

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Risque
phytosanitaire
portant sur
Fusarium oxysporum
f. sp. cubense pour
les départements
d'outre-mer

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

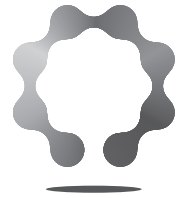
Août 2018

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Risque
phytosanitaire (ARP)
portant sur
Fusarium oxysporum
f. sp. cubense
(agent pathogène
responsable de la
maladie de Panama)
pour les départements
d'outre-mer

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Août 2018

Édition scientifique

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 6 août 2018

AVIS **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

relatif à « une analyse de risque phytosanitaire (ARP) portant sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (agent pathogène responsable de la maladie de Panama) pour les départements d'Outre-mer »

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 8 mars 2017 par la Direction Générale de l'Alimentation (DGAI) pour la réalisation de l'expertise suivante : demande d'avis relatif à une analyse de risque phytosanitaire (ARP) portant sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (agent pathogène responsable de la maladie de Panama sur bananier) pour les départements et régions d'Outre-mer (DROM).

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

La race 1 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) a été dans les années 1940 et 1950 à l'origine de la disparition progressive de la production intensive de la variété de bananier « Gros-Michel » en Amérique latine, en Afrique et dans les Antilles, base du commerce international d'alors. Cette variété a progressivement été remplacée par la variété Cavendish. Néanmoins, cette dernière variété est connue comme sensible à d'autres races de Foc dont notamment la race 4 en zone tropicale (TR4). Si la dissémination de Foc TR4 était limitée dans les années 2000 au sud-est asiatique, elle est désormais présente au Moyen-Orient et en Afrique.

Cet organisme et particulièrement la race tropicale 4, constituant un danger important pour la production de banane dans les départements et régions d'Outre-mer français (DROM), il apparaît nécessaire de procéder à une actualisation des travaux d'évaluation du risque phytosanitaire existants.

Il est demandé à l'Anses de procéder à une analyse de risque phytosanitaire relative à *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pour les Antilles, la Guyane, Mayotte et La Réunion notamment sur la base du travail réalisé par le CIRAD en 2003.

Cette analyse synthétisera les connaissances les plus récentes sur la différenciation entre races, sur la progression de la race TR4 et les filières d'introductions identifiées en proposant des mesures de gestion à même d'empêcher l'introduction de ces organismes dans les DROM.

L'Analyse de risque phytosanitaire (ARP) a été réalisée selon les lignes directrices pour l'analyse du risque phytosanitaire, schéma d'aide à la décision pour les organismes de quarantaine (PM 5/3 (5)) de l'Organisation européenne et méditerranéenne de la protection des plantes (OEPP).

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux ». L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Panama ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 7 novembre 2017 et le 3 juillet 2018. Ils ont été adoptés par le CES « Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux » réuni le 3 juillet 2018.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU GT ET DU CES

3.1. Évaluation du risque phytosanitaire

3.1.1. Entrée

La culture du bananier dans les DROM, tout particulièrement en Martinique et en Guadeloupe, repose sur l'importation continue de volumes importants de **vitroplants** en milieu gélosé. Cette filière constitue le **risque majeur** d'introduction de Foc TR4, ceci compte tenu de l'absence d'obligation de contrôle sanitaire (indexation) des pieds mères vis-à-vis de l'agent pathogène, mais également du risque d'introduction de vitroplants de bananiers asymptomatiques et enfin de l'évolution rapide de la distribution géographique mondiale de l'agent pathogène. L'introduction de Foc TR4 dans la zone ARP peut également se produire par des importations d'autres plantes hôtes susceptibles de l'héberger ou de **matériel végétal** et de substrats en provenance de zones géographiques infestées. Il demeure encore actuellement une forte incertitude sur la gamme d'hôtes de Foc TR4, mais des hôtes asymptomatiques appartenant à de nombreuses espèces et genres ont été décrits. De plus, les importations de matériel végétal de zones géographiques où l'agent pathogène est déjà présent sont fréquentes, notamment dans le cas de La Réunion et de Mayotte. Ces deux éléments considérés, le **risque d'entrée** par ces filières est **probable** avec une incertitude **modérée**.

L'absence de procédure d'inspection du matériel végétal entrant dans la zone ARP vis-à-vis de Foc TR4, les volumes d'importation de matériel végétal de zones géographiques infestées et la proximité de certains DROM de ces dernières, définissent **un risque global d'entrée de Foc TR4 très probable avec une incertitude modérée**.

3.1.2. Établissement

L'entrée de matériel végétal (vitroplants, autres plantes destinées à la plantation) et/ou de sol ou substrat de culture infectés par Foc TR4 conduira à une contamination du sol et donc de manière très probable à l'établissement de l'agent pathogène dans des zones de production de bananiers. Foc TR4 peut en effet réaliser son cycle sur ses plantes hôtes, présentes dans tous les DROM,

mais peut également se maintenir et se multiplier en présence de plantes non hôtes ou asymptomatiques.

Il est **très probable** également, avec un niveau d'incertitude faible, que la stratégie de reproduction végétative de Foc TR4 facilite son établissement grâce aux chlamydospores qui assurent sa survie à long terme dans le sol et aux conidies qui assurent sa propagation. En outre, le climat de la zone ARP **est favorable** au développement de Foc TR4. Il a préalablement permis l'établissement d'autres races de *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Par ailleurs, Foc TR4 s'est déjà **largement établi** dans de nouvelles zones (3 continents) depuis ces dix dernières années et le niveau d'incertitude est faible quant à son potentiel d'établissement.

Les plants de bananiers sont largement distribués au sein de la zone ARP. La monoculture et la densité de plantation de bananiers d'une part, le continuum de plantes dans toute la zone ARP hors plantation industrielle d'autre part, sont des facteurs **très favorables** à l'établissement de Foc TR4, avec un niveau d'incertitude faible.

Aucune pratique de gestion phytosanitaire existante ne va empêcher l'établissement de Foc TR4. Certaines mesures prophylactiques (confinement du foyer et destruction des plantes, lavage du matériel, gestion des résidus végétaux) et des pratiques telles que les cultures associées, les couverts végétaux peuvent limiter le développement de l'agent pathogène. Elles ne peuvent cependant pas l'éradiquer une fois que celui-ci est installé dans la parcelle. Il est donc **très probable** que Foc TR4 s'établisse malgré les pratiques de gestion phytosanitaire existantes, et le niveau d'incertitude est faible.

La probabilité globale d'établissement de Foc TR4 dans la zone ARP est jugée **très élevée** avec un niveau d'incertitude faible compte-tenu de son adaptation écologique aux conditions environnementales dans le sol, de la large distribution des plantes hôtes dans la zone ARP, de conditions climatiques favorables à son établissement et de l'absence de moyen de lutte efficace.

3.1.3. Dissémination

Une fois que Foc TR4 a été introduit et s'est établi dans une zone, sa dissémination est **très probable** et s'opérerait à des vitesses variables selon les modes de dissémination et la géographie du territoire. La **dissémination par l'homme**, via le transport de végétaux contaminés et/ou du sol adhérent aux outils, véhicules ou chaussures, sera **rapide et difficilement contrôlable** par les mesures de gestion. C'est ce mode de dissémination qui est considéré comme responsable de la dissémination rapide de Foc TR4 dans les zones actuellement contaminées. La dissémination par l'eau de ruissellement, les inondations ou l'eau d'irrigation peut également être très efficace par le transport des spores du champignon, produites en abondance dans les sols et résidus de végétaux contaminés, mais restera géographiquement restreinte respectivement aux zones aval du bassin versant, aux zones inondables, ou au périmètre d'irrigation. La durée nécessaire pour que l'organisme atteigne son étendue maximale dans la zone ARP est estimée **entre 5 et 10 ans, une fois Foc TR4 établi**.

La vitesse de dissémination globale est considérée élevée avec un niveau **d'incertitude faible**.

3.1.4. Importance économique

Dans son aire de répartition actuelle, Foc TR4 entraîne d'importantes pertes directes de rendement. En effet, Foc TR4 provoque en l'espace de 5 ans des niveaux élevés de mortalité sur les plants de bananier Cavendish (variétés utilisées pour la culture d'exportation) infectés, mais également sur d'autres variétés de bananiers destinées au marché local. De plus, les méthodes de gestion impliquent la destruction des bananiers dans un large périmètre autour des bananiers infectés. Enfin, dans les zones contaminées par Foc TR4, **la culture du bananier n'est plus possible** pendant de nombreuses années.

Les méthodes de gestion actuelles (destruction des plants malades et des plantes adjacentes, mise en place de mesures de confinement des foyers et des exploitations, désinfection des chaussures du personnel et des véhicules) sont onéreuses, et **ne permettent pas d'éradiquer** la

maladie ni de contenir durablement son expansion surtout lorsque des voies naturelles de dissémination sont en jeu (ruissellement important, inondations).

Compte tenu du fait que Foc TR4 trouvera dans la zone ARP **les conditions favorables** à son développement, les conséquences économiques (pertes de rendement et augmentation des coûts de production) causées par Foc TR4 y **seraient très importantes**. Ces conséquences seraient particulièrement fortes en Guadeloupe et Martinique du fait du rôle majeur de la culture de la banane Cavendish destinée à l'exportation dans l'économie de ces deux îles. L'arrivée de Foc TR4 serait certainement **réthibitoire** pour la filière banane export qui périliterait. Ce déclin aurait des conséquences sociales importantes dans des îles déjà fortement touchées par le chômage et où la filière est le premier employeur privé.

Les conséquences seraient probablement également très importantes sur l'île de Mayotte où les bananiers représentent une culture vivrière de tout premier ordre. Enfin, Foc TR4 pourrait aussi entraîner la disparition des variétés locales en Guyane et à La Réunion où la culture du bananier pour des usages locaux a une place importante.

3.1.5. Conclusion générale de l'évaluation du risque phytosanitaire

En conclusion, étant donné :

- Les probabilités d'entrée et d'établissement très élevées de Foc TR4 dans la zone ARP ;
- Une vitesse de dissémination globale de Foc TR4 jugée élevée ;
- La difficulté et les limites de la mise en œuvre des mesures de gestion ainsi que le caractère irréversible de la contamination des sols par Foc TR4 ;
- Les conséquences économiques potentielles très importantes.

Le groupe de travail considère que **Foc TR4 constitue un risque majeur et est donc un bon candidat** pour l'étape de gestion de risque phytosanitaire.

3.2. Gestion du risque phytosanitaire.

L'introduction de Foc TR4 dans la zone ARP constitue un risque inacceptable, mettant en péril non seulement la filière banane export en Martinique et Guadeloupe, mais aussi l'existence et la production de bananes de variétés locales, pour la consommation locale en Guyane, à Mayotte et à La Réunion. Il est donc nécessaire de mettre en place des mesures de gestion pour empêcher ou retarder l'introduction de Foc TR4 dans la zone ARP. La mise en œuvre de ces mesures est rendue difficile pour deux raisons principales : (1) l'extension actuelle des zones géographiques où Foc TR4 est présent, avec un délai important entre l'entrée effective de l'agent pathogène dans une zone, sa découverte, puis la déclaration officielle de sa présence dans cette zone ; (2) la diversité des sources possibles d'introduction de Foc TR4.

En premier lieu, il nous semble important de mettre en place une veille stricte sur l'évolution de l'épidémie de Foc TR4 dans les lieux de production de bananier y compris dans les zones de production des vitroplants de bananier.

Pour chacune des filières d'introduction principales, nous proposons des mesures de gestion qui devront être associées pour en accroître l'efficacité :

- Filière vitroplants de bananiers.

La probabilité d'association de Foc TR4 avec cette filière est considérée comme très faible, mais les volumes de vitroplants importés en Martinique et Guadeloupe sont importants, ce qui nous incite à proposer un renforcement des mesures phytosanitaires existantes.

Tout d'abord, il est rappelé que seuls des vitroplants (sur milieu artificiel) peuvent être importés dans la zone ARP, à l'exclusion de tout matériel cultivé *in vivo* (par exemple vitroplants pré-sevrés). Cette obligation devra être strictement observée. En outre, ces vitroplants doivent être originaires de zones déclarées indemnes de Foc TR4.

La production de vitroplants pour l'importation dans les DROM est régie par un cahier des charges (« cahier des charges relatif aux obligations incombant aux établissements producteurs de vitro-plants de bananiers à destination de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique, de Mayotte et de La Réunion »). Ce cahier des charges devrait être modifié de la façon suivante :

- sélection des pieds mères : contrôle sanitaire obligatoire des pieds mères vis-à-vis de Foc TR4 avec une méthode officielle (au même titre que ce qui est déjà réalisé pour les virus et bactéries) ; mise en place d'un plan de surveillance des pieds mères vis-à-vis de symptômes de Foc TR4 (au même titre que ce qui est déjà prévu pour les autres agents pathogènes dans le cahier des charges).

- culture des pieds mères : utilisation de substrats de culture et d'eau d'arrosage désinfectés, culture hors-sol obligatoire, et mise en place de mesures prophylactiques à l'entrée de la structure de culture.

Une fois importés, les vitro-plants de bananier subissent une phase d'acclimatation avant leur plantation en plein champ. Cette phase est également régie par un cahier des charges (« cahier des charges relatif aux conditions d'acclimatation de vitro-plants de bananiers en Guadeloupe, Guyane, Martinique, à Mayotte et à la Réunion »). Pour cette étape, nous proposons une modification de ce cahier des charges de la façon suivante :

- désinfection systématique des substrats de culture,
- mise en place d'un plan de surveillance de symptômes de Foc TR4 pendant la phase d'acclimatation (au même titre que pour les autres agents pathogènes listés dans le cahier des charges, point II-1 du cahier des charges),
- diagnostic moléculaire en cas d'apparition de symptômes de *Fusarium oxysporum* pendant l'acclimatation.

Dans l'hypothèse où des symptômes de Foc TR4 apparaîtraient en cours d'acclimatation et seraient confirmés par analyse moléculaire, toutes les mesures visant à l'éradication devront être prises (destruction des plantes et lots correspondants, des plantes adjacentes ; désinfection des outils, chaussures et matériels sortant de la structure d'acclimatation).

L'ensemble des mesures proposées pour cette filière pourront avoir un impact sur le coût de production des vitroplants, qui reste à évaluer, et qui pourrait interférer avec leur commerce.

- **Filière parties de plantes** (bananes, bulbes, rejets, plants racinés de toutes plantes et fleurs coupées).

Pour cette filière, la seule mesure possible efficace serait l'interdiction de l'introduction de matériel végétal, de quelque nature que ce soit, en provenance de régions infestées par Foc TR4. Toutefois cette mesure semble peu réaliste au regard de la diversité des végétaux importés et de l'extension actuelle de l'aire de répartition géographique de Foc TR4. Les mesures suivantes sont toutefois préconisées ou rappelées :

- Interdiction absolue d'introduction de bananes dans la zone ARP,
- Interdiction d'importer des bulbes et tubercules en provenance de régions infestées par Foc TR4,
- S'assurer du respect de l'élimination de toute trace de sol adhérent aux bulbes et tubercules importés, de quelque origine que ce soit (arrêté de 1990 stipulant l'interdiction d'introduction de produits végétaux avec terre adhérente dans les DROM),

- Interdiction d'importer des plantes pour la plantation, en provenance de régions infestées par Foc TR4.

- Filière sol

L'introduction de sols en tant que tels dans la zone ARP est d'ores et déjà interdite. Il est nécessaire de s'assurer du respect de cette interdiction et de l'appliquer de la même manière aux substrats de culture en provenance de zones infestées par Foc TR4.

La désinfection des matériels pouvant avoir été en contact avec le sol (outils, chaussures, roues...) ainsi que les conteneurs de marchandises, en provenance de zones infestées par Foc TR4 est préconisée. Le niveau d'incertitude quant à la réussite de cette mesure est élevé du fait de l'extension rapide de l'aire de répartition de l'agent pathogène et de la difficulté à tracer le cheminement des sols adhérents. Une désinfection systématique des chaussures de passagers, ou des roues de véhicules entrant dans la zone ARP est envisageable, mais pourrait avoir un coût économique et environnemental à évaluer. Cette mesure devrait s'accompagner de campagnes systématiques d'information des voyageurs entrant dans la zone ARP. De ce point de vue Mayotte et la Réunion semblent des situations particulièrement vulnérables et devant faire l'objet d'une attention spécifique. Une difficulté supplémentaire est à prendre en compte, il s'agit de l'impossibilité de pouvoir tracer réellement les flux de passagers entre les zones infestées (majoritairement le sud-est asiatique) et certain des DROM (Martinique, Guadeloupe et Guyane) compte tenu du fait qu'il n'existe pas de lignes aériennes directes entre ces DROM et l'Asie du Sud Est.

Une fois Foc TR4 introduit dans la zone ARP, sa dissémination naturelle (dissémination par l'eau et multiplication saprophyte) sera difficilement contrôlable. En outre, les méthodes de gestion à mettre en œuvre (infrastructure de confinement, c'est-à-dire la mise en place de barrières physiques empêchant la circulation des personnes et des animaux, zone tampon et désinfection de tout matériel sortant de la zone d'enrayement) (State of Queensland, Department of Agriculture and Fisheries, 2017) sont contraignantes et difficilement applicables au paysage agricole des DROM concernés. Ces mesures n'ont pas toutes fait leurs preuves quand elles ont été appliquées en Australie. En outre la distribution hétérogène de l'agent pathogène dans une plantation de bananier peut conduire à ce que des foyers infectieux échappent aux méthodes de détection du fait d'un échantillonnage insuffisamment représentatif. Il est également suggéré d'étudier la pertinence de mettre en place des méthodes culturales différentes des pratiques culturales conventionnelles actuelles (grandes plantations en monoculture et connectées par un système d'irrigation unique) pour enrayer, à défaut d'empêcher, la dissémination de l'agent pathogène.

En conséquence de quoi l'éradication ou le confinement de l'organisme nuisible ne pourront être garantis dans une culture, un lieu de production ou une zone.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions du CES.

Étant donné les impacts phytosanitaire et économique qu'engendre FOC TR4 sur la culture de bananier, l'extension du nombre de foyers et l'augmentation des échanges de denrées alimentaires et des mouvements de passagers à l'échelle mondiale, l'Anses recommande que l'ensemble des mesures de gestion décrites ci-dessus concernant les vitroplants, les parties de plantes et le sol soient prises pour éviter l'introduction du champignon dans les DROM.

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

Fusarium oxysporum f. sp. *ubense*, race tropicale 4, Foc TR4, maladie de Panama, Banane, Analyse de risque phytosanitaire

Fusarium oxysporum f. sp. *ubense*, tropical race 4, Foc TR4, Panama disease, Banana, Pest risk assessment

**Demande d'avis relatif à une analyse de risque
phytosanitaire portant sur *Fusarium oxysporum* f. sp.
cupense responsable de la maladie de Panama pour les
départements d'Outre-mer**

Saisine « n°2017-SA-050 Foc »

**RAPPORT
d'expertise collective**

« Comité d'experts spécialisé Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux »

« Groupe de travail Panama »

Juillet 2018

Mots clés

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense*, race tropicale 4, Foc TR4, maladie de Panama, Banane, Analyse de risque phytosanitaire

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense*, tropical race 4, Foc TR4, Panama disease, Banana, Pest risk assessment

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Président

Mme Marie-Hélène BALESSENT – Directrice de recherche, INRA, Mycologue

Membres

Mme Yolande CHILIN CHARLES – Cadre, CIRAD, Mycologue

M. Luc de LAPEYRE de BELLAIRE – Cadre, CIRAD, Mycologue

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche, INRA, Agronome

M. Christian STEINBERG – Directeur de recherche, INRA, Mycologue

.....

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux

Président

M. Pierre SILVIE – Chargé de recherche, IRD mis à disposition du CIRAD, UR AÏDA

Membres

Mme Marie-Hélène BALESSENT – Directrice de recherche, INRA de Versailles-Grignon, UMR BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture

M. Philippe CASTAGNONE – Directeur de recherche, INRA PACA, Institut Sophia Agrobiotech

M. Bruno CHAUVEL – Directeur de recherche, INRA de Dijon, UMR Agroécologie

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRA PACA, Institut Sophia Agrobiotech

Mme Marie-Laure DESPREZ-LOUSTAU – Directrice de recherche, INRA de Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. Abraham ESCOBAR-GUTIERREZ – Chargé de recherche, INRA de Lusignan, UR Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères

M. Laurent GENTZBITTEL – Professeur des universités, École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, Laboratoire Écologie Fonctionnelle et Environnement

M. Hervé JACTEL – Directeur de recherche, INRA de Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. Thomas LE BOURGEOIS – Directeur de recherche, CIRAD, UMR botAnique et bioInforMatique de l'Architecture des Plantes

M. Xavier NESME – Ingénieur de recherche, INRA, UMR 5557 Écologie microbienne

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Unité Biologie des nuisibles et biovigilance

M. Frédéric SUFFERT – Ingénieur de recherche, INRA de Versailles-Grignon, UMR BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture

M. Éric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRA, Unité de pathologie végétale d'Avignon

M. François VERHEGGEN – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Entomologie fonctionnelle et évolutive

M. Thierry WETZEL – Directeur du laboratoire de Virologie Végétale, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR), Institut für PhytoMedizin (Institute of Plant Protection)

.....

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M. Xavier TASSUS – Coordinateur scientifique – Anses

Contribution scientifique

Mme Sandrine FRAIZE FRONTIER – Adjoint au chef d'unité méthodologie et études - Anses

.....

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations	7
Liste des tableaux	7
Liste des figures	8
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	9
1.1 Contexte.....	9
1.2 Objet de la saisine.....	9
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	9
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.	10
2 Analyse de risque phytosanitaire.....	11
2.1 Étape 1 : Initiation.....	11
2.2 Étape 2 : Évaluation du risque phytosanitaire.....	18
2.2.1 Section A : Catégorisation de l'organisme nuisible.....	18
2.2.1.1 Identifier l'organisme nuisible (ou l'organisme nuisible potentiel).....	18
2.2.1.2 Déterminer si l'organisme est nuisible.....	18
2.2.1.3 Présence ou absence dans la zone ARP et situation réglementaire de l'organisme nuisible.....	18
2.2.1.4 Possibilités d'établissement et de dissémination dans la zone ARP.....	18
2.2.1.5 Possibilités de conséquences économiques dans la zone ARP.....	20
2.2.1.6 Conclusion de la catégorisation de l'organisme nuisible.....	20
2.2.2 Section B : Évaluation de la probabilité d'introduction et de dissémination et des conséquences économiques éventuelles.....	21
2.2.2.1 2. Probabilité d'introduction et de dissémination.....	21
2.2.2.1.1 Probabilité d'entrée d'un organisme nuisible.....	21
2.2.2.1.2 Probabilité d'établissement.....	32
2.2.2.2 Probabilité de dissémination.....	37
2.2.2.2.1 Conclusion sur la probabilité de dissémination.....	38
2.2.2.3 Éradication, enrayement et populations transitoires de l'organisme nuisible.....	39
2.2.2.4 Évaluation des conséquences économiques éventuelles.....	40
2.2.2.4.1 Impact économique "sensus-stricto".....	40
2.2.2.4.2 Impact environnemental.....	42
2.2.2.4.3 impact Social.....	43
2.2.2.4.4 Autres impacts économiques.....	43
2.2.2.4.5 Conclusion de l'évaluation des conséquences économiques.....	44
2.2.3 Conclusion de l'évaluation du risque phytosanitaire.....	46
2.3 Étape 3 : Gestion du risque phytosanitaire.....	49
2.3.1 Acceptabilité du risque.....	49
2.3.2 Mesures phytosanitaires existantes.....	49
2.3.3 Identification d'options de gestion du risque appropriées.....	50
2.3.3.1 Options sur le lieu de production.....	50
2.3.3.1.1 Prévention de l'infestation de la marchandise sur le lieu de production.....	51
2.3.3.1.2 Établissement et maintien d'une culture, d'un lieu de production ou d'une zone exempt de l'organisme nuisible.....	52
2.3.3.2 Options après la récolte, au moment du pré-agrément ou pendant le transport.....	53
2.3.3.2.1 Détection de l'organisme dans les envois par inspection ou analyse.....	53
2.3.3.2.2 Élimination de l'organisme nuisible de l'envoi par traitement ou d'autres procédures phytosanitaires.....	53
2.3.3.3 Options qui peuvent être mises en œuvre après l'entrée des envois.....	54
2.3.4 Évaluation des options de gestion du risque.....	55

2.3.5 Conclusion de la Gestion du risque phytosanitaire.	59
3 Bibliographie.....	62
3.1 Publications.....	62
3.2 Normes.....	66
3.3 Législation et réglementation.....	66
ANNEXES	67
Annexe 1 : Lettre de saisine.....	68
Annexe 2 : Elicitations probabilistes des connaissances des experts.....	70
Annexe 3 : Suivi des actualisations du rapport.....	86

Sigles et abréviations

- ARP : analyse de risque phytosanitaire
 DarTSeq : diversity array technology sequence
 DROM : départements et régions d'outre-mer
 Foc : *Fusarium oxysporum* f sp *cubense*
 Ha : hectare
 MtSSU : sous unité mitochondriale
 N/A : non attribué
 rRNA : Acide ribonucléique ribosomal
 SAU : surface agricole utile
 SNP : polymorphisme d'un seul nucléotide
 ST4 : subtropicale 4
 TR4 : race tropicale 4
 VCG : groupe de compatibilité végétatif

Liste des tableaux

Tableau 1 : Réponse des principaux géotypes cultivés de banane à Foc TR4 (Ploetz, 2015a) _____	16
Tableau 2 : Classification climatique de Köppen Geiger des pays où Foc TR4 a été décrit et de la zone de l'ARP _____	19
Tableau 3 : Localisations géographiques et nature des substrats utilisés pour chacune des étapes du processus d'obtention de vitroplants à partir de pieds mères. _____	24
Tableau 4 : Récapitulatif des résultats d'élicitation, des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité d'entrée de Foc TR4 _____	31
Tableau 5 : Surfaces cultivées de banane [et pourcentage de la Surface Agricole Utile] dans les DROM (recensement agricole, 2010 à 2016) _____	33
Tableau 6 : Récapitulatif des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité d'établissement de Foc TR4 _____	37
Tableau 7 : Récapitulatif des résultats des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité de dissémination de Foc TR4 _____	39
Tableau 8 : Récapitulatif des résultats d'élicitation, des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité d'éradication et d'enrayement de Foc TR4 _____	40
Tableau 9 : Récapitulatif des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation des impacts de Foc TR4 _____	45
Tableau 10 : Récapitulatif des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation des mesures de gestion _____	58

Liste des figures

Figure 1 : cycle biologique de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>ubense</i> (D'après Daly et Walduck, 2006) _____	12
Figure 2 : Symptômes provoqués par <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>ubense</i> sur bananier sensible _____	13
Figure 3 : Distribution géographique de Foc TR4 _____	17
Figure 4 : Carte mondiale des climats selon la classification de Köppen-Gieger _____	20
Figure 5 A&B : schéma de production des bananiers par multiplication <i>in vitro</i> _____	23

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

La race 1 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) a été dans les années 1940 et 1950 à l'origine de la disparition progressive de la production intensive de la variété de bananier « Gros-Michel » en Amérique latine, en Afrique et dans les Antilles, base du commerce international d'alors. Cette variété a progressivement été remplacée par la variété Cavendish. Néanmoins, cette dernière variété est connue comme sensible à d'autres races de Foc dont notamment la race 4 en zone tropicale (TR4). Si la dissémination de Foc TR4 était limitée dans les années 2000 au sud-est asiatique, cette race est désormais présente au Moyen-Orient et en Afrique.

Cet organisme et particulièrement la race tropicale 4, constituant un danger important pour la production de banane dans les départements et régions d'Outre-mer français (DROM), il apparaît nécessaire de procéder à une actualisation des travaux d'évaluation du risque phytosanitaire existants.

1.2 Objet de la saisine

Il est demandé à l'Anses de procéder à une analyse de risque phytosanitaire relative à *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pour les Antilles, la Guyane, Mayotte et La Réunion notamment sur la base du travail réalisé par le CIRAD en 2003.

Cette analyse synthétisera les connaissances les plus récentes sur la différenciation entre races, sur la progression de la race TR4 et les filières d'introductions identifiées en proposant des mesures de gestion à même d'empêcher l'introduction de ces organismes dans les DROM.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail « Panama », rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux » l'instruction de cette saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail (ou du ou des rapporteurs) ont été soumis régulièrement au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'Analyse de risque phytosanitaire (ARP) a été réalisée selon les lignes directrices pour l'analyse du risque phytosanitaire, schéma d'aide à la décision pour les organismes de quarantaine (PM 5/3 (5)) de l'Organisation européenne et méditerranéenne de la protection des plantes (OEPP).

A titre d'expérimentation, une méthode d'élicitation du dire d'expert décrite en annexe 2 de ce rapport a été utilisée afin d'évaluer les niveaux de risque et d'incertitude associés.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) »

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence (www.anses.fr).

2 Analyse de risque phytosanitaire

2.1 Étape 1 : Initiation

1.01 Donner les raisons de mener l'ARP.

L'ARP peut être initiée pour une ou plusieurs raisons, les plus fréquentes étant :

ARP amorcée par l'identification d'un organisme nuisible :

- des travaux scientifiques ont établi que l'organisme nuisible présente un risque ;
- l'organisme nuisible a envahi une nouvelle zone, autre que la zone ARP ;
- une ARP antérieure est en cours de réévaluation ;

1.02 a. Spécifier l'organisme nuisible ou les organismes nuisibles concernés et suivre le schéma pour chaque organisme successivement. Pour les plantes introduites intentionnellement spécifier les habitats intentionnels.

Il existe différents géotypes de bananier. Tous sont des descendants parthénocarpiques stériles et triploïdes des deux espèces sauvages suivantes *Musa accuminata* (AA) et *Musa balbisiana* (BB). Les bananiers cultivés pour un usage dessert d'export sont des triploïdes AAA appartenant au sous-groupe Cavendish. Il existe d'autres sous-groupes de bananiers ayant des usages différents parmi lesquels les bananiers plantains (AAB) et les Bluggoe (ABB) utilisés comme légume.

Nom scientifique de l'organisme nuisible concerné par l'ARP :

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* (E.F. Sm.) W.C. Snyder & H.N. Hansen [anamorph] (E.F. Sm.)

Le cycle biologique de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* (Foc) est un champignon pathogène tellurique. Sa multiplication est asexuée, avec trois types de spores produites : les macroconidies pluricellulaires (22-36 x 4,5 µm), les microconidies unicellulaires (5-7 x 2,5-3 µm), et les chlamydospores (9 x 7 µm), ces dernières étant des formes de conservation du champignon. Les chlamydospores de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* sont capables de survivre plusieurs mois dans le sol (Newcombe, 1960). Après germination des spores, l'infection commence par une phase d'attachement des hyphes sur les radicelles de la plante hôte. Les hyphes colonisent la surface des radicelles et pénètrent dans les racines de bananiers aussi bien sensibles que résistants, puis progressent dans les tissus des racines vers les tissus conducteurs. Lorsque l'hôte est sensible, le champignon migre dans les vaisseaux via les flux ascendants, vers le rhizome, puis la pseudo-tige, où la multiplication se poursuit. Ce processus d'infection est très rapide, les premières spores de Foc sont présentes dans les tissus vasculaires des racines 3 jours après le contact entre le champignon et les racines de la plante (Li *et al.*, 2017). L'obstruction partielle ou totale des vaisseaux conducteurs par le champignon induit les différents types de symptômes externes et internes décrits plus bas (Groenewald, 2005 ; Ploetz, 2015a). Il faut noter cependant que les premiers signes d'infection, comme la décoloration des feuilles ou le flétrissement, apparaissent de plusieurs semaines à plusieurs mois après l'infection ce qui ne facilite pas le diagnostic précoce (Li *et al.*, 2013). Les organes infectés (racines, rhizome, bulbe, pseudo-tige, feuilles) sont porteurs d'inoculum (hyphes, spores). Celui-ci retournera localement dans le sol de la parcelle infectée ou contaminera de nouvelles parcelles via le transport de matériel végétal infecté (Figure 1). Stover

(1962) et Buddenhagen (2009) ont décrit le maintien de Foc dans des parcelles pendant plus d'une décennie en l'absence de culture du bananier. En l'absence de bananier, les plantes non hôtes peuvent aussi être des agents de multiplication de l'inoculum primaire (Ploetz, 2015a).

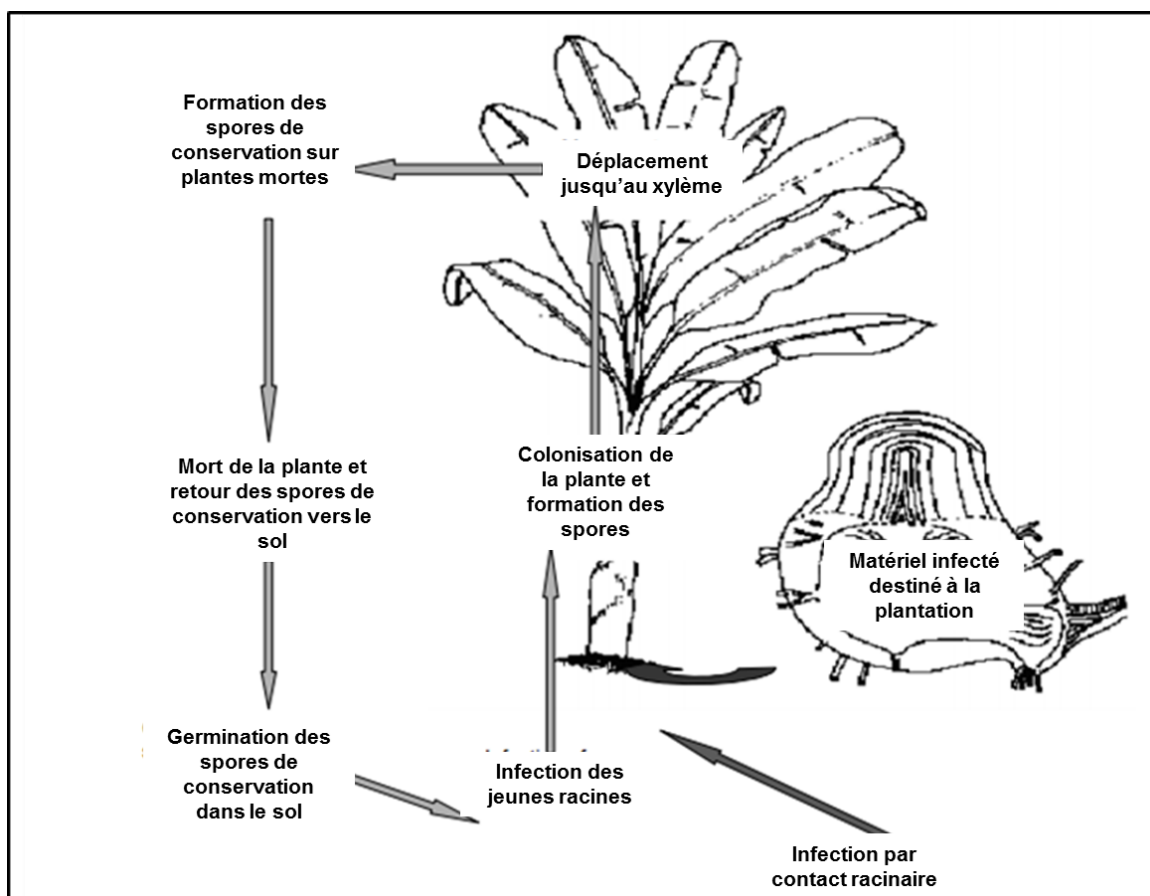


Figure 1 : cycle biologique de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (D'après Daly et Walduck, 2006)

Les bananiers affectés par la Fusariose peuvent être détectés par le jaunissement et le flétrissement progressif des vieilles puis des jeunes feuilles jusqu'à la mort totale du bananier (Stover, 1962 ; Wardlaw 1961). Cependant l'observation des symptômes externes (Fig. 2A, 2B et 2C) ne suffit pas à identifier avec certitude l'agent pathogène, car ces symptômes peuvent être confondus avec ceux provoqués par des carences nutritives ou des stress physiologiques ou d'autres maladies comme le flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*). Pour ces raisons, il est nécessaire de confirmer le diagnostic par la présence de symptômes internes (Fig. 2D et 2E). Les symptômes externes et internes provoqués par Foc sont décrits en détail ci-dessous pour le bananier.

- Symptômes externes (Fig. 2A, 2B et 2C) : les symptômes externes les plus caractéristiques de la Fusariose sont le jaunissement progressif des feuilles du bananier, du bas vers le haut (Fig. 2A), dus à la production d'une phytotoxine (acide fusarique) par l'agent pathogène (Dong *et al.*, 2012 ; 2014). Chez certains cultivars comme les Cavendish, la décoloration est suivie d'un dessèchement des feuilles (Fig. 2A). Ce jaunissement est accompagné d'un flétrissement donnant cet aspect de « jupe foliaire » autour du pseudotrunc du bananier (Fig. 2B). Un autre symptôme externe est souvent observé, l'éclatement de la base du pseudotrunc (Fig. 2C). Ce phénomène est dû à l'incapacité des feuilles mortes à résister à la croissance du bananier.
- Symptômes internes (Fig. 2D et 2E) : le symptôme interne le plus caractéristique de la Fusariose, quel que soit le cultivar, est le brunissement progressif de l'intérieur du

pseudotrunc. La nécrose des tissus vasculaires se fait du bas vers le haut (Fig. 2D) et de l'extérieur vers le centre du pseudotrunc (Fig. 2E). Plus l'infection progresse et plus les tissus sont nécrosés. Cette progression permet de conforter le diagnostic et d'écartier la cause de stress physiologique du bananier.

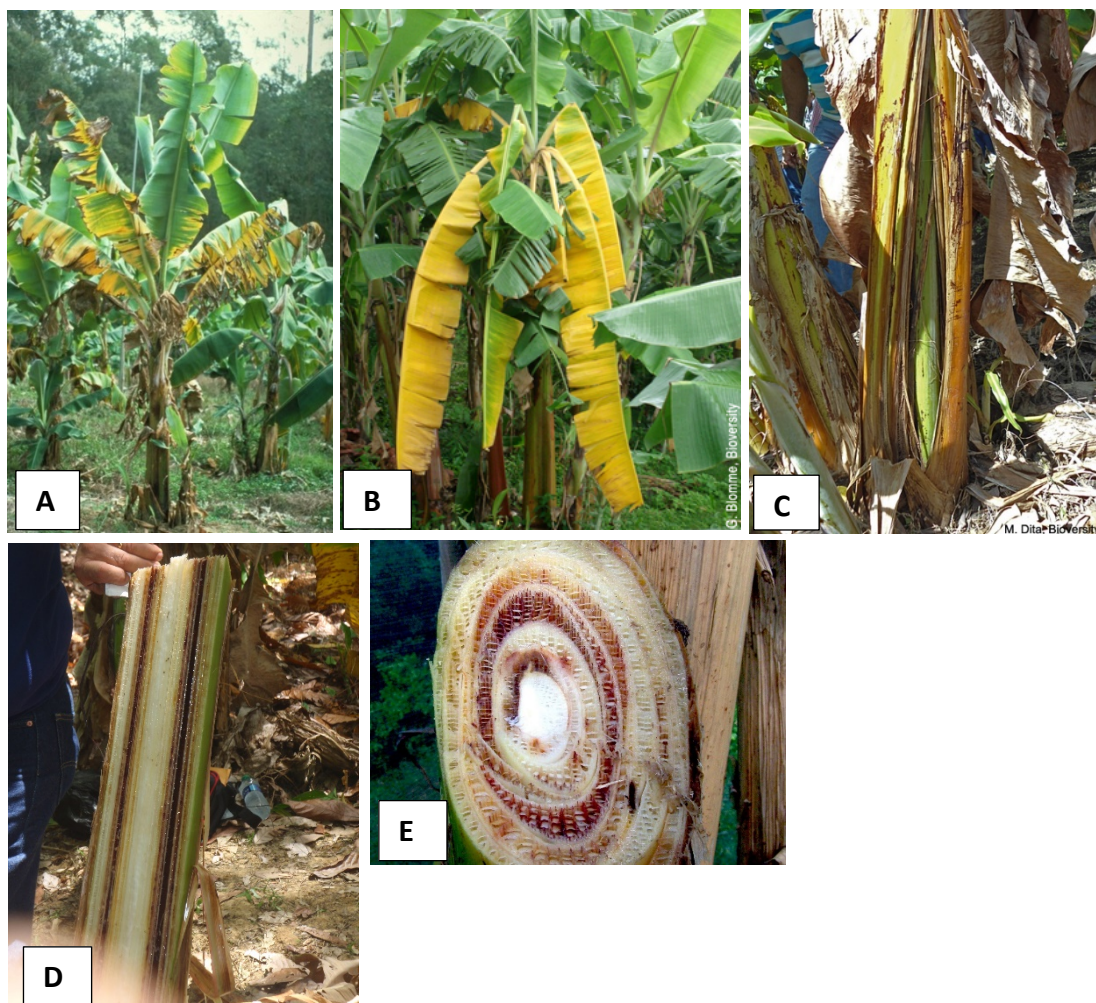


Figure 2 : Symptômes provoqués par *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* sur bananier sensible

Photos A et C, Altus Viljoen ; Photos D et E, Yolande Chilin-Charles ; Photo B, Guy Blomme (Bioversity)

Les races de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

Une race d'agent pathogène est définie par sa capacité à engendrer des symptômes sur une gamme d'hôtes restreinte et connue (Van der Plank, 1969). Les souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) sont classées en 4 races physiologiques (Ploetz, 2006).

Les souches de la race 1 se sont très largement répandues au travers des mouvements de matériel végétal sous forme de rejets utilisés pour l'installation des grandes zones de culture de banane dessert (génotype AAA) d'exportation au début du 20ème siècle. Cette race est à l'origine de la disparition progressive dans les années 1940 et 1950 de la production intensive du cultivar « Gros Michel » (génotype AAA) sensible à cette race, en Amérique latine et en Afrique et base du commerce international d'alors. D'autres cultivars comme par exemple Silk, IC2, Pome (AAB) ; Pisang Awak (génotype ABB) et Maqueno (AAB), d'importance économique moindre que le cultivar Gros Michel sont également sensibles à la race 1 de Foc (Ploetz, 2006). La variété Gros Michel a été remplacée dans les plantations industrielles par un sous-groupe variétal résistant découvert en Asie du Sud-Est, le sous-groupe Cavendish (génotype AAA), qui fait l'objet de l'essentiel du commerce international actuel.

Les souches de la race 2 n'affectent que le sous-groupe des Bluggoe (génotype ABB, banane à cuire).

Les souches de la race 3 affectent les *Heliconia* spp. et cette race n'est plus considérée comme un agent pathogène des bananiers (Ploetz *et al.*, 2015, Bentley *et al.*, 1998).

Les souches de la race 4 sont capables d'attaquer les cultivars du sous-groupe Cavendish, ainsi que les cultivars attaqués par les races 1 et 2. Cette « race 4 » regroupe en réalité deux types de souches bien distinctes.

- Les souches nommées subtropicales 4 (ST4) expriment leur activité infectieuse sur les cultivars du sous-groupe Cavendish uniquement dans des conditions pédoclimatiques défavorables au bananier, notamment dans des zones subtropicales (Canaries, Afrique du Sud, Taiwan et Australie) ou en zone d'altitude de zones tropicales (Ploetz, 2006). Les travaux génétiques récents suggèrent que les souches responsables des attaques sur Cavendish en conditions sub-optimales (souches de la race ST4) ne diffèrent pas des souches des races 1 ou 2 (Groenewald *et al.*, 2006 ; Fourie *et al.*, 2009).
- Les souches nommées tropicales 4 (TR4) sont pathogènes sur des cultivars du sous-groupe Cavendish en conditions tropicales chaudes, donc en zone correspondant à l'aire optimale de la culture du bananier dessert pour l'exportation. Ces souches, dénommées dans ce rapport Foc TR4, ont été initialement identifiées en Asie en 1992 (Ploetz, 2006).

Les analyses moléculaires démontrent une origine polyphylétique de Foc (O'Donnell *et al.*, 1998 ; Fourie *et al.*, 2009). Ainsi, par le séquençage de deux gènes (le « translation elongation factor 1 α » et le « mitochondrial small subunit (MtSSU) rRNA gene »), Fourie *et al.* (2009) identifient 8 groupes phylogénétiques. La plupart de ceux-ci regroupent des souches de Foc de plusieurs races, mais toutes les souches de la TR4 se retrouvent dans un unique groupe. L'analyse des groupes de compatibilité végétative (VCG) confirme que les souches de TR4 appartiennent à un même VCG, le VCG complexe 01213/16 (Bentley *et al.*, 1998 et Ordoñez *et al.*, 2015). Les analyses de diversité génétique basées sur le séquençage de marqueurs moléculaires (DArTseq) ou de séquençages complets de quelques souches, confirment un niveau de polymorphisme très faible (moins de 0,01 % de SNP, « Single Nucleotide Polymorphism ») entre les souches de Foc TR4 étudiées (Ordoñez *et al.*, 2015, Zheng *et al.*, 2018). Ces résultats suggèrent une origine clonale des souches de la TR4 qui correspondent toutes au VCG 01213/16. D'autres auteurs suggèrent que des souches appartenant au VCG 0121, génétiquement proche du VCG 01213/16, pourraient également être pathogènes sur le cultivar Cavendish. Cependant, le niveau de pathogénicité de ces souches n'est pas clairement identifié en conditions contrôlées et elles semblent moins agressives que celles appartenant au VCG 01213/16 (G. Kema, comm. personnelle ; Czislawski *et al.*, 2018).

Toutes les souches actuellement responsables de l'expansion intercontinentale de la maladie de Panama sur les cultivars du sous-groupe Cavendish appartiennent au VCG 01213/16 (Fourie *et al.*, 2009 ; Dita *et al.*, 2010 ; Ordoñez *et al.*, 2015, 2016) qui fera l'objet de la présente ARP.

Nom commun

Maladie de Panama ; Fusariose du bananier

Autres noms scientifiques

Fusarium cubense E.F. Sm. [anamorph] E.F. Sm.

Fusarium cubense var. *inodoratum* E.W. Brandes [anamorph] E.W. Brandes

Fusarium var. *cubense* (E.F. Sm.) Wollenw. [anamorph] (E.F. Sm.) Wollenw.

Noms communs internationaux

Anglais : Panama disease of banana ; banana wilt ; Fusarium wilt of banana ; vascular wilt of banana and abaca

Espagnol : mal de Panamá

Français : fusariose du bananier ; maladie de Panama

Noms communs locaux

Allemagne : Panama-Krankheit ; Banane ; Welke ; Banane

Java : Javanese vascular wilt

1.02 b Définir clairement la zone ARP.

La zone ARP comprend les Antilles françaises (Guadeloupe et Martinique), la Guyane, La Réunion et Mayotte.

1.03 Une ARP pertinente existe-t-elle déjà ?

Oui, deux ARP pertinentes existent déjà (Mourichon, 2003 et EFSA, 2008).

1.04 L'ARP antérieure est-elle toujours valide en totalité, ou seulement en partie (périmée, appliquée dans des circonstances différentes, pour un organisme nuisible similaire mais distinct, pour une autre zone avec des conditions similaires) ?

Les ARP antérieures sont valides en partie et demandent à être adaptées en fonction de la nouvelle aire de répartition géographique de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) Tropical Race 4 (TR4) et des dernières connaissances scientifiques relatives à la taxonomie moléculaire et à la génomique de Foc.

1.05 Spécifier toutes les espèces de plantes-hôtes (pour les organismes nuisibles affectant directement les plantes) ou tous habitats appropriés (pour les plantes non parasites). Indiquer ceux présents dans la zone ARP.

Sur le genre *Musa*, Foc TR4 est pathogène chez un grand nombre de groupes génétiques différents dont les cultivars du sous-groupe Cavendish (génotype AAA), Gros Michel (génotype AAA) mais également les Bluggoe (génotype ABB). En revanche, il semble que les plantains (génotype AAB) ainsi que les bananiers de l'Afrique de l'est du sous-groupe Lujugira (génotype AAA) soient relativement résistants (Tab. 1 ; Ploetz, 2015). Des travaux sont encore en cours afin de mieux préciser la gamme de sensibilité variétale à Foc TR4.

Tableau 1 : Réponse des principaux génotypes cultivés de banane à Foc TR4 (Ploetz, 2015a)

TABLE 2 Response of important banana genotypes to tropical race 4 of <i>Fusarium wilt</i>			
Genome	Subspecies or subgroup	Cultivars/genotypes ^a	Disease response(s), reference(s) ^b
Pre-existing cultivars/wild genotypes			
AA	<i>Musa acuminata</i> subsp. <i>malaccensis</i>	'Pahang'	S/R (G. Kema, <i>personal communication</i>) ^c
AA		'Sucrier'	S (Daniells 2011; Molina et al. 2010)
AA		'Pisang Jari Buaya'	SS (Walduck and Daly 2007) R (Huang et al. 2005)
AA		'Rose'	R (Huang et al. 2005)
AAA		'Berangan'	VS (Daly et al. 2007; Molina et al. 2010; Walduck and Daly 2007)
AAA	Cavendish	'Grand Nain', 'Williams', 'Ambon hijau'	VS (Molina et al. 2010; Walduck and Daly 2007) XS (Huang et al. 2005)
AAA	Lujugira-Mutika	Numerous	R (Molina et al. 2012)
AAA	Gros Michel	'Pisang embung'	XS (Huang et al. 2005) S (Walduck and Daly 2007)
AAA		'Red', 'Green Red'	VS (Walduck and Daly 2007)
AAA		'Ibota Bota'	XS (Huang et al. 2005)
AAB	Plantain	Numerous	R/SS (Molina et al. 2005; 2012; in press)
AAB	Pome	'Improved Lady's Finger'	VS (Huang et al. 2005; Walduck and Daly 2007)
AAB	Maia-Maoli		S (Daly et al. 2007) VS (Walduck and Daly 2007)
AAB		'Silk'	VS (Molina et al. 2010)
AAB		'Mysore'	VS (Huang et al. 2005) S (Walduck and Daly 2007)
ABB	Bluggoe	'Bluggoe'	XS (Huang et al. 2005)
ABB		'Pisang Awak'	S (Daly et al. 2007; Walduck and Daly 2007)
ABB		'Blue Java'	S (Daly et al. 2007; Walduck and Daly 2007)
Somaclonal selections and bred hybrids			
AAA	Somaclone	'Formosana' (GCTCV218) ^d	S (Daly et al. 2007; Walduck and Daly 2007)
AAA	Somaclone	GCTCV119 ^d	SS (Huang et al. 2005; Walduck and Daly 2007)
AAAA	Bred hybrid	FHIA 2 ('Mona Lisa') ^e	R (Huang et al. 2005)
AAAA	Bred hybrid	FHIA 17 ^e	VS (Walduck and Daly 2007) XS (Huang et al. 2005)
AAAA	Bred hybrid	FHIA 23 ^e	VS (Walduck and Daly 2007) XS (Huang et al. 2005)
AAB	Bred hybrid	FHIA 25 ^e	R (Huang et al. 2005; Walduck and Daly 2007)
AAAB	Bred hybrid	CRBP-39 ^f	SS (Huang et al. 2005)
AAAB	Bred hybrid	FHIA 01 (Gold finger) ^e	SS/R (Walduck and Daly 2007) R (Huang et al. 2005)
AAAB	Bred hybrid	FHIA 18 ^e	SS/R (Walduck and Daly 2007) R (Huang et al. 2005)
AAAB	Bred hybrid	FHIA 21 ^e	MS (Huang et al. 2005)
AAAB	Bred hybrid	SH-3640 (High Noon) ^e	VS (Walduck and Daly 2007) XS (Huang et al. 2005)
AABB	Bred hybrid	FHIA 3 ^e	SS (Huang et al. 2005)

^a Cultivar names are the most common internationally recognized synonym of a given clone. With the exceptions of 'Sucrier', which is a dessert banana, the other AA diploids in this table have been used primarily as parents in breeding programs.

^b To enable comparisons among different sets of data, ratings from some studies were converted to a uniform scale, where: XS = extremely susceptible; VS = very susceptible; S = susceptible; MS = moderately susceptible; SS = slightly susceptible; and R = resistant.

^c Seedling progeny of 'Pahang' segregate for TR4 response.

^d GCTCV = Giant Cavendish Tissue Culture Variants from the Taiwan Banana Research Institute (Hwang and Ko 2004).

^e Hybrids bred at the Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) in Honduras.

^f Hybrid bred at the Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains (CARBAP) in Cameroon.

Des souches de Foc TR4 ont également été isolées à partir de plantes adventices asymptomatiques présentes dans des bananeraies infectées : *Chloris inflata* (Poaceae), *Cyanthilium cinereum*, *Tridax procumbens* (Asteraceae) et *Euphorbia heterophylla* (Euphorbiaceae) (Hennessy *et al.*, 2005). Cette liste de plantes susceptibles d'héberger Foc TR4 n'est sans doute pas exhaustive. Certaines espèces ornementales du genre *Heliconia* sont sensibles à la race 3 de Foc mais on ne connaît pas leur sensibilité à la race TR4 (Castro *et al.*, 2010). Ces espèces pourraient aussi être hôtes asymptomatiques de Foc TR4.

1.06 Spécifier la répartition de l'organisme nuisible pour une ARP par organisme, ou la répartition des organismes nuisibles identifiés dans la 1.02b pour une ARP par filière.

Répartition géographique de Foc TR4 :

Foc TR4 a été décrite dans les pays suivants (Fig. 3) :

Australie (Territorio Norte en 1997 ; Queensland en 2015; O'Neill *et al.*, 2016)

Inde (d'après <http://www.promusa.org/Tropicalrace4-TR4>, Juin 2018).

Indonésie (Nuhardi et Harlion, 1994 ; Pegg *et al.*, 1996 ; Ploetz et Pegg, 2000 ; Ploetz, 2005 ; O'Neill *et al.*, 2011)

Israël : détection en 2016 ; considéré comme éradiqué en 2018 (<https://gd.eppo.int/reporting/article-6300>)

Jordanie (García Bastida *et al.*, 2014)

Laos (Chittarath *et al.*, 2018)

Liban (Ordoñez *et al.*, 2015 ; Ploetz *et al.*, 2015)

Malaisie (Ong, 1996)

Mozambique (IITA, 2013, <http://www.fao.org/3/a-br126e.pdf>)

Myanmar (Zheng *et al.*, 2018)

Oman (d'après <http://www.promusa.org/Tropical+race+4+--+TR4>, Juin 2018).

Pakistan (Ordoñez *et al.*, 2015)

Philippines (Molina *et al.*, 2008)

République Populaire de Chine (Qi, 2001 ; Qi *et al.*, 2008)

Taiwan (Su *et al.*, 1986 ; Ploetz et Pegg, 2000)

Vietnam (Hung *et al.*, 2018)

De plus il existe une présomption de présence au Cambodge, sans détection officielle.

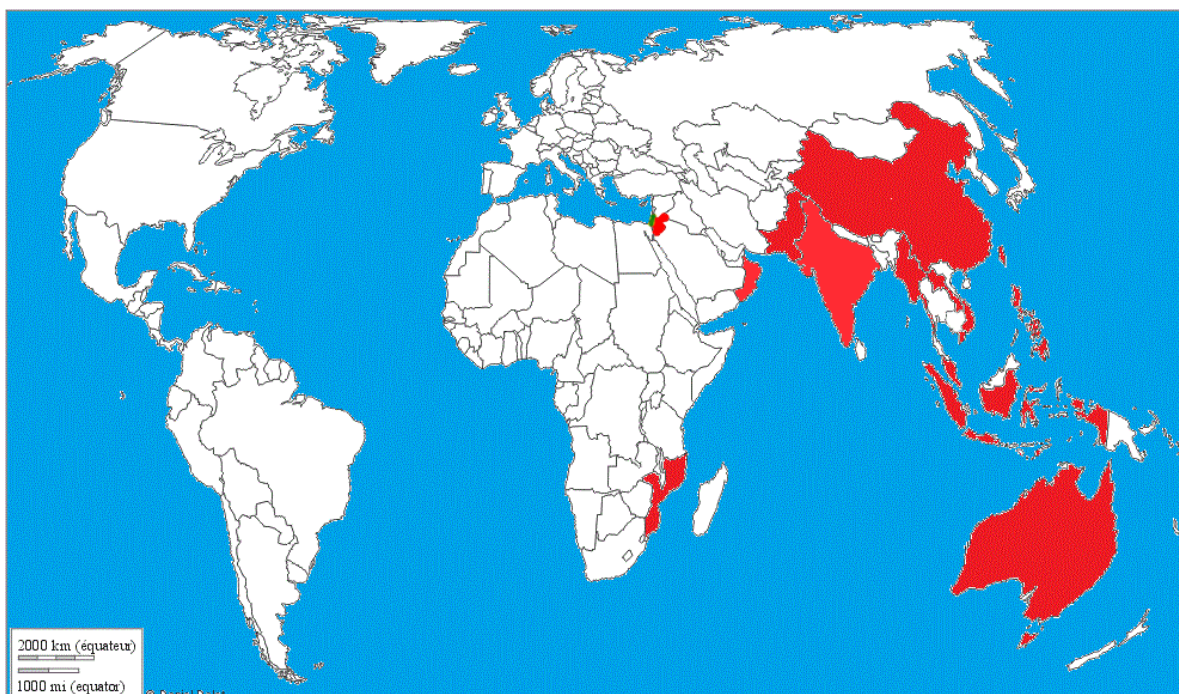


Figure 3 : Distribution géographique de Foc TR4

(En rouge figurent les pays contaminés par Foc TR4 ; en vert, Israël, où Foc TR4 a été détecté en 2016 mais est considéré éradiqué en 2018 selon la note publiée sur le site de l'OEPP:

(<https://gd.eppo.int/reporting/article-6300>)

2.2 Étape 2 : Évaluation du risque phytosanitaire

2.2.1 Section A : Catégorisation de l'organisme nuisible

2.2.1.1 Identifier l'organisme nuisible (ou l'organisme nuisible potentiel)

1.07 L'organisme est-il une entité taxonomique distincte et peut-il être distingué de façon adéquate des autres entités du même rang ?

Oui, Foc TR4 est une entité taxonomique distincte au sein des Foc et correspond au VCG 01213/16 (cf question 1.02a).

1.08 Même si l'agent éthologique des symptômes particuliers n'a pas été totalement identifié, a-t-on montré qu'il produisait des symptômes constants et qu'il était transmissible ?

Sans objet

2.2.1.2 Déterminer si l'organisme est nuisible

1.09 Dans sa zone de répartition actuelle, l'organisme est-il connu comme un organisme nuisible (ou un vecteur d'organisme nuisible) des végétaux ou produits végétaux ?

Oui, Foc TR4 est connu comme organisme nuisible des cultivars de banane du sous-groupe Cavendish.

1.10 L'organisme a-t-il des attributs intrinsèques qui indiquent qu'il pourrait causer un danger significatif aux végétaux ?

Sans objet

2.2.1.3 Présence ou absence dans la zone ARP et situation réglementaire de l'organisme nuisible

1.11 L'organisme nuisible est-il présent dans la zone ARP ?

Non, à ce jour (juin 2018) Foc TR4 est absent de la zone ARP.

1.12 L'organisme nuisible est-il largement répandu dans la zone ARP ?

Sans objet

2.2.1.4 Possibilités d'établissement et de dissémination dans la zone ARP

1.13 Existe-il au moins une plante-hôte (pour les organismes nuisibles affectant directement les plantes) ou un habitat approprié (pour les plantes non parasites) bien établie dans la zone ARP (en plein champ, sous abri ou les deux) ?

Oui, Les cultivars du sous-groupe Cavendish sont présents dans la zone ARP et constituent un hôte d'importance économique de Foc TR4.

1.14 Si un vecteur est le seul moyen pour l'organisme nuisible de se disséminer, existe-t-il un vecteur présent dans la zone ARP ?

Sans objet

1.15 La répartition géographique connue de l'organisme nuisible comprend-elle des zones écoclimatiques comparables à celles de la zone ARP ou suffisamment similaires pour que l'organisme nuisible survive et prospère (considérer également les conditions sous abris) ?

Oui, la répartition géographique connue de Foc TR4 comprend des zones écoclimatiques comparables à celle de la zone ARP (Tab. 2, Fig. 4).

Tableau 2 : Classification climatique de Köppen Geiger des pays où Foc TR4 a été décrit et de la zone de l'ARP

Pays (Hors zone ARP) où Foc TR4 est présent	Classification Köppen Geiger	zone ARP	Classification Köppen Geiger
Australie	ABC	Guadeloupe	A
Birmanie	ABCDE	Guyane	A
Indonésie	A	Martinique	A
Jordanie	BC	Mayotte	A
Laos	AC	La Réunion	A
Liban	C		
Malaisie	A		
Mozambique	ABC		
Pakistan	BCDE		
Philippines	A		
République Populaire de Chine	ABCD		
Taiwan	AC		
Vietnam	AC		

A : climat tropical

B : climat sec

C : climat tempéré

D : climat continental

E : climat polaire

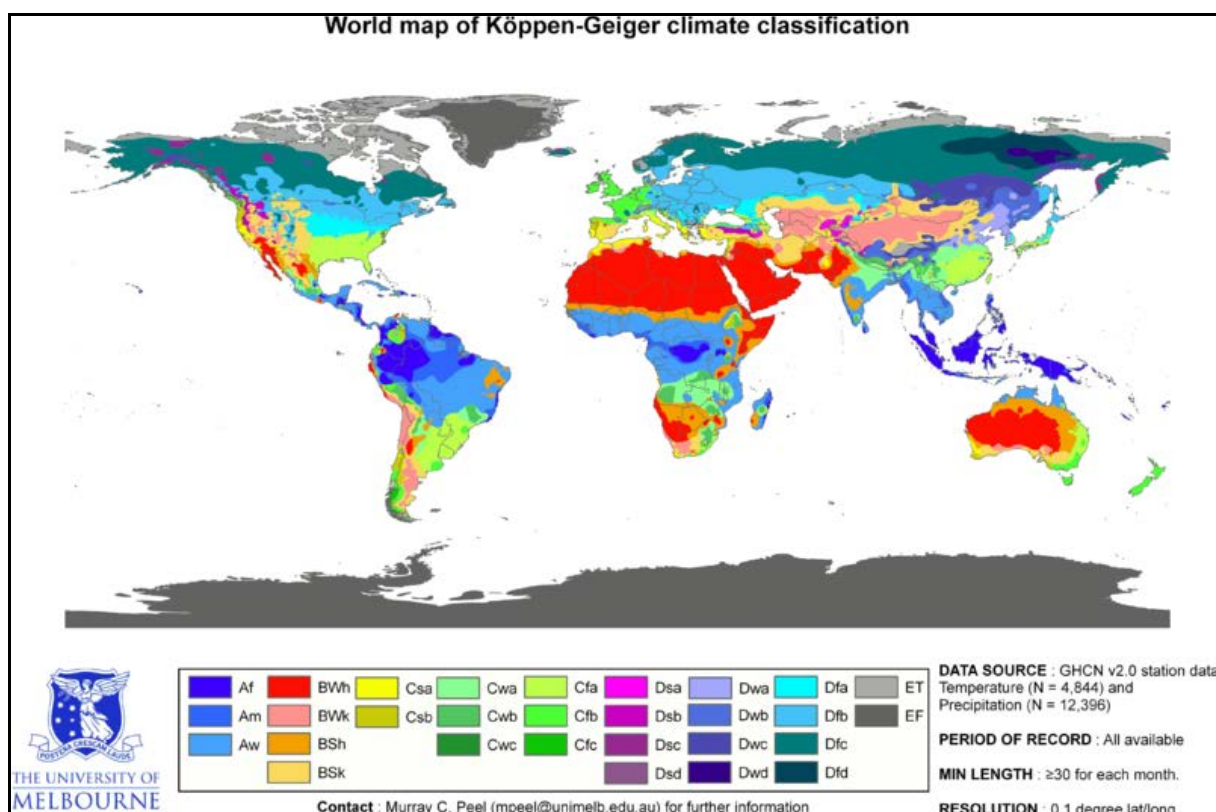


Figure 4 : Carte mondiale des climats selon la classification de Köppen-Gieger

2.2.1.5 Possibilités de conséquences économiques dans la zone ARP.

1.16 En se référant spécifiquement à la plante(s) ou aux habitats qui sont présents dans la zone ARP, et les dégâts ou les pertes causés par l'organisme nuisible dans sa zone de répartition actuelle, l'organisme nuisible peut-il par lui-même, ou en tant que vecteur, causer des dégâts ou des pertes significatifs aux végétaux ou d'autres impacts économiques négatifs (sur l'environnement, la société, ou les marchés à l'exportation) à travers l'effet sur la santé des végétaux dans la zone ARP ?

Oui, Foc TR4 cause un dépérissement des bananiers infectés pouvant mener à la mort de la plante et une perte totale de production. Le potentiel de production d'une zone infectée est compromis pendant de nombreuses années. De telles pertes sont observées dans l'ensemble des zones géographiques infectées par Foc TR4 (Ploetz, 2015b).

2.2.1.6 Conclusion de la catégorisation de l'organisme nuisible

1.17 Cet organisme nuisible peut présenter un risque phytosanitaire pour la zone ARP ?

Foc TR4 est pathogène sur les cultivars de bananier dessert majoritairement cultivés dans la zone ARP. Les conditions climatiques de la zone ARP sont favorables à l'installation, au développement et à l'expression de l'activité pathogène de Foc TR4. Dans ces conditions Foc TR4 provoque des dégâts importants sur les cultures de bananier se traduisant par des pertes de récolte et l'impossibilité de cultiver des bananiers pendant de nombreuses années.

L'ensemble de ces éléments montre que Foc TR4 peut présenter un risque phytosanitaire pour la zone ARP.

2.2.2 Section B : Évaluation de la probabilité d'introduction et de dissémination et des conséquences économiques éventuelles

2.2.2.1 2. Probabilité d'introduction et de dissémination

2.2.2.1.1 *Probabilité d'entrée d'un organisme nuisible*

Identification des filières

2.01 Lister les filières pertinentes.

Foc produit différents types de propagules qui peuvent être véhiculées avec le végétal (conidies, chlamydo-spores et mycélium), par l'eau (conidies et chlamydo-spores), et par le sol (chlamydo-spores). Les chlamydo-spores sont des spores de conservation qui peuvent persister plusieurs mois dans le sol (Newcombe, 1960). Le champignon peut persister dans le sol plusieurs années grâce à son comportement saprotrophe indépendamment de la présence de la plante hôte (Hennessy *et al.*, 2005)

Compte tenu de ces éléments, les filières pertinentes d'entrée de Foc TR4 sont les suivantes :

Végétaux destinés à la plantation :

- Vitroplants de bananier sortis de laboratoire sur milieu artificiel (gélosé) ou vitroplants pré-sevrés en pépinière sur substrat de culture. À ce jour, les sociétés de production de vitroplants de bananiers sont au nombre de trois et les sites de production sont localisés en France (Vitropic SA), en Afrique du Sud (Du Roi Laboratory) et en Israël et en Amérique latine (Rahan Meristem – Agrobiotechnology Company). Jusqu'à ce jour, les sites de production de ces sociétés étaient localisés dans des régions indemnes de Foc TR4. En 2018, une note de l'OEPP rapporte qu'Israël a été déclaré zone infestée en 2016 mais que Foc TR4 est considéré éradiqué de la zone en 2018 (<https://gd.eppo.int/reporting/article-6300>). En outre, la France n'est pas en zone tropicale et ne produit pas de bananes,
- Bulbes, rejets et plants racinés.

Partie de végétaux et produits végétaux :

- Bananes (couronnes comprises),
- Feuillages symptomatiques et asymptomatiques de bananier,
- Fleurs coupées,
- Sol adhérent à des parties de plantes (tubercules et bulbes).

Autres filières possibles :

- Sol,
- Substrat de culture horticole (par exemple, fibre de coco, mini motte et terreau),
- Tout engin provenant d'une parcelle contaminée par Foc TR4,
- Passagers (sol adhérent),
- Déchets végétaux (compost),
- Dissémination naturelle par l'eau de ruissellement, les cours d'eau et les réseaux de distribution d'eau d'irrigation,
- Produits fabriqués à partir de végétaux (ficelles, sacs, corbeilles tressées, produits manufacturés à partir de feuilles de bananier).

2.02 Sélectionner à partir des filières pertinentes, en utilisant des avis d'experts, celles qui semblent les plus importantes.

Les filières pertinentes les plus importantes sont :

- Les vitroplants de bananier sortis de laboratoire sur milieu artificiel (gélosé),
- Les vitroplants pré-sevrés de bananier en pépinière sur substrat de culture,
- Les parties de plantes : bananes, bulbes, rejets de bananier, plants racinés de toutes plantes et fleurs coupées produites en zone où Foc TR4 est présent,
- Le sol adhérent aux bulbes et tubercules, aux chaussures des passagers, aux véhicules, et le substrat de culture horticole.

Probabilité que l'organisme nuisible soit associé avec la filière individuelle à l'origine.

2.03 Quelle est la probabilité que l'organisme nuisible soit associé à la filière à l'origine, en prenant en compte la biologie de l'organisme ?

très improbable, improbable, modérément probable, probable, très probable

Niveau d'incertitude :	Faible	Modéré	Élevé
------------------------	--------	--------	-------

Vitroplants de bananier :

La multiplication *in vitro* conforme du bananier est classiquement réalisée par bourgeonnement axillaire et / ou adventif (Mateille et Foncelle, 1989 ; Côte *et al.*, 1990) (Fig. 5). La zone apicale d'un rejet de bananier est placée sur un milieu minéral gélosé pour une multiplication initiale. Après deux mois de culture, quatre à huit bourgeons (explants sans feuille apparente) ou pousses (explants avec feuilles) sont produits par le rejet. La multiplication des bourgeons et pousses se traduit par une prolifération en touffe et dure environ un mois. Le taux de prolifération mensuel (nombre final d'explants / nombre initial) des bananiers du sous-groupe Cavendish est compris entre 1,5 et 3. Une partie des cals produits est conservée sur ce milieu pour maintenir la production. Une autre partie est repiquée sur un milieu de croissance sans hormone végétale, les pousses se développent en « bananiers » (explants avec feuilles et racines, également appelé vitroplants). Après un mois de culture, ces vitroplants sont transférés *in vivo* en phase d'acclimatation (Tab. 3).

L'observation des symptômes de Foc TR4 sur les pieds mères, à condition qu'ils soient visibles, et sur les vitroplants de variétés sensibles (Cavendish) associée à l'observation de développement fongique sur le milieu gélosé où sont cultivés les vitroplants (de variétés sensibles ou tolérantes) permettent d'éliminer au maximum les sources de contamination par Foc TR4 au cours du processus de multiplication par vitroculture. Cependant, aucune publication scientifique n'indique que ce filtre soit absolu.

L'état sanitaire indemne de Foc TR4 des vitroplants issus de micropropagation *in vitro* ne peut être garanti qu'à la condition que le matériel de base de la multiplication soit « indexé » vis-à-vis de ce champignon, c'est-à-dire contrôlé indemne de Foc TR4 par une méthode de référence. Seule la sélection d'un matériel de base indemne de Foc TR4, et le maintien de ce matériel dans des conditions empêchant toute contamination, pourront garantir la production de vitroplants sains.

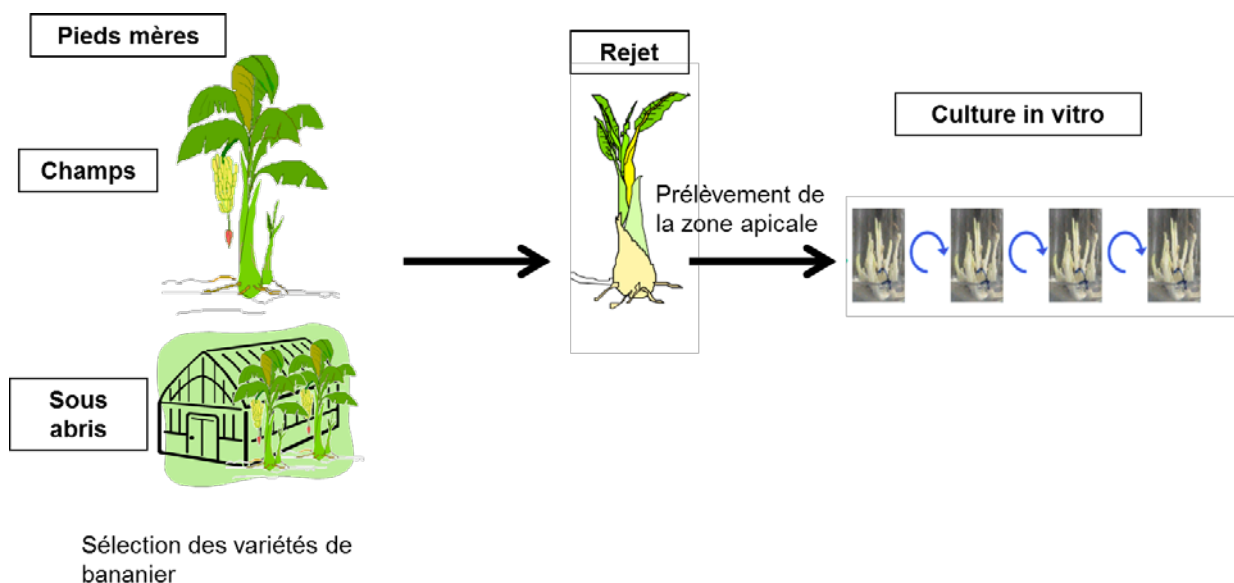


Figure 5A : Production de vitroplants par multiplication in vitro de tissus méristématiques prélevés de rejets issus de pieds mères de bananiers présélectionnés

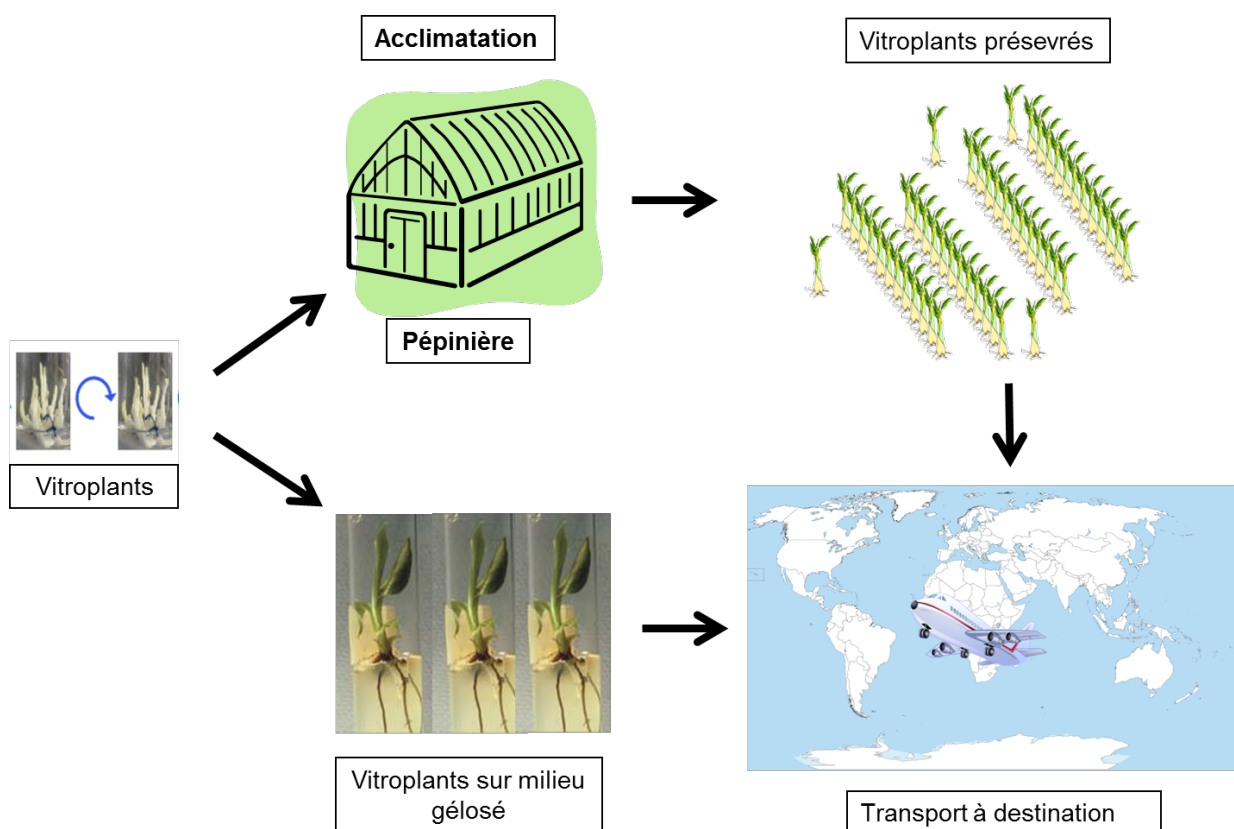


Figure 5B : Phase d'enracinement et acclimatation des vitroplants par culture en serre sous abri, sur milieu gélosé puis pré-sevrage sur substrat de culture avant l'exportation.

Figure 5 A&B : schéma de production des bananiers par multiplication *in vitro*

Tableau 3 : Localisations géographiques et nature des substrats utilisés pour chacune des étapes du processus d'obtention de vitroplants à partir de pieds mères.

Action	Milieu de culture	Localisation géographique
Contrôle de l'état sanitaire et sélection des pieds mères	Champ, pleine terre sous abris ou hors sol sous serre	Sociétés et pays producteurs putatifs de vitroplants
Élevage des pieds mères	Champ, pleine terre sous abris ou hors sol sous serre	Sociétés et pays producteurs putatifs de vitroplants
Prélèvement des rejets		Sociétés et pays producteurs putatifs de vitroplants Vigilance sur le transport trans-zones
Contrôle de l'état de sanitaire des rejets		Sociétés et pays producteurs putatifs de vitroplants
Multiplication (prolifération) <i>in vitro</i> des apex	Milieu gélosé	Sociétés et pays producteurs putatifs de vitroplants
Croissance et allongement des vitroplants	Milieu gélosé	Sociétés et pays producteurs putatifs de vitroplants
Pré-sevrage	En confinement (chambre climatique), sur substrat de culture (fibre de coco ou autre support)	Soit sur le lieu de production des vitroplants ou soit dans le pays importateur en pépinière
Sevrage	Substrat de culture (fibre de coco ou autre support avec du sol)	Dans le pays importateur en pépinière (sous ombrière)
Installation (plantation) dans la future bananeraie	Sol, pleine terre	Dans le pays importateur

Sur la base de ces informations, les probabilités que l'organisme nuisible soit associé à l'origine ont été évaluées pour chaque filière principale (2.03.1 à 2.03.4) :

2.03.1 Les vitroplants sortis de laboratoire sur milieu artificiel (gélosé)

Facteurs favorisant l'association :

- Zone de production des vitroplants infectée par Foc TR4,
- Pieds mères de bananier infectés par Foc TR4.

Incertitudes :

- Niveau de contamination par Foc TR4 des zones de production de vitroplants de bananier,
- Capacité de la multiplication *in vitro* par culture d'apex à propager Foc TR4 sous forme latente.

Niveau de probabilité : très improbable mais non nul

Niveau d'incertitude : faible (Tab. 4 ; plus globalement, les probabilités et les incertitudes concernant l'évaluation du risque d'entrée de Foc TR4 sont récapitulées dans le tableau 4, en fin de section 2, page 32)

2.03.2 Les vitroplants pré-sevrés en pépinière sur substrat de culture

Facteurs favorisant l'association :

- Zone de production des vitroplants infectée par Foc TR4,
- Pieds mères de bananier infectés par Foc TR4,
- Sol ou substrat infecté par Foc TR4 adhérent aux vitroplants pré-sevrés en pépinière.

Incertitudes :

- Niveau de contamination par Foc TR4 des zones de production de vitroplants de bananier,
- Capacité de la multiplication *in vitro* par culture d'apex à propager Foc TR4 sous forme latente,
- Possibilité que des plants acclimatés contaminés par Foc TR4 soient introduits dans la zone ARP.

Niveau de probabilité : improbable**Niveau d'incertitude : modéré**

2.03.3 Parties de plante (par exemple fleurs coupées), bulbes, rejets et plants racinés de toutes plantes produites en zone où Foc TR4 est présent :

Facteurs favorisant l'association :

- Densité d'inoculum de Foc TR4 dans les sols,
- Plantes asymptomatiques.

Incertitudes :

- Distribution de Foc TR4 à l'échelle de la zone d'origine de production des plantes,
- Réceptivité des différentes espèces à Foc TR4.

Niveau de probabilité : probable**Niveau d'incertitude : modéré**

2.03.4 Sol adhérent aux bulbes et tubercules, chaussures des passagers, véhicules et substrats de culture (notamment fibres de coco utilisées pour le sevrage de bananiers)

Facteurs favorisant l'association :

- Densité d'inoculum de Foc TR4 dans les sols.

Incertitudes :

- Distribution de Foc TR4 à l'échelle de la zone d'origine des matériels, des véhicules, des passagers, des substrats de culture ou des plantes,
- Quantité de sol embarqué.

Niveau de probabilité : probable

Niveau d'incertitude : modéré

2.04 Quelle est la probabilité que l'organisme nuisible soit associé à la filière à l'origine, en prenant en compte les *conditions actuelles de gestion* ?

- **Les vitroplants sortis de laboratoire sur milieu artificiel (gélosé),**
- **Les vitroplants présevrés en pépinière sur substrat de culture.**

Les mesures de sélection du matériel de base à la multiplication *in vitro* imposent un contrôle de l'état phytosanitaire de ce matériel. Toutefois, à notre connaissance, le contrôle sanitaire (indexation) des pieds mères de bananier ne concerne pas la présence de Foc TR4.

Actuellement les échanges de matériel végétal dans les DROM se font sous forme de vitroplants élevés sur milieu artificiel (« cahier des charges relatif aux obligations incombant aux établissements producteurs de vitro-plants de bananiers à destination de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique, de Mayotte et de La Réunion »). Les vitroplants pré-sevrés sont théoriquement interdits d'importation dans les DROM, mais un point de vigilance doit être mis en place pour que de telles introductions ne se produisent pas.

En l'absence d'obligation de contrôle sanitaire (indexation) des pieds mères vis-à-vis de Foc TR4, la probabilité (et l'incertitude associée) que l'organisme nuisible soit associé à la filière à l'origine, en prenant en compte les conditions actuelles de gestion est équivalente à la probabilité et l'incertitude évaluées à la question 2.03. Pour les vitroplants sur milieu gélosé, l'association est jugée très improbable mais possible avec une incertitude faible. Pour les vitroplants pré-sevrés, l'association est jugée improbable mais possible avec une incertitude modérée.

- **Les parties de plantes : bananes, bulbes, rejets, plants racinés de toutes plantes et fleurs coupées produites en zone où Foc TR4 est présent,**
- **Le sol : adhérent aux bulbes et tubercules, chaussures des passagers, véhicules et substrats de culture.**

Pour ces filières, des mesures de gestion de Foc TR4 existent et sont de portées limitées et leur application est variable selon les pays producteurs de bananes :

- exclusion : confinement des zones contaminées en érigeant des barrières physiques les ceinturant, en désinfectant le matériel (engins, outils, chaussures) et tout véhicule sortant de la zone contaminée, en mettant en place des pédiluves fonctionnels et entretenus aux accès aux zones contaminées comme aux zones saines,
- destruction des plants contaminés.

Dans les pays où aucune mesure de gestion n'est prise, la probabilité est identique à celle évaluée à la question 2.03, c'est-à-dire probable avec une incertitude modérée.

Dans les pays où les mesures de gestion telles que décrites ci-dessus sont prises, la probabilité d'association avec la filière à l'origine est jugée modérément probable avec une incertitude modérée.

2.05 En prenant en compte le volume de mouvement le long de la filière (pour les périodes pendant lesquelles l'organisme est susceptible d'être associé avec elle), quelle est la probabilité que ce volume favorise l'entrée ?

L'association entre les différentes filières et Foc TR4 est continue dans le temps et n'a pas de saisonnalité. Quelle que soit la filière concernée le risque augmente en fonction du volume de mouvement (vitroplants, parties de plantes et sols).

Niveau de probabilité : très probable
Incertitude : faible

2.06 En prenant en compte la fréquence de mouvement le long de la filière (pour les périodes pendant lesquelles l'organisme est susceptible d'y être associé), quelle est la probabilité que cette fréquence favorise l'entrée ?

Sans objet cf question 2.05.

Probabilité de survie pendant le transport ou le stockage

2.07 Quelle est la probabilité que l'organisme nuisible survive pendant le transport ou le stockage ?

La probabilité que Foc TR4 survive pendant le transport est très élevée car l'agent pathogène dispose de plusieurs types de propagules (mycélium, conidies et chlamydozoospores) (cf : question 1.02). Les chlamydozoospores plus particulièrement permettent la survie de l'agent pathogène pendant plusieurs mois (Newcombe, 1960) et dans des conditions extrêmes (température et humidité).

Niveau de probabilité : très probable
Niveau d'incertitude : faible

2.08 Quelle est la probabilité que l'organisme nuisible se multiplie ou augmente en prévalence pendant le transport ou le stockage ?

Vitroplants issus de laboratoire sur milieu gélosé :

Foc TR4 peut se multiplier et augmenter sa prévalence dans un lot de vitroplants sur milieu gélosé conditionné pour le transport. Un vitroplant infecté dans un lot peut contaminer les autres vitroplants du même lot.

Vitroplants pré-sevrés :

Foc TR4 peut se multiplier et augmenter sa prévalence dans un lot de vitroplants pré-sevrés. Un vitroplant infecté dans un lot peut contaminer le substrat et les autres vitroplants du même lot. D'autre part, le substrat contaminé par Foc TR4 peut s'échapper du conditionnement et se répandre dans la zone d'introduction.

Niveau de probabilité : probable
Niveau d'incertitude : modéré

Partie de plantes :

Cette filière regroupe un ensemble de plantes potentiellement hôtes et non-hôtes de Foc TR4 (Hennessy *et al.*, 2005), représentatives de situations biologiques différentes (état sec ou humide) et de cas de figure de transport variés (transport aérien, maritime et routier, réfrigéré ou non). L'ensemble de ces situations conduit à une diversité de probabilités de multiplication de l'agent pathogène. Pour cette filière prise dans son ensemble, il est considéré que la multiplication et l'augmentation de prévalence pendant le transport sont modérément probables avec une incertitude élevée.

Niveau de probabilité : modérément probable**Niveau d'incertitude : élevé****Sols :**

L'agent pathogène ne se multiplie pas dans le sol durant la période transport.

Niveau de probabilité : très improbable**Niveau d'incertitude : faible**

Probabilité que l'organisme nuisible survive aux procédures de lutte en vigueur

2.09 Avec les procédures d'inspection actuelles, quelle est la probabilité que l'organisme nuisible entre dans la zone ARP sans être détecté ?

Actuellement, il n'existe, vis-à-vis de Foc TR4, aucune mesure d'inspection du matériel, ni à l'entrée dans la zone ARP, ni pendant la période d'acclimatation des vitroplants. En particulier, le cahier des charges relatif aux conditions d'acclimatation (« cahier des charges relatif aux conditions d'acclimatation de vitro-plants de bananiers en Guadeloupe, Guyane, Martinique, à Mayotte et à La Réunion ») ne prévoit aucune obligation de surveillance des bananiers pour l'apparition de symptômes de Foc TR4. La probabilité que l'agent pathogène entre sans être détecté est donc très élevée.

Niveau de probabilité : très probable**Niveau d'incertitude : faible**

Probabilité de transfert à un hôte ou habitat approprié

2.10 Quelle est la probabilité que l'organisme nuisible passe de la filière à un hôte ou un habitat approprié ?**Vitroplants de bananier :**

La plantation de bananiers issus de vitroplants infectés par Foc TR4 conduira à une contamination du sol et donc à l'établissement de l'agent pathogène dans des zones de production de bananier.

Niveau de probabilité : très probable**Niveau d'incertitude : faible****Partie de plantes et sols**

Les parties de plantes infectées par Foc TR4 supposées retourner au sol (déchets verts et composts), les plantes destinées à la plantation (hôtes asymptomatiques comme par exemples des plantes ornementales et des arbres fruitiers) et les sols introduits risquent de contaminer le sol. La propagation de l'agent pathogène pourrait être assurée par la rencontre d'une plante hôte et ou par la dispersion du sol par les activités humaines.

Niveau de probabilité : modérément probable
Niveau d'incertitudes : modéré

Substrats horticoles destinés au sevrage des vitroplants

Dans l'hypothèse où l'acclimatation des vitroplants de bananiers, dans la zone ARP, se ferait dans des substrats horticoles potentiellement contaminés par Foc TR4, le transfert de Foc TR4 serait très probable car durant cette phase l'hôte sensible serait en contact direct avec les propagules infectieuses de l'agent pathogène. La plantation de bananiers issus de tels vitroplants dans des parcelles de production contribuerait à l'établissement de Foc TR4 dans un habitat approprié.

Niveau de probabilité : très probable
Niveau d'incertitude : faible

2.11 La probabilité d'entrée pour la filière doit être évaluée

Sans objet

Prise en compte d'autres filières

2.12 Doit-on envisager d'autres filières ?

Sans objet

2.2.2.1.1 Conclusion sur la probabilité d'entrée

2.13 Décrire la probabilité globale d'entrée en prenant en compte les risques présentés par les différentes filières et estimer la probabilité globale d'entrée dans la zone ARP pour ce ravageur (commenter sur les points clés qui ont conduit à cette conclusion).

Vitroplants sur milieu gélosé :

Actuellement dans la zone ARP, la culture du bananier repose quasi exclusivement sur l'importation de vitroplants sur milieu gélosé.

Pour ces vitroplants, l'association avec Foc TR4 est très improbable mais possible compte tenu de :

- (i) l'absence d'obligation de contrôle sanitaire des pieds mères vis-à-vis de Foc TR4,
- (ii) l'introduction de vitroplants de bananiers tolérants (asymptomatiques) éventuellement porteurs de Foc TR4,
- (iii) l'évolution rapide et insidieuse d'une région du statut « indemne » vers « contaminée », liée à l'extension actuelle de la distribution mondiale de Foc TR4.

Par ailleurs, l'introduction de vitroplants est continue, met en jeu des volumes importants (plusieurs centaines de milliers par an) et concerne des zones directement favorables à l'établissement de Foc TR4.

Pour l'ensemble de ces raisons la filière vitroplants constitue un risque majeur d'introduction de l'agent pathogène dans les DROM.

Niveau de probabilité : très probable
Niveau d'incertitude : modéré

Vitroplants présevrés :

L'utilisation de vitroplants pré-sevrés n'est pas une filière autorisée actuellement mais présente un niveau de risque comparable voire supérieur à celui de la filière vitroplants sur milieu gélosé du fait de la présence potentielle de l'agent pathogène dans le substrat de culture.

Pour les **parties de plantes**, il existe des incertitudes sur la gamme d'hôte de plantes susceptibles d'héberger Foc TR4 et sur le caractère porteur ou non de l'agent pathogène par ces plantes. Même si ces parties de plantes ne sont pas, pour leur grande majorité, introduites dans les plantations de bananier en monoculture, il existe aussi une incertitude sur le devenir de ces plantes et parties de plantes (agroforesterie et diversification culturale, et déchets verts). De plus, des volumes importants de matériel végétal sont importés en provenance directe de zones géographiques reconnues infectées par Foc TR4.

Niveau de probabilité : probable

Niveau d'incertitude : modéré

Sols :

Les sols provenant de zones infectées par Foc TR4 sont des sources directes d'introduction des formes de conservation du champignon. Les sols peuvent être introduits indirectement quand ils sont adhérents à des supports (végétaux ou matériels inertes tels que conteneurs, engins et passagers) ou directement quand ils constituent des substrats horticoles.

Niveau de probabilité : probable

Niveau d'incertitude : élevé

Probabilité globale d'entrée

La probabilité d'entrée est au moins égale à la probabilité d'entrée la plus élevée représentée par la filière vitroplant c'est-à-dire très probable. Cela s'applique surtout au cas de la Martinique et de la Guadeloupe où des volumes importants de vitroplants sont introduits.

L'incertitude globale résulte principalement de l'incertitude sur l'évolution de la distribution géographique de Foc TR4 dans les régions exportatrices de produits végétaux, incluant des denrées alimentaires, vers la zone ARP et sur la diversité des produits importés dans cette même zone ARP. L'incertitude globale repose également sur la proximité géographique de zones où Foc TR4 est présent et de son niveau de prévalence par rapport aux DROM constituant la zone ARP (risque lié à la circulation des personnes). Cela s'applique surtout au cas de Mayotte et de La Réunion compte tenu des liens commerciaux et culturels avec le sud-est asiatique où Foc TR4 est en forte expansion. L'incertitude globale est modérée.

Niveau de probabilité : très probable

Niveau d'incertitude : modéré

Tableau 4 : Récapitulatif des résultats d'élicitation, des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité d'entrée de Foc TR4

L'ensemble des résultats d'élicitation est repris en annexe 2.

Élément du schéma	1er quartile	Médiane	3ème quartile	Note de probabilité	Incertitude 25-75%
Entrée					
2.03 Probabilité association. Vitroplant	0,0023	0,00435	0,0073	Très improbable	Faible
2.03 Probabilité d'association. Parties végétales	0,374	0,537	0,694	Probable	Modérée
2.03 Probabilité d'association. Sol adhérent	0,584	0,746	0,871	Probable	Modérée
2.04 Probabilité d'association en prenant les conditions actuelles de gestion (vitroplants milieu gélosé)				Improbable	Faible
2.04 Probabilité d'association en prenant en compte les conditions actuelles de gestion (vitroplants présevres)				Improbable	Modérée
2.04 Probabilité d'association en prenant en compte les conditions actuelles de gestion (parties de plantes + sol)				Probable	Modérée
2.04 Probabilité d'association avec mesures de gestion (parties végétales + sol)	0,347	0,467	0,612	Modérément Probable	Modérée
2.05 Probabilité que le volume favorise l'entrée				Très Probable	Faible
2.07 Probabilité de survie pendant le transport ou le stockage				Très Probable	Faible
2.08 Probabilité de multiplication. Vitroplants	0,44	0,569	0,697	Probable	Modérée
2.08 Probabilité de multiplication. Parties végétales	0,194	0,335	0,501	Modérément Probable	Elevée
2.08 Probabilité de multiplication Sol				Très Probable	Faible
2.09 Probabilité d'entrée avec les procédures d'inspections actuelles				Très Probable	Faible
2.10 Probabilité de transfert Vitroplant				Très Probable	Faible
2.10 Probabilité de transfert. Parties végétales et Sol	0,114	0,272	0,489	Modérément Probable	Modérée
2.10 Probabilité de transfert du substrat horticole de sevrage de vitroplant				Très Probable	Faible
2.13 Probabilité d'entrée. Vitroplants sur milieu gélosé	0,711	0,846	0,936	Très Probable	Modérée
2.13 Probabilité d'entrée. Parties végétales	0,383	0,548	0,705	Probable	Modérée
2.13 Probabilité d'entrée. Sol	0,459	0,702	0,881	Probable	Elevée
Probabilité globale entrée				Très Probable	Modérée

2.2.2.1.2 Probabilité d'établissement

No.	Facteur	Colonne A Le facteur est-il susceptible d'avoir une influence sur les limites de la zone d'établissement potentiel ?	Colonne B Le facteur est-il susceptible d'influencer l'établissement dans la zone d'établissement potentiel ?
1	Plantes-hôtes et habitats adaptés (voir note pour la Q3.01)	Répondre à la Q3.01. Oui	Répondre à la Q3.09. Oui
2	Hôtes alternes et autres espèces essentielles (voir note pour la Q3.02)	Seulement si c'est pertinent, répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.02. Si NON, justifier. Non Foc TR4 peut faire son cycle dans le sol et sur ses plantes hôtes sans intervention d'hôtes alternes.	Seulement si c'est pertinent, répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.10. Si NON, justifier. Non Foc TR4 peut faire son cycle dans le sol et sur ses plantes hôtes sans intervention d'hôtes alternes.
3	Climat (voir note pour la Q3.03)	Répondre à la Q3.03. Non, le climat n'est pas un facteur limitant.	Répondre à la Q3.11. Non, le climat n'est pas un facteur limitant.
4	Autres facteurs abiotiques (voir note pour la Q3.04)	Répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.04. Si NON, justifier. Aucun	Répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.12. Si NON, justifier. Aucun
5	Compétition et ennemis naturels (voir note pour la Q3.05)	Répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.05. Si NON, justifier. Non, la compétition naturelle n'aura pas d'influence sur le développement de Foc TR4 dans la zone ARP.	Répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.13. Si NON, justifier. Non, la compétition naturelle n'aura pas d'influence sur le développement de Foc TR4 dans la zone ARP.
6	Gestion de l'environnement (voir note pour la Q3.06)	Répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.06. Si NON, justifier. Oui, les cultures associées et les couverts végétaux stimulent la microflore tellurique, la compétition et peuvent participer au contrôle du développement de <i>F. oxysporum</i> (Himmelstein et al 2016).	Répondre aux Q3.14 et 3.15. Oui, les cultures associées et les couverts végétaux stimulent la microflore tellurique, la compétition et peuvent participer au contrôle du développement de <i>F. oxysporum</i> (Himmelstein et al 2016).
7	Culture sous abris (voir note pour la Q3.07)	Répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q3.07. Si NON, justifier. Oui	Répondre OUI ou NON. Si OUI, répondre à la Q 3.16. Si NON, justifier. non

Identification de la zone d'établissement potentielFacteur 1. Plantes-hôtes et habitats adaptés**3.01 Identifier et décrire la zone où il existe des plantes-hôtes ou des habitats adaptés dans la zone ARP (en dehors des cultures sous abris).**

Dans tous les DROM, il existe des plantes hôtes de Foc TR4 (Tab. 5).

Tableau 5 : Surfaces cultivées de banane [et pourcentage de la Surface Agricole Utile] dans les DROM (recensement agricole, 2010 à 2016)

DROM	Bananes légumes (ha, [%SAU])	Bananes desserts (ha [%SAU])
Guadeloupe (2016)	120 [0,4%]	2 000 [6.6%]
Martinique (2010)	395 [1,6%]	6 396 [26%]
Guyane (2016)	400 [1,3%]	870 [2,8%]
La Réunion (2012)	1,2 [0,3%]	483 [1,1%]
Mayotte (2010)	2 264 [26%]	250 [3]

Bien que Foc TR4 soit ubiquiste, l'expression de son activité infectieuse est plus marquée dans les sols acides et légers que dans les sols basiques et lourds (Stover, 1962).

Facteur 2. Hôtes alternes et autres espèces essentielles**3.02 L'ensemble de la zone identifiée dans 3.01 a-t-elle les hôtes alternes ou les autres espèces essentielles qui sont nécessaires au cycle biologique de l'organisme nuisible ?**

Sans objet

3.03 L'ensemble de la zone identifiée dans les questions précédentes a-t-elle un climat adapté à l'établissement ?

Oui, le climat de la zone ARP est favorable au développement de Foc TR4. Il a préalablement permis l'établissement d'autres races de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (Stover, 1962).

Facteur 4. Autres facteurs abiotiques**3.04 L'ensemble de la zone identifiée comme permettant l'établissement dans les questions précédentes a-t-elle d'autres facteurs abiotiques favorables à l'établissement ?**

Sans objet

Facteur 5. Compétition et ennemis naturels**3.05 Est-il probable que la zone identifiée comme permettant l'établissement dans les questions précédentes reste la même en présence de compétiteurs et d'ennemis naturels ?**

Sans objet

Facteur 6. Gestion de l'environnement**3.06 Est-il probable que la zone identifiée comme permettant l'établissement dans les questions précédentes reste la même malgré la gestion de l'environnement ?**

Oui, des mesures de gestion peuvent permettre de limiter le développement de l'agent pathogène mais ne permettent pas d'éradiquer Foc TR4 une fois que celui-ci est installé dans la parcelle (Dale *et al.*, 2017).

Facteur 7. Culture sous abris**3.07 Les plantes hôtes sont-elles cultivées sous abris dans la zone ARP ? Si l'organisme nuisible est une plante, a-t-il été signalé comme étant une adventice sous abris ailleurs ?**

Oui, des plantes hôtes de Foc TR4 sont cultivées sous abris (par exemple pépinière d'acclimatation des vitroplants de bananier dans chaque DROM où des vitroplants sont introduits).

Zone d'établissement potentiel**3.08 En combinant les réponses cumulatives aux questions 3.01 à 3.06 auxquelles on a répondu avec la réponse à la question 3.07, identifier la partie de la zone ARP où la présence de plantes-hôtes ou d'habitats adaptés et où les autres facteurs favorisent l'établissement de l'organisme nuisible.**

Toutes les zones de culture du bananier dans la zone ARP sont favorables au développement de Foc TR4.

Adéquation de la zone d'établissement potentielPrésence d'hôtes ou d'habitats adaptés, d'hôtes alternes et de vecteurs dans la zone ARP**3.09 Quelle est la probabilité que la répartition des hôtes ou des habitats adaptés dans la zone d'établissement potentiel favorise l'établissement ?**

Il est **très probable** que la répartition des plantes hôtes de Foc TR4 favorise son établissement. Les plants de bananiers sont largement distribués au sein de la zone ARP.

Niveau d'incertitude : faible (Tab. 6 page 38 ; plus globalement, les probabilités et les incertitudes concernant l'évaluation du risque d'établissement de Foc TR4 sont récapitulées dans le tableau 6, en fin de section 3)

3.10 Quelle est la probabilité que la répartition, dans la zone d'établissement potentiel, d'hôtes alternes ou d'autres espèces essentielles au cycle biologique de l'organisme nuisible favorise l'établissement ?

très improbable, improbable, modérément probable, probable, très probable

Niveau d'incertitude :	Faible	Modéré	Élevé
------------------------	--------	--------	-------

Sans objet

Adéquation de l'environnement

3.11 En se basant sur la zone d'établissement potentiel déjà identifiée, dans quelle mesure les conditions climatiques affectant l'établissement de l'organisme de cette zone sont-elles similaires à celles de la zone de répartition actuelle ?

Toutes les zones de culture du bananier sont favorables au développement de Foc TR4. Les conditions climatiques affectant l'établissement de Foc TR4 dans la zone ARP sont **largement similaires** à celles de la zone de répartition actuelle.

Niveau d'incertitude : faible

3.12 En se basant sur la zone d'établissement potentiel, quelle similitude existe-t-il entre les autres facteurs abiotiques affectant l'établissement de l'organisme nuisible pour cette zone et ceux de la zone de répartition actuelle ?

Sans objet

3.13 En se basant sur la zone d'établissement potentiel, quelle est la probabilité que l'établissement se produise malgré la compétition avec des espèces existantes, et/ou la présence d'ennemis naturels déjà présents ?

Sans objet

Pratiques culturelles et mesures de lutte

3.14 Dans quelle mesure la gestion de l'environnement dans la zone d'établissement potentiel favorise-t-elle l'établissement de l'organisme ?

La monoculture et la densité de plantation (2000 pieds / ha) de bananier sont des facteurs favorables à l'établissement de Foc TR4. Le continuum de plants de bananiers dans toute la zone ARP (hors plantation industrielle) est également favorable à l'établissement de Foc TR4. La gestion de l'environnement dans la zone d'établissement potentiel est **très favorable** à l'établissement de Foc TR4.

Niveau d'incertitude : faible

3.15 Quelle est la probabilité que l'organisme nuisible s'établisse malgré les pratiques de gestion phytosanitaires existantes ?

Aucune pratique de gestion phytosanitaire existante ne peut empêcher l'établissement de Foc TR4.

Niveau de probabilité : très probable
Niveau d'incertitude : faible

3.16 Est-il probable que l'organisme nuisible s'établisse dans des cultures sous abris dans la zone ARP ?

Sans objet

Autres caractéristiques de l'organisme nuisible influant sur la probabilité d'établissement

3.17 Quelle est la probabilité que la stratégie de reproduction de l'organisme nuisible et la durée de son cycle de développement facilitent son établissement ?

La stratégie de reproduction végétative de Foc TR4 facilite son établissement à la fois grâce aux chlamydospores (spores de conservation) qui assurent sa survie à long terme dans le sol et aux conidies (spores de dissémination) produites abondamment et qui assurent sa propagation.

Niveau de probabilité : très probable

Niveau d'incertitudes : faible

3.18 L'organisme nuisible est-il très adaptable ?

Non pertinent

Les souches de Foc TR4 constituent une population clonale et sont parfaitement adaptées aux conditions environnementales et aux hôtes présents dans la zone ARP. Il n'est pas possible de dire si ces mêmes souches seront capables de s'adapter rapidement à de nouveaux génotypes de bananier.

3.19 L'organisme nuisible s'est-t-il établi dans de nombreuses nouvelles zones hors de sa zone d'origine ?

Oui, Foc TR4 s'est **largement établi** dans de nouvelles zones (3 continents) depuis les dix dernières années.

Niveau d'incertitude : faible

2.2.2.1.2.1 Conclusion sur la probabilité d'établissement

3.20 La probabilité globale d'établissement doit être décrite.

La probabilité globale d'établissement de Foc TR4 dans la zone ARP est jugée **très élevée** compte-tenu de la large distribution des plantes hôtes dans la zone ARP, de conditions climatiques favorables à son établissement et de l'absence de moyen de lutte efficace (Tab. 6).

Niveau d'incertitude : faible

Tableau 6 : Récapitulatif des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité d'établissement de Foc TR4

Élément du schéma	Note de probabilité	Incertitude
Établissement		
3.09 Probabilité que la répartition des hôtes et habitats adaptés favorise l'établissement	Très Probable	Faible
3.11 Conditions climatiques similaires à la zone de répartition actuelle	Largement similaire	Faible
3.14 Mesure de gestion de l'environnement favorise l'établissement	Très favorable	Faible
3.15 Probabilité que l'organisme s'établisse malgré les pratiques de gestion phytosanitaire	Très Probable	Faible
3.17 Probabilité que la stratégie de reproduction de l'organisme et la durée de son cycle favorise son établissement	Très Probable	Faible
3.19 L'organisme nuisible s'est-il établi dans de nombreuses nouvelles zones en dehors de son aire d'origine	Largement établi	Faible
Probabilité globale établissement	Très élevée	Faible

2.2.2.2 Probabilité de dissémination

4.01 Quelle est la vitesse de dissémination la plus probable par des moyens naturels (dans la zone ARP) ?

Le principal vecteur de dissémination naturelle est l'eau de ruissellement. Il existe d'autres voies de dissémination de type zoochore telles que le transport de sol contaminé par des animaux sauvages ou domestiques et le transport sur son exosquelette par le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* (Meldrum *et al.*, 2013). Cependant, le déplacement de cet insecte est lent et limité à l'échelle d'une parcelle de culture de bananier (Vinatier *et al.*, 2010). **La vitesse de dissémination par le charançon du bananier est très faible avec une incertitude faible.**

Concernant la dissémination par l'eau, elle concerne des régions caractérisées par deux types de situations géographiques distinctes. Celle des îles volcaniques (Guadeloupe, Martinique, Mayotte et La Réunion) se caractérise par un relief important et donc par un ruissellement descendant limité au bassin versant. De ce fait seules les régions en aval du point contaminé seront infectées. La dissémination vers les zones amont est quasi nulle. Celle de la Guyane se caractérise par une absence de relief et un risque de dissémination circonscrit aux zones inondables via des inondations dans les zones fluviales.

En aval des zones contaminées dans les bassins versants et dans les zones inondables, **la vitesse de dissémination est considérée modérée avec une incertitude faible.** En dehors d'une dissémination descendante en bassin versant et horizontale dans les zones inondables, **la vitesse de dissémination par les eaux de pluie est considérée très faible avec une incertitude faible** (Tab. 7 ; plus globalement, les probabilités et les incertitudes concernant la dissémination sont récapitulées dans le tableau 7, en fin de section 4).

La vitesse de dissémination via la terre transportée par les animaux est considérée faible avec une incertitude élevée.

4.02 Quelle est la vitesse de dissémination la plus probable avec assistance humaine (dans la zone ARP) ?

Les vecteurs de dissémination de Foc TR4 avec assistance humaine sont le transport passif du sol par les employés, les outils de culture et les engins agricoles, le transfert de rejets de bananier et plantes asymptomatiques infectés par Foc TR4, l'irrigation des cultures et le transport intentionnel de sol.

La vitesse de dissémination par le transport passif du sol est **élevée avec une incertitude faible**. La vitesse de dissémination par transfert de matériel végétal infecté symptomatique ou asymptomatique est également **élevée avec une incertitude faible**. La vitesse de dissémination par l'eau d'irrigation contaminée par Foc TR4 est **élevée dans la limite de la zone d'irrigation avec une incertitude faible**. La vitesse de dissémination par transport intentionnel de sol est considérée comme **modérée avec une incertitude élevée**. En effet, cet événement est rare mais peut disséminer la maladie à grande distance.

2.2.2.2.1 Conclusion sur la probabilité de dissémination

4.03 Décrire la vitesse de dissémination globale

De manière globale, dans certains contextes sans mesures de gestion, des dynamiques épidémiques rapides ont été observées : par exemple, incidence supérieure à 50% en 3 ans dans une plantation de 300 ha en Malaisie (Ong Kim Pin, 1996). De même, dans le contexte du Laos, Foc TR4 a connu un développement épidémique rapide dans les 3 provinces du nord en 5 ans (Chittarath *et al.*, 2018, de Lapeyre *et al.*, 2017).

La vitesse de dissémination globale est considérée **élevée** avec une incertitude faible.

4.04 Quelle est votre meilleure estimation de la durée nécessaire pour que l'organisme atteigne son étendue maximale dans la zone ARP ?

La meilleure estimation de la durée nécessaire pour que l'organisme atteigne son étendue maximale dans la zone ARP est comprise entre 5 et 10 ans à partir de l'établissement de Foc TR4. Cette durée pourra varier dans cette fourchette en fonction du nombre d'introductions de Foc TR4 dans une aire donnée et également en fonction de la nature du sol (cf 3.01). L'incertitude est faible.

4.05 Sur la base des réponses aux questions 4.01, 4.02, et 4.04 tout en tenant compte de la présence éventuelle de l'organisme nuisible, quelle est la proportion de la zone d'établissement potentiel que vous vous attendez à voir envahie par l'organisme au bout de 5 ans ?

La proportion de la zone d'établissement potentiel de Foc TR4 au bout de 5 ans sera comprise entre 50% et 100%. Le niveau d'incertitude est faible.

Tableau 7 : Récapitulatif des résultats des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité de dissémination de Foc TR4

Élément du schéma	Note de probabilité	Incertitude
Dissémination		
4.01 Vitesse probable de dissémination par des moyens naturels Charançon	Très faible	Faible
4.01 Vitesse probable de dissémination par des moyens naturels, bassin versant (eaux descendantes)	Modérée	Faible
4.01 Vitesse probable de dissémination par des moyens naturels, bassin versant (en dehors des eaux descendantes)	Très faible	Faible
4.01 Vitesse probable de dissémination par des moyens naturels terre	Faible	Elevée
4.02 Vitesse de dissémination la plus probable avec assistance humaine transport de sol passif	Elevée	Faible
4.02 Vitesse de dissémination la plus probable avec assistance humaine transport de matériel végétal	Elevée	Faible
4.02 Vitesse de dissémination la plus probable avec assistance humaine eau d'irrigation	Elevée	Faible
4.02 Vitesse de dissémination la plus probable avec assistance humaine transport de sol (intentionnel)	Modérée	Elevée
4.03 vitesse de dissémination globale	Elevée	Faible
4.04 Meilleure estimation de la durée nécessaire pour que l'organisme atteigne son étendue maximale dans la zone ARP	5 à 10 ans	Faible
4.05 Proportion de la zone d'établissement envahie par l'organisme au bout de 5 ans	50 à 100%	Faible

2.2.2.3 Éradication, enrayement et populations transitoires de l'organisme nuisible

5.01 Compte tenu de ses caractéristiques biologiques, est-il probable que l'organisme nuisible puisse survivre aux programmes d'éradication dans la zone d'établissement potentiel ?

Comme tout champignon d'origine tellurique, Foc TR4 ne peut pas être éradiqué des sols contaminés. Cela a été confirmé dans l'ensemble des pays où il a été mis en évidence malgré la mise en place d'un programme d'éradication poussé (Australie et Mozambique) (Ploetz, 2015b). Un cas d'éradication a été décrit en Israël (<https://gd.eppo.int/reporting/article-6300>), mais il s'agit d'une situation particulière caractérisée par un sol sec, peu favorable au développement rapide et à la survie du champignon. Il est peut-être aussi prématuré de considérer que cette éradication est effective, comme cela avait été annoncé dans un premier temps en Australie. En tout état de cause, cette situation est très différente des sols des DROM de la zone ARP. Il est donc **très probable** que Foc TR4 survive aux programmes d'éradication dans la zone d'établissement potentiel, avec une **incertitude faible** (Tab. 8).

5.02 Compte tenu de ses caractéristiques biologiques, est-il probable que l'organisme nuisible ne puisse pas être enrayé dans le cas d'un foyer dans la zone ARP ?

Compte tenu des caractéristiques biologiques de Foc TR4, il est **très probable** que l'organisme ne puisse pas être enrayé dans le cas d'un foyer dans la zone ARP avec une **incertitude faible** (Tab. 8). Indépendamment des mesures prises par l'homme, la dissémination naturelle (dissémination par l'eau et multiplication saprophyte) est difficilement contrôlable. En outre, les méthodes de gestion à mettre en œuvre (infrastructure de confinement, c'est-à-dire la mise en place de barrières physiques empêchant la circulation des personnes et des animaux, zone tampon et désinfection de tout matériel sortant de la zone d'enrayement) sont contraignantes et difficilement applicables au paysage agricole des DROM concernés.

5.03 Quelle est la probabilité que des populations transitoires soient présentes dans la zone ARP via une migration naturelle ou une entrée via des activités humaines (y compris l'introduction intentionnelle dans l'environnement) ou la dissémination depuis des populations établies ?

Sans objet

Tableau 8 : Récapitulatif des résultats d'élicitation, des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation de la probabilité d'éradication et d'enrayement de Foc TR4

Élément du schéma	1er quartile	Médiane	3ème quartile	Note de probabilité	Incertainude 25-75%
Éradication/Enrayement					
5.01 Probabilité que l'organisme puisse survivre aux programmes d'éradication				Très Probable	Faible
5.02 Probabilité que l'organisme ne soit pas enrayé.	0,901	0,941	0,97	Très Probable	Faible

2.2.2.4 Évaluation des conséquences économiques éventuelles

2.2.2.4.1 *Impact économique "sensus-stricto"*

6.01 Quelle est l'importance de l'effet négatif de l'organisme nuisible sur le rendement et/ou la qualité des cultures ou sur les coûts de lutte dans sa zone de répartition actuelle ?

La culture du bananier est une culture pluriannuelle dont la durée d'implantation varie en fonction du type de sol (7 ans en moyenne et une 30aine d'années en Amérique centrale). Dans la zone de répartition actuelle de Foc TR4, les plants de bananier Cavendish infectés meurent et ne produisent plus de bananes. Sur un site en Malaisie, Ong Kim Pin (1996) montre qu'à l'échelle d'une parcelle au moins 50% des plants sont infectés par Foc TR4 en 5 ans. Les pertes de rendement sont donc au minimum de 50% à partir de la 5^{ème} année. Les méthodes de gestion mises en place dans l'aire actuelle de répartition de Foc TR4 impliquent la destruction des plantes infectées et des plantes adjacentes conduisant à des pertes supplémentaires de rendement. La culture du bananier avec des variétés sensibles à Foc TR4 telles que les variétés du sous-groupe Cavendish est compromise pour plusieurs décennies (Buddenhagen, 2009). Pour mémoire, l'épidémie provoquée par la race 1 de Foc dans la principale zone de production de banane export en Amérique latine a causé la destruction complète des bananiers sensibles (variété Gros-Michel) et a conduit à une totale reconversion variétale avec les bananiers Cavendish. Sans cette reconversion variétale, l'activité économique aurait été impossible (Stover, 1962 et Ploetz, 2015a). Outre les impacts de Foc TR4 sur la banane Cavendish destinée à l'export, des impacts plus

difficilement quantifiables sont attendus sur les variétés produites pour le marché local (Ploetz, 2015a).

L'effet négatif de Foc TR4 sur le rendement dans son aire de répartition actuelle est jugé **très important avec une incertitude faible** (Tab. 9 ; plus globalement, les probabilités et les incertitudes concernant l'évaluation des conséquences économiques sont récapitulées dans le tableau 9, en fin de section 6).

6.02 Quelle est l'importance de l'effet négatif de l'organisme nuisible sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP sans aucune mesure de lutte ?

Foc TR4 trouvera des conditions biologiques appropriées à son établissement et à sa dissémination dans la zone ARP (cf 3.03). L'impact attendu dans la zone ARP est donc similaire à celui indiqué en réponse à la question 6.01.

L'effet négatif de Foc TR4 sur le rendement dans la zone ARP sans mesure de gestion est jugé **très important avec une incertitude faible**.

6.03 Quelle est l'importance de l'effet négatif de l'organisme nuisible sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP sans aucune mesure de lutte supplémentaire ?

Aucune méthode de protection habituelle n'est efficace pour lutter contre Foc TR4 dans la zone ARP.

L'effet négatif de l'organisme nuisible sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP sans aucune mesure de lutte supplémentaire est donc jugé **très important avec une incertitude faible**.

6.04 Quelle est l'importance de l'effet négatif de l'organisme nuisible sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP quand toutes les mesures éventuelles légalement à disposition des producteurs sont appliquées, sans mesures phytosanitaires ?

Les mesures disponibles pour lutter contre Foc TR4 sont :

- (1) Le diagnostic visuel des symptômes de Foc TR4,
- (2) La destruction du bananier malade et des plantes adjacentes,
- (3) La mise en place de mesures de confinement du foyer de Foc TR4,
- (4) La mise en place de mesures de confinement de toutes les exploitations productrices de banane et la désinfection des chaussures du personnel et des véhicules circulant dans les plantations de banane.

Les points 1 à 3 sont relativement faciles à mettre en œuvre à l'échelle d'une exploitation. En zone de production industrielle de banane, le point 4 est très onéreux et difficile à mettre en place et nécessite une organisation collective. Les mesures 3 et 4 sont plus difficiles à mettre en place lorsque la filière est peu organisée et deviennent inenvisageables dans des jardins privés.

Ces mesures peuvent ralentir la progression de Foc TR4 par les voies de dissémination anthropiques à l'échelle d'une exploitation et du DROM mais n'ont pas d'effets sur les voies de dissémination naturelle.

L'effet négatif de Foc TR4 est très important sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP quand toutes les mesures légalement à disposition des producteurs sont appliquées, dans les zones où la dissémination naturelle est importante. L'incertitude relative à cet effet est faible.

L'effet négatif de Foc TR4 est mineur sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP quand toutes les mesures légalement à disposition des producteurs sont appliquées, dans les zones où la dissémination naturelle est faible. L'incertitude relative à cet effet est modérée. Cette

situation ne concerne toutefois qu'une faible proportion de la surface de culture de banane de la zone ARP.

6.05 Quelle est l'importance de l'augmentation probable des coûts de production (comprenant les coûts pour la lutte) que l'organisme nuisible est susceptible d'entraîner dans la zone ARP en l'absence de mesures phytosanitaires ?

Difficilement estimable.

6.06 En se basant sur le marché total, c'est-à-dire la taille du marché domestique plus le marché d'exportation, pour les végétaux et les produits végétaux à risque, quel sera l'impact probable d'une perte de marchés à l'exportation, par exemple si les partenaires commerciaux décident d'interdire les importations depuis la zone ARP ?

Plus de 90 % de la production de banane Cavendish en Guadeloupe et Martinique est destinée au marché à l'exportation. En induisant des pertes de rendement très importantes (cf 6.02), Foc TR4 aura un impact très important sur le marché à l'export. L'incertitude relative à cet impact est faible. Dans les autres DROM de la zone ARP, le marché à l'exportation de la banane dessert est faible voire inexistant. L'impact sera donc minimal avec une incertitude faible sur le marché à l'export de la banane Cavendish.

6.07 Dans quelle mesure les producteurs supporteront-ils des conséquences directes ?

Les pertes de rendement et les augmentations de coût de production entraînent pour les producteurs une perte économique qui ne pourra pas être compensée par une augmentation du prix de vente. Notamment, la production de bananes des Antilles pour l'exportation est très concurrencée par d'autres zones de production qui ont déjà des coûts de production inférieurs à ceux des Antilles. Outre les pertes de rendement, il faut considérer l'impact à long terme sur l'outil de production à savoir la contamination durable des sols des bananeraies : il faudra envisager trois alternatives, une reconversion variétale non encore disponible, une reconversion de filière ou l'abandon de l'utilisation des sols à des fins agricoles.

Les conséquences directes pour les producteurs seront très importantes avec une faible incertitude.

2.2.2.4.2 Impact environnemental

6.08.0A Sur la base des éléments expliqués dans la note, considérez-vous qu'il est possible de répondre à la question sur l'impact environnemental causé par l'organisme nuisible dans sa zone d'invasion actuelle ?

N/A

Le risque principal réside dans une perte de diversité au sein de la famille des Musaceae. Ce cas est par exemple rapporté au Laos (de Lapeyre *et al.*, 2017) et aux Philippines (Solpot *et al.*, 2016) où les variétés locales se sont révélées très sensibles à Foc TR4.

6.09. Quelle serait l'importance probable de l'impact environnemental dans la zone ARP ?

N/A

Le risque environnemental résiderait dans les DROM en une perte de biodiversité au sein de la famille des Musaceae telle qu'observée dans la zone actuelle d'invasion de Foc TR4.

2.2.2.4.3 *impact Social*

6.10 Quelle est l'importance des dégâts sociaux causés par l'organisme nuisible dans sa zone de répartition actuelle ?

Dans sa zone de répartition actuelle, Foc TR4 a causé l'abandon de terres agricoles destinées à la culture de la banane (Molina *et al.*, 2009). Cet abandon s'accompagne d'une relocalisation des plantations dans des zones indemnes de Foc TR4 avec des conséquences potentielles au niveau du paysage. Stover (1962) indique, pour les zones infectées par la race 1 au Costa Rica, un déplacement de la production de banane de la côte Caraïbe vers la côte pacifique. De tels déplacements de zone de production sont actuellement en cours aux Philippines (Molina *et al.*, 2016). Ces déplacements de zone de production se traduisent par des déplacements de bassin d'emploi.

La reconversion des bananeraies vers d'autres cultures s'accompagne généralement d'une réduction de l'emploi local (Stover, 1962).

Les dégâts sociaux causés par Foc TR4 sont jugés très importants, avec une faible incertitude

6.11 Quelle sera l'importance probable des dégâts sociaux dans la zone ARP ?

Dans la zone ARP, le déplacement des zones de culture de banane est difficilement envisageable. L'impact de Foc TR4 se traduira par des pertes d'emploi. Les emplois directs et indirects pour la banane export de Guadeloupe et de Martinique représentent 10 000 emplois soit 1 actif sur 20, et 50% des emplois agricoles aux Antilles (UGPBAN, <http://www.bananeguadeloupemartinique.com>).

Les dégâts sociaux que Foc TR4 pourrait causer dans la zone ARP sont jugés très importants, avec une faible incertitude (Tab. 9).

2.2.2.4.4 *Autres impacts économiques*

6.12 Dans quelle mesure l'organisme nuisible est-il susceptible de perturber les systèmes biologiques ou intégrés utilisés pour lutter contre d'autres organismes nuisibles ?

Perturbation minimale : Foc TR4 n'est pas connu pour perturber les systèmes biologiques ou intégrés utilisés pour lutter contre d'autres organismes nuisibles. Toutefois, on ne peut pas exclure que Foc TR4 puisse rentrer en compétition avec des organismes favorables d'origine tellurique.

Niveau d'incertitude : élevé

6.13 Quelle est la probabilité que l'augmentation des autres coûts résultant de l'introduction soit importante ?

La probabilité est très importante. Ces coûts sont liés à la nécessité pour l'État de mettre en place une stratégie prophylactique se traduisant par l'information des parties prenantes, la formation des acteurs de la filière, la surveillance du territoire et la recherche de solutions innovantes.

Niveau d'incertitude : faible

6.14 Quelle est la probabilité que l'impact économique d'autres organismes nuisibles augmente si l'organisme étudié peut agir comme vecteur ou hôte pour ces organismes nuisibles ou si ses caractéristiques génétiques peuvent passer à d'autres espèces, en modifiant leur nature génétique ?

Sans objet

2.2.2.4.5 Conclusion de l'évaluation des conséquences économiques

6.15 En faisant référence à la zone d'établissement potentiel identifiée à la Q 3.08, identifier les zones qui sont les plus à risque d'impacts économiques, environnementaux et sociaux. Résumer les impacts et indiquer comment ceux-ci peuvent changer dans le futur.

Les conséquences économiques causées par Foc TR4 seraient très importantes en Guadeloupe et Martinique du fait du rôle de la culture de la banane destinée à l'exportation dans l'économie de ces deux îles. Elles seraient probablement également très importantes sur l'île de Mayotte où les bananiers représentent une culture vivrière de tout premier ordre. Enfin les conséquences économiques seraient majeures en Guyane et à La Réunion où la culture du bananier pour des usages locaux a une place importante.

Niveau d'incertitude : faible

Tableau 9 : Récapitulatif des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation des impacts de Foc TR4

Élément du schéma	Note de probabilité	Incertitude
Impacts		
6.01 Importance de l'effet négatif de l'organisme sur le rendement et/ou la qualité des cultures ou sur les coûts de lutte dans sa zone de répartition actuelle	Très important	Faible
6.02 Importance de l'effet négatif de l'organisme nuisible sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP sans aucune mesure de lutte	Très important	Faible
6.03 Importance de l'effet négatif de l'organisme sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP sans aucune mesure de lutte supplémentaire	Très important	Faible
6.04 Importance de l'effet négatif de l'organisme sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP quand toutes les mesures légalement à disposition des producteurs sont appliquées sans mesures phytosanitaires (dissémination naturelle élevée)	Très important	Faible
6.04 Importance de l'effet négatif de l'organisme sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP quand toutes les mesures légalement à disposition des producteurs sont appliquées sans mesures phytosanitaires (dissémination naturelle faible)	Mineur	Modérée
6.06 Impact probable d'une perte de marchés à l'exportation (marché fort)	Très important	Faible
6.06 Impact probable d'une perte de marchés à l'exportation (marché faible)	Minimal	Faible
6.07 Conséquences directes pour les producteurs	Très important	Faible
6.10 Importance des dégâts sociaux causés par l'organisme dans sa zone de répartition actuelle	Très important	Faible
6.11 Importance probable des dégâts sociaux dans la zone ARP	Très important	Faible
6.12 Perturbation des systèmes biologiques ou intégrés	Perturbation minimale	Elevée
6.13 Probabilité que l'augmentation des autres coûts résultant de l'introduction soit importante	Très important	Faible
6.15 Zones les plus à risque d'impacts économiques, environnementaux et sociaux (Martinique et Guadeloupe)	Très important	Faible
6.15 Zones les plus à risque d'impacts économiques, environnementaux et sociaux (Mayotte)	Très important	Faible
6.15 Zones les plus à risque d'impacts économiques, environnementaux et sociaux (La Réunion et Guyane)	Majeur	Faible

2.2.3 Conclusion de l'évaluation du risque phytosanitaire

Entrée

La culture du bananier dans les DROM, tout particulièrement en Martinique et en Guadeloupe, repose sur l'importation continue de volumes importants de **vitroplants** en milieu gélosé. Cette filière constitue le **risque majeur** d'introduction de Foc TR4, ceci compte tenu de l'absence d'obligation de contrôle sanitaire (indexation) des pieds mères vis-à-vis de l'agent pathogène, mais également du risque d'introduction de vitroplants de bananiers asymptomatiques et enfin de l'évolution rapide de la distribution géographique mondiale de l'agent pathogène. L'introduction de Foc TR4 dans la zone ARP peut également se produire par des importations d'autres plantes hôtes susceptibles de l'héberger ou de **matériel végétal** et de substrats en provenance de zones géographiques infestées. Il demeure encore actuellement une forte incertitude sur la gamme d'hôtes de Foc TR4, mais des hôtes asymptomatiques appartenant à de nombreuses espèces et genres ont été décrits. De plus, les importations de matériel végétal de zones géographiques où l'agent pathogène est déjà présent sont fréquentes, notamment dans le cas de La Réunion et de Mayotte. Ces deux éléments considérés, le **risque d'entrée** par ces filières est **probable** avec une incertitude **modérée**.

L'absence de procédure d'inspection du matériel végétal entrant dans la zone ARP vis-à-vis de Foc TR4, les volumes d'importation de matériel végétal de zones géographiques infestées et la proximité de certains DROM de ces dernières, définissent **un risque global d'entrée de Foc TR4 très probable avec une incertitude modérée**.

Établissement

L'entrée de matériel végétal (vitroplants, autres plantes destinées à la plantation) et/ou de sol ou substrat de culture infectés par Foc TR4 conduira à une contamination du sol et donc de manière **très probable** à l'établissement de l'agent pathogène dans des zones de production de bananiers. Foc TR4 peut en effet réaliser son cycle sur ses plantes hôtes, présentes dans tous les DROM, mais peut également se maintenir et se multiplier en présence de plantes non hôtes ou asymptomatiques.

Il est **très probable** également, avec un niveau d'incertitude faible, que la stratégie de reproduction végétative de Foc TR4 facilite son établissement grâce aux chlamydospores qui assurent sa survie à long terme dans le sol et aux conidies qui assurent sa propagation. En outre, le climat de la zone ARP **est favorable** au développement de Foc TR4. Il a préalablement permis l'établissement d'autres races de *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Par ailleurs, Foc TR4 s'est déjà **largement établi** dans de nouvelles zones (3 continents) depuis ces dix dernières années et le niveau d'incertitude est faible quant à son potentiel d'établissement.

Les plants de bananiers sont largement distribués au sein de la zone ARP. La monoculture et la densité de plantation de bananiers d'une part, le continuum de plantes dans toute la zone ARP hors plantation industrielle d'autre part, sont des facteurs **très favorables** à l'établissement de Foc TR4, avec un niveau d'incertitude faible.

Aucune pratique de gestion phytosanitaire existante ne peut empêcher l'établissement de Foc TR4. Certaines mesures prophylactiques (confinement du foyer et destruction des plantes, lavage du matériel, gestion des résidus végétaux) et des pratiques telles que les cultures associées, les couverts végétaux peuvent limiter le développement de l'agent pathogène. Elles ne peuvent cependant pas l'éradiquer une fois que celui-ci est installé dans la parcelle. Il est donc **très probable** que Foc TR4 s'établisse malgré les pratiques de gestion phytosanitaire existantes, et le niveau d'incertitude est faible.

La probabilité globale d'établissement de Foc TR4 dans la zone ARP est jugée **très élevée** avec un niveau d'incertitude faible compte-tenu de son adaptation écologique aux conditions environnementales dans le sol, de la large distribution des plantes hôtes dans la zone ARP, de conditions climatiques favorables à son établissement et de l'absence de moyen de lutte efficace.

Dissémination

Une fois que Foc TR4 a été introduit et s'est établi dans une zone, sa dissémination est **très probable** et s'opèrerait à des vitesses variables selon les modes de dissémination et la géographie du territoire. La **dissémination par l'homme**, via le transport de végétaux contaminés et/ou du sol adhérent aux outils, véhicules ou chaussures, sera **rapide et difficilement contrôlable** par les mesures de gestion. C'est ce mode de dissémination qui est considéré comme responsable de la dissémination rapide de Foc TR4 dans les zones actuellement contaminées. La dissémination par l'eau de ruissellement, les inondations ou l'eau d'irrigation peut également être très efficace par le transport des spores du champignon, produites en abondance dans les sols et résidus de végétaux contaminés, mais restera géographiquement restreinte respectivement aux zones avalées du bassin versant, aux zones inondables, ou au périmètre d'irrigation. La durée nécessaire pour que l'organisme atteigne son étendue maximale dans la zone ARP est estimée **entre 5 et 10 ans, une fois Foc TR4 établi**.

La vitesse de dissémination globale est considérée élevée avec un niveau **d'incertitude faible**.

Importance économique

Dans son aire de répartition actuelle, Foc TR4 entraîne d'importantes pertes directes de rendement. En effet, Foc TR4 provoque en l'espace de 5 ans des niveaux élevés de mortalité sur les plants de bananier Cavendish (variétés utilisées pour la culture d'exportation) infectés, mais également sur d'autres variétés de bananiers destinées au marché local. De plus, les méthodes de gestion impliquent la destruction des bananiers dans un large périmètre autour des bananiers infectés. Enfin, dans les zones contaminées par Foc TR4, **la culture du bananier n'est plus possible** pendant de nombreuses années.

Les méthodes de gestion actuelles (destruction des plants malades et des plantes adjacentes, mise en place de mesures de confinement des foyers et des exploitations, désinfection des chaussures du personnel et des véhicules) sont onéreuses, et **ne permettent pas d'éradiquer** la maladie ni de contenir durablement son expansion surtout lorsque des voies naturelles de dissémination sont en jeu (ruissellement important, inondations).

Compte tenu du fait que Foc TR4 trouvera dans la zone ARP **les conditions favorables** à son développement, les conséquences économiques (pertes de rendement et augmentation des coûts de production) causées par Foc TR4 y **seraient très importantes**. Ces conséquences seraient particulièrement fortes en Guadeloupe et Martinique du fait du rôle majeur de la culture de la banane Cavendish destinée à l'exportation dans l'économie de ces deux îles. L'arrivée de Foc TR4 serait certainement **rédhitoire** pour la filière banane export qui périliterait. Ce déclin aurait des conséquences sociales importantes dans des îles déjà fortement touchées par le chômage et où la filière est le premier employeur privé.

Les conséquences seraient probablement également très importantes sur l'île de Mayotte où les bananiers représentent une culture vivrière de tout premier ordre. Enfin, Foc TR4 pourrait aussi entraîner la disparition des variétés locales en Guyane et à La Réunion où la culture du bananier pour des usages locaux a une place importante.

Conclusion générale de l'évaluation du risque phytosanitaire

En conclusion, étant donné :

- Les probabilités d'entrée et d'établissement très élevées de Foc TR4 dans la zone ARP ;
- Une vitesse de dissémination globale de Foc TR4 jugée élevée ;
- La difficulté et les limites de la mise en œuvre des mesures de gestion ainsi que le caractère irréversible de la contamination des sols par Foc TR4 ;
- Les conséquences économiques potentielles très importantes.

Le groupe de travail considère que **Foc TR4 constitue un risque majeur et est donc un bon candidat** pour l'étape de gestion de risque phytosanitaire.



2.3 Étape 3 : Gestion du risque phytosanitaire

2.3.1 Acceptabilité du risque

7.01 Le risque identifié dans l'étape d'évaluation phytosanitaire pour toutes les combinaisons organisme nuisible/filière est-il un risque acceptable ?

Le risque identifié dans l'étape d'évaluation phytosanitaire pour toutes les combinaisons organisme nuisible/filière est inacceptable. L'introduction de Foc TR4 dans la zone ARP mettra *de facto* en péril la filière « banane export » en Guadeloupe et Martinique et plus généralement la présence de bananier dans les DROM.

7.02 La dissémination naturelle est-elle une des filières ?

Non

7.03 L'organisme nuisible entre-t-il déjà dans la zone ARP par dissémination naturelle ou est-il susceptible d'y entrer dans un futur proche ? (voir réponse à la question 2.01 & 4.01)

Sans objet

7.04 La dissémination naturelle est-elle la filière principale ?

Sans objet

7.05 L'entrée par dissémination naturelle pourrait-elle être limitée ou empêchée par des mesures de lutte appliquées dans la zone d'origine ?

Sans objet

7.06 La filière étudiée est-elle un végétal ou un produit végétal ?

Oui, la filière étudiée concerne des vitroplants, des plants de bananier symptomatiques ou non et des plantes non hôtes de Foc TR4 (cf 2.02). En outre les végétaux importés peuvent être porteurs de terre vectrice de l'agent pathogène. De même, les substrats de culture utilisés pour le sevrage des vitroplants (fibre de coco) souvent importés d'Asie du sud-est peuvent être porteurs de terre vectrice de Foc TR4.

7.07 La filière étudiée est-elle l'entrée avec des voyageurs ?

Oui, les voyageurs en provenance de pays contaminés constituent une filière d'entrée de Foc TR4, via le sol adhérent aux chaussures (cf 2.02).

7.08 La filière étudiée est-elle des engins ou des moyens de transport contaminés ?

Oui, la filière étudiée peut être le sol contaminé par Foc TR4 véhiculé par des engins ou des moyens de transport incluant les conteneurs de transport de marchandises.

2.3.2 Mesures phytosanitaires existantes

7.09 Si l'organisme nuisible est une plante, est-ce la marchandise en tant que telle ?

Non, l'organisme nuisible n'est pas une plante.

7.10 Les mesures phytosanitaires existantes appliquées sur la filière peuvent-elles empêcher l'introduction de l'organisme nuisible ?

Non, l'introduction de vitroplant dans la zone ARP est actuellement régie par un cahier des charges (« cahier des charges relatif aux obligations incombant aux établissements producteurs de vitro-plants de bananiers à destination de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique, de Mayotte et de La Réunion »). La seule mesure du cahier des charges permettant de limiter le risque Foc TR4 est de ne pas autoriser l'introduction de vitroplants à partir de pays où Foc TR4 est présent. Compte tenu de l'expansion rapide de la maladie en Asie mais également sur d'autres continents (Afrique), l'aire de répartition géographique de Foc TR4 est incertaine. De ce fait, ces mesures sont insuffisantes et un contrôle sanitaire des pieds mères devra être systématisé dans le cahier des charges comme c'est le cas pour la liste de virus (Banana bract mosaic virus (BBrMV), Banana bunchy top virus (BBTV), Banana mild mosaic virus (BanMMV), Cucumber mosaic virus (CMV) et Banana streak virus (BSV)) et de bactéries (*Ralstonia solanacearum* et *Xanthomonas vasicola* pv. *musacearum*) figurant dans le cahier des charges (Kumar *et al.*, 2015).

En théorie l'introduction de produits végétaux avec terre adhérente (arrêté de 1990) est interdite dans les DOM. Pour les plantes asymptomatiques, aucune mesure phytosanitaire existante ne permet d'en empêcher l'introduction. De même, aucune mesure actuelle ne permet d'empêcher l'introduction de substrats de culture contaminés par des particules de sol vectrices de Foc TR4.

Niveau d'incertitude : modéré

7.11 Est-il probable que les mesures changent dans un avenir proche ?

Pas de jugement.

7.12 Concluez-vous qu'il faut envisager d'autres mesures ?

Oui

2.3.3 Identification d'options de gestion du risque appropriées

2.3.3.1 Options sur le lieu de production

Détection de l'organisme nuisible sur le lieu de production par des inspections ou des analyses

7.13 L'organisme nuisible peut-il être détecté de manière fiable par une inspection visuelle sur le lieu de production ?

Non, Foc TR4 ne peut pas être détecté de manière fiable par une inspection visuelle sur le lieu de production. La présence de plantes symptomatiques révèle la présence de l'agent pathogène alors que la présence de cet agent dans le sol et sur des plantes asymptomatiques ne peut être détectée par une inspection visuelle.

Niveau d'incertitude : faible (Tab. 10 ; plus globalement, les probabilités et les incertitudes concernant l'évaluation des mesures de gestion sont récapitulées dans le tableau 10, en fin de section 7)

7.14 L'organisme nuisible peut-il être détecté de manière fiable par une analyse sur le lieu de production ?

Foc TR4 peut être détecté de manière fiable par une méthode de biologie moléculaire à partir de prélèvements réalisés dans la bananeraie (Aguayo *et al.*, 2017).

Compte tenu d'une possible distribution en foyers de l'agent pathogène, sa mise en évidence par cette méthode de détection dans une zone de production de banane nécessite un échantillonnage représentatif de la zone.

Niveau d'incertitude : faible

2.3.3.1.1 Prévention de l'infestation de la marchandise sur le lieu de production

7.15 L'infestation de la marchandise peut-elle être empêchée de manière fiable en traitant la culture ?

Non, aucun traitement fongicide n'est disponible pour traiter la culture contre Foc TR4.

Niveau d'incertitude : faible

7.16 L'infestation de la marchandise peut-elle être empêchée de manière fiable en utilisant des cultivars résistants ?

Non, des cultivars de banane Cavendish obtenus par transformation génétique ont été décrits comme résistants à Foc TR4 (Dale *et al.*, 2017). Par ailleurs, des variants somaclonaux de Cavendish (Lee *et al.*, 2011, Molina *et al.*, 2011 ; 2016) ont été décrits comme tolérants à Foc TR4 et sont aujourd'hui utilisés aux Philippines et au Mozambique (Herradura *et al.*, 2018 et Tazan, 2018). Il semblerait que Foc TR4 puisse être présent de manière asymptomatique dans ces variétés tolérantes (Molina *et al.*, 2011, 2016). L'incertitude est donc élevée concernant le niveau d'infestation de ces cultivars tolérants par Foc TR4 et leur capacité à permettre l'introduction du pathogène.

Niveau d'incertitude : élevé

7.17 L'infestation de la marchandise peut-elle être empêchée de manière fiable en cultivant la plante dans des conditions spécifiées ?

La culture de pieds mères de bananier indemnes de Foc TR4 dans des conditions de confinement strictes (à savoir : isolement physique du sol, utilisation de substrat désinfecté et d'eau d'irrigation désinfectée, mesures prophylactiques à l'entrée de la structure confinée) peut permettre la production de vitroplants indemnes de Foc TR4.

Ces mesures de confinement, essentielles pour assurer l'absence de Foc TR4 dans la marchandise, ne semblent pas pouvoir être généralisées à l'ensemble des productions végétales exportées dans les DROM et susceptibles de disséminer Foc TR4.

Niveau d'incertitude : faible

7.18 L'infestation de la marchandise peut-elle être empêchée de manière fiable en récoltant seulement à certaines périodes de l'année, ou à certains âges/stades de développement de la culture ?

Non

Niveau d'incertitude : faible

7.19 L'infestation de la marchandise peut-elle être empêchée de manière fiable dans le cadre d'un schéma de certification (c'est-à-dire un schéma officiel pour la production de végétaux sains destinés à la plantation) ?

Pour les vitroplants de bananier, un cadre de production des vitroplants de bananier à l'export (« cahier des charges relatif aux obligations incombant aux établissements producteurs de vitroplants de bananiers à destination de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique, de Mayotte et de La Réunion ») existe mais doit être amélioré pour garantir l'absence d'infestation de la marchandise par Foc TR4. Les améliorations doivent porter sur le contrôle sanitaire des pieds mères vis-à-vis de Foc TR4 par l'utilisation des méthodes de détection moléculaire et sur le confinement des pieds mères dans les conditions précisées à la question 7.17. Le schéma de certification devra prendre en compte, outre les étapes de production du vitroplant, les étapes de sevrage et notamment le type de substrat utilisé vis-à-vis du risque Foc TR4.

Pour les autres végétaux et les substrats de culture, la mise en œuvre d'un tel schéma de certification ne semble pas réaliste.

Niveau d'incertitude : faible

2.3.3.1.2 Établissement et maintien d'une culture, d'un lieu de production ou d'une zone exempt de l'organisme nuisible

7.20 Sur la base de la réponse à la question 4.01, sélectionner les mesures possibles basées sur la capacité de dissémination naturelle.

très faible capacité de dissémination naturelle	culture exempte, ou lieu de production exempt ou zone exempte
capacité de dissémination naturelle faible à modérée	lieu de production exempt ou zone exempte
capacité de dissémination naturelle élevée à très élevée	zone exempte

Niveau d'incertitude : faible

7.21 L'absence de l'organisme nuisible dans une culture, un lieu de production ou une zone peut-elle être garantie de manière fiable ?

La dissémination naturelle (dissémination par l'eau et multiplication saprophyte) est difficilement contrôlable. En outre, les méthodes de gestion à mettre en œuvre (infrastructure de confinement c'est-à-dire la mise en place de barrières physiques empêchant la circulation des personnes et des animaux, zone tampon et désinfection de tout matériel sortant de la zone d'enrayement) (State of Queensland, Department of Agriculture and Fisheries, 2017), sont contraignantes et difficilement applicables au paysage agricole des DROM concernés. Ces mesures n'ont pas fait toutes leurs preuves quand elles ont été appliquées en Australie. En outre la distribution hétérogène de l'agent pathogène dans une plantation de bananier peut conduire à ce que des foyers infectieux échappent aux méthodes de détection du fait d'un échantillonnage insuffisamment représentatif.

En conséquence de quoi il n'est pas possible de garantir **l'absence de l'organisme nuisible dans une culture, un lieu de production ou une zone.**

Niveau d'incertitude : modéré

2.3.3.2 Options après la récolte, au moment du pré-agrément ou pendant le transport

2.3.3.2.1 *Détection de l'organisme dans les envois par inspection ou analyse*

7.22 L'organisme nuisible peut-il être détecté de manière fiable par une inspection visuelle d'un envoi au moment de l'exportation, pendant le transport/stockage ?

Sauf dans le cas de symptômes avérés de fusariose sur des plants de bananier, Foc TR4 ne peut pas être détecté de manière fiable par détection visuelle.

Niveau d'incertitude : faible

7.23 L'organisme nuisible peut-il être détecté de manière fiable par une analyse (par ex. pour une plante nuisible, des semences dans un envoi) ?

Foc TR4 peut être détecté de manière fiable (94% de sensibilité et 100% de spécificité) par une méthode de biologie moléculaire à partir de prélèvements d'origine végétale (pseudotrunc de bananier) réalisés dans des lots de marchandise en transit (Aguayo *et al.*, 2017). Pour tous les autres types de matériel susceptibles de contribuer à l'introduction de Foc TR4, il n'existe pas de méthodes de détection dont la sensibilité a été établie.

Compte tenu d'une possible distribution hétérogène de l'agent pathogène, sa mise en évidence par cette méthode de détection dans un lot de marchandise nécessite un échantillonnage représentatif.

Niveau d'incertitude : faible

2.3.3.2.2 *Élimination de l'organisme nuisible de l'envoi par traitement ou d'autres procédures phytosanitaires*

7.24 L'organisme nuisible peut-il être détruit de manière efficace dans l'envoi par traitement (chimique, thermique, irradiation, physique) ?

Selon la nature des marchandises on peut envisager que des méthodes chimiques, thermiques et d'irradiation soient utilisées pour éradiquer l'agent pathogène, c'est le cas des substrats de culture (McNamara *et al.*, 2003 et Zhang *et al.*, 2016).

Niveau d'incertitude : élevée par manque de référence expérimentale sur cet agent pathogène

En revanche, pour toutes les marchandises incluant du matériel vivant, aucune méthode ne permet de détruire spécifiquement l'agent pathogène sans altérer ce matériel.

Niveau d'incertitude : faible

7.25 L'organisme nuisible est-il présent seulement sur certaines parties des végétaux ou produits végétaux (par ex. écorce, fleurs) qui peuvent être éliminées sans diminuer la valeur de l'envoi ?

Non, Foc TR4 est un champignon vasculaire qui peut être présent dans plusieurs parties de la plante hôte qu'il infecte.

Niveau d'incertitude : faible

7.26 L'infestation de l'envoi peut-elle être empêchée de manière fiable par la façon de le manipuler et de l'emballer ?

Sans objet

2.3.3.3 Options qui peuvent être mises en œuvre après l'entrée des envois**7.27 L'organisme nuisible peut-il être détecté de manière fiable en quarantaine post-entrée ?**

Foc TR4 peut être détecté de manière fiable (94% de sensibilité et 100% de spécificité) par une méthode de biologie moléculaire à partir de prélèvements d'origine végétale (pseudotrunc de bananier) réalisés en quarantaine post-entrée (Aguayo *et al.*, 2017). Pour tous les autres types de matériel susceptibles de contribuer à l'introduction de Foc TR4, il n'existe pas de méthodes de détection dont la sensibilité a été établie.

Compte tenu d'une possible distribution hétérogène de l'agent pathogène, sa mise en évidence par cette méthode de détection en quarantaine post-entrée nécessite un échantillonnage représentatif.

Niveau d'incertitude : faible

7.28 Des envois potentiellement infestés peuvent-ils être acceptés sans risque pour certaines utilisations, pour une distribution limitée dans la zone ARP ou pour des périodes d'entrée limitées, et ces limitations peuvent-elles être appliquées en pratique ?

Non, il n'existe pas de saisons défavorables à l'établissement et à la dissémination de Foc TR4 dans la zone ARP.

Niveau d'incertitude : faible

7.29 Existe-t-il des mesures efficaces pouvant être prises dans le pays importateur (surveillance, éradication, enrayement) pour empêcher l'établissement et/ou l'impact économique ou d'autres impacts) ?

Il n'existe pas de mesures empêchant totalement l'établissement de Foc TR4 dans la zone ARP.

La dissémination naturelle (dissémination par l'eau et multiplication saprophyte) est difficilement contrôlable. En outre, les méthodes de gestion à mettre en œuvre (infrastructure de confinement c'est-à-dire la mise en place de barrière physique empêchant la circulation des personnes et des animaux, zone tampon et désinfection de tout matériel sortant de la zone d'enrayement (State of Queensland, Department of Agriculture and Fisheries, 2017) sont contraignantes et difficilement

applicables au paysage agricole des DROM concernés. Ces mesures n'ont pas fait toutes leurs preuves quand elles ont été appliquées en Australie.

Un contrôle strict des bananiers vis-à-vis de Foc TR4 en phase d'acclimatation pourrait freiner l'établissement de la maladie et diminuer son impact économique à court terme. Un changement des pratiques culturales conventionnelles (grandes plantations en monoculture et connectées par un système d'irrigation unique) vers des pratiques d'agroforesterie pourrait être envisagé pour freiner l'établissement de la maladie et diminuer son impact économique.

Niveau d'incertitude : faible

2.3.4 Évaluation des options de gestion du risque

7.30 L'analyse en cours a-t-elle identifié des mesures qui permettront de réduire le risque d'introduction de l'organisme nuisible ? Les lister.

Point de vigilance sur l'évolution de l'épidémie de Foc TR4 dans le pays exportateur (veille).

Oui,

Production des vitroplants importés :

- Contrôle de l'état sanitaire (indexation) des pieds-mère vis-à-vis de Foc TR4 par une méthode moléculaire,
- Désinfection systématique des substrats de culture des pieds mères et des rejets servant à la production de vitroplants,
- Désinfection de l'eau d'arrosage ou d'irrigation,
- Surveillance obligatoire (inspection visuelle + test de dépistage au cours du processus de multiplication des vitroplants),
- Déclaration obligatoire de la présence de Foc TR4 en cas de découverte du champignon dans les pays où les vitroplants sont produits,
- Déclaration obligatoire de la présence de Foc TR4 en cas de découverte du champignon dans les pays originaires des pieds mères utilisés dans le processus de multiplication par vitroculture.

Sevrage des vitroplants :

- Désinfection systématique des substrats de culture,
- Surveillance obligatoire des plants en cours d'acclimatation (inspection visuelle + test de dépistage),
- Déclaration obligatoire de la présence de Foc TR4 en cas de détection et élimination de l'ensemble des plants issus du/des lots avérés contaminés, avant leurs transferts en plantations.

Parties de plantes, bulbes, rejets, fleurs coupées et plants racinés :

- Interdiction de l'introduction de ces différents matériels végétaux en provenance de régions infectées par Foc TR4.

Sols :

- Interdiction de l'introduction de sol quel que soit son origine,
- Pour le sol adhérent aux chaussures et aux outils : désinfection quand ils proviennent de zones infectées par Foc TR4,
- Communication auprès des voyageurs en provenance de régions infectées par Foc TR4 sur le risque d'introduction du champignon (à titre d'exemple : information dans l'avion).

7.31 Chaque mesure identifiée individuellement réduit-elle le risque à un niveau acceptable ?

Non

Niveau d'incertitude : faible

7.32 Pour les mesures qui ne réduisent pas le risque à un niveau acceptable, peut-on en combiner deux ou plus pour réduire le risque à un niveau acceptable ?

Oui, il apparaît nécessaire pour chacune des filières de cumuler l'ensemble des mesures proposées à la question 7.30.

Pour les filières vitroplants et sevrage des vitroplants, ces mesures sont applicables et devraient permettre d'atteindre un niveau de risque acceptable avec un niveau d'incertitude faible.

Pour la filière parties de plantes, la question est sans objet car une seule mesure est proposée.

Pour la filière sols, le nombre de mesures cumulables est très limité et leur combinaison réduirait en théorie le risque à un niveau acceptable. Le niveau d'incertitude quant à la réussite de leur utilisation est élevé du fait de l'extension rapide de l'aire de répartition de l'agent pathogène et de la difficulté à tracer le cheminement des sols adhérents.

7.33 Si les seules mesures disponibles réduisent le risque mais pas à un niveau acceptable, ces mesures peuvent toujours être appliquées, car il est possible qu'elles puissent au moins retarder l'introduction ou la dissémination de l'organisme nuisible. Dans ce cas, une combinaison de mesures phytosanitaires à ou avant l'exportation, et de mesures internes (question 7.29) doit être envisagée.

Oui, la combinaison de mesures peut au moins retarder l'entrée ou la dissémination de l'agent pathogène pour chacune des filières étudiées.

7.34 Estimer à quel point les mesures (ou la combinaison de mesures) envisagées interfèrent avec le commerce international.

Pour la filière parties de plantes, la mesure envisagée interfère avec le commerce international en supprimant l'importation de bulbes, tubercules et végétaux destinés à la consommation ou à la plantation en provenance de régions infectées par Foc TR4. Les conséquences de l'application de cette mesure seraient particulièrement importantes dans le cas de La Réunion car ces parties de végétaux y sont majoritairement importées.

Pour la filière vitroplant, les mesures envisagées pourront avoir un impact sur le coût de production des vitroplants et interférer avec leur commerce.

Niveau d'incertitude : faible

7.35 Estimer à quel point les mesures (ou la combinaison de mesures) envisagées ont un bon rapport coût-efficacité, ou dans quelle mesure elles ont des conséquences sociales ou environnementales indésirables.

Le rapport coût-efficacité des mesures envisagées pour la filière vitroplant semble difficile à calculer. Toutefois, les mesures proposées semblent pouvoir être intégrées à un schéma de production mais une étude économique est nécessaire. Pour information, un test de détection de Foc TR4 coûte de l'ordre de 100 euros par échantillon (Anses). La mise en place de ces tests entraînera nécessairement une augmentation des coûts de production. Les conséquences sociales et environnementales des mesures envisagées pour la filière vitroplants sont faibles.

Pour la filière parties de plantes, des conséquences sociales indésirables sont prévisibles comme l'impossibilité d'importer certaines denrées alimentaires.

Pour la filière sol, la mise en place de mesures de désinfection pourrait entraîner un coût supplémentaire et aurait vraisemblablement un impact environnemental lié à l'emploi et à la gestion du devenir des produits désinfectants à utiliser en grandes quantités.

Niveau d'incertitude : élevé

7.36 A-t-on identifié des mesures (ou combinaison de mesures) qui réduisent le risque pour cette filière, et n'interfèrent pas excessivement avec le commerce international, ont une efficacité-coût adéquate et n'ont pas de conséquences sociales ou environnementales ?

Oui, les mesures ou combinaison de mesures réduisent le risque pour ces filières. Toutefois, il n'est pas possible de se prononcer sur le rapport efficacité-coût sans étude économique spécifique.

7.37 Envisager l'interdiction de la filière.

Sans objet

7.38 Toutes les filières principales ont-elles été analysées (pour une analyse initiée par un organisme nuisible) ?

Oui

7.39 Tous les organismes nuisibles ont-ils été analysés (pour une analyse initiée par filière) ?

Sans Objet

7.40 Pour une analyse initiée par une filière, comparer les mesures appropriées pour tous les organismes nuisibles identifiés pour cette filière et qui ont les caractéristiques d'organismes de quarantaine ; sélectionner seulement celles qui assurent une sécurité phytosanitaire contre tous les organismes nuisibles

Sans objet

7.41 Considérer l'importance relative des filières identifiées dans la conclusion de la section sur l'entrée de l'organisme nuisible de l'évaluation du risque phytosanitaire.

La filière qui a la probabilité d'entrée la plus forte est la filière vitroplant pour l'ensemble de la zone ARP considérée. La seconde filière par ordre d'importance est la filière parties de plantes suivie de la filière sol.

7.42 Il convient d'envisager d'inclure toutes les mesures ou combinaison de mesures identifiées comme étant appropriées pour chaque filière ou pour la marchandise dans la réglementation phytosanitaire afin d'offrir un choix de mesures aux partenaires commerciaux. Il faut spécifier les exigences de données pour la surveillance et le suivi que le pays exportateur doit fournir.

L'ensemble des mesures phytosanitaires décrites au 7.30 devront être mises en œuvre.

Tableau 10 : Récapitulatif des probabilités et des incertitudes concernant l'évaluation des mesures de gestion

Élément du schéma	Note de probabilité	Incertitude
Gestion		
7.13 Détection de l'organisme de manière fiable par une inspection visuelle	non	Faible
7.14 Détection fiable de l'organisme par une analyse sur le lieu de production	oui	Faible
7.15 Empêchement fiable de l'infestation de la marchandise en traitant la culture	non	Faible
7.16 Empêchement de l'infestation de manière fiable en utilisant des cultivars résistants	non	Elevée
7.17 Empêchement de l'infestation de manière fiable en cultivant la plante dans des conditions spécifiées	oui	Faible
7.18 Empêchement de l'infestation en récoltant à certaines périodes de l'année ou à certains âges/stades de développement de la culture	non	Faible
7.19 Empêchement de l'infestation de manière fiable dans le cadre d'un schéma de certification	oui	Faible
7.20 Mesures possibles basées sur la capacité de dissémination naturelle	lieu ou zone de production exempte	Faible
7.21 Garantie de manière fiable de l'absence de l'organisme dans une culture, un lieu de production ou une zone	non	Modérée
7.22 Détection fiable de l'organisme par une inspection visuelle d'un envoi au moment de l'exportation ou pendant le transport/stockage	non	Faible
7.23 Détection de manière fiable de l'organisme par une analyse	oui	Faible
7.24 Destruction de l'organisme de manière fiable par un traitement	oui	Faible
7.25 Présence de l'organisme seulement sur certaines parties de végétaux ou produits végétaux qui peuvent être éliminées sans diminuer la valeur de l'envoi	non	Faible
7.27 Détection fiable de l'organisme en quarantaine post-entrée	oui	Faible
7.28 Acceptation sans risque pour certaines utilisations, pour une distribution limitée dans la zone ARP ou pour des périodes d'entrée limitées	non	Faible
7.29 Mesures efficaces pouvant être prises dans le pays importateur	oui	Faible
7.31 Réduction du risque à un niveau acceptable avec les mesures de gestion proposées		Faible
7.32 Combinaison de mesures pour réduire le risque à un niveau acceptable pour la filière vitroplants		Faible
7.32 Combinaison de mesures pour réduire le risque à un niveau acceptable pour la filière sols		Elevée
7.34 Interférence des mesures de gestion proposées avec le commerce international		Faible
7.35 Estimation du rapport coût efficacité et des conséquences sociales et environnementales des mesures de gestion proposées		Elevée

2.3.5 Conclusion de la Gestion du risque phytosanitaire.

L'introduction de Foc TR4 dans la zone ARP constitue un risque inacceptable, mettant en péril non seulement la filière banane export en Martinique et Guadeloupe, mais aussi l'existence et la production de bananes de variétés locales, pour la consommation locale en Guyane, à Mayotte et à La Réunion. Il est donc nécessaire de mettre en place des mesures de gestion pour empêcher ou retarder l'introduction de Foc TR4 dans la zone ARP. La mise en œuvre de ces mesures est rendue difficile pour deux raisons principales : (1) l'extension actuelle des zones géographiques où Foc TR4 est présent, avec un délai important entre l'entrée effective de l'agent pathogène dans une zone, sa découverte, puis la déclaration officielle de sa présence dans cette zone ; (2) la diversité des sources possibles d'introduction de Foc TR4.

En premier lieu, il nous semble important de mettre en place une veille stricte sur l'évolution de l'épidémie de Foc TR4 dans les lieux de production de bananier y compris dans les zones de production des vitroplants de bananier.

Pour chacune des filières d'introduction principales, nous proposons des mesures de gestion qui devront être associées pour en accroître l'efficacité :

- Filière vitroplants de bananiers.

La probabilité d'association de Foc TR4 avec cette filière est considérée comme très faible, mais les volumes de vitroplants importés en Martinique et Guadeloupe sont importants, ce qui nous incite à proposer un renforcement des mesures phytosanitaires existantes.

Tout d'abord, il est rappelé que seuls des vitroplants (sur milieu artificiel) peuvent être importés dans la zone ARP, à l'exclusion de tout matériel cultivé *in vivo* (par exemple vitroplants pré-sevrés). Cette obligation devra être strictement observée. En outre, ces vitroplants doivent être originaires de zones déclarées indemnes de Foc TR4.

La production de vitroplants pour l'importation dans les DROM est régie par un cahier des charges (« cahier des charges relatif aux obligations incombant aux établissements producteurs de vitro-plants de bananiers à destination de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique, de Mayotte et de La Réunion »). Ce cahier des charges devrait être modifié de la façon suivante :

- sélection des pieds mères : contrôle sanitaire obligatoire des pieds mères vis-à-vis de Foc TR4 avec une méthode officielle (au même titre que ce qui est déjà réalisé pour les virus et bactéries) ; mise en place d'un plan de surveillance des pieds mères vis-à-vis de symptômes de Foc TR4 (au même titre que ce qui est déjà prévu pour les autres agents pathogènes dans le cahier des charges).

- culture des pieds mères : utilisation de substrats de culture et d'eau d'arrosage désinfectés, culture hors-sol obligatoire, et mise en place de mesures prophylactiques à l'entrée de la structure de culture.

Une fois importés, les vitro-plants de bananier subissent une phase d'acclimatation avant leur plantation en plein champ. Cette phase est également régie par un cahier des charges (« cahier des charges relatif aux conditions d'acclimatation de vitro-plants de bananiers en Guadeloupe, Guyane, Martinique, à Mayotte et à La Réunion »). Pour cette étape, nous proposons une modification de ce cahier des charges de la façon suivante :

- désinfection systématique des substrats de culture,
- mise en place d'un plan de surveillance de symptômes de Foc TR4 pendant la phase d'acclimatation (au même titre que pour les autres agents pathogènes listés dans le cahier des charges, point II-1 du cahier des charges),

- diagnostic moléculaire en cas d'apparition de symptômes de *Fusarium oxysporum* pendant l'acclimatation.

Dans l'hypothèse où des symptômes de Foc TR4 apparaîtraient en cours d'acclimatation et seraient confirmés par analyse moléculaire, toutes les mesures visant à l'éradication devront être prises (destruction des plantes et lots correspondants, des plantes adjacentes ; désinfection des outils, chaussures et matériels sortant de la structure d'acclimatation).

L'ensemble des mesures proposées pour cette filière pourront avoir un impact sur le coût de production des vitroplants, qui reste à évaluer, et qui pourrait interférer avec leur commerce.

Filière parties de plantes (bananes, bulbes, rejets, plants racinés de toutes plantes et fleurs coupées).

Pour cette filière, la seule mesure possible efficace serait l'interdiction de l'introduction de matériel végétal, de quelque nature que ce soit, en provenance de régions infestées par Foc TR4. Toutefois cette mesure semble peu réaliste au regard de la diversité des végétaux importés et de l'extension actuelle de l'aire de répartition géographique de Foc TR4. Les mesures suivantes sont toutefois préconisées ou rappelées :

- Interdiction absolue d'introduction de bananes dans la zone ARP,
- Interdiction d'importer des bulbes et tubercules en provenance de régions infestées par Foc TR4,
- S'assurer du respect de l'élimination de toute trace de sol adhérent aux bulbes et tubercules importés, de quelque origine que ce soit (arrêté de 1990 stipulant l'interdiction d'introduction de produits végétaux avec terre adhérente dans les DROM),
- Interdiction d'importer des plantes pour la plantation, en provenance de régions infestées par Foc TR4.

Filière sol

L'introduction de sols en tant que tels dans la zone ARP est d'ores et déjà interdite. Il est nécessaire de s'assurer du respect de cette interdiction et de l'appliquer de la même manière aux substrats de culture en provenance de zones infestées par Foc TR4.

La désinfection des matériels pouvant avoir été en contact avec le sol (outils, chaussures, roues...) ainsi que les conteneurs de marchandises, en provenance de zones infestées par Foc TR4 est préconisée. Le niveau d'incertitude quant à la réussite de cette mesure est élevé du fait de l'extension rapide de l'aire de répartition de l'agent pathogène et de la difficulté à tracer le cheminement des sols adhérents. Une désinfection systématique des chaussures de passagers, ou des roues de véhicules entrant dans la zone ARP est envisageable, mais pourrait avoir un coût économique et environnemental à évaluer. Cette mesure devrait s'accompagner de campagnes systématiques d'information des voyageurs entrant dans la zone ARP. De ce point de vue Mayotte et La Réunion semblent des situations particulièrement vulnérables et devant faire l'objet d'une attention spécifique. Une difficulté supplémentaire est à prendre en compte, il s'agit de l'impossibilité de pouvoir tracer réellement les flux de passagers entre les zones infestées (majoritairement le sud-est asiatique) et la certain des DROM (Martinique, Guadeloupe et Guyane) compte tenu du fait qu'il n'existe pas de lignes aériennes directes entre ces DROM et l'Asie du Sud Est.

Une fois Foc TR4 introduit dans la zone ARP, sa dissémination naturelle (dissémination par l'eau et multiplication saprophyte) sera difficilement contrôlable. En outre, les méthodes de gestion à mettre en œuvre (infrastructure de confinement, c'est-à-dire la mise en place de barrières physiques empêchant la circulation des personnes et des animaux, zone tampon et désinfection de tout matériel sortant de la zone d'enrayement) (State of Queensland, Department of Agriculture

and Fisheries, 2017) sont contraignantes et difficilement applicables au paysage agricole des DROM concernés. Ces mesures n'ont pas toutes fait leurs preuves quand elles ont été appliquées en Australie. En outre la distribution hétérogène de l'agent pathogène dans une plantation de bananier peut conduire à ce que des foyers infectieux échappent aux méthodes de détection du fait d'un échantillonnage insuffisamment représentatif. Il est également suggéré d'étudier la pertinence de mettre en place des méthodes culturales différentes des pratiques culturales conventionnelles actuelles (grandes plantations en monoculture et connectées par un système d'irrigation unique) pour enrayer, à défaut d'empêcher, la dissémination de l'agent pathogène.

En conséquence de quoi l'éradication ou le confinement de l'organisme nuisible ne pourront être garantis dans une culture, un lieu de production ou une zone.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par le comité d'experts spécialisé : 1^{er} août 2018

3 Bibliographie

3.1 Publications

- Aguayo J., Mostert D., Fourrier-Jeandel C., Cerf-Wendling I, Hostachy B., Viljoen A. and Ios R. (2017). Development of a hydrolysis probe-based real-time assay for the detection of tropical strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 4. PLoS ONE 12(2).
- Anses (2016). Prise en compte de l'incertitude en évaluation des risques : revue de la littérature et recommandations pour l'Anses. Saisine n° 2015-SA-0090.
- Bentley S., Pegg KG., Moore NY., Davis RD. and Buddenhagen IW. (1998). Genetic variation among vegetative compatibility groups of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* analyzed by DNA fingerprinting. Phytopathology 88(12): 1283-1293.
- Buddenhagen I. (2009). Understanding Strain Diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* and History of Introduction of 'Tropical Race 4' to Better Manage Banana Production. International Symposium on Recent Advances in Banana Crop Protection for Sustainable Production and Improved Livelihoods. Leuven 1, Int Soc Horticultural Science. 828: 193-204, DOI:110.17660/ActaHortic.12009.17828.17619.
- Castro NR., Coêlho RSB., Laranjeira D., de Mendonça Pimentel RM. and Ferreira CP. (2010). Heliconia's *Fusarium* wilt: Resistance sources, alternative method of detection and structural mechanisms. Summa Phytopathologica 36(1): 30-34.
- Chittarath K., Mostert D, Crew KS., Viljoen A., Kong G., Molina AB. and Thomas JE. (2018). First Report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 (VCG 01213/16) Associated with Cavendish Bananas in Laos. Plant Disease 102(2): 449-450.
- Cote F., Alvard D., Domergue R., Navarro-Mastache LC., Teisson C. (1990). Micropropagation in vitro du bananier. Fruits 1990 : 112-118.
- Czislowski E., Fraser-Smith S., Zander M. and Aitken EAB. (2016). Identifying pathogenicity genes in *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*. Acta Horticulturae. C. Picq, I. Van den Bergh and M. Smith, International Society for Horticultural Science. 1114: 101-106.
- Czislowski E., Fraser-Smith S., Zander M., O'Neill WT., Meldrum RA., Tran-Nguyen LTT., Batley J. and Aitken EAB. (2018) Investigation of the diversity of effector genes in the banana pathogen, *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*, reveals evidence of horizontal gene transfer. Molecular Plant pathology, 19: 1155-1171
- Dale, J., James A., Paul JY., Khanna H., Smith M., Peraza-Echeverria S., Garcia-Bastidas F., Kema G., Waterhouse P., Mengersen K. and Harding R. (2017). Transgenic Cavendish bananas with resistance to *Fusarium* wilt tropical race 4. Nature Communications 8: 8.
- Daly A. and Walduck G. (2006). *Fusarium* wilt of bananas (Panama disease) (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*). Agnote, Northern Territory Government (Australia) 151: 1-5.
- Deltour P., França SC., Liparini Pereira O., Cardoso I., De Neve S., Debode J. and Höfte M. (2017). Disease suppressiveness to *Fusarium* wilt of banana in an agroforestry system: Influence of soil characteristics and plant community. Agriculture, Ecosystems and Environment 239: 173-181. Dita, M. A., C. Waalwijk, I. W. Buddenhagen, M. T. Souza and G.

- H. J. Kema (2010). A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana fusarium wilt pathogen. *Plant Pathology* 59(2): 348-357.
- EFSA. (2008) Scientific Opinion of the Panel on Plant Health on a request from the European Commission on Pest risk assessment made by France on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* considered by France as harmful in French overseas departments of French Guiana, Guadeloupe, Martinique and Réunion. *The EFSA Journal* 668, 1-22.
- Fourie GET, Steenkamp, Gordon TR. and Viljoen A. (2009). Evolutionary relationships among the *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* vegetative compatibility groups. *Applied and Environmental Microbiology* 75(14): 4770-4781.
- García-Bastidas F., Ordóñez N., Konkol J., Al-Qasim M., Naser Z., Abdelwali M., Salem N., Waalwijk C., Ploetz RC. and Kema GHJ. (2014). First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 associated with panama disease of banana outside Southeast Asia. *Plant Disease* 98(5): 694.
- Groenewald S. (2005). Biology, pathogenicity and diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. PhD thesis, Faculty of Natural and Agricultural Science, University of Pretoria, Pretoria, South Africa, 158 pp.
- Groenewald S., Van Den Berg N., Marasas WFO. and Viljoen A. (2006). The application of high-throughput AFLP's in assessing genetic diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Mycological Research* 110:297–305
- Hennessy C., Walduck G., Daly A. and Padovan A. (2005). Weed hosts of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in northern Australia. *Australasian Plant Pathology* 34(1): 115-11
- Herradura LE., Generalao LC., Dionio BT., Ugay VP., Molina AB. (2018). Management of Fusarium wilt tropical race 4 in the Philippines. In XXII meeting of Acorbat, Miami, 2-4 may 2018. Book of Abstract 47.
- Himmelstein, J., Maul JE., Balci Y. and Everts KL. (2016). Factors associated with leguminous green manure incorporation and Fusarium wilt suppression in watermelon. *Plant Disease* 100(9): 1910-1920.
- Hung TN., Hung NQ., Mostert D., Viljoen A., Chao CP. and Molina AB. (2018). First report of Fusarium wilt on Cavendish bananas, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (VCG 01213/16), in Vietnam." *Plant Disease* 102(2): 448-448.
- IITA. 2013. New banana disease to Africa found in Mozambique. Joint statement issued by the Mozambique Department of Agriculture, Matanuska, IITA, Stellenbosch University and Bioversity International. Press release. (<http://www.iita.org/news-item/new-banana-disease-africa-found-mozambique/>)
- Kumar BH., Shankar UAC., Kini RK., Prakash HS. and Shetty SH. (2006). Genetic variation in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* isolates based on random amplified polymorphic DNA and intergenic spacer. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 39(2): 151-160.
- de Lapeyre L., Tixier P., Risede JM. (2017). Mission report of the CIRAD (UR GECCO) team to Laos PDR from 17/10/17 to 24/10/17, Cirad, 26 p.
- Lee SY., Su YU., Chou CS., Liu CC., Chen CC. and Chao CP. (2011). Selection of a new somaclone cultivar 'Tai-Chiao no. 5' (AAA, cavendish) with resistance to fusarium wilt of banana in Chinese Taipei. *Acta Horticulturae*. I. Bergh, C. Hermanto, R. Swennen and M. Smith. 897: 391-398.

- Li CQ., Shao JF., Wang YJ., Li WB., Guo DJ., Yan B., Xia YJ. and Peng M. (2013). Analysis of banana transcriptome and global gene expression profiles in banana roots in response to infection by race 1 and tropical race 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. BMC Genomics 14: 16.
- Li CQ., Yang JH., Li WB., Sun JB. and Peng M. (2017). Direct root penetration and rhizome vascular colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* are the key steps in the successful infection of Brazil Cavendish. Plant Disease 101(12): 2073-2078.
- Mateille, T. and Foncelle B. (1989). "Techniques de production de vitro-plants de bananier cv. 'Poyo'." P.H:M,-Revue Horticole 294(2): 39-45.
- Meldrum RA., Daly AM., Tran-Nguyen LTT. and Aitken EAB. (2013). Are banana weevil borers a vector in spreading *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in banana plantations? Australasian Plant Pathology 42(5): 543-549.
- Molina AB., Fabregar EG., Sinohin V., Fourie G. and Viljoen A. (2008). Tropical Race 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* causing new Panama wilt epidemics in Cavendish varieties in the Philippines. Phytopathology 98(6): S108-S108.
- Molina AB., Fabregar E., Sinohin VG., Yi G. and Viljoen A. (2009). Recent occurrence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in Asia. Acta Horticulturae. 828: 109-116.
- Molina AB., Fabregar EG., Soquita RO. and Sinohin VGO. (2011). Comparison of host reaction to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 and agronomic performance of somaclonal variant 'GCTCV-119' (AAA, cavendish) and 'Grand naine' (AAA, cavendish) in commercial farms in the Philippines. Acta Horticulturae. I. Bergh, C. Hermanto, R. Swennen and M. Smith. 897: 399-402.
- Molina AB., Sinohin VO., Fabregar EG, Ramillete EB., Loayan MM. and Chao CP. (2016). Field resistance of Cavendish somaclonal variants and local banana cultivars to tropical race 4 of *Fusarium* wilt in the Philippines. Acta Horticulturae. C. Picq, I. Van den Bergh and M. Smith, International Society for Horticultural Science. 1114: 227-230.
- Morris DE., Oakley JE., Crowe JA. (2014). A web-based tool for eliciting probability distributions from experts, Environmental Modelling & Software, Volume 52, Pages 1-4, ISSN 1364-8152, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.10.010>.)
- Mourichon X., (2003) Analyse de risque phytosanitaire portant sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, CIRAD
- Newcombe M. (1960). Some effects of water and anaerobic conditions on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in soil. Transactions of the British Mycological Society 43: 51-59
- Nurhadi M. and Harlion R. (1994). The disease incidence of bacterial and *Fusarium* wilt disease in Lampung province. Indonesian Info. Hort. 2(1): 35-37
- O'Donnell K., Kistler HC., Cigelnik E. and Ploetz RC. (1998). Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 95(5): 2044-2049.
- O'Neill WT., Pattison AB., Daniells JW., Hermanto C. and Molina AB. (2011). Vegetative compatibility group analysis of Indonesian *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* isolates. Acta Horticulturae. I. Bergh, C. Hermanto, R. Swennen and M. Smith. 897: 345-352.
- O'Neill WT., Henderson J., Pattermore JA., O'Dwyer C., Perry S., Beasley DR., Tan YP., Smyth AL., Goosem CH., Thomson KM., Hobbs RL., Grice KRE., Trevorrow P., Vawdrey LL.,

- Pathania N. and Shivas RG. (2016). Detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 strain in northern Queensland." Australasian Plant Disease Notes 11(1): 33
- Ong KP. (1996). Fusarium wilt of Cavendish banana in a commercial farm in Malaysia. p.211-217. In: Frison, E.A., Horry, J. and De Waele, D. (eds.). Proceedings of New Frontiers in Resistance Breeding for Nematode, Fusarium and Sigatoka, Kuala Lumpur (MYS), 1995/10/2-5. New frontiers in resistance breeding for nematode, Fusarium and Sigatoka. INIBAP, Montpellier (FRA).
- Ordoñez N., Seidl MF., Waalwijk C., Drenth A., Kilian A., Thomma B., Ploetz RC. and Kema GHJ. (2015). Worse Comes to Worst: Bananas and Panama Disease-When Plant and Pathogen Clones Meet. PloS Pathogens 11(11): 7.
- Ordoñez, N., García-Bastidas F., Laghari HB., Akkary MY., Harfouche EN., al Awar BN. and Kema GHJ. (2016). "First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 causing panama disease in Cavendish bananas in Pakistan and Lebanon." Plant Disease 100(1): 209-210.
- Pegg KG., Moore NY. and Bentley S. (1996). Fusarium wilt of banana in Australia: A review. Australian Journal of Agricultural Research 47(5): 637-650.
- Ploetz RC. (2005). Panama disease, an old nemesis rears its ugly head: Part 1, the beginnings of the banana export trades. Online. APSnet Feature - Plant Health Progress: doi:10.1094/PHP2005-1221-1001-RV.
- Ploetz RC. (2006). Panama disease, an old nemesis rears its ugly head: Part 2, the cavendish era and beyond. Online. Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2006-0308-01-RV.
- Ploetz RC. (2015a). Fusarium wilt of banana. Phytopathology 105(12): 1512-1521.
- Ploetz RC. (2015b). Management of Fusarium wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. Crop Protection 73: 7-15.
- Ploetz RC., Kema GHJ. and Ma LJ. (2015). Impact of Diseases on Export and Smallholder Production of Banana. Annual Review of Phytopathology 53(1): 269-288.
- Ploetz RC. and Pegg KG. (2000). Fusarium wilt. In: Jones, D.R. (Ed.), Diseases of Banana, Abaca and Enset. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 143-159.
- Qi P. (2001). Status report of banana Fusarium wilt disease in china. p.119-120. In: Molina, A.B., Nik Masdek, N.H. and Liew, K.W. (eds.). Proceedings of International Workshop on the Banana Fusarium Wilt Disease, Genting Highlands Resort, 1999/10/18-20. Banana Fusarium wilt management: Towards sustainable cultivation. INIBAP, Los Banos, Philippines.
- Qi YX., Zhang X., Pu JJ., Xie YX., Zhang HQ. and Huang SL. (2008). Race 4 identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* from Cavendish cultivars in Hainan province, China. Australasian Plant Disease Notes 3(1):46-47
- State of Queensland, Department of Agriculture and Fisheries. (2017) Wash-down designs to combat Panama disease tropical race 4 Panama TR4 Program Version 1, <http://farmbiosecurity.com.au/wp-content/uploads/Wash-down-designs-for-TR4.pdf>
- Solpot TC., Pangga IB., Bacongus RDT. and Cumagun CJR. (2016). Occurrence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 and other genotypes in banana in South-Central Mindanao, Philippines. Philippine Agricultural Scientist 99(4): 3
- Stover RH. (1962). Fusarial wilt (panama disease) of bananas and other Musa species, Commonwealth Mycological Institute.

- Su HJ., Hwang SC. and Ko WH. (1986). Fusarial wilt of Cavendish bananas in Taiwan. *Plant Disease* 70: 814-818.
- Tazan G. (2018). Management of Fusarium wilt Tropical race 4 in Jacaranda farms in Mozambique. In XXII meeting of Acorbat, Miami, 2-4 may 2018. Book of Abstract 46.
- Van der Plank EJ. (1969). Pathogenic races, host resistance, and an analysis of pathogenicity. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 75: 45-52
- Vinatier F., Chailleux A., Duyck PF., Salmon F., Lescourret F. and Tixier P. (2010). Radiotelemetry unravels movements of a walking insect species in heterogeneous environments. *Animal Behaviour* 80(2): 221-229.
- Wardlaw CW. (1961). *Banana diseases: including plantains and abaca*. London: Longmans, 648 pp.
- Zheng S-J., Garcia-Bastidas FA., Li X., Zeng L., Bai T., Xu S., Yin K., Li H., Fu G., Yu Y., Yang L., Nguyen HC., Douangboupha B., Khaing AA., Drenth A., Seidl MF., Meijer HJG and Kema GHJ. (2018). New Geographical Insights of the Latest Expansion of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 Into the Greater Mekong Subregion." *Frontiers in Plant Science* 9:457.

3.2 Normes

NF X 50-110 (mai 2003) Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise. AFNOR (indice de classement X 50-110).

3.3 Législation et réglementation

Arrêté du 3 septembre (1990) relatif au contrôle sanitaire des végétaux et produits végétaux. NOR: AGRG9001871A. Version consolidée au 12 juillet 2018

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT. (2016). Cahier des charges relatif aux obligations incombant aux établissements producteurs de vitro-plants de bananiers à destination de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique, de Mayotte et de la Réunion.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT. (2016). Cahier des charges relatif aux conditions d'acclimatation de vitro-plants de bananier en Guadeloupe, en Guyane, en Martinique, à Mayotte et à la Réunion.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine



2017 -SA- 0 0 5 0



COURRIER ARRIVE

1 0 MARS 2017

DIRECTION GENERALE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT

Direction générale de l'alimentation

Service des actions sanitaires en production
primaireSous direction de la qualité, de la santé et de la
protection des végétaux

Bureau de la santé des végétaux

251 rue de Vaugirard

75352 Paris cedex 15

Dossier suivi par : Richard BORDEAU

Mél : bsv.sdqspv.dgal@agriculture.gouv.fr

Tel : 01 49 55 81 48

Monsieur le Directeur Général
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de
l'alimentation, de l'environnement et du travail

27-31 avenue du Général Leclerc – BP 19

94701 Maisons-Alfort cedex

Paris, le 0 8 MARS 2017

Réf. interne : BSV/2017- 0 3 - 0 0 7

Objet : Saisine relative à une analyse de risque phytosanitaire (ARP) de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* responsable de la maladie de Panama pour les départements d'Outre-mer.

Conformément à l'article L.1313-3 du code de la santé publique, j'ai l'honneur de solliciter l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail concernant la réalisation d'une analyse de risque phytosanitaire sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* responsable de la maladie de panama sur bananier.

Éléments de contexte et données utiles

La race 1 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) a été dans les années 1940 et 1950 à l'origine de la disparition progressive de la production intensive de la variété « Gros-Michel » en Amérique latine, en Afrique et dans les Antilles, base du commerce international d'alors. Cette variété a progressivement été remplacée par la variété Cavendish. Néanmoins, cette dernière variété est connue comme sensible à d'autres races de FOC dont notamment la race 4 en zone tropicale (TR4). Si la dissémination de FOC TR4 était limitée dans les années 2000 au sud-est asiatique, elle est désormais présente au Moyen-Orient et en Afrique.

Cet organisme et particulièrement la race tropicale 4, constituant un danger important pour la production de banane dans les départements d'Outre-mer français, il apparaît nécessaire de procéder à une actualisation des travaux d'évaluation du risque phytosanitaire existants.

Questions posées

Aussi, je vous saurais gré de bien vouloir procéder à une analyse de risque phytosanitaire relative à *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pour les Antilles, la Guyane, Mayotte et La Réunion notamment sur la base du travail réalisé par le CIRAD en 2003 que vous trouverez en annexe de ce

courrier.

Cette analyse synthétisera les connaissances les plus récentes sur la différenciation entre races, sur la progression de la race TR4 et les filières d'introductions identifiées en proposant des mesures de gestion à même d'empêcher l'introduction de ces organismes dans les départements d'Outre-mer.

Délai justifié

Je souhaiterais pouvoir disposer de votre avis dans un délai de 10 mois à compter de la date de réception de ce courrier.

Destinataires pour la réponse mail

- bsv.sdqspv.dgal@agriculture.gouv.fr
- berl.sdpal.dgal@agriculture.gouv.fr

Mes services se tiennent à votre disposition pour vous apporter toute information complémentaire.

Je vous remercie de bien vouloir m'accuser réception de la présente demande.

Le directeur général adjoint de l'alimentation
Chef du service de la gouvernance
et de l'international
EVO
Loïc EVAÏN

Copie : SDPAL/BERL

PJ : Analyse du risque phytosanitaire relative à *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* – CIRAD Juin 2003

Annexe 2 : Elicitations probabilistes des connaissances des experts

Règles utilisées pour déterminer les notes qualitatives du schéma OEPP à partir des résultats de l'élicitation probabiliste

L'élicitation probabiliste des connaissances d'experts (Anses 2016) permet de représenter les connaissances d'un ou plusieurs experts sur une quantité donnée (ex : probabilité d'association de l'organisme nuisible à une filière) sous la forme d'une distribution de probabilité. Cette distribution peut être ensuite utilisée à la fois pour obtenir une estimation de la valeur de la quantité étudiée (ex : la moyenne ou la médiane de la distribution) et pour décrire le niveau d'incertitude (ex : avec des intervalles de probabilité).

La saisine n°2017-SA-050 a été traitée à partir du schéma d'aide à la décision pour les organismes de quarantaine (PM 5/3 (5)) de l'Organisation européenne et méditerranéenne de la protection des plantes (OEPP). Ce schéma repose sur l'usage de notes qualitatives indiquant les niveaux de risque et d'incertitude associés à une série de questions. Pour pouvoir valoriser les résultats des élicitations dans le cadre du schéma OEPP, il a été nécessaire d'établir des règles permettant de traduire les résultats des distributions de probabilité élicitées sous la forme de notes qualitatives.

Des règles décrites ci-dessous ont été utilisées pour résumer chaque distribution de probabilité élicitée par deux notes qualitatives :

- Une note décrivant le niveau de probabilité d'un événement (ex : probabilité d'association de l'organisme nuisible à une filière) parmi « Très improbable », « Improbable », « Modérément probable », « Probable », « Très probable »,
- Une note décrivant le niveau d'incertitude associé à la détermination de cette probabilité parmi « Faible », « Modéré », « Elevé ».

Nos règles permettent de valoriser les résultats des élicitations probabilistes dans le cadre du système actuel utilisé par le CES « Santé des plantes », tout en augmentant le niveau de transparence des modalités d'attribution des notes.

La démarche comporte deux étapes. La première étape consiste à déterminer un niveau qualitatif de probabilité en se basant sur la médiane de la distribution de probabilité élicitée à partir des connaissances des experts. La seconde étape consiste à déterminer le niveau d'incertitude à partir des valeurs de deux quartiles (25% et 75%) issues de cette même distribution.

Pour déterminer le niveau de probabilité, la règle retenue (après discussion avec le GT Panama et le CES Santé des plantes) est décrite dans le tableau 1.

Tableau 1 : Gammes de probabilité associées aux niveaux qualitatifs.

Niveau de probabilité Anses	Très improbable (TI)	Improbable (I)	Modérément probable (MP)	Probable (P)	Très probable (TP)
Probabilité médiane élicitée	[0 à 0,025]]0,025 à 0,25]]0,25 à 0,5]]0,5 à 0,75]]0,75 à 1]

Exemples :

- si la probabilité médiane élicitée est de 0,08, la note qualitative correspondante est « Improbable »
- si la probabilité médiane élicitée est de 0,54, la note qualitative correspondante est « Probable »

Cette règle a été construite de manière à associer au niveau « Très improbable » des valeurs de probabilité très faibles (inférieures à 0,025). Ceci n'aurait pas été possible avec une règle définissant cinq gammes de probabilité de même taille pour tous les niveaux. Dans ce cas, la gamme associée au niveau « Très improbable » aurait été]0, 0.2] et des probabilités aussi élevées que 0.2 se verraient alors associées au niveau « Très improbable ».

La détermination du niveau d'incertitude est basée sur deux quantiles de la distribution de probabilité élicitée à partir des connaissances des experts. Un niveau d'incertitude est choisi en fonction du nombre de classes de probabilité couvertes par les deux quantiles. Les résultats de cette règle dépendent des quantiles sélectionnés. Nous avons utilisé ici les percentiles 25 et 75% (1^{er} et 3^{ème} quartiles) car les quantiles plus extrêmes ont de fortes chances d'être impécis. La règle utilisée pour définir le niveau d'incertitude est décrite dans le tableau 2.

Tableau 2 : Règle de choix du niveau d'incertitude. Les classes sont celles définies dans le tableau 1.

Niveau d'incertitude Anses	Faible (F)	Modéré (M)	Elevé (E)
Nombre de classes couvertes par l'intervalle défini par les percentiles 25 et 75%	1 classe	2 classes	3 classes

Exemples :

- si les percentiles 25 et 75% sont égaux à 0,01 et 0,15, le niveau d'incertitude sera « Modéré » car les percentiles couvrent les niveaux de probabilité « Très improbable » et « Improbable »
- si les percentiles 25 et 75% sont respectivement égaux à 0,07 et 0,15, le niveau d'incertitude sera « Faible » car les percentiles tombent dans le même niveau de probabilité (« Improbable »)
- les percentiles 25 et 75% sont respectivement égaux à 0,01 et 0,27, le niveau d'incertitude sera « Elevé » car les percentiles couvrent trois niveaux de probabilité (de « Très improbable » à « Modérément probable »).

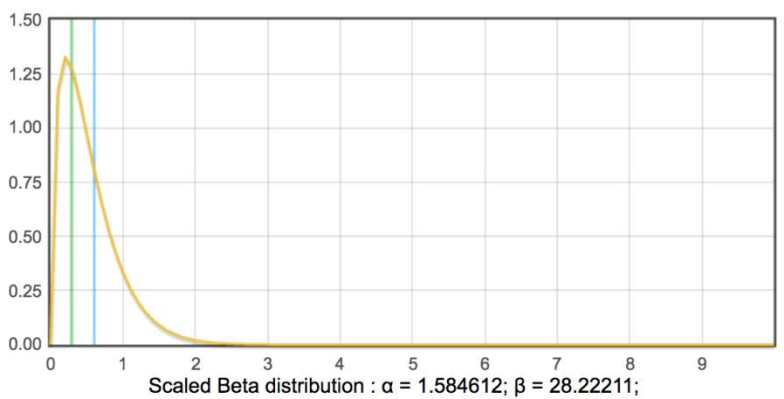
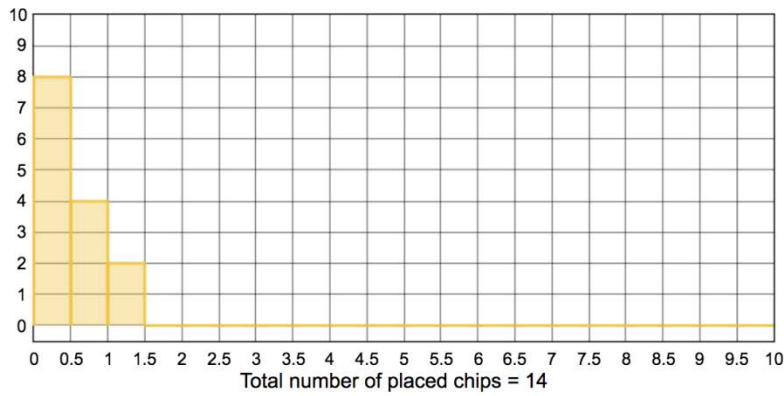
Les élicitations ont été réalisées par le GT Panama à l'aide du logiciel MatchTool en utilisant la méthode « roulette » pour différents éléments du schéma d'aide à la décision pour les organismes de quarantaine habituellement utilisé par l'Anses (<http://optics.eee.nottingham.ac.uk/match/uncertainty.php#> ; Morrison, 2014).

Les experts ont été élicités collectivement. Pour chaque quantité élicitée, les experts ont alloué des jetons dans des intervalles couvrant une gamme de valeurs prédéfinies. Différentes distributions de probabilité ont ensuite été ajustées à l'histogramme obtenu. La distribution s'ajustant le mieux a été sélectionnée. Les experts ont alors validé cette distribution et, si besoin, modifié l'allocation des jetons puis réajusté de nouveau les distributions afin de choisir celle traduisant le mieux leurs connaissances. Durant cette procédure, on a veillé à ce que chaque expert puisse s'exprimer individuellement.

Résultats des élicitations

Les résultats des élicitations sont présentés question par question ci-dessous. Lorsque le GT considérait qu'il n'y avait aucune incertitude associée à la quantité considérée (ex : probabilité d'association égale à 1 ou zéro), la procédure d'élicitation n'a pas été utilisée. Seules les distributions obtenues pour les éléments incertains sont ainsi présentées ci-dessous. Les notes qualitatives correspondantes (résultant de l'application des règles décrites ci-dessus) sont présentées dans la partie principale du rapport.

2.03 Élicitation de la probabilité d'association pour la filière vitroplants. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses en pourcentage (diviser par 100 pour avoir la probabilité sur une échelle 0-1).



Elicitation Options ✕

Ranges
 Lower Limit
 Upper Limit
Update Limits

Input Mode
 Roulette
 Quartile
 Tertile
 Probability
 Hybrid

Roulette Options
 Number of Bins
 Height of Grid
Update Roulette Options

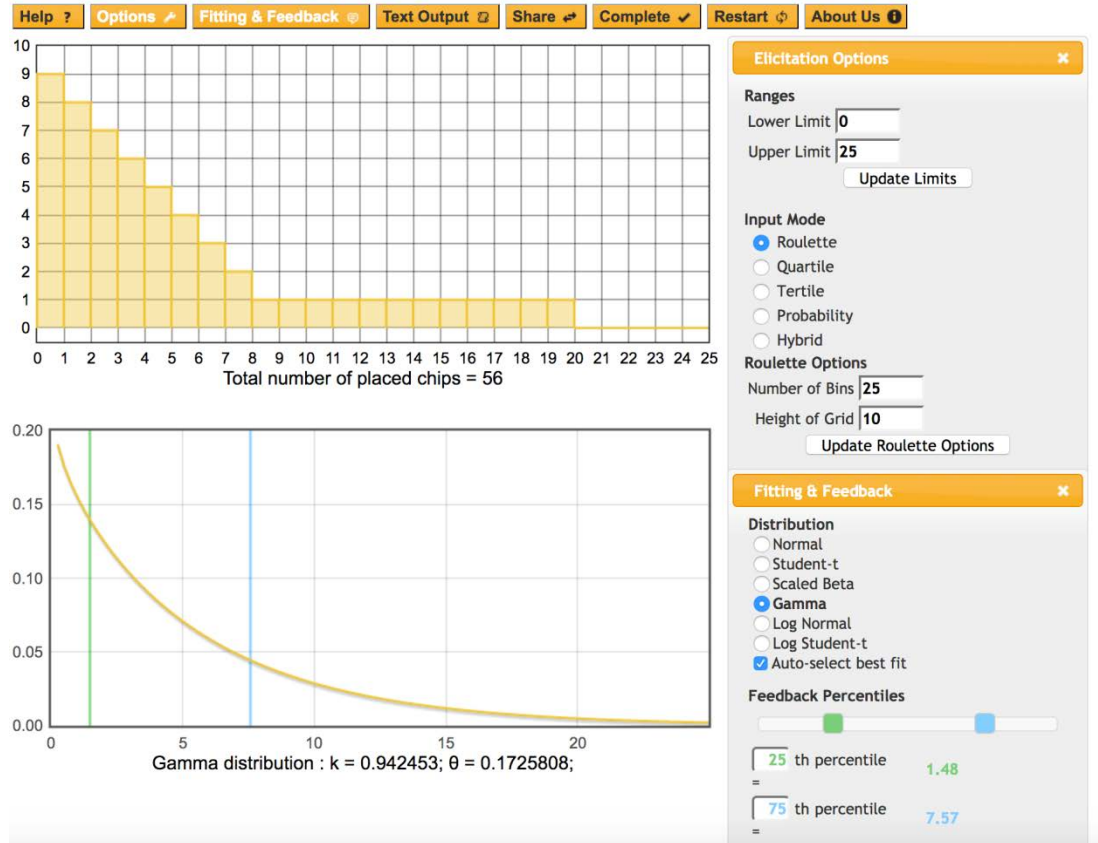
Fitting & Feedback ✕

Distribution
 Normal
 Student-t
 Scaled Beta
 Gamma
 Log Normal
 Log Student-t
 Auto-select best fit

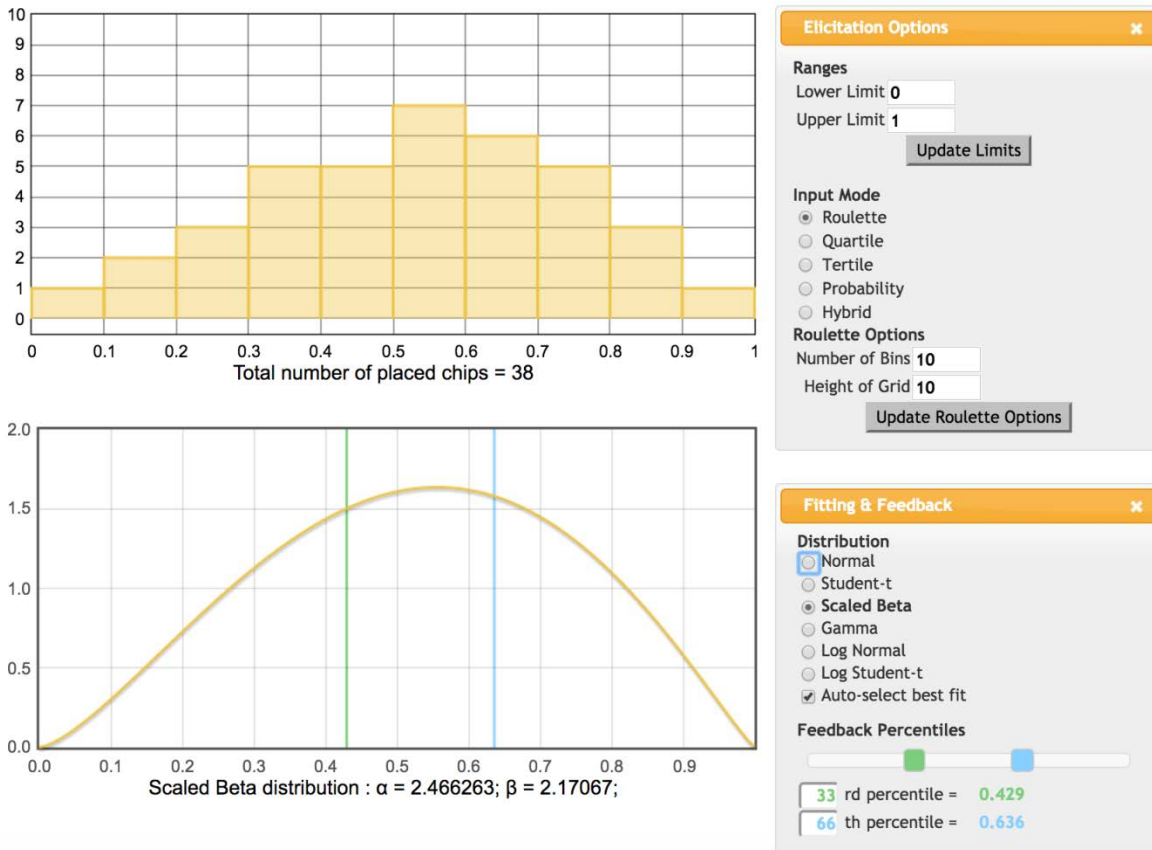
Feedback Percentiles

33 rd percentile = 0.292
66 th percentile = 0.604

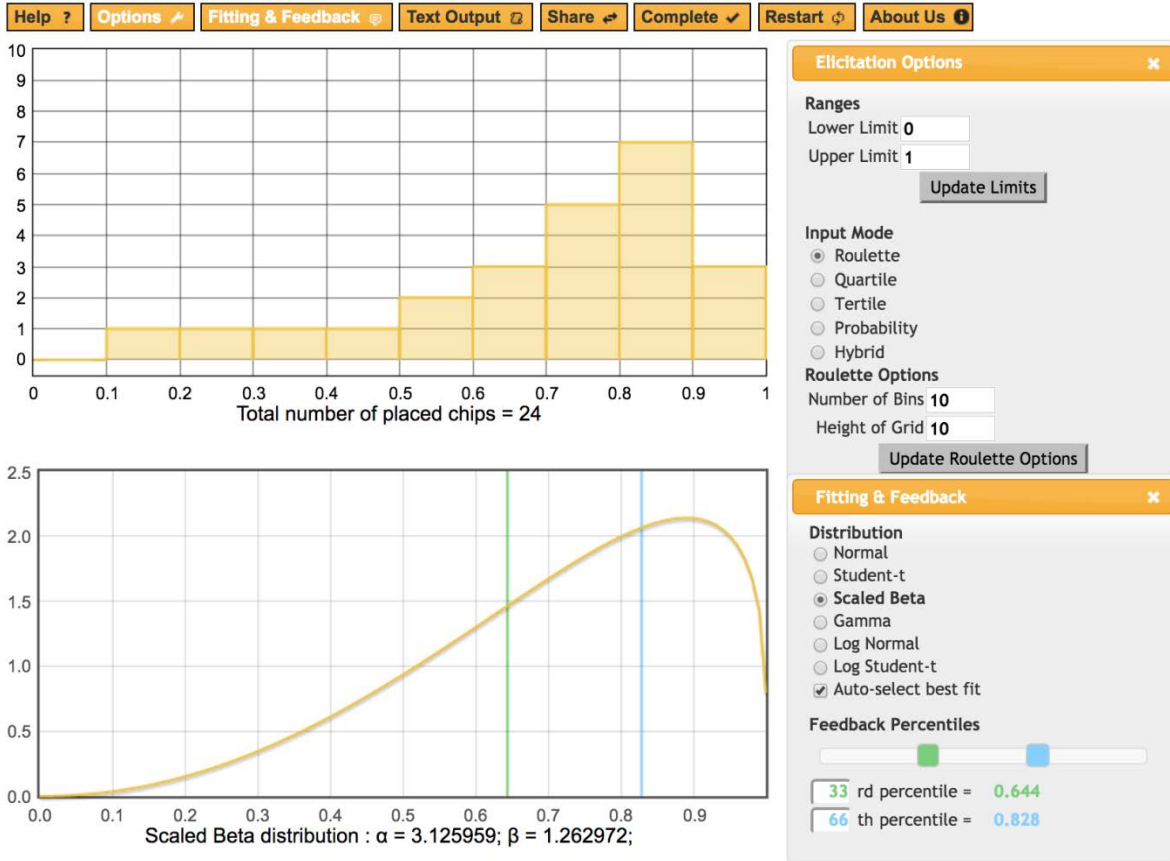
2.03 Elicitation de la probabilité d'association pour la filière vitroplants pré-sevrés en pépinière sur substrat de culture. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses en pourcentage sur une échelle de 0 à 25 (Diviser par 100 pour avoir la probabilité sur une échelle 0-1).



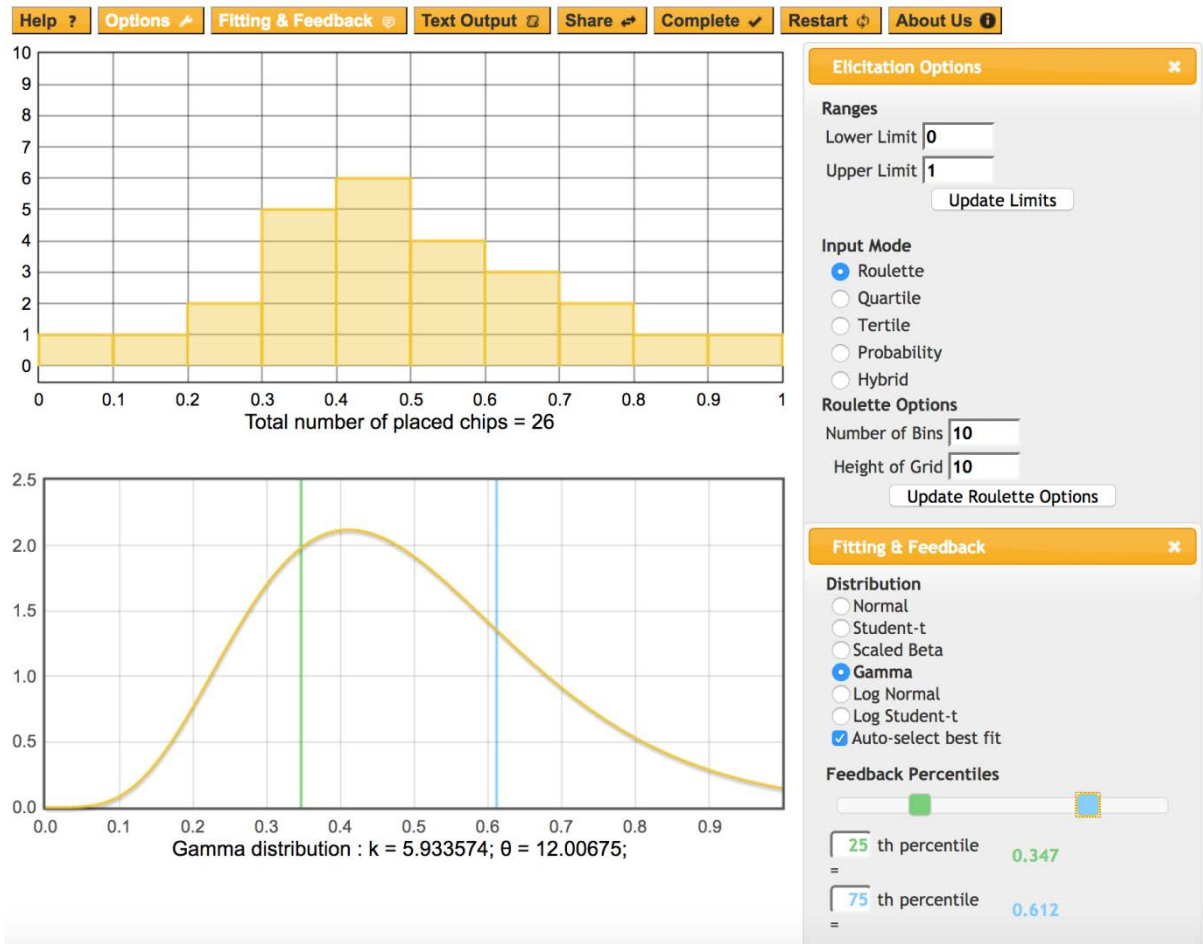
2.03 : Élicitation de la probabilité d'association de la filière « parties de plantes, bulbes, rejets et plants racinés de toutes plantes produites en zone où Foc TR4 est présent ». La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0-1.



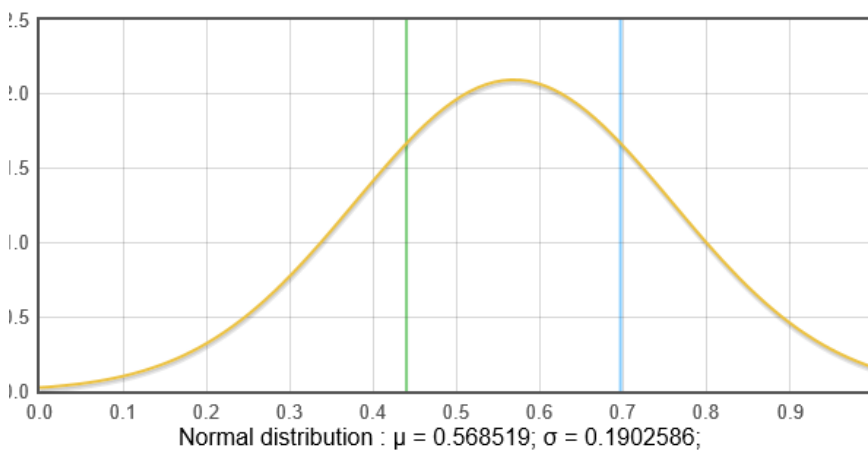
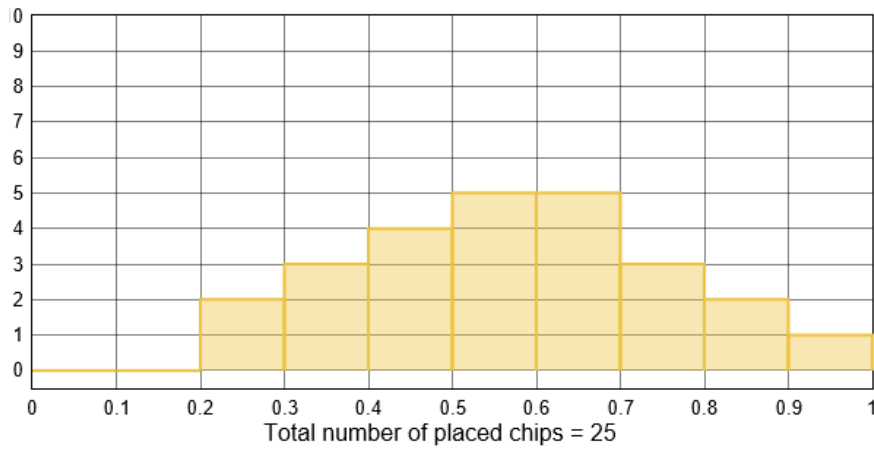
2.03 : Élicitation de la probabilité d'association. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0-1.



2.04 Élicitation de la probabilité d'association de la filière « parties de plantes » et « sol » lorsque Foc TR4 est présent et que des mesures de gestion sont prises. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0-1.



2.08 Elicitation de la probabilité que l'organisme nuisible se multiplie ou augmente en prévalence pendant le transport pour la filière vitroplants et vitroplants pré-sevrés. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0-1



Elicitation Options ✕

Ranges

Lower Limit

Upper Limit

Input Mode

Roulette

Quartile

Tertile

Probability

Hybrid

Fitting & Feedback ✕

Distribution

Normal

Student-t

Scaled Beta

Gamma

Log Normal

Log Student-t

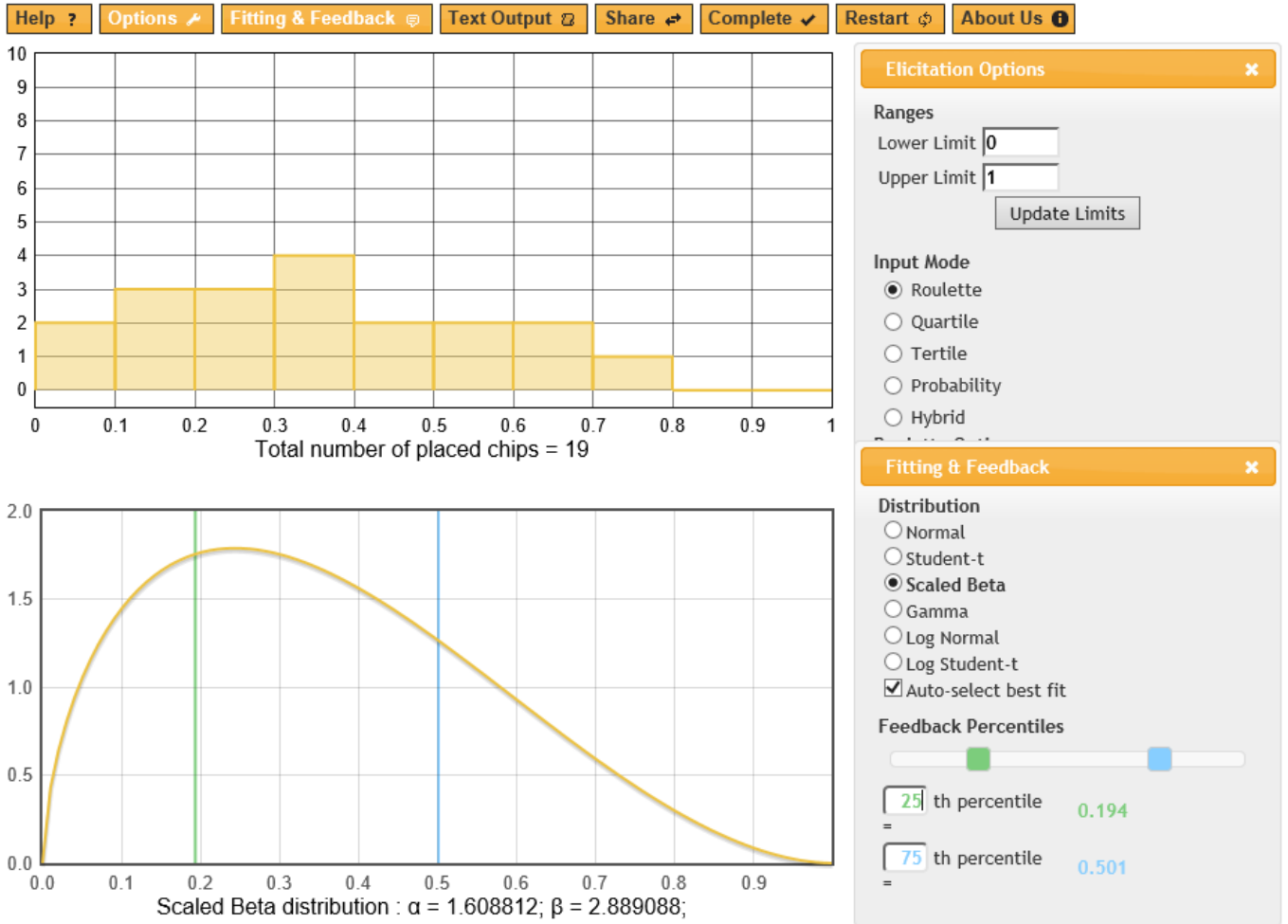
Auto-select best fit

Feedback Percentiles

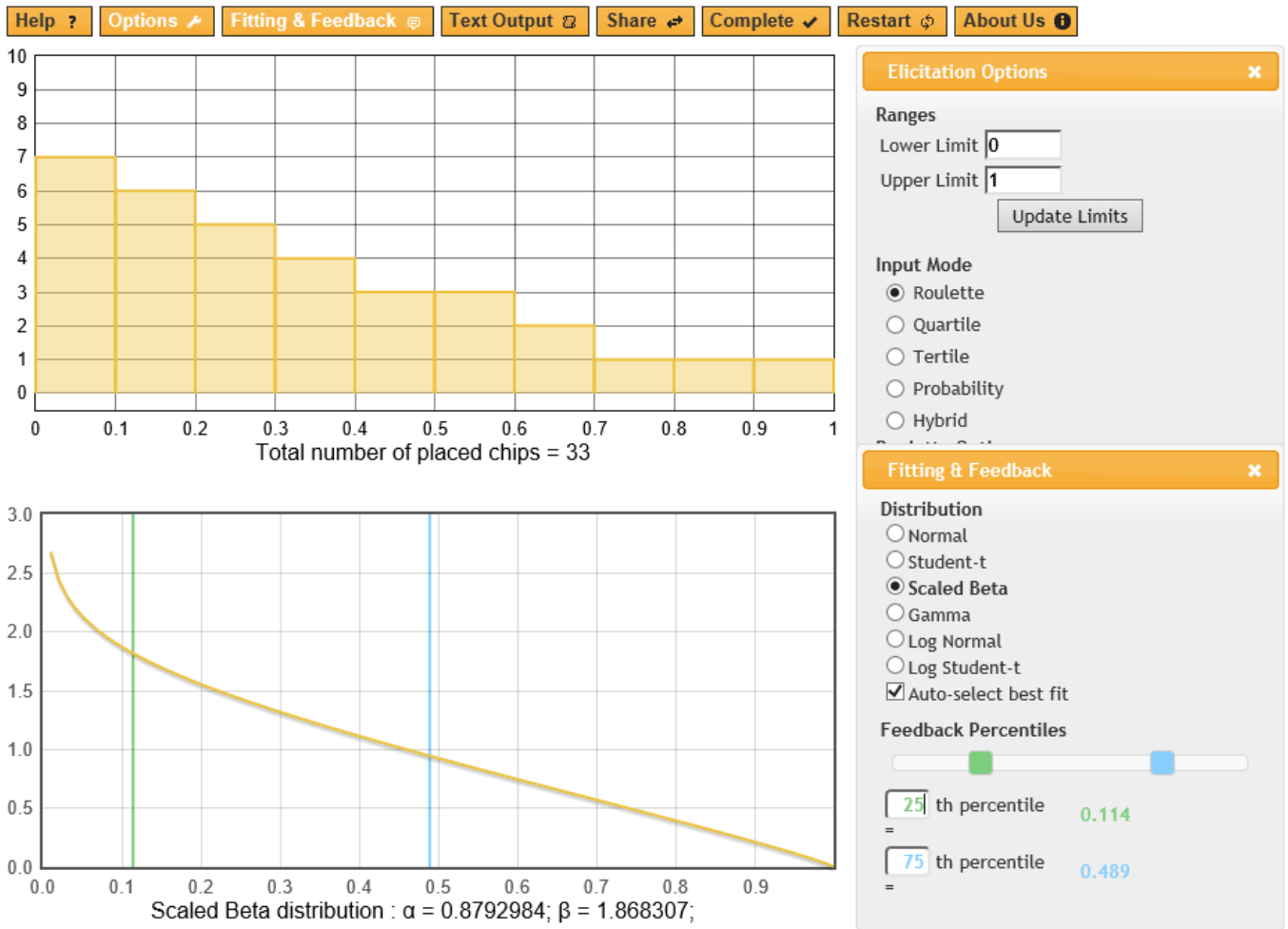
th percentile = 0.440

th percentile = 0.697

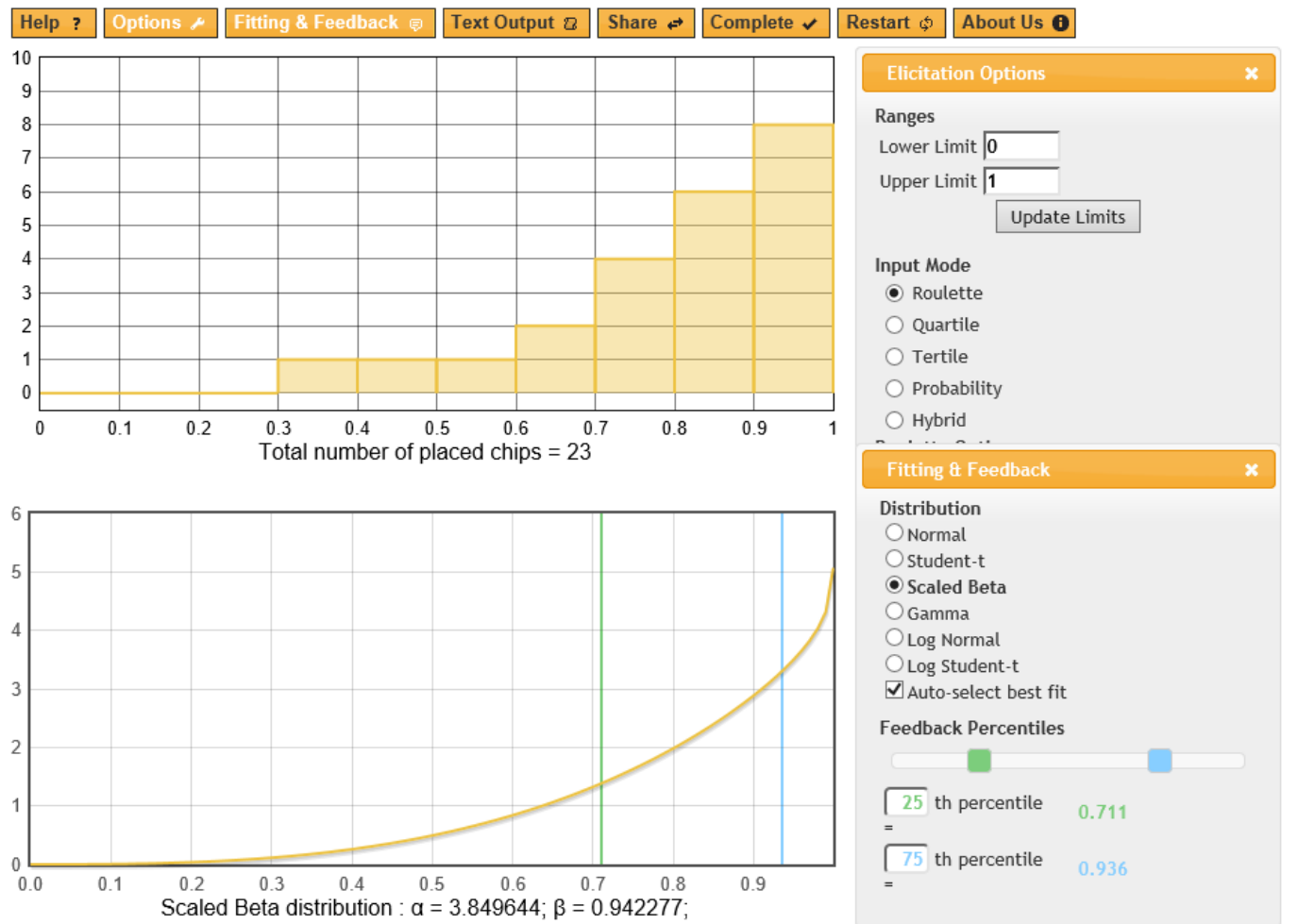
2.08 Elicitation de la probabilité que l'organisme nuisible se multiplie ou augmente en prévalence pendant le transport pour la filière parties de plantes. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0-1



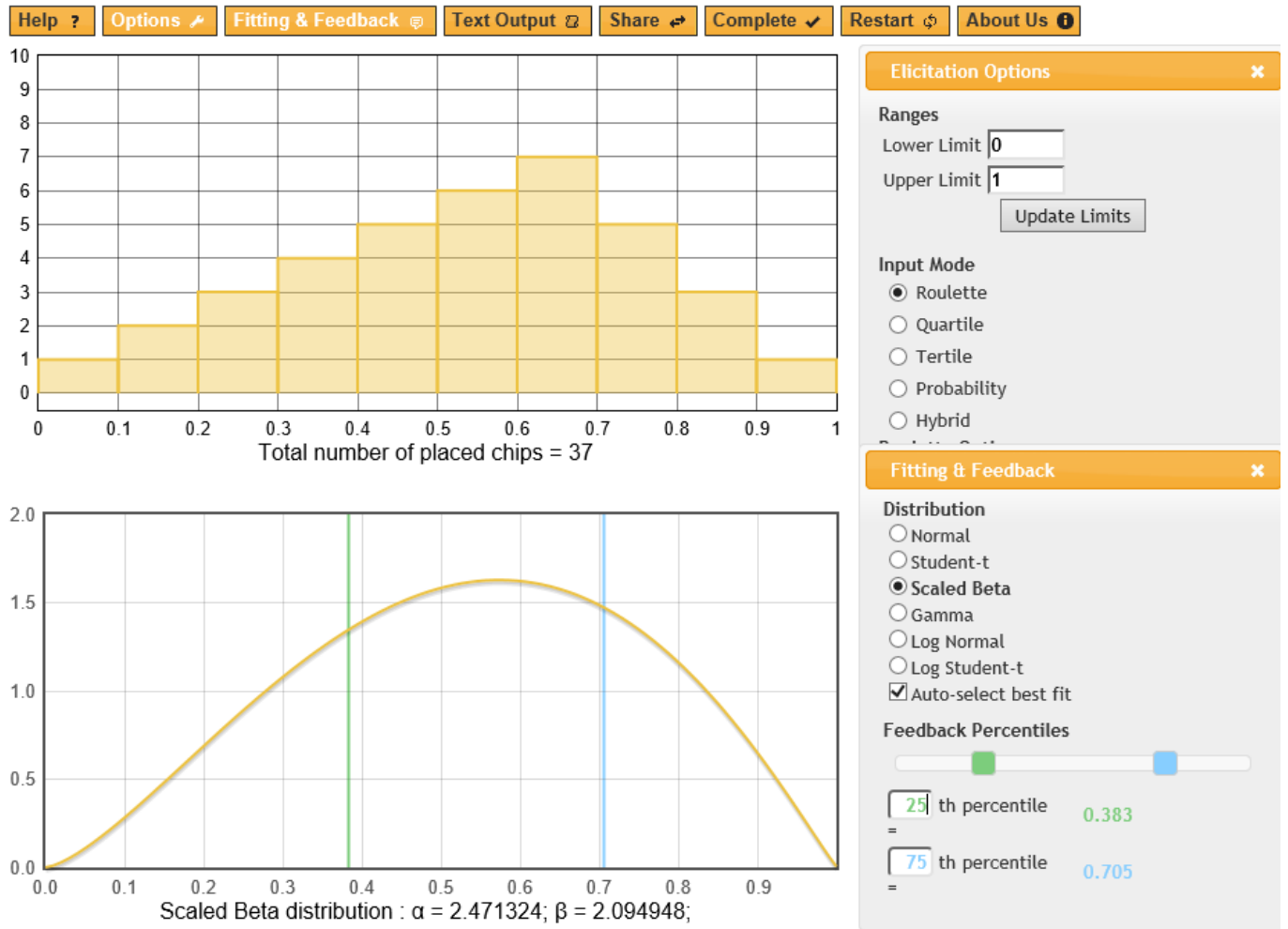
2.10 Elicitation de la probabilité que l'organisme nuisible passe de la filière à un hôte ou un habitat approprié. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0-1



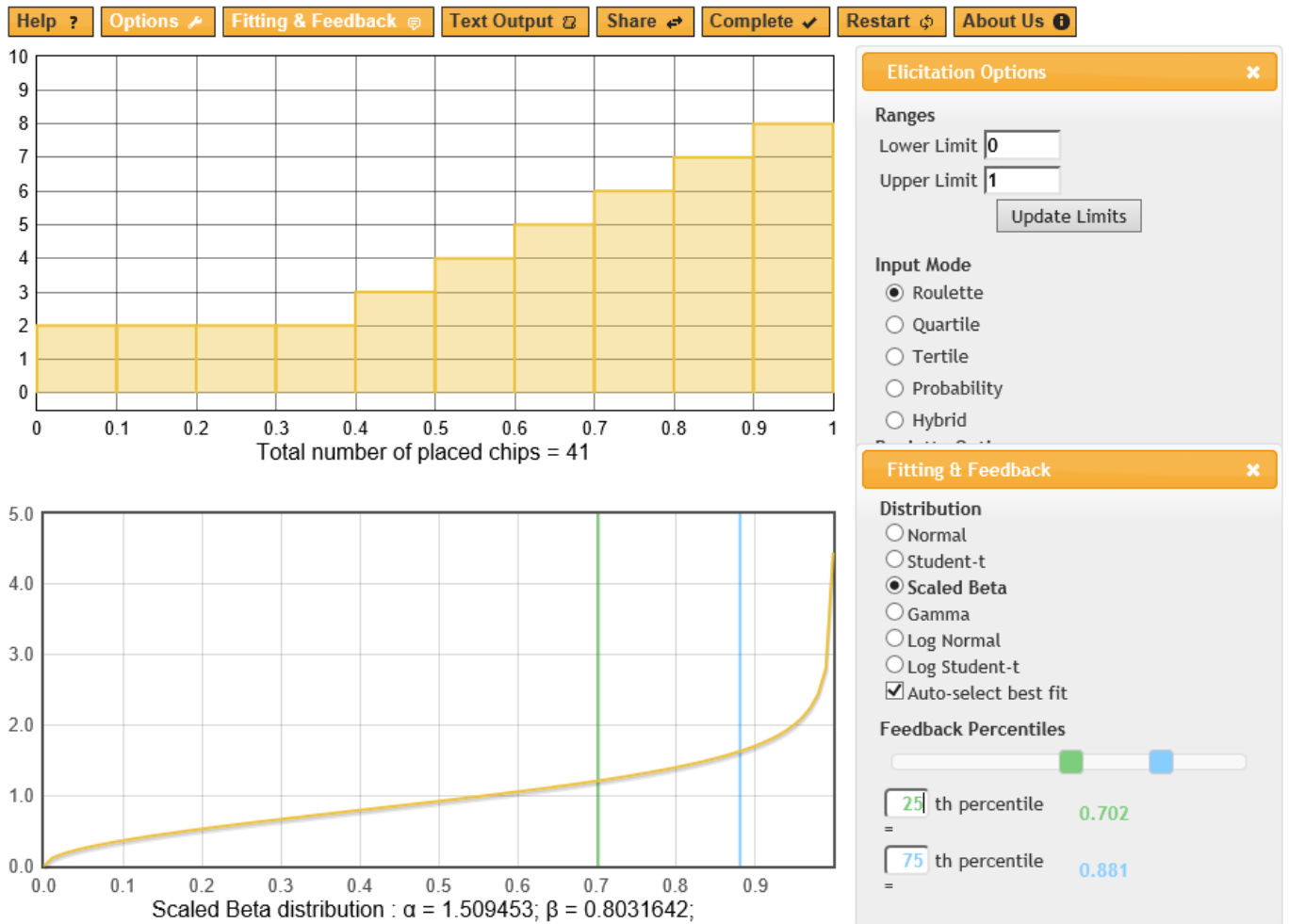
2.13 Elicitation de la probabilité globale d'entrée de Foc TR4 dans la zone ARP par la filière vitro-plants. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0 à 1.



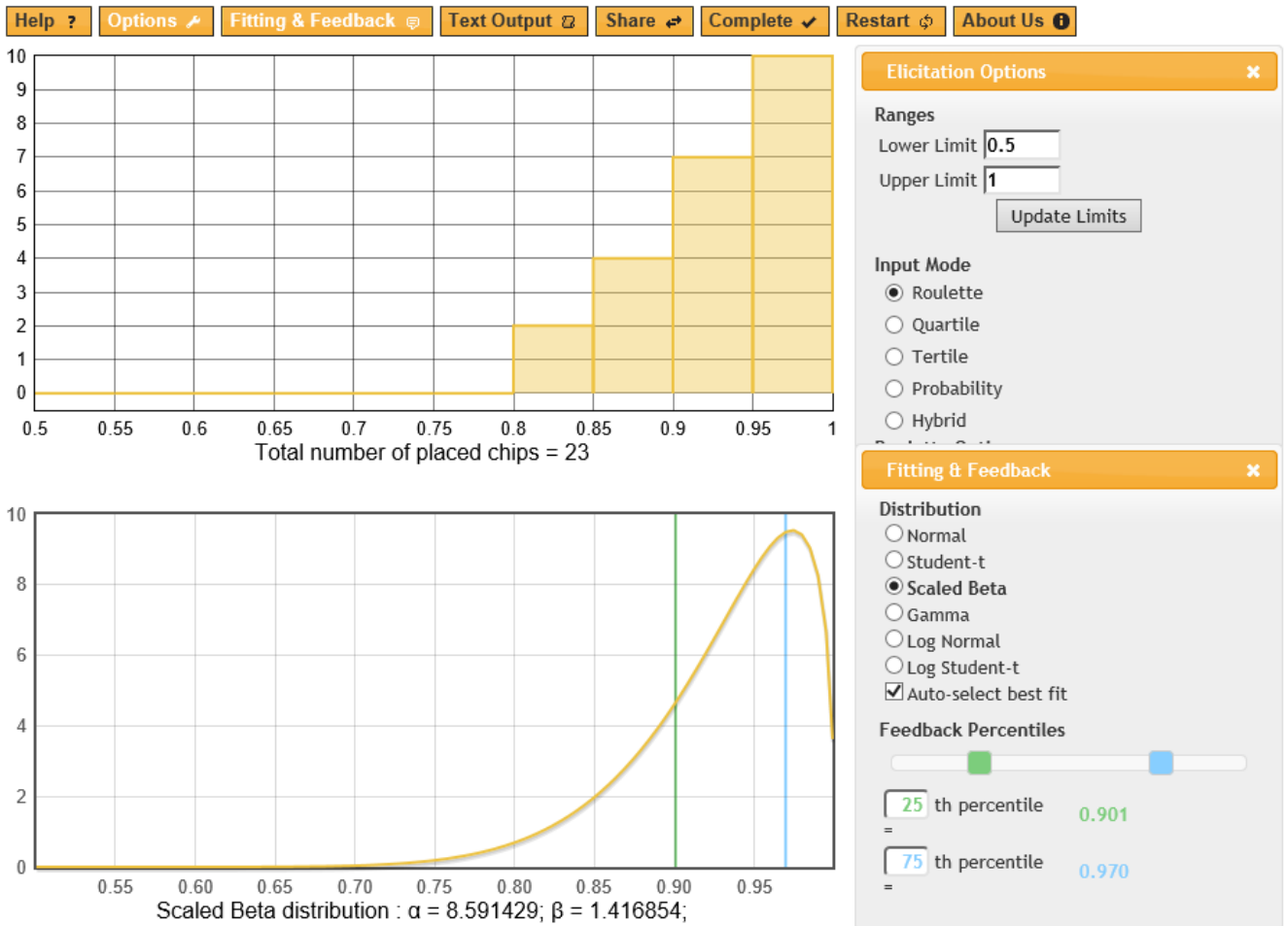
2.13 Elicitation de la probabilité globale d'entrée de Foc TR4 dans la zone ARP par la filière partie végétale. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0 à 1.



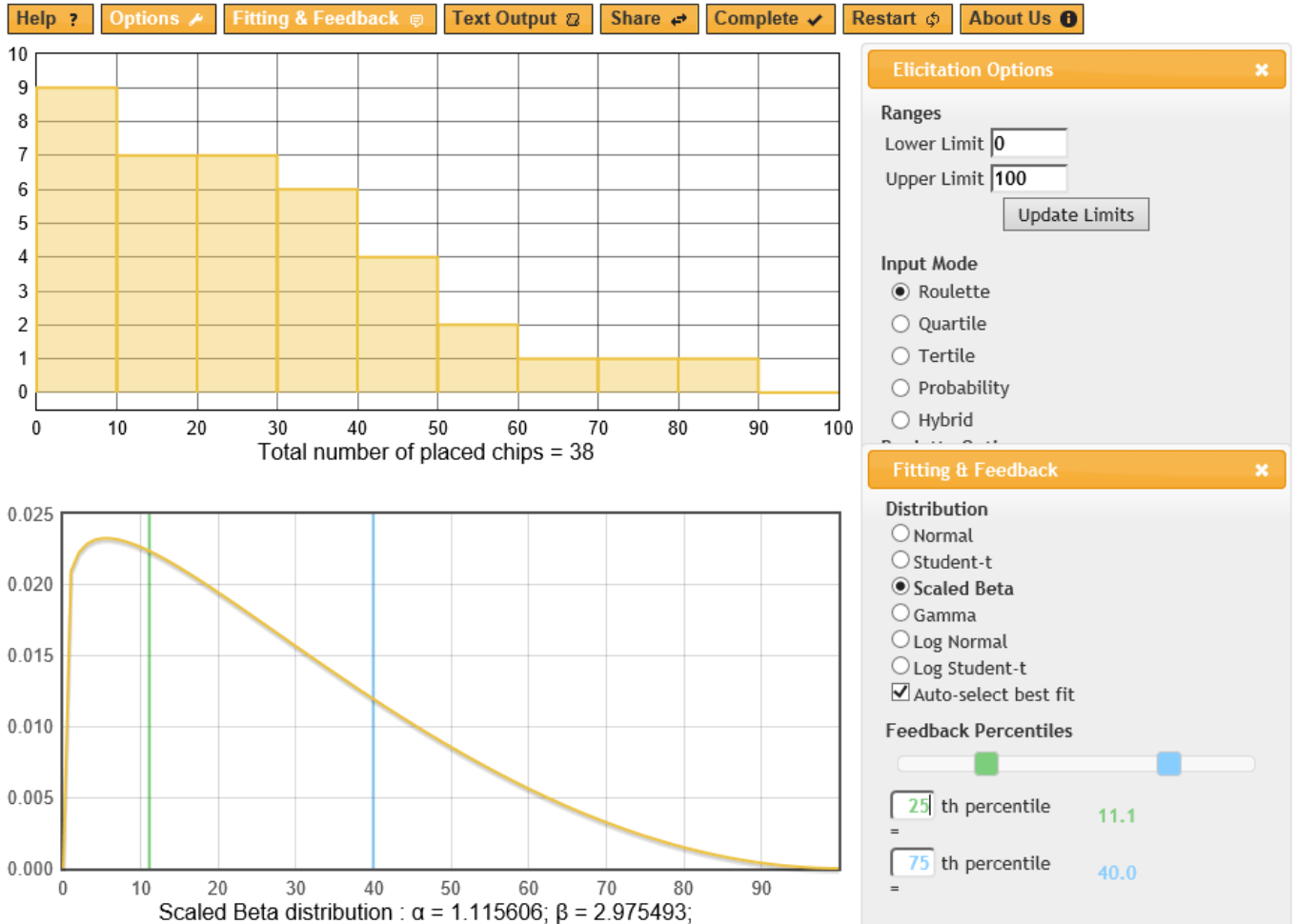
2.13 Elicitation de la probabilité globale d'entrée de Foc TR4 dans la zone ARP par la filière sol. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0 à 1.



5.02 Elicitation de la probabilité que l'organisme nuisible ne puisse pas être enrayé dans le cas d'un foyer dans la zone ARP. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0 à 1.



6.04 Elicitation de l'importance de l'effet négatif de l'organisme nuisible sur le rendement et/ou la qualité des cultures dans la zone ARP quand toutes les mesures éventuelles légalement à disposition des producteurs sont appliquées, sans mesures phytosanitaires. La probabilité est présentée sur l'axe des abscisses sur une échelle 0 à 1.



Notes



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr / [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)