemment, un travail en Inde a suggéré que la résistance à la maladie du VSD soit fortement héritable et contrôlé par plusieurs gènes (Minimol et al. 2016).

En outre, Rosmana et al. (2015) ont rapporté certains succès en utilisant des isolats de *Trichoderma Asperellum* pour contrôler la maladie du VSD sur le cacaoyer. De même, Vanhove et al. (2016) ont rapporté des infections de VSD significativement plus faibles sur des plantes traitées avec des agents bactériens éliciteurs mais ces auteurs ont rapporté que *T. asperellum* ne montre pas de potentiel comme éliciteur de la résistance systémique dans leurs travaux.

8.4.7 Références

- 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.
- Anderson RD. 1989. Avocado, an alternate host for *Oncobasidium theobromae*. Australasian Plant Pathology 18:96-97.
- 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.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2005. PQR database (version 4.4). Disponible à l'URL; <http://www.eppo.org/DATABASES/pqr/pqr.htm>.
- Frison EA, Feliu E (Editors). 1989. FAO/IBPGR technical guidelines for the safe movement of cocoa germplasm. FAO/IBPGR 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.
- Holderness M. 1990. Control of vascular-streak dieback of cocoa with triazole fungicides and the problem of phytotoxicity. Plant Pathology 39:286-293.
- Jayawardena MPGS, 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.
- 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.
- 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.
- 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*. *Phytophthology* 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.
- 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, Meinhart LW, editors. *Cacao Diseases: a History of Old Enemies and New Encounters*. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 307-335.
- Minimol JS, Suma B, Mahiya Ummer, Jayasree PA. 2016. Parental contribution analysis in hybrids bred for vascular streak dieback (VSD) disease resistance in cocoa. *Journal of Plantation Crops* 44: 2.
- 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.
- 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.
- Prior C. 1979. Resistance of cocoa to vascular-streak dieback disease. *Annals of Applied Biology* 92:369-376.
- 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.
- 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.
- Prior C. 1987. Chemical control of vascular-streak dieback disease of cocoa in Papua New Guinea. *Plant Pathology* 36:355-360.
- 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 and Asman, A. 2015. *Tropical Plant Pathology* 40: 19. <https://doi.org/10.1007/s40858-015-0004-1>
- 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

- 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.
- 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.
- 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.

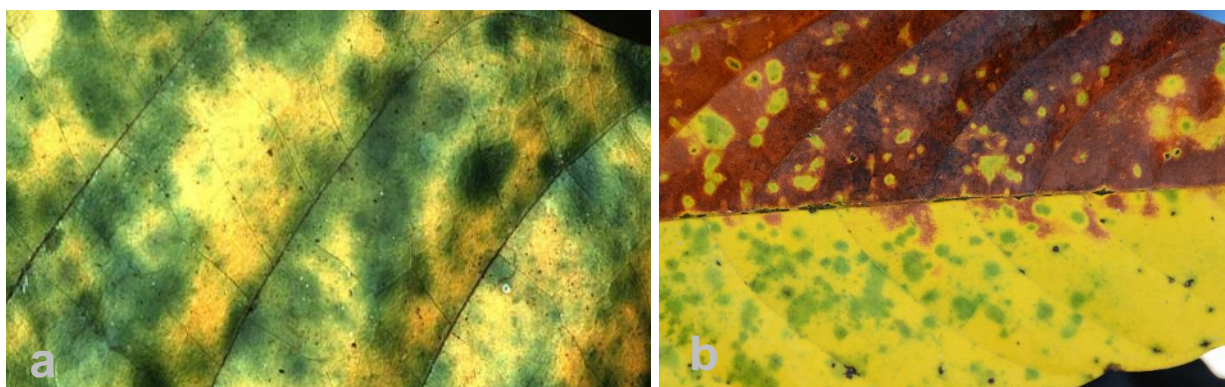


Figure 8.4.1. a) VSD: chlorose foliaire (M Holderness, CABI) et b) Feuille nécrosée et zones éparses de tissu vert (AJ Daymond, Université de Reading)



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)

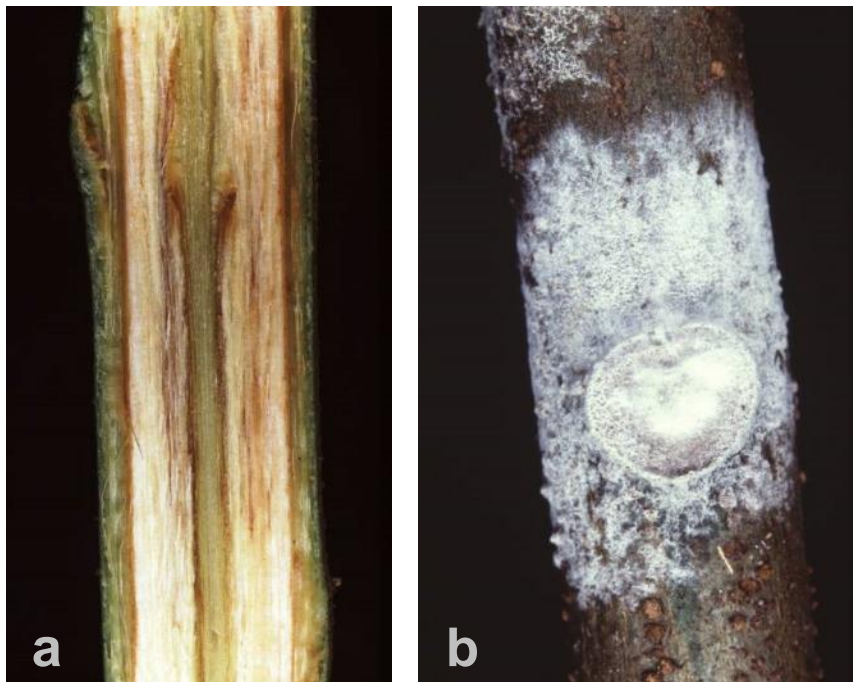


Figure 8.4.3. a) VSD: stries brunes dans du bois infecté (CABI) et b) basidiocarpe, sous forme d'un tapis blanc, plat et velouté sur la cicatrice de la feuille (CABI)

8.5 Verticilliose du cacaoyer

Mário Lúcio Vilela de Resende, Adriano Augusto de Paiva Custódio et Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros

Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, CEP 37200-000, Brésil

Email: mlucio@ufla.br

8.5.1 Agent causal

Verticillium dahliae Klebahn

8.5.2 Symptômes

Il existe plus de 200 espèces principales de dicotylédones, dont des plantes annuelles herbacées, pérennes et forestières, qui sont les hôtes des verticillioses (Agrios 2005). Les symptômes généraux 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, Schnathorst et Mathre (1966) ont décrit des pathotypes de *V. dahliae* défoliant ou non défoliant, mais d'autres auteurs (Bell 1973, Ashworth Jr 1983) ont suggéré un continuum de symptômes lié à l'agressivité relative parmi les souches de *V. dahliae*, plutôt que l'existence de pathotypes distincts. 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 (Resende 1994). 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 et Santo 2001).

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 (Subbarao et al. 1995). *Verticillium dahliae* et *V. albo-atrum* sévissent dans les régions tempérées et subtropicales, mais sont moins destructeurs sous les tropiques. Par déduction de sa distribution géographique, *V. dahliae* semble être favorisé par des températures plus élevées que *V. albo-atrum* (Fradin et Thomma 2006, Resende 1994). *Verticillium dahliae* est plus destructeur dans des climats plus chauds tandis que *V. albo-atrum* sévit sur les espèces cultivées dans des latitudes nordiques avec des climats humides. Des attaques sévères, après des conditions particulièrement sèches ou d'engorgement, peuvent causer la mort d'un cacaoyer apparemment sain et vigoureux la semaine précédente (Resende 1994).

Au Brésil, la verticilliose est un grave problème dans les États de Bahia et d'Espírito Santo (Resende et al. 1995, Agriannual 2009). Cette maladie, plus commune dans des régions soumises à des précipitations insuffisantes, cause jusqu'à 10 % de mortalité annuelle sur des cacaoyers en zones non ombragées (Almeida et al. 1989).

La verticilliose fait partie des maladies graves du cacaoyer en Ouganda causant jusqu'à 30 % de perte de rendement (Emechebe et al. 1971). Sa présence ancienne dans ce pays pourrait expliquer pourquoi le cacao n'est pas devenu une culture d'importance en Ouganda (Leakey 1965, Resende et al. 1995, Sekamate et Okwakol 2007). La verticilliose a récemment été rapportée de la Province du Nord Kivu en République démocratique du Congo, très probablement suite à une diffusion depuis l'Ouganda. *Verticillium dahliae* a aussi été trouvé sur le cacaoyer en Colombie (Granada 1989, Resende et al. 1995).

8.5.4 Hôtes alternatifs

Le coton et de nombreuses espèces dicotylédones.

8.5.5 Biologie

Verticillium dahliae Kleb. est un champignon colonisant les racines avec un cycle de vie nécrotrophique. Cette forme anamorphe d'ascomycète, appartenant à la famille des Plectospharellaceae, classe des Sordariomycètes, est un agent causal

commun de maladies de dépérissement chez de nombreuses espèces cultivées (Domsch et al. 2007).

Le mycélium végétatif de *V. dahliae* est hyalin, habituellement ramifié, septé et multinucléé (Fig. 8.5.2A). Les conidiophores sont érigés, portant les spires de phialides divergentes en forme d'alêne mince. Les conidies sont ellipsoïdes à ovoïdes (Fig. 8.5.2A), de 15-50 (-100) µm de diamètre, hyalines, principalement unicellulaires, de 3-8 µm de long et sont produites sur de longues phialides positionnées en spirale autour du conidiophore verticillé (Resende 1994, Gomez-Alpizar 2001, Fradin et Thomma 2006). Les microsclérotos, qui sont les structures de latence, sont généralement observés.

Les deux espèces de *Verticillium*, *V. dahliae* Klebahn et *V. albo-atrum* Reinke et Berthold, sont très similaires. Taxonomiquement, *V. dahliae* se distingue de *V. albo-atrum* principalement par la présence de microsclérotos (Fig. 8.5.2C) comme structures de latence pouvant résister aux conditions environnementales défavorables jusqu'à 13 ans (Schnathorst 1981, Resende 1994). Les températures semblant favoriser *V. dahliae* sont de 25 - 28°C ; elles sont de 20 - 25°C pour *V. albo-atrum* de (Resende 1994). *V. dahliae* induit une maladie monocyclique, ce qui signifie qu'un seul cycle de maladie et de production d'inoculum se produit pendant une période de pousse. *Verticillium albo-atrum* peut, au contraire, produire des conidies sur les tissus végétaux infectés, transmises par voie aérienne et propageant la maladie. Les maladies causées par *V. albo-atrum* peuvent donc parfois être polycycliques (Fradin et Thomma 2006).

Comme la verticilliose est une maladie monocyclique, les taux d'inoculum de *V. dahliae* dans le sol (microsclérotos par g de sol) à la plantation jouent un rôle essentiel dans le développement du flétrissement chez de nombreuses espèces cultivées (Xiao et Subbarao 1998, 2000). De nombreux genres et espèces sont colonisés par *V. dahliae*, y compris des membres des familles Malvaceae, comme le cacaoyer et le coton, les Solanaceae, les Compositae, les Convolvulaceae, les Papilionaceae, les Labiatae et les Chenopodiaceae (Resende et al. 1994).

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 microsclérotos 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 microsclérotos sont produites (Fig. 8.5.2 B et 8.5.2 C).

8.5.6 Mesures de quarantaine

Des efforts doivent être faits pour empêcher l'introduction du pathogène dans les principales régions productrices de cacao. Il est nécessaire d'appliquer des restrictions aux mouvements de matériel génétique dans les secteurs où la maladie est absente et de collecter des baguettes de greffage dans des secteurs indemnes. Si le matériel végétal provient de zones infectées, il doit être placé dans une station de quarantaine, aux fins d'observation et d'analyses puisque le champignon peut rester latent à l'intérieur des tissus végétaux. Des symptômes de décoloration vasculaire sont souvent observés. L'absence du pathogène doit être confirmée par l'isolement direct dans un milieu gélatinifié alcoolisé avant l'envoi (Freitas et Mendes 2005). *Verticillium dahliae* peut être isolé à partir du xylème de racines, de tiges, de branches, de branchettes, de feuilles voire de graines. Les travaux récents de détection des deux espèces de *Verticillium* ont principalement porté sur l'utilisation de sondes d'hybridation d'ADN. Un test ELISA sur *V. albo-atrum* est utilisé en France pour évaluer des pélagoniums certifiés (CABI/EPPO).

Selon Pereira et al. (2008), la lutte contre cette maladie peut être effectuée par l'utilisation de la résistance génétique associée à des mesures culturales, comme l'utilisation de plantules saines, la destruction des résidus végétaux infectés, une fertilisation équilibrée, l'irrigation et l'application appropriée de fongicides systémiques, bien que l'utilisation de ces produits puisse être impraticable, puisque le champignon peut survivre dans les débris végétaux ou dans le sol, comme les microsclérotos. Une résistance génétique serait souhaitable mais aucun matériel doté d'un niveau de résistance satisfaisant n'est encore disponible, bien que le cv. POUND 7 se soit révélé partiellement résistant à la maladie à la suite de tests de "criblage".

L'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes (OEPP) recommande que le matériel de plantation provienne d'un champ où la verticilliose ne s'est pas déclarée durant les cinq dernières années et que les envois et leurs plantes mères se soient montrés indemnes de la maladie dans la dernière période de pousse. De telles mesures sont appropriées tant dans le cadre d'une

procédure de certification nationale que dans celui d'une certification phytosanitaire internationale (CABI/EPPO).

8.5.7 Références et lectures complémentaires

- Agriannual. 2009. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos. 500 pp.
- Agrios GN. 2005. Plant Pathology. 5th ed. London: Academic. 922 pp.
- Almeida OC, Almeida LCC, Figueiredo JM. 1989. Obtenção, em meio de cultura, de propágulos de *Verticillium dahliae* Kleb., causador da murcha de *Verticillium* em cacauero. *Agrotropica* 1:213-215.
- Ashworth LJ Jr. 1983. Aggressiveness of random and selected isolates of *Verticillium dahliae* from cotton and the quantitative relationship of internal inoculum to defoliation. *Phytopathology* 73:1292-1295.
- Bell AA. 1973. Nature of disease resistance. In: Proceedings of a Work Conference on *Verticillium* Wilt of Cotton, 1971. Texas: College Station. Publication ARS-S-19. Washington DC: United States Department of Agriculture. pp 47-62.
- CABI/EPPO. Data Sheets on Quarantine Pests: *Verticillium* spp. on hops. Disponible à l'URL: <http://www.eppo.int> Date accessed: 04 March 2009.
- Domsch KH, Gams W, Anderson T. 2007. Compendium of soil fungi. 2nd edition. IHW Verlag. Eching, Germany. 672 pp.
- Emechebe AM, Leakey CLA, Banage WB. 1971. *Verticillium* wilt of cacao in Uganda: Symptoms and establishment of pathogenicity. *Annals of Applied Biology* 69:223-7.
- Fradin EF, Thomma BPHJ. 2006. Physiology and molecular aspects of *Verticillium* wilt diseases caused by *V. dahliae* and *V. albo-atrum*. *Molecular Plant Pathology* 7:71 – 86.
- Freitas VM, Mendes MAS. 2005. Espécies de fungos exóticos para a cultura do cacau. Comunicado Técnico No. 124. EMBRAPA, Brasília, Brazil.
- Granada GG. 1989. Marchitez del cacao por *Verticillium dahliae*. *Cacaotero Colombiano* 12:17-28.
- Gómez-Alpízar L. 2001. *Verticillium dahliae*. PP-728 Pathogen Profiles (online). NC State University, 2001. Disponible à l'URL: <http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Verticillium/Vertifin.htm>. Date accessed: 2 March 2009.
- 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* 85:1189–1192.
- Leakey CLA. 1965. Sudden death disease of cocoa in Uganda associated with *Verticillium dahliae* Kleb. *East African Agriculture and Forestry Journal* 31:21-24.
- Pereira RB, Resende MLV, Ribeiro Jr PM, Amaral DR, Lucas GC, Cavalcanti FR. 2008. Ativação de defesa em cacauero contra a murcha-de-verticílio por extratos naturais e acibenzolar-S-metil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:171-178.
- Resende MLV. 1994. Vascular wilt of cocoa (*Theobroma cacao* L.), caused by *Verticillium dahliae* Kleb. studies on pathogenicity and resistance. PhD thesis, University of Bath, Bath, UK.
- Resende MLV, Flood J, Cooper RM. 1994. Host specialization of *Verticillium dahliae*, with emphasis on isolates from cocoa (*Theobroma cacao*). *Plant Pathology* 43:104-111.
- Resende MLV, 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* 44:374-383.

- Resende MLV, 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* 45:964-972.
- Schnathorst WC, Mathre DE. 1966. Host range and differentiation of a severe form of *Verticillium albo atrum* in cotton. *Phytopathology* 56:1155-1161.
- Schnathorst WC. 1981. Life cycle and epidemiology of *Verticillium*. In: Mace ME Bell AA, Beckman CH, editors. *Fungal Wilt Diseases of Plants*. Academic Press. New York, USA. pp. 113-144.
- Sekamate MB, Okwakol MJN. 2007. The present knowledge on soil pests and pathogens in Uganda. *African Journal of Ecology* 45:9-19.
- Subbarao KV, Chassot A, Gordon TR, Hubbard JC, Bonello P, Mullin R, Okamoto D, Davis RM, Koike, ST. 1995. Genetic relationships and cross pathogenicities of *Verticillium dahliae* isolates from cauliflower and other crops. *Phytopathology* 85:1105-1112.
- Talboys PW. 1968. Water deficits in vascular diseases. In: Kozlowski TT, editor. *Plant Water Consumption and Response*, Vol. 2. Academic Press, New York. pp. 255-311.
- Tzeng DD, DeVay JE. 1985. Physiological responses of *Gossypium hirsutum* L. to infection by defoliating and non-defoliating pathotypes of *Verticillium dahliae* Kleb. *Physiological Plant Pathology* 26:57-72.
- Veronese P, Narasimhan ML, Stevenson RA, Zhu JK, Weller SC, Subbarao KV, Bressan RA. 2003. Identification of a locus controlling *Verticillium* disease symptom response in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal* 35:574-587.
- Xiao CL, Subbarao KV. 1998. Relationships between *Verticillium dahliae* inoculum density and wilt incidence, severity, and growth of cauliflower. *Phytopathology* 88:1108-1115.
- Xiao CL, Subbarao KV. 2000. Effects of irrigation and *Verticillium dahliae* on cauliflower root and shoot growth dynamics. *Phytopathology* 90:995-1004.

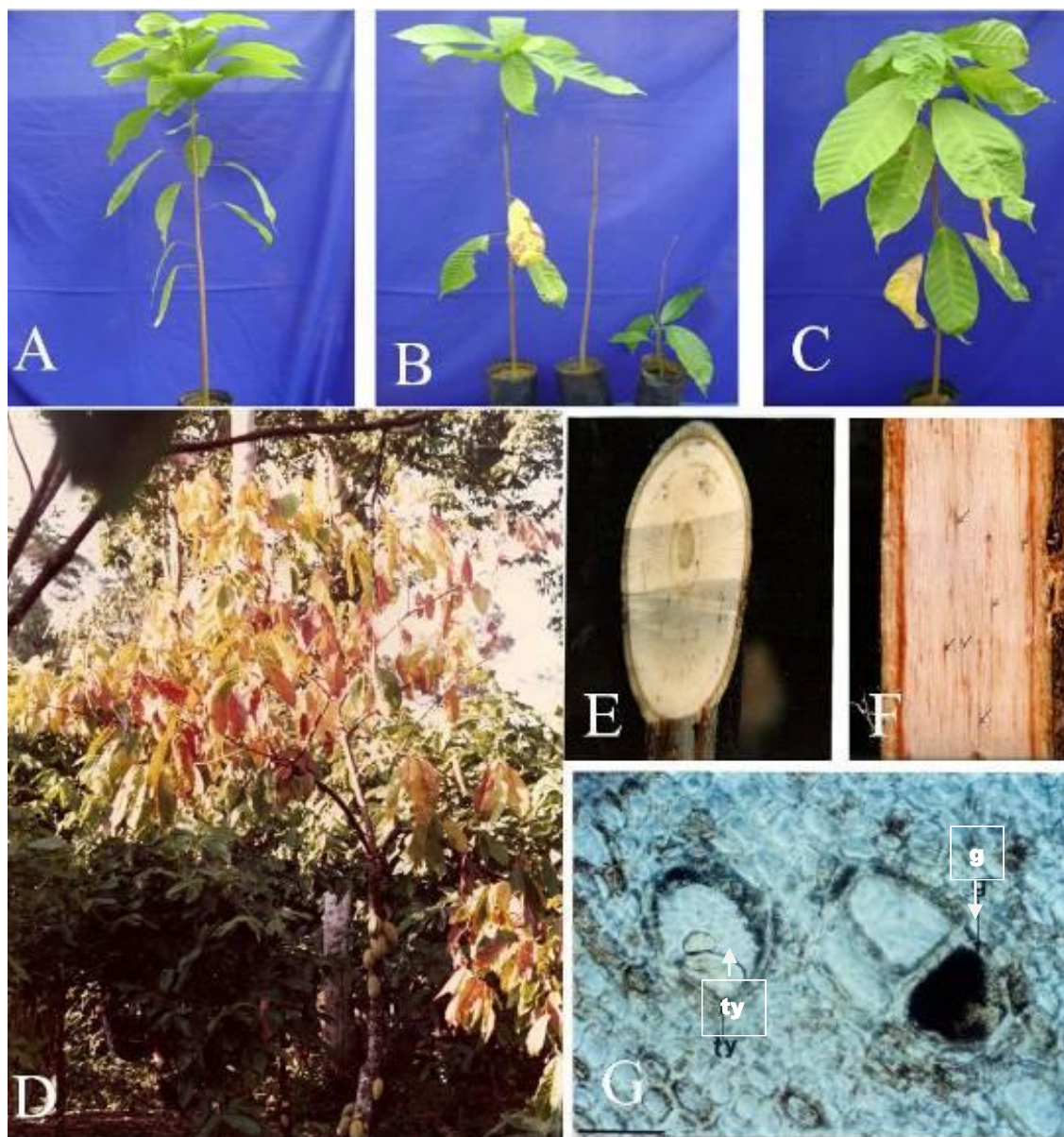


Figure 8.5.1. Symptômes externes (A-D) et internes (E-G) des interactions *Verticillium dahliae* – cacaoyer (MLV Resende, Univ. Federal de Lavras, Brésil):

- A Epinastie (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).

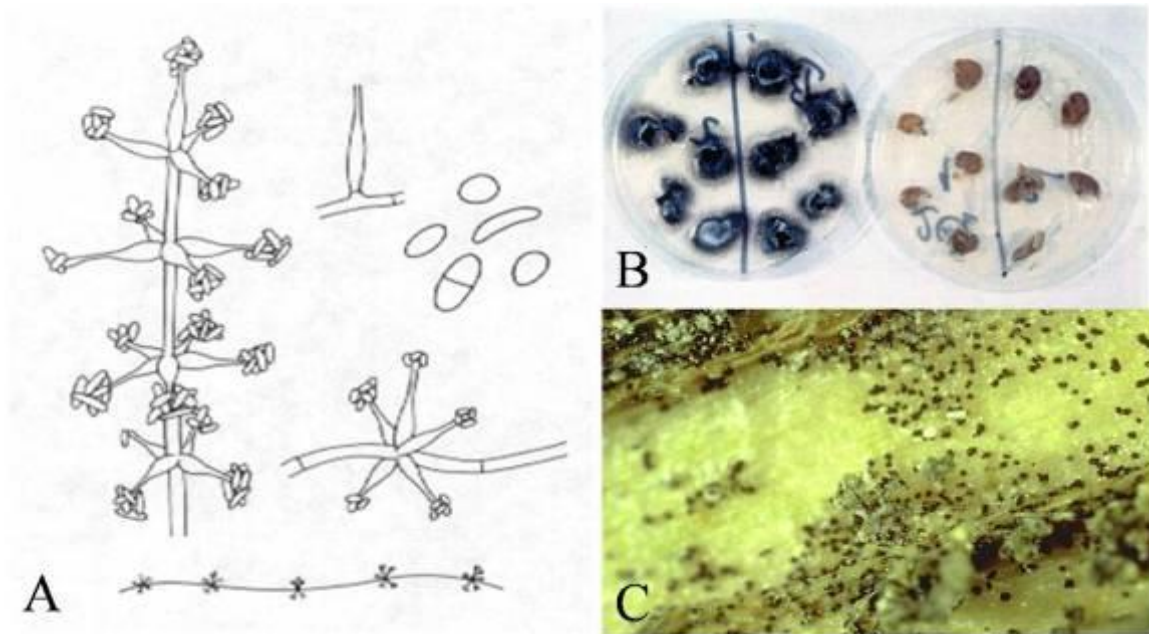


Figure 8.5.2. Cycle biologique de *Verticillium dahliae* :

A Représentation d'hyphes, conidiophores et conidies de *Verticillium* spp. (Gómez-Alpízar 2001)

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

C Microsclérotos dans une tige de coton infectée (Gómez-Alpízar 2001).

8.6 Flétrissement à *Ceratocystis* ou Mal de machete

Carmen Suárez-Capello

Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Quevedo, Equateur,

Email: csuarez@uteq.edu.ec

8.6.1 Agent causal

Ceratocystis cacaofunesta

Le flétrissement à *Ceratocystis* ou Mal de machete est causé par une forme de *Ceratocystis fimbriata*, spécialisée au cacaoyer, dénommée désormais *C. cacaofunesta* (Engelbrecht et Harrington 2005).

Ceratocystis cacaofunesta est un pathogène important du cacaoyer (*Theobroma cacao*) lié à *Herrania* spp., causant le flétrissement et la mort des arbres infectés. 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 au Compendium CABI 'Crop Protection' de CJ Baker et TC Harrington, CABI Publishing, mis à jour en 2001 (CAB International 2001).

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 et un flétrissement lent de la partie de la branche ou de l'arbre infectée, qui brunit progressivement. 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 ou l'arbre (Fig. 8.6.1). Les scolytes à ambrosia du genre *Xyleborus* sont attirés par les arbres malades et forent dans les branches ou la tige principale (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, premier signe positif du Mal de machete (Fig. 8.6.2). Il est fréquent de repérer les déjections avant même le jaunissement visible de l'arbre.

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).

8.6.4 Distribution géographique

Le flétrissement du cacaoyer par *Ceratocystis* (comme *Ceratocystis fimbriata* Ellis et Halstead) a été décelé à l'origine sur le cacaoyer en Équateur occidental en 1918 (Rorer 1918). Il a été rapporté en Colombie après 1940, au Venezuela en 1958 (Thorold 1975), au Costa Rica en 1958 (Thorold 1975) et également en 1958 à Trinidad (Spence et Moll 1958). Les rapports concernant la maladie s'étendent du Guatemala (Schieber et Sosa 1960) et de l'Amérique centrale au nord de l'Amérique du Sud, y compris l'Amazonie péruvienne (Soberanis et al. 1999), l'Équateur, la Colombie et le Venezuela (Thorold 1975). Au Brésil, la maladie a été repérée dans le sud-ouest de l'Amazonie (Rondônia) en 1978 (Bastos et Evans 1978) et plus récemment à Bahia (Bezerra 1997), qui est à l'extérieur de l'aire d'origine de *T. cacao*. La maladie serait aussi présente en Guyane française (M. Ducamp, com. pers.).

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 (Englebrecht et al. 2007). Englebrecht et Harrington (2005) différencient l'espèce *C. cacaofunesta* par sa pathogénicité sur le cacaoyer et la localisent en Equateur occidental, au Brésil, au Costa Rica, et en Colombie. Cette différenciation explique certainement la variation de l'agressivité observée en inoculations artificielles (C Suárez-Capello, observation personnelle).

8.6.5 Biologie

En général, *C. cacaofunesta* s'introduit dans les plants de cacaoyer par des blessures récentes, comme lors de l'émondage ou des blessures de récolte des cabosses (Malaguti 1952) et se déplace dans l'hôte via le xylème secondaire. Les scolytes à ambrosia du genre *Xyleborus* attaquent souvent le bois d'arbres infectés (Saunders 1965), d'abord attirés par l'odeur forte de banane que le champignon dégage. Les déjections qui sont poussées à l'extérieur de la tige ou de la branche quand les scolytes creusent leurs galeries, contiennent un inoculum viable du champignon (comme spores asexuées; conidia et aleurioconidies à parois épaisses) (Iton et Conway 1961) et peuvent faciliter sa diffusion par le vent ou les éclaboussures) vers les blessures d'autres arbres (Iton 1960). Les lames des machettes sont un autre moyen efficace de propagation du champignon (Malaguti 1952).

Le champignon se déplace dans le xylème, se concentrant souvent dans les faisceaux vasculaires, les teintant profondément partout où il croît. Il se déplace systémiquement et lentement dans la plante comme un champignon de flétrissement vasculaire, mais il tue plus aisément le tissu parenchymateux. 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 un 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.

Le champignon sporule abondamment sur les surfaces de coupe de branches malades. Ces tapis de spores produisent des périthèces (organes de fructification) (Fig. 8.6.3) qui exsudent des masses de spores gluantes qui seront dispersés par les insectes. Ces tapis se caractérisent par une odeur de banane qui attire les scolytes qui s'en nourrissent, devenant ainsi vecteurs extérieurs en plus de faciliter la dissémination du champignon dans le tissu de cacaoyer par leurs galeries.

Les arbres infectés le sont sévèrement à leur base, peut-être à cause de blessures infectées près du niveau du sol. Les spores dans les déjections dispersées par le vent ou les spores véhiculées par les insectes se nourrissant du champignon peuvent infecter des blessures récentes. Le terme 'Mal de machete' vient de l'association de telles infections avec les blessures provoquées par une machette.

8.6.6 Quarantaine

Le mycélium du champignon est aussi infectieux que les spores (tant les conidies que les ascospores) ; ces dernières germent aisément sur l'eau sans dormance; après pénétration, le mycélium croît de manière importante dans les tissus de cacao bien avant qu'un quelconque symptôme ne soit visible.

Les parties végétatives susceptibles de propager le parasite lors de leur commerce/transport sont les suivantes:

- Racines : Hyphes ; installées intérieurement; invisibles
- Tiges (en surface)/pousses/troncs/branches : Hyphes, organes de fructification ; portés intérieurement et extérieurement ; visibles à l'œil nu.

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

- Graines.

Donc, les boutures infestées de *T.cacao* sont les moyens les plus probables, voire les seuls, par lesquels *C. cacaofunesta* peut se propager à de nouveaux secteurs. En conséquence, le transport de plantes entières ou de boutures provenant de secteurs où *C. cacaofunesta* est présent doit être évité et les baguettes de greffage collectées, si possible, seulement dans des zones indemnes du champignon. Les baguettes de greffage provenant de zones où la maladie est présente doivent être envoyées et maintenues dans une station de quarantaine intermédiaire dans un secteur indemne et greffées sur des porte-greffes de matériel résistant, de préférence cultivé dans un secteur indemne. Comme pour d'autres maladies du xylème, le greffon doit être maintenu pendant plusieurs poussées de croissance successives pour confirmer qu'il est indemne de *C. cacaofunesta*. On recommande de traiter les boutures à la fois par un fongicide et un insecticide.

8.6.7 Références

- Bastos CN, Evans HC. 1978. Ocorrência de *Ceratocystis fimbriata* Ell & Halst. na Amazônia Brasileira. Acta Amazonica 8:543-4.
- Bezerra JL. 1997. *Ceratocystis fimbriata* causing death of budded cocoa seedlings in Bahia, Brazil. Incoped Newsletter 1:6.

- CAB International. 2001. *Ceratocystis fimbriata* [original text Crop protection prepared by CJ Baker and TC Harrington]. In: Crop Protection Compendium. CAB International. Wallingford.
- Engelbrecht CJB, Harrington TC. 2005. Intersterility, morphology and taxonomy of *Ceratocystis fimbriata* on sweet potato, cacao and sycamore. *Mycologia* 97:57–69.
- 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* 25:262–3.
- 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.
- Malaguti G. 1952. *Ceratostomella fimbriata* en el cacao de Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 3:94–97.
- Rorer JB. 1918. Enfermedades y plagas del cacao en el Ecuador y métodos modernos apropiados al cultivo del cacao. Asociación de Agricultores. Guayaquil, Ecuador.
- 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.
- 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.
- 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 Un jeune arbre infecté montrant un feuillage mou et brun (C. Suárez-Capello, UTEQ, Equateur)



Figure 8.6.2 Les abondantes déjections des scolytes à ambrosia se déposent à la base de l'arbre infecté (C. Suárez-Capello, UTEQ, Equateur)

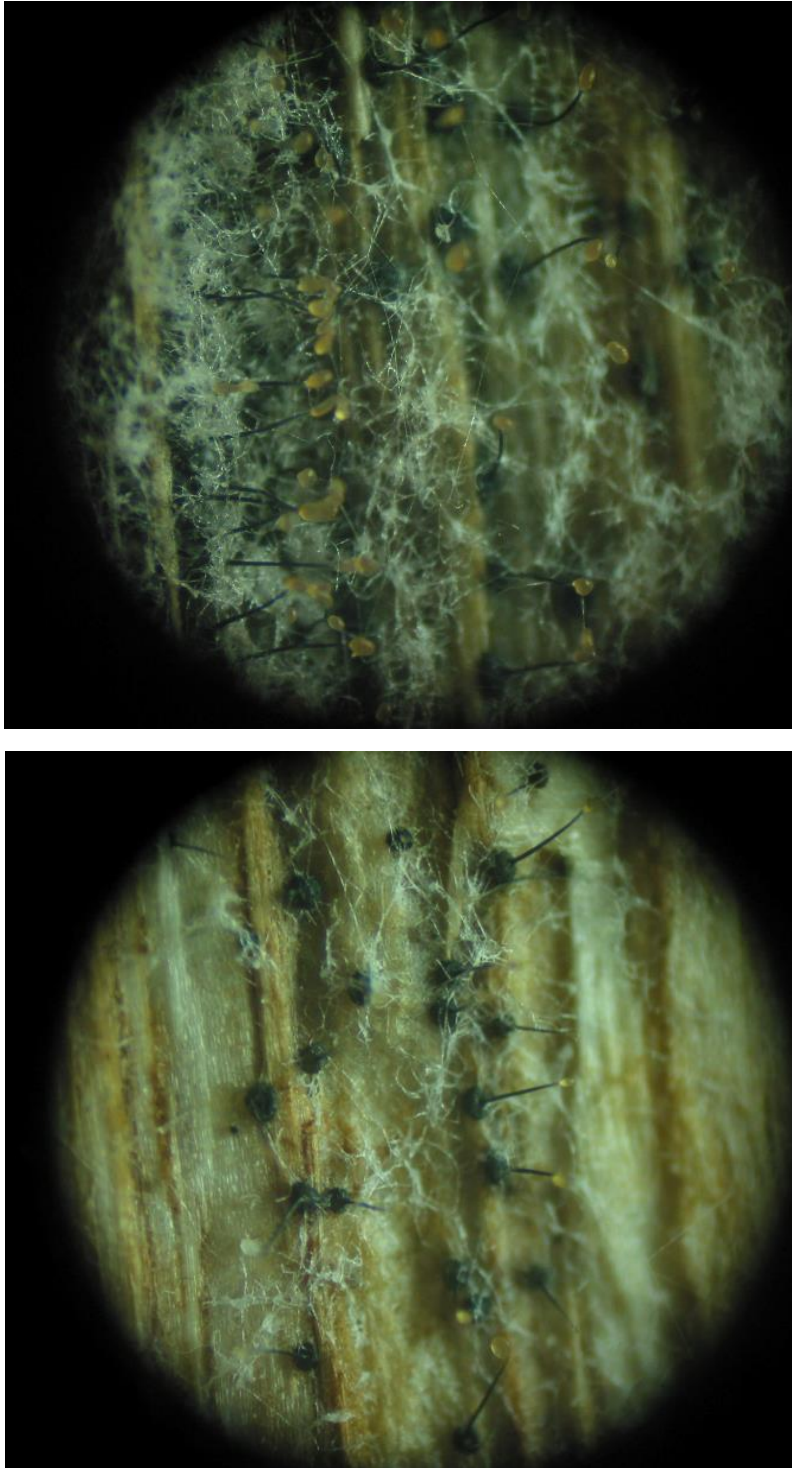


Figure 8.6.3 Perithèce de *Ceratocystis cacaofunesta* croissant sur le xylème de branches de cacaoyer inoculées avec le pathogène (C. Suárez-Capello, UTEQ, Equateur)

8.7 Pourridié à *Rosellinia*

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, UPR Bioagresseurs, F-34398 Montpellier, France.

Bioagresseurs, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France. c/o Cocoa Research Centre, University of the West Indies, St Augustine, TRINIDAD & TOBAGO

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 ne ressemblant pas à 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. 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, des différences existent en ce qui concerne 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. 8.7.1). *Rosellinia bunodes* montre des filaments branchus noirs fermement attachés aux racines qui peuvent s'épaissir en nœuds irréguliers (Fig. 8.7.2). *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).

En Amérique latine, 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/fungaldatabases/> 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. et *Erythrina* spp. (Waterston 1941, Saccas 1956, Booth et Holliday 1972, Sivanesan et Holliday 1972, Aranzazu et al. 1999, Ten Hoopen et Krauss 2006).

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 (Fig. 8.7.4) 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) et 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 sont présentes, il n'est pas rare que toutes les deux infectent un arbre en même temps.

8.7.6 Mesures de quarantaine

Les parties végétales suivantes sont susceptibles de véhiculer la maladie :

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

Parties végétales peu susceptibles de véhiculer la maladie :

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

Les plantes entières ou des parties de plantes ne doivent pas être envoyées à partir de zones infestées par *Rosellinia*. Lorsque du matériel clonal est exigé, il 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. Etoiles 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.
- Holliday P. 1980. *Fungus diseases of tropical crops*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 607pp.
- 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. Biol. Cont. 27:210-227.
- 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.
- Ten Hoopen GM, Krauss U. 2006. Biologie and control of *Rosellinia bunodes*, *Rosellinia necatrix* and *Rosellinia pepo*: a review. Crop Protection 25:89-107.
- Waterston JM. 1941. Observations on the parasitism of *Rosellinia pepo* Pat. Tropical Agriculture 18:174-184.

9. Insectes ravageurs

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.

Les principaux insectes ravageurs du cacaoyer sont le Foreur des cabosses (section 9.2), les mirides (sections 9.3 et 9.4) et les cochenilles (section 9.5). Cependant, 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 de quarantaine pour les insectes ravageurs

Une extrême prudence doit être apportée au mouvement de cabosses entières en raison du risque de présence de ravageurs et d'oeufs à la surface ou à l'intérieur des cabosses. Des précautions particulières sont nécessaires dans les zones infectées par le Foreur des cabosses (voir la section 9.2).

En transférant du matériel végétal tel que des baguettes de greffage, il faut veiller à les collecter 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.

9.1.1 References

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

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

9.2 Foreur des cabosses (« Cocoa Pod Borer », CPB)

Alias Awang et Kelvin Lamin

Malaysian Cocoa Board, Locked Bag 211, 88999 Kota Kinabalu, Sabah, Malaisie

Email: aliasawang@koko.gov.my

9.2.1 Agent causal

Conopomorpha cramerella (Snellen) (Lepidoptera: Gracillaridae).

9.2.2 Symptômes

Les cabosses immatures infestées montrent des taches jaunes avant la maturation (Fig. 9.2.1). 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 laissent des trous de sortie de 1-2 mm de diamètre dans les parois des cabosses (Fig. 9.2.2). Les fèves des cabosses infestées s'agrègent souvent et sont difficiles, voire impossibles, à extraire (Fig. 9.2.3). Les fèves peuvent commencer à germer dans la cabosse infestée quand elles sont presque mûres (Azhar 1986).

9.2.3 Distribution géographique

Ce ravageur est largement distribué à travers l'Asie du Sud-Est, dont la Malaisie, l'Indonésie, les Philippines et la Papouasie-Nouvelle-Guinée.



Figure 9.2.1. Jaunissement inégal de cabosses immatures dû à une infestation par le foreur des cabosses (A Alias, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.2. Trou de sortie d'une larve du foreur des cabosses dans une paroi de cabosse (A Alias, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.3. Fèves de cacao agrégées en une masse solide à cause du foreur des cabosses (A Alias, Malaysian Cocoa Board)

9.2.4 Plantes Hôtes

Les autres hôtes connus sont les fruits de *Nephelium lappaceum*, *N. mutabile*, *Euphoria malaiense* et *Pometia* spp. (Famille: Sapindaceae), *Cynometra cauliflora* (Famille: Leguminosae) et *Cola nitida* (Famille: Malvaceae). 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.

9.2.5 Biologie

Le cycle de vie du ravageur est illustré dans la Fig.9.2.4. Les femelles peuvent pondre de 40 à 100 œufs (maximum 300). Les œufs ovales, fortement aplatis et mesurant 0,6 mm de long, sont habituellement déposés séparément près des sillons sur la surface de la cabosse. L'éclosion des œufs se produit en à peu près trois jours, passant lors de leur maturation d'une couleur orange à presque translucide. Les larves nouvellement écloses forent immédiatement les parois des cabosses (Fig. 9.2.5). À l'intérieur de la cabosse, les larves s'alimentent pendant 14 à 21 jours de mucilage, de pulpe, de placenta et parfois des téguments des cotylédons. Une fois mures, elles forent la paroi de la cabosse (Fig. 9.2.6) et entament leur pupaison dans des cocons soyeux sur les feuilles, les cabosses ou dans les litières de feuilles séchées au sol (Fig. 9.2.7). Les pupes changent de couleur au cours de leur maturation passant de vert clair à gris sombre.

Les adultes, d'environ 5 mm de long avec une envergure de 13 mm, apparaissent après 6-8 jours de pupaison. Les ailes antérieures des adultes nouvellement apparus montrent une raie en zigzag blanche avec une tache jaune-orange à l'extrémité. Actifs la nuit, les adultes se reposent le jour en recroquevillant leurs ailes, leurs antennes et leurs pattes et en s'orientant en croix sur le dessous de branches horizontales. La longévité de l'adulte est normalement d'environ une semaine pouvant atteindre exceptionnellement 30 jours. Une génération s'accomplit généralement en 27-33 jours.

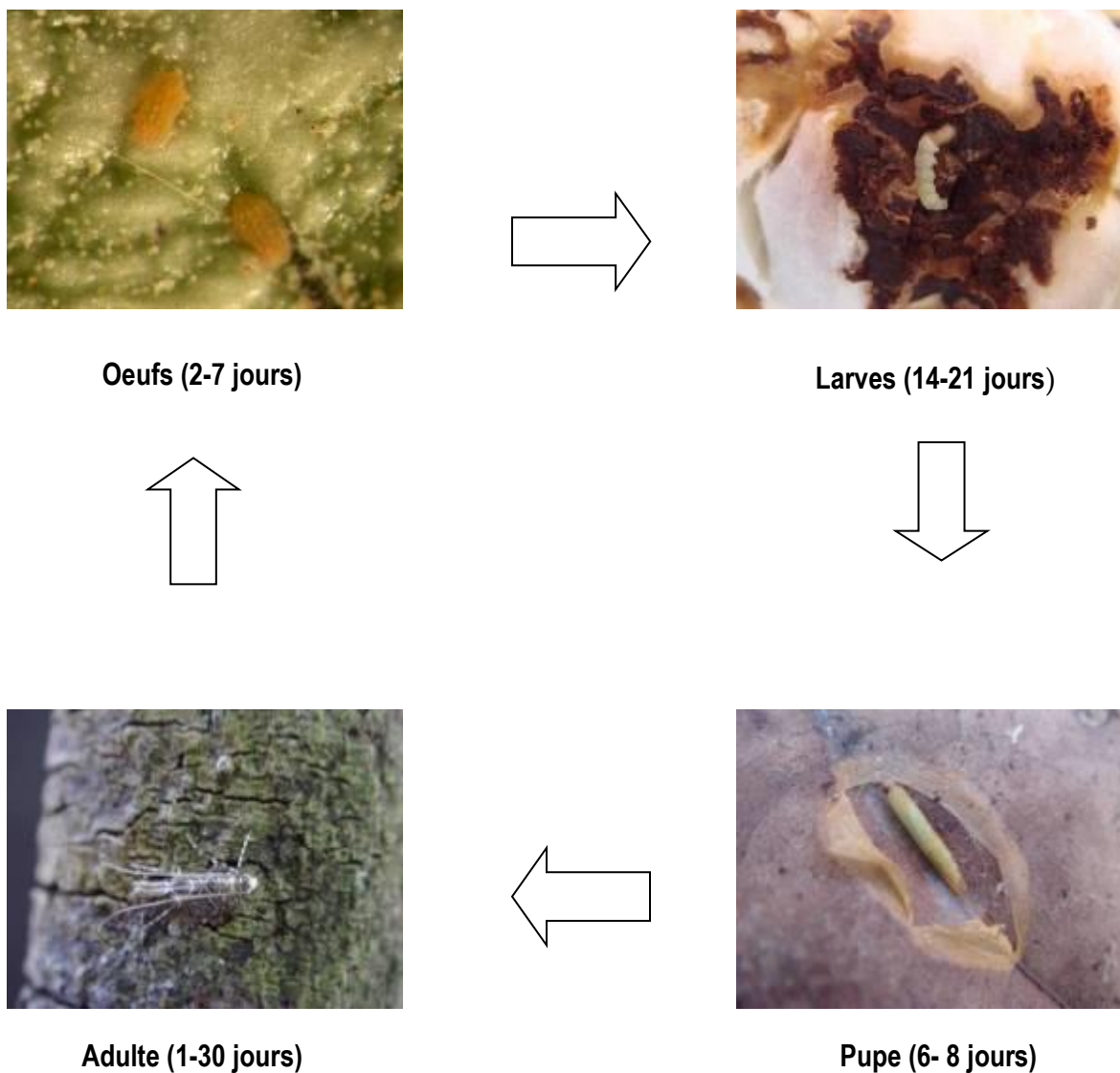


Figure 9.2.4. Cycle de vie et durée de vie des différents stades du foreur des cabosses (A Alias, Malaysian Cocoa Board)

9.2.6 Recommandations de quarantaine

Lors du transfert de graines :

1. Les cabosses entières non ouvertes ne doivent PAS être envoyées à partir d'une zone infestée.
2. Les graines doivent provenir de cabosses propres sans aucun signe d'insectes foreurs ou de champignon dans la cabosse.
3. Les fèves doivent être lavées dans 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.



Figure 9.2.5. Larve nouvellement éclosée de foreur des cabosses en train de forer son tunnel dans la paroi de la cabosse (A Alias, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.2.6. 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 9.2.7. Pupa de foreur des cabosses dans son cocon de soie sur feuille de la litière (A Alias, Malaysian Cocoa Board)

9.1.7 Références

Azhar I. 1986. A threat of cocoa pod borer (*Conopomorpha cramerella*) infestation to the Malaysian cocoa industry. 1. On the Biologie and damage. *Teknologi Koko-Kelapa MARDI* 2:53-60 (In Malay with English summary).

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.

9.3 Mirides (et autres hétéroptères suceurs de sève)

Colin Campbell

480 London Road, Ditton, Aylesford, Kent, ME20 6BZ, United Kingdom

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 (9.4) est incluse pour couvrir le moustique du cacaoyer (*Helopeltis theobromae*) particulièrement inquiétant en Asie du Sud-Est.

9.3.1 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, 4 sont des prédateurs et le statut des espèces restantes est inconnu (Bigger 2009). Environ sept espèces de *Monalonia* se nourrissent de tiges et

de fruits du cacaoyer en Amérique latine, ainsi que quelques genres moins connus. *Sahlbergella singularis* (Fig. 9.3.1) et *Distantiella theobroma* (Fig. 9.3.2) 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. 9.3.3 et Fig. 9.3.4) 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)

Monalonion est remplacée 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 est faible.

9.3.2 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 exposés 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 stade d'émerger la nuit, longtemps après, sans avoir été détectées.

9.3.3 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 se nourrissant de la culture (Bigger, 2009). La plupart d'entre eux sont des ravageurs mineurs, mais dans le contexte de l'export de matériel

végétal, deux espèces de Pentatomides méritent d'être soulignées. *Antiteuchus tripterus* 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* 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 oeufs déposés en paquet sur les tiges et les cabosses. A partir de là, ni les oeufs ni les stades actifs échapperont à une inspection visuelle du matériel d'exportation. De plus, les femelle de *A. tripterus* qui gardent activement leurs oeufs et les nymphes écloses récemment, les rendent encore plus évidents.

9.3.4 References

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. Disponible à l'URL: <http://www.incocoa.org/incoped/documents.php>

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



Figure 9.3.1. Adultes de *Sahlbergella singularis* (KF N'Guessan, CNRA)



Figure 9.3.2. Adultes de *Distantiella theobromae* (KF N'Guessan, CNRA)



Figure 9.3.3. Lésions dues aux Mirides (couleur sombre) sur des cabosses de cacaoyer (KF N'Guessan, CNRA)

Figure 9.3.4. Larves de Mirides sur tige de cacaoyer et lésions dues aux Mirides (couleur sombre) sur cabosse de cacaoyer (KF N'Guessan, CNRA)



9.4 Moustique du cacaoyer

Saripah Bakar, Alias Awang et Azhar Ismail

Malaysian Cocoa Board, 5th and 6th Floor, Wisma SEDCO, Locked Bag 211, 88999 Kota Kinabalu, Sabah, Malaisie

Email: aliasawang@koko.gov.my

9.4.1 Agent causal

Helopeltis theobromae (Miller) (Hemiptera: Miridae)

Synonyme commun *Helopeltis theivora* (Waterhouse) (Hemiptera: Miridae).

9.4.2 Symptômes

La nymphe et l'adulte d'*Helopeltis* infestent les jeunes tiges, (Fig. 9.4.1), les pédoncules et les cabosses de cacaoyer sur lesquels un unique insecte peut provoquer environ 25-35 lésions par jour. Les lésions récentes sont gorgées d'eau et de couleur vert foncé puis elles s'assombrissent et deviennent légèrement concaves. Les lésions anciennes restent sombres mais, en général, deviennent convexes (Fig. 9.4.2). L'infestation des tiges ne survient souvent qu'en cas de manque de cabosses ou comme source d'alimentation alternative (Alias 1983). L'infestation se reconnaît par des lésions noires et ovales, de 4 à 7mm de long. *Helopeltis* se nourrit du tissu parenchymateux de l'enveloppe de la cabosse, ce qui induit habituellement le flétrissement des cherelles. Les jeunes cabosses, particulièrement celles de moins de trois mois (Fig. 9.4.3), ont peu de chance de survivre (Wan Ibrahim 1983). Les dégâts causés par les Miridés peuvent permettre l'invasion de parasites (Fig. 9.4.4) ou d'organismes secondaires et les infestations sévères sur la cabosse de cacaoyer entraîneront son craquèlement. Les cabosses meurent en général à cause de l'infestation par *Helopeltis* lui-même ou par les infestations fongiques sur les lésions (Gerard 1968). En cas d'infestation très grave, les arbres semblent entièrement brûlés.

9.4.3 Distribution géographique

Ce ravageur est largement distribué à travers l'Asie du Sud-Est dont la Malaisie, l'Indonésie et la Papouasie-Nouvelle-Guinée.

9.4.4 Plantes hôtes

Les autres plantes hôtes d'*Helopeltis* sont le manguier, l'anacardier, le goyavier, *Acalypha* spp. et le cerisier du Japon (Khoo et al. 1991). *Helopeltis theivora* infeste aussi les plantations de théiers en Inde du Nord-Est comme l'a rapporté Sarmah (2009).



Figure 9.4.1. Infestation par *Helopeltis* sur jeune tige (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.4.2. Lésions noires anciennes sur cabosse (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.4.3. Infestation par *Helopeltis* sur chérelle (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.4.4. Infestation par un ravageur secondaire (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)

9.4.5 Biologie

Le cycle de vie d'*Helopeltis* dure entre 21 et 35 jours. 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. 9.4.5) au vert sombre en devenant adulte. Les nymphes sont plus petites et n'ont pas d'ailes. Les adultes ont environ 5-10 mm de long (Fig. 9.4.6).



Figure 9.4.5. Nymphe d'*Helopeltis* vert clair (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)



Figure 9.4.6. Adulte d'*Helopeltis*, d'environ 5,5 mm de long (B Saripah, Malaysian Cocoa Board)

9.4.6 Mesures de Quarantaine

Le transport de cabosses provenant de régions infestées par *Helopeltis* n'est pas recommandé 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.

9.4.6 Références

- 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.
- 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). PTIchtiar Baru-Van Hove, 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.
- 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.
- Wan Ibrahim A. 1983. *Helopeltis* - Biology, ecology and control. MAPPS: Advances in Cocoa Plant Protection in Malaysia:16-18.

9.5 Cochenilles et autres insectes

Colin Campbell

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

9.5.1 Cochenilles

A de rares exceptions (telles *Planococcus lilacinus* 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 21 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 2009). 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.

9.5.1.1 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*, *Planococcus citri* et *Pseudococcus longispinus*) 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.

9.5.1.2 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 nymphes sont donc vectrices de virus. La plupart des espèces déposent leurs œufs, souvent près de la mère, en une masse de plusieurs centaines protégés par des ovisacs blancs duveteux. Cependant, certaines espèces comme *Formicoccus njalensis* (*Planococcoides*) (Fig. 9.3.1.), 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 aussi entre les fentes de l'écorce et dans les fissures à la surface des cabosses en développement. Les nymphes peuvent aussi se nourrir des cotylédons d'une graine de cacao 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.

9.5.2 Mineuses de cabosse

Les transferts de lépidoptères à chenilles mineuses restent indésirables mais sont moins désastreux que la transmission accidentelle du Foreur des cabosses (CPB), car les dégâts qu'ils causent à la cabosse restent principalement superficiels. Les galeries nécrotiques laissées par leurs « errances » près de la surface de la cabosse ont peu de chances d'être négligées durant l'inspection visuelle avant l'envoi des cabosses. Ces lépidoptères sont les Tortricides *Cryptophlebia encarpa* en Malaisie et Papouasie-Nouvelle-Guinée, *Ecdytolopha aurantianum* au Venezuela, *E. punctidescanum* à Trinidad, les Gracillariidés *Marmara* spp. au Brésil, à Trinidad et Tobago, *Spulerina* spp. en Afrique de l'Ouest et les Noctuidés *Characoma stictigrapta* en Afrique.

9.5.3 Le foreur de la tige de cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon* (Lepidoptera: Cossidae)

Les larves de cette mite forent dans les tiges ligneuses, les branches et les racines du cacaoyer en l'Afrique de l'Ouest et centrale, aboutissant à la mort de parties affectées ou des jeunes arbres. Les femelles adultes n'ont pas de pièces buccales mais chacune peut pondre plus de 1600 oeufs durant leur brève durée de vie de 4 jours (Adu-Acheampong et al. 2004). Les oeufs, de forme ovale mesurant 400 x 600 µm, sont de couleur jaune pâle à rose. Ils peuvent être déposés sur n'importe quelle partie de l'arbre, et éclosent après environ onze jours d'incubation. Les larves nouvellement écloses forent immédiatement un trou dans les tiges tendres. Cependant, les tiges inférieures à 1,5 cm de diamètre ne vont probablement pas être attaquées, donc chaque tige collectée pour servir de greffon au-dessus de cette taille doivent subir une inspection soigneuses pour détecter les éventuels trous de pénétration indicateurs de la présence de larves, protégées des effets d'une immersion insecticide dans leurs tunnels.

9.5.4 Références

- Adu-Acheampong R, Padi B, Sarfo, J. 2004. The life cycle of the cocoa stem borer *Eulophonotus myrmeleon* in Ghana. Trop. Sci., 44: 28–30. doi: 10.1002/ts.127
- Bigger M. 2012. Geographical distribution list of insects and mites associated with cocoa, derived from literature published before 2010. Disponible à l'URL <http://www.incocoa.org/incoped/documents.php>
- 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



Figure 9.5.1. Adultes et nymphes de *Formicoccus njalensis* (WP N'Guessan, CNRA)

10. Nématodes parasites

Enrique Arevalo-Gardini¹, Betsabe Leon Ttacca¹, Manuel Canto-Saenz² et Virupax Baligar³

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

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Pérou. Email: mcanto@lamolina.edi.pe

³USDA-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. 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. et 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. Campos et Villain (2005) ont présenté une liste de plusieurs espèces de *Meloidogyne* attaquant le cacaoyer et les pays concernés. Elles comprennent *M. arenaria* (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). 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). Elle a été décrite partout en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Nigeria, à São Tomé, en Inde, en Malaisie, à Java, aux Philippines, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, en Jamaïque, au Venezuela, au Costa Rica, au Brésil, en Equateur, au Pérou, en Bolivie (Sosamma et al. 1979, Lopez-Chaves et al. 1980, Sharma 1982, Crozzoli et al. 2001, Wood et Lass 2001, Campos et Villain 2005, Arévalo 2008).



Figure 10.1. Retard de croissance, chlorose, réduction de la taille des feuilles et dépérissement d'une plantule de cacaoyer infestée par *M. incognita* (à gauche) comparée à une plantule saine du même âge (à droite), dans un sol amendé en fumier de volailles (Orisajo et al. 2008)

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

Genre	Distribution géographique
<i>Anguillulina</i>	Nigeria
<i>Aphelenchoides</i>	Pérou, Venezuela, Brésil
<i>Aphelenchus</i>	Pérou, Brésil
<i>Atylenchus</i>	Pérou, Costa Rica
<i>Basiria</i>	Brésil
<i>Belonolaimus</i>	Brésil
<i>Boleodorus</i>	Brésil
<i>Criconemella</i>	Côte d'Ivoire
<i>Criconemoides</i>	Brésil, Costa Rica, Pérou, Venezuela, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Malaisie
<i>Crossonema</i>	Pérou
<i>Diphtherophora</i>	Brésil
<i>Discocriconemella</i>	Côte d'Ivoire
<i>Ditylenchus</i>	Pérou
<i>Dolichodorus</i>	Brésil, Costa Rica
<i>Dorylaimidos</i>	Pérou
<i>Dorylaimus</i>	Pérou
<i>Eutylenchus</i>	Nigeria
<i>Haplolaimus</i>	Brésil, Costa Rica
<i>Helicotylenchus</i>	Brésil, Venezuela, Pérou, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Philippines, Malaisie
<i>Hemicycliophora</i>	Brésil, Costa Rica, Pérou, Nigeria, Côte d'Ivoire, Suriname
<i>Hemicriconemoides</i>	Brésil, Venezuela, Nigeria
<i>Heterodera</i>	Brésil, Nigeria
<i>Longidorus</i>	Brésil, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria
<i>Neodiplogaster</i>	Guatemala
<i>Meloidogyne</i>	Venezuela, Brésil, Costa Rica, Pérou, Ghana, Nigeria, Côte d'Ivoire, Zanzibar, Malawi, Rhodesie, Inde, Papuasie-Nouvelle-Guinée, Sao Tome, Java, Malaisie
<i>Mesocriconema</i>	Venezuela
<i>Mononchus</i>	Pérou
<i>Ogma</i>	Venezuela
<i>Paralongidorus</i>	Nigeria
<i>Parachichodorus</i>	Brésil
<i>Paratylenchus</i>	Pérou, Venezuela, Côte d'Ivoire
<i>Peltamigrattus</i>	Brésil, Venezuela
<i>Pratylenchus</i>	Brésil, Costa Rica, Pérou, Venezuela, Côte d'Ivoire, Nigeria, Ghana, Indonésie, Inde, Jamaïque, Malaisie
<i>Psilenchus</i>	Pérou, Venezuela, Nigeria
<i>Rhabditidos</i>	Pérou
<i>Rhadinaphelenchus</i>	Pérou

Genre	Distribution géographique
<i>Radopholus</i>	Côte d'Ivoire, Jamaïque, Nigeria
<i>Rotylenchulus</i>	Brésil, Pérou, Venezuela, Indonésie, Inde, Jamaïque
<i>Rotylenchus</i>	Brésil, Pérou, Venezuela, Nigeria
<i>Scutellonema</i>	Brésil, Pérou, Jamaïque, Nigeria
<i>Trichodorus</i>	Brésil, Costa Rica, Venezuela, Pérou, México, Inde, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria
<i>Trophurus</i>	Brésil, Venezuela, Côte d'Ivoire
<i>Tylenchorhynchus</i>	Brésil, Costa Rica, Pérou, Venezuela, Inde, Mexique, Nigeria
<i>Tylenchulus</i>	Brésil, Pérou
<i>Tylenchus</i>	Brésil, Costa Rica, Pérou, Venezuela, Nigeria
<i>Xiphidorus</i>	Venezuela
<i>Xiphinema</i>	Malaisie, Nigeria, Brésil, Pérou, Venezuela, Ghana, Mexique, Philippines

Source: Tarjan and Jiménez (1973), Sosamma et al. (1979), Lopez-Chaves et al. (1980), Afolami and Caveness (1983), Sharma (1977), Sharma (1982), Crozzoli (2002), Crozzoli et al. (2001), Wood and Lass (2001), Campos and Villain (2005), Arévalo-Gardini et al. (2007), Arévalo-Gardini (2008), Arévalo-Gardini (2014), Okeniyi et al. (2016), Orisajo (2009).



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

- A. Plant un mois après sa transplantation
- B. Galles sur racines
- C. Second stade larvaire d'une femelle

Source : Instituto de Cultivos Tropicales

10.4 Hôtes alternatifs

Il existe des espèces et des cultivars végétaux très sensibles, modérément sensibles et résistants à chaque espèce de *Meloidogyne*. 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).

En Amérique centrale et du Sud, *M. exigua* est un ravageur important de *Coffea arabica*. Il existe quelques hôtes supplémentaires recensés dont le cacaoyer (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).

10.6 Mesures de quarantaine

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 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). La lutte chimique par des produits némastatiques contre *Meloidogyne* dans les racines des espèces pérennes déjà établies n'est pas efficace. Au Nigeria, Afolami (1993) a contrôlé les nématodes dans un sol de pépinière par un traitement au nématicide Basamid et une stérilisation du sol par la vapeur.

10.7 Références

- 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.

- 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.
- 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 fitoparasíticos 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.
- Meredith JA. 1974. Phytoparasitic nematodes associated with cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Venezuela. *Nematropica* 4:23-26.
- Okeniyi MO, Orisajo SB, Afolami SO, Enikuomihin 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.
- 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, 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.
- Sharma RD. 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.
- Wood GAR, Lass RA. 2001. *Cocoa*. 4 ed. Blackwell Science, UK. 620 pp.

Bioversity International est un membre du Consortium du CGIAR. Le CGIAR est un partenariat mondial de recherche agricole pour un futur sans faim.
www.cgiar.org

© Bioversity International 2017

Bioversity International HQ
Via dei Tre Denari 472/a
00057 Maccarese (Fiumicino)
Rome, Italie
www.bioversityinternational.org

Tél. (+39) 06 61181

Fax. (+39) 06 61979661

ISBN: 978-92-9255-080-6

