

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Évaluation du risque simplifiée (ERS) des complexes d'*Alternaria sp.* responsables des maladies de taches foliaires des pommiers (dont *Alternaria mali*)

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Octobre 2017

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Évaluation du risque simplifiée (ERS) des complexes d'*Alternaria sp.* responsables des maladies de taches foliaires des pommiers (dont *Alternaria mali*)

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Octobre 2017

Édition scientifique

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 24 octobre 2017

AVIS

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

relatif à « la demande d'avis relatif à une évaluation du risque simplifiée (ERS) des complexes d'*Alternaria* sp. responsables des maladies des taches foliaires des pommiers (dont *Alternaria mali*.) »

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 6 février 2017 par la Direction générale de l'alimentation du MAAF pour la réalisation de l'expertise suivante : évaluation du risque simplifiée (ERS) des complexes d'*Alternaria* sp. responsables des maladies des taches foliaires des pommiers (dont *Alternaria mali*).

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Une maladie du feuillage sur pommier a été observée depuis plusieurs années, dans des vergers de quatre départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes, en France. Le phénomène a pris des proportions particulièrement importantes en 2016, et plusieurs échantillons ont été envoyés au laboratoire de la santé des végétaux (LSV) pour la détection de l'*Alternaria alternata* f. sp *mali*. Ce champignon est considéré comme l'un des principaux pathogènes des pommiers dans les pays où il a été détecté. En effet, la réglementation phytosanitaire européenne classe *Alternaria alternata*, isolats pathogènes non européens, comme organisme de quarantaine.

L'expression de la maladie se caractérise au début par des petites taches violacées qui deviennent marron et évoluent en anneaux concentriques pour former des taches étendues sur les feuilles. Celles-ci jaunissent puis finissent par tomber. Seules certaines variétés de pommier sont touchées dont Gala, Canada, Braeburn et Elstar. La maladie a fait, jusqu'à présent, l'objet de seulement deux signalements en Europe : en ex-Yougoslavie et en Italie du nord.

De tels symptômes pourraient être causés par l'agent pathogène *Alternaria mali*, organisme réglementé de deuxième catégorie selon l'arrêté du 15 décembre 2014, présent sur la liste A1 de l'OEPP et à l'annexe IIAI de la directive 2000/29/CE sous l'intitulé *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler

(isolats pathogènes non européens). L'objectif de l'expertise est d'effectuer une évaluation des risques simplifiée de l'organisme responsable de la maladie des taches foliaires du pommier.

La saisine demande plus précisément de répondre aux questions suivantes :

- quelle est l'identité taxonomique des souches d'*Alternaria sp.* responsables des maladies des taches foliaires des pommiers?
- quelle est la probabilité d'introduction, d'établissement et de dissémination des espèces d'*Alternaria sp.* responsables des maladies des taches foliaires des pommiers et en particulier d'*Alternaria mali*, sur le territoire européen? Notamment, quelles sont les conditions pédoclimatiques et environnementales favorables à l'établissement et à la dissémination de ces organismes nuisibles et quel est le risque de transmission par le fruit ?
- quelle peut être l'ampleur des conséquences économiques et environnementales de ces maladies? Quels sont les potentiels impacts sanitaires (mycotoxines)?- quelles seraient les mesures de gestion du risque sanitaire à mettre en place face à ces maladies? Existe-t-il des mesures de prophylaxie ?

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 à deux rapporteurs. Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques le 14 mars 2017, le 8 juin 2017 et le 12 septembre 2017. Ils ont été adoptés par le CES « Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux » le 12 septembre 2017.

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 CES

L'organisme nuisible mentionné dans la saisine n'est pas une espèce au sens strict mais "le complexe des *Alternaria sp.* responsables des maladies des taches foliaires du pommier". Ce complexe d'espèces inclut *Alternaria mali* organisme de quarantaine listé à l'annexe IIAI de la directive 2000/29/CE sous l'intitulé *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler (isolats pathogènes non européens).

L'espèce *Alternaria mali* a été décrite en 1914 comme un agent d'élargissement de tâches foliaires" causées par d'autres agents primaires (biotiques et abiotiques), avec des symptômes observés aux Etats-Unis d'Amérique (Virginie, Maryland, Tennessee, Arkansas, et Missouri). Une alternariose beaucoup plus grave a ensuite été décrite sur pommier au Japon en 1956. Les isolats à l'origine de ces symptômes appartiennent à l'espèce *Alternaria alternata* (Fries) Keissler. Cette espèce est ubiquiste et généralement saprophyte ou faiblement pathogène, mais certains isolats, appartenant à des "formes spéciales" ou pathotypes possèdent une toxine spécifique [Host specific toxin (HST)] responsable de leur pouvoir pathogène sur les hôtes correspondants, ici le pommier (avec la toxine dite "AM"). Ainsi, le pouvoir pathogène n'est pas un attribut fixé de l'espèce mais est isolat-dépendant et lié à la production de toxine hôte-spécifique. Des études récentes basées sur des analyses moléculaires confirment cette conception de la maladie. Le nom

Alternaria mali est ainsi remplacé par *Alternaria alternata* (Fries) Keissler f. sp. *mali* ou *Alternaria alternata* pathotype *mali*.

Trois foyers récents ont fait l'objet d'analyses étiologiques sur la nature des agents pathogènes impliqués: en Italie, en Australie et en Israël.

En Italie, la maladie est mentionnée dans le nord du pays depuis l'année 1999, sur feuilles et fruits, mais l'agent pathogène n'a été identifié qu'en 2012. Les analyses basées sur des critères morphologiques, génétiques, pathologiques, et de production de toxine révèlent une situation complexe. En effet, les isolats peuvent être classés à quelques exceptions près en trois morpho-groupes correspondant aux espèces types *A. alternata*, *A. tenuissima* et *A. arborescens*. Les deux premiers morpho-groupes se distinguent du troisième dans les analyses génétiques mais ils ne peuvent être distingués entre eux (se regroupent dans un même clade). Aucune correspondance n'est observée entre les morpho-groupes et les niveaux de pouvoir pathogène. Seuls 9 des 44 isolats (dont les 3 isolats japonais de référence mais pas l'isolat type de *A. mali*) possédaient un gène AMT responsable de la production d'une toxine hôte spécifique (HST). Ces isolats se retrouvent dans les 2 morpho-groupes *A. arborescens* et *A. tenuissima* et présentent un niveau relativement élevé de pouvoir pathogène.

En Australie, les isolats étudiés, pathogènes sur feuilles et/ou fruits, se regroupent en plusieurs clades phylogénétiques correspondant aux espèces *A. arborescens*, *A. tenuissima*/*A. alternata*, et *A. longipes*. Des tests sur la production d' HST n'ont pas été réalisés par ces auteurs.

En Israël, une épidémie a récemment été observée sur le cultivar 'Pink Lady', affectant notamment les fruits (en plus des feuilles). Les 4 isolats étudiés par séquençage de deux gènes appartiennent au groupe *A. tenuissima*/*A. alternata* et possèdent le gène codant la toxine AM-3.

Il paraît clair d'après les données obtenues dans différents pays que l'alternariose du pommier peut être associée à des isolats appartenant à des taxons différents, avec au moins 3 espèces phylogénétiques reconnues appartenant à la section *Alternaria* : *A. alternata* (syn *A. tenuissima*), *A. arborescens*, *A. longipes*. Au Japon et aux Etats-Unis, les isolats pathogènes décrits initialement comme *A. mali* ont été montrés comme producteurs de toxine spécifique (toxine AM) et correspondent donc bien à la définition d'*A. alternata* f. sp. *mali* ou pathotype pommier. L'association entre infections naturelles-pouvoir pathogène *in vitro*-détection du gène *AMT1* et production de toxines n'est par contre pas systématique en Italie

Par simplicité, nous utiliserons pour la suite "Alternaria mali" pour faire référence aux isolats appartenant au complexe Alternaria section Alternaria responsables de maladie des tâches foliaires sur pommier. Ceci inclut à la fois A. alternata f. sp. mali (ou pathotype mali) mais aussi les isolats pathogènes sur pommier appartenant à d'autres espèces comme A. arborescens.

3.1. Déterminants du pouvoir pathogène et rôle possible des transferts horizontaux de chromosomes dans l'émergence de souches de champignons pathogènes, en particulier *A. alternata*

Les gènes impliqués dans la production des toxines HST (1 à 4 gènes voire probablement plus dans certaines souches), sont regroupés en clusters sur des petits chromosomes (<1.8 kb) "accessoires" (supplémentaires), c'est-à-dire non présents chez toutes les souches. La présence de ces gènes de synthèse des HST sur des chromosomes accessoires a été retrouvée pour 6 autres espèces pathogènes productrices de toxines dans le groupe *A. alternata*. C'est en particulier le cas de souches pathogènes sur *Citrus* spp., avec 2 pathotypes pathogènes sur tangerine d'une part, et sur *C. jambhiri* ("rough lemon") d'autre part. Chaque pathotype correspond

à la production d'une toxine spécifique (HST), respectivement ACT et ACR. Une souche pathogène à la fois sur tangerine et *C. jambhiri* s'est avérée contenir 2 petits chromosomes supplémentaires, avec l'un portant un gène ACT et l'autre ACR. En l'absence d'évidence de recombinaison génétique, les auteurs de cette étude suggéraient que cette souche avait acquis ces facteurs de virulence par transfert horizontal des chromosomes supplémentaires.

La localisation des gènes impliqués dans la biosynthèse des HST, groupés en clusters dans des zones riches en éléments transposables, suggèrent une évolution rapide dans ces régions génomiques, par des mécanismes de recombinaison génétique ou de duplication de gènes par exemple, à l'origine de nouvelles virulences.

Enfin, en plus des HST, on ne peut exclure l'existence d'autres molécules produites par le champignon qui pourraient avoir un rôle dans le pouvoir pathogène (effecteurs).

Plusieurs types d'observations suggèrent fortement que les gènes responsables du pouvoir pathogène des souches d'*Alternaria*, impliqués dans la production d' HST, sont transmis par transferts horizontaux de petits chromosomes supplémentaires. Ces gènes apparaissent groupés en clusters dans des zones riches en transposons, à évolution probablement rapide, pouvant ainsi générer de nouvelles virulences. Certains auteurs vont jusqu'à parler de "clusters égoïstes" pour ces zones du génome ayant leur propre système de dissémination et dont la présence/absence ne serait pas liée à la fitness du champignon. **Dans cette logique, les facteurs de virulence seraient portés par un chromosome supplémentaire ou un cluster porteur des gènes HST, capable de se transférer entre souches de ces espèces proches d'*Alternaria*.**

3.2. Résultats obtenus à l'Unité Mycologie du LSV à l'ANSES concernant le foyer français

Une analyse phylogénétique réalisée à partir de 8 gènes polymorphes (Alta1, EndoPG, Histone 3, OPA 1-3, OPA 2-1, OPA10-2, TMA22 et ATPase) sur une quinzaine d'isolats venant d'échantillons prélevés en zones infectées de la région Auvergne-Rhône-Alpes en 2016 montre que les isolats français se retrouvent dans les deux groupes (espèces phylogénétiques) *A. alternata* (avec le pathotype *A. mali*) et *A. arborescens*.

La totalité de la collection de souches d'*Alternaria* isolées en France a été testée pour la présence de gènes impliqués dans la production d'HST (AM-1 et AM-2). Les résultats obtenus à partir de ces deux tests montrent qu'aucune des souches isolées en France ne porterait les gènes impliqués dans la production de ces toxines. Des tests de pathogénicité des souches françaises devront être réalisés dans l'avenir.

3.3. Évaluation du risque phytosanitaire

3.3.1. Situation réglementaire de l'organisme

Alternaria alternata (Fr.) Kessler, isolats pathogènes non européens, est un organisme de quarantaine pour l'Europe à l'annexe IIA Chapitre I de la directive 2000/29. Il est également organisme de quarantaine en Jordanie, Norvège et sur la liste A1 en Turquie (EPPO-PQR).

3.3.2. Identification et Caractérisation de l'organisme

Aucune étude de génétique des populations d' « *Alternaria mali* » n'a été effectuée qui aurait permis de tracer l'origine des souches. Il est donc impossible à l'heure actuelle d'identifier des « souches non européennes », comme spécifié dans la réglementation.

La caractérisation de l'agent pathogène est un processus relativement long (pouvant prendre plusieurs semaines), faisant appel à l'isolement de souches pures et des techniques variées, peu adapté à des analyses en routine. La détection d'un gène de toxine spécifique AM permet d'assurer la caractérisation d' « *Alternaria mali* » mais l'absence de détection n'est pas un critère absolu, en l'absence de connaissance exhaustive de toutes les toxines au sein des *Alternaria* et l'implication éventuelle d'autres facteurs de virulence. Aucun test de détection spécifique sur des tissus végétaux (feuilles ou fruits) n'a encore été développé. L'origine géographique des souches est impossible à déterminer.

3.3.3. Répartition géographique de l'organisme

La carte de distribution de l'OEPP ne comprend pas les mentions plus récentes, notamment en Europe. Par contre certaines mentions anciennes sont difficiles à raccorder à « *Alternaria mali* », et pourraient concerner des infections opportunistes ou la pourriture de cœur sur fruits. Il en est ainsi probablement au Chili, où une mention existe bien que les problèmes d'*Alternaria* sur pommier soient restreints à la pourriture de cœur (Bernardo Latorre, communication personnelle). Il est possible que la distribution de la maladie en Europe soit beaucoup plus large que celle décrite par l'OEPP. En effet, des mentions d'infections à *Alternaria* sur feuilles et fruits (avec photos très évocatrices) ont été rapportées en Autriche, en Allemagne, en Slovénie et en Espagne où la maladie serait présente depuis 2010 en Catalogne.

3.3.4. Plantes hôtes

La plante hôte majeure est le pommier cultivé (*Malus domestica*). Toutes les variétés sont sensibles avec des niveaux de sensibilité différents mais qui sont l'objet de résultats contradictoires.

3.3.5. Filières d'entrée du champignon en Europe

Trois filières d'entrée ont été identifiées.

- La filière constituée par les végétaux destinés à la plantation est fermée du fait de l'interdiction d'importation des plants de pomacées potentiellement infecté par le feu bactérien.
- La filière constituée par l'importation des fruits est peu risquée. Une forte incertitude est associée à l'importance de cette filière d'entrée alimentée par le fait qu'aucune information disponible ne rapporte que les fruits constituent une source d'inoculum et d'infection. Toutefois il faut noter que l'isolement du champignon à partir des fruits nécrosés est tout à fait possible. L'importation de pommes des pays où « *Alternaria mali* » a été signalé constitue une faible part du total des importations, à l'exception du Chili, pays où la réelle occurrence de maladie est mise en doute.

La filière d'entrée naturelle par le vent et par les courants atmosphériques est probable. Une dispersion des *Alternaria* à l'échelle continentale est suggérée aux Etats-Unis d'Amérique, d'Ouest en Est. La maladie étant présente dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est (Turquie, Iran, Israël), la dissémination de l'agent pathogène vers le territoire de l'Union Européenne apparaît probable, et pourrait expliquer sa présence avérée en Italie. Les études en aérobiologie qui suggèrent de très fortes capacités de dispersion aérienne ne sont pas focalisées sur un pathotype précis (pommier ou autre) mais concernent

l'ensemble des *Alternaria* spp de la section *Alternaria*. Ce regroupement pourrait masquer des dynamiques spécifiques plus restreintes.

3.3.6. Condition d'établissement de la maladie

Les principaux facteurs d'établissement de la maladie sont la présence d'hôtes sensibles, les conditions climatiques et les pratiques culturales.

Les 5 variétés les plus cultivées dans l'Union européenne sont par ordre décroissant de production : Golden (2,7 millions de tonnes), Gala (1,3), Idared (1,2), Red Delicious (0,7), Jonagold (0,6). La plupart de ces variétés, en particulier Golden et Gala, sont mentionnées comme infectées ou considérées comme sensibles. Donc la présence d'hôtes sensibles est un facteur favorisant l'établissement de l'agent pathogène.

En ce qui concerne les exigences climatiques pour le développement de la maladie, toutes les observations et études pointent le rôle déterminant des températures, avec un optimum dans la gamme 23-30°C, et des pluies. Le développement de la maladie apparaît ainsi favorisé par la présence de journées chaudes et humides pendant la saison de végétation.

Les zones les plus anciennement affectées par la maladie (Japon, Chine et Etats-Unis) se situent dans la zone de climat « tempéré-doux, à précipitations régulières et étés chauds » (Cfa) de la classification de Köppen-Geiger. Les mentions plus récentes en Australie, en Europe, et en Israël correspondent à des climats plus frais (Cfb, voire Dfb), et/ou plus secs (Csb) en été. En résumé, les zones d'expression de la maladie, correspondent à la principale zone de culture du pommier de l'Union européenne.

3.3.7. Dissémination de la maladie

Les deux modes de dispersion, par la pluie et par le vent, sont probablement impliqués dans la dissémination ; la pluie intervenant plutôt pour la libération et le vent pour le transport des spores. Les capacités de dissémination naturelle du champignon par le vent (courants aériens) sont sans doute suffisantes pour une dissémination à longue distance (à l'échelle régionale voire continentale), dont la probabilité augmente avec la quantité de spores produites. L'incertitude tient à la quantification précise du gradient de dispersion, en interaction avec les facteurs environnementaux (direction et vitesse des vents, barrières naturelles, etc.). Concernant « *Alternaria mali* », on peut noter que la maladie est présente en Italie depuis près de 20 ans sans qu'une dissémination massive en Europe soit encore documentée.

3.3.8. Impact dans l'aire de distribution actuelle de l'organisme nuisible

L'impact dans la zone de répartition actuelle est essentiellement économique, et notamment associé aux pertes de rendement suite à la chute précoce des feuilles. En Israël et aux Etats Unis, 60 à 80% des arbres peuvent être atteints de défoliation dans les vergers de cultivars sensibles, avec des conséquences économiques considérables. En Australie, dans les régions du Queensland et de New South Wales, les pertes de production liées à *Alternaria* ont été estimées entre 15 et 25 %. Lorsque la maladie infecte les fruits, leur utilisation se réduit à la production de jus de pomme, avec une perte de bénéfice économique moyenne de 90%. En Israël, le nombre de fruits affectés par des lésions supérieures à 30 mm de diamètre peut atteindre jusqu'à 80% dans certains vergers.

Aux Etats-Unis et en Australie, l'impact est limité dans certaines régions où le parasite est pourtant présent, du fait de températures insuffisamment élevées ou d'un niveau de précipitations relativement faible.

3.3.9. Impacts potentiel pour l'Union Européenne

Les pertes de rendement dans la production de pomme, observés dans les zones déjà infestées, pourrait être similaire dans les pays de l'Union européenne, comme déjà observé en Italie. Ceci s'explique principalement par la présence de cultivars sensibles à la maladie en Europe, notamment les 2 variétés les plus cultivées, Golden et Gala. Le développement et l'impact de la maladie étant favorisés par des températures élevées et de l'humidité, l'impact pourrait être limité dans les zones de production moins chaudes comme dans le nord de l'Union européenne.

En 2011, les vergers de pommiers ont reçu en moyenne 35 applications, dont 22 contre les maladies fongiques, la tavelure notamment. D'après la littérature consultée, les mêmes fongicides que ceux destinés à la lutte contre *Venturia inequalis* et *Botryosphaeria obtusa* peuvent être utilisés pour le contrôle des maladies sur feuilles et sur fruits provoquées par « *Alternaria mali* ». Par conséquent, l'apparition de l'alternariose ne devrait pas induire une augmentation de l'Indicateur de fréquence de Traitements phytosanitaire (IFT). Une incertitude existe sur l'impact que la maladie pourrait avoir sur des vergers menés en agriculture biologique. La réduction des mesures de lutte contre la tavelure (traitements fongicides, broyages des feuilles) dans le cas de l'utilisation de variétés résistantes pourrait favoriser le développement d'autres champignons pathogènes jusqu'alors masqués.

L'impact éventuel sur les exportations de pommes à cause de la réglementation internationale est limité. Les pays pour lesquels « *Alternaria mali* » est considéré comme un organisme de quarantaine sont la Norvège et la Jordanie. Les exportations vers ces pays ont représenté 3.66% des exportations totales des Etats membres de l'Union Européenne vers les pays tiers depuis 2011.

3.4. Evaluation globale du risque

Le risque global de la maladie est jugé modéré avec une incertitude faible. La maladie est déjà présente dans certains pays de l'Union européenne et la probabilité de dissémination est forte. Le niveau de dégâts (pertes économiques) sera probablement variable selon les zones géographiques/climatiques (plus fort dans zones à été chauds et pluvieux), les techniques culturales (utilisation ou pas de fongicides, irrigation par aspersion, broyage des feuilles mortes) et l'utilisation de variétés plus ou moins sensibles (les deux variétés les plus cultivées, Golden et Gala étant sensibles).

3.4.1. Probabilité d'entrée

Le complexe d'espèces provoquant l'alternariose sur pommier est déjà présent dans l'Union européenne depuis plusieurs années (en Italie), et fortement soupçonné pour d'autres Etats membres. A l'heure actuelle nous ne disposons pas de données sur les voies d'introduction du champignon. Il n'existe aucune étude de génétique des populations de l'agent pathogène dans les pays où il est présent, permettant éventuellement de retracer l'origine des souches. Une introduction liée au commerce de produits infectés semble peu probable car la principale source d'inoculum se trouve sur feuilles et les plants feuillés de pommier ne sont pas commercialisés internationalement. L'introduction via les fruits est également peu probable compte tenu de la visibilité des infections, et du fait que ces infections ont une faible probabilité de constituer une source d'inoculum en vergers. En l'état actuel des connaissances, les courants atmosphériques apparaissent comme la voie d'entrée la plus probable d'introduction de souches pathogènes non européennes, mais avec une forte incertitude. En effet, l'introduction de souches d'origine exogène n'est jamais évoquée dans la littérature pour expliquer les émergences de maladie des taches foliaires du pommier, les facteurs avancés étant plutôt d'ordre agronomique. Une alternative à l'introduction serait une émergence de souches pathogènes au sein de populations d'*Alternaria* résidentes, par des mécanismes génétiques complexes impliquant des chromosomes supplémentaires transmissibles par transferts horizontaux entre souches.

3.4.2. Probabilité d'établissement

La probabilité d'établissement est jugée élevée, avec une incertitude faible, compte tenu du fait que la maladie est déjà présente en Europe, et qu'elle a réussi à s'établir dans des régions productrices de pommes géographiquement et climatiquement très différentes. L'augmentation des températures et des périodes de pluie pendant l'été, liée au changement climatique, pourrait favoriser l'établissement de l'alternariose dans des régions plus septentrionales, comme le Nord de l'Europe.

3.4.3. Probabilité de dissémination

La probabilité de dissémination est jugée élevée, avec une incertitude faible. La maladie s'est propagée en quelques années dans la région Trentino Alto Adige, dans le nord de l'Italie. Une propagation assez rapide a été également signalée dans le Nord d'Israël. Les capacités de dissémination naturelle du champignon sont probablement élevées, via les courants aériens, comme le montrent les études sur les *Alternaria alternata* allergènes pour l'homme.

3.4.4. Probabilité d'impact sans mesures phytosanitaires

La probabilité d'impact de l'alternariose sans mesures phytosanitaires est jugée élevée. La plupart des variétés plantées en Europe, notamment Golden et Gala, sont sensibles à la maladie. Un fort impact est favorisé par des conditions climatiques favorables telles que des étés chauds et pluvieux, mais sans doute également par certaines pratiques culturales (irrigation par aspersion, absence de broyage des feuilles mortes, traitements fongicides peu utilisés). Actuellement, les seuls moyens de lutte efficaces contre la maladie sont l'utilisation de variétés résistantes, la lutte chimique, et l'adaptation des pratiques culturales (éviter l'irrigation par aspersion, broyage des feuilles à l'automne).

3.5. Gestion du risque phytosanitaire

3.5.1. Mesures phytosanitaires à envisager

Prévention contre de nouvelles introductions

Compte-tenu des caractéristiques biologiques des espèces d'*Alternaria* impliquées dans les problèmes sanitaires des pommiers, notamment leur capacité à se disperser à courte et à longue distance par le vent, l'efficacité de mesures de prévention réglementaires contre de nouvelles introductions serait très limitée. De plus, la maladie est présente depuis quelques années en Italie, et une dispersion naturelle à des zones indemnes est possible.

Des mesures de prévention de nouvelles introductions via l'importation de fruits contaminés, peu justifiées compte tenu du faible risque lié à cette voie d'entrée, seraient de plus inefficaces car seule une inspection visuelle des marchandises pourrait être envisagée, en l'absence de test de détection rapide de l'organisme réglementé.

Surveillance du territoire

La surveillance du territoire dans toute la zone de production de pommes dans l'UE est recommandée. Cette surveillance du territoire devra être associée à des prélèvements d'échantillons et à des analyses moléculaires dans les foyers de maladie pour valider l'identification de l'agent pathogène et réaliser un état des lieux de la répartition et de la fréquence

des différentes espèces. Ceci concerne à la fois la détection des nouveaux foyers, mais également l'identification de l'agent pathogène responsable des symptômes similaires à ceux provoqués par l'alternariose, mais non encore associés au complexe d'espèces d'*Alternaria* (Autriche, Espagne, Allemagne, etc.), permettant *in fine* la construction d'une carte valide de distribution de la maladie. Cette surveillance devra inclure des données sur la variété de pommier, le type d'exploitation (biologique ou conventionnel) et la gestion des vergers (mesures de prévention ou de lutte contre les maladies), afin de permettre des analyses épidémiologiques.

Eradication et/ou confinement des foyers

La mise en place des mesures d'éradication et/ou confinement des foyers de maladie provoquée par « *Alternaria mali* » ne paraît pas pertinente, compte-tenu des moyens de dispersion de l'agent pathogène et de la présence répandue de l'hôte principal dans la zone ARP. Ce type de mesures n'est jamais cité par les pays où la maladie est présente, car probablement pas efficace pour contrôler la maladie. Par conséquent, sans mesures de prévention, l'infestation des cultivars sensibles sur le lieu de production est probable.

Mesures de gestion

A court terme, des mesures de prophylaxie visant à réduire l'inoculum, notamment l'inoculum initial produit sur débris de feuilles sont une priorité. Le ramassage et le broyage des feuilles, qui sont également préconisés et dans certains cas déjà mis en place pour lutter contre la tavelure, pourraient également être utilisés contre l'Alternariose. Leur efficacité et leur coût devraient être étudiés. D'après la littérature, l'application de fongicides déjà utilisés notamment pour la lutte contre la tavelure devrait suffire pour contrôler l'alternariose. Des expériences menées dans d'autres pays pourraient servir de base pour la réalisation d'études sur l'efficacité des fongicides autorisés à être utilisés dans l'UE. Des études visant la résistance des souches aux fongicides devraient être également conduites. Aucune donnée n'est à ce jour disponible sur la sensibilité des différents taxons du complexe d'*Alternaria* aux principaux produits phytosanitaires utilisés en vergers en Europe. On peut envisager que l'émergence de la maladie puisse être liée à l'apparition récente de souches résistantes aux fongicides. Les spectres de résistance des différents taxons pourraient être différents, ce qui impliquerait de mettre en place des stratégies de protection adaptées selon les taxons identifiés dans les exploitations. Concernant les vergers conduits en agriculture biologique, l'application de produits autorisés comme le cuivre, le soufre, sous ses formes mouillable ou en poudre, et le bicarbonate de potassium devraient être testées contre l'alternariose et éventuellement appliquées. Une autre mesure de gestion à prendre en compte est l'irrigation de vergers dans les régions plus sèches, notamment par aspersion. Ce mode d'irrigation pourrait probablement favoriser le développement de l'alternariose. L'utilisation d'autres méthodes d'irrigation (goutte à goutte par exemple) pourrait être préconisée.

A long terme, l'utilisation des cultivars résistants semble être la seule mesure durable pour éviter des épidémies annuelles d'alternariose. La construction d'une carte de distribution de la maladie en fonction des cultivars permettrait, dans un premier temps, d'évaluer la sensibilité à l'alternariose des variétés cultivées dans l'Union européenne, mais aussi d'autres hôtes potentiels signalés dans la littérature comme le pommier sauvage et le poirier européen. Dans un second temps, l'expérience acquise dans des pays comme le Japon et la Chine peut servir comme référence pour démarrer des programmes visant la sélection de variétés résistantes à la maladie ou l'introduction de cultivars résistants.

A ce stade, la réalisation d'études épidémiologiques qui puissent déterminer plus clairement les facteurs de risque (gestion de vergers, facteurs environnementaux ou autres) favorisant le développement de la maladie dans les zones infectées est une priorité.

3.6. Incertitudes

L'incertitude majeure concerne l'entité pathogène elle-même au sein d'espèces généralement saprophytes, ce qui n'est pas seulement une question théorique mais avec de fortes implications pratiques en termes de réglementation et de détection. La détection au niveau spécifique n'étant pas pertinente, faut-il détecter des gènes, des chromosomes supplémentaires, des protéines? L'origine du pathogène est-elle exogène (introduction d'isolats non européens) et/ou endogène (évolution au sein de populations résidentes)?

Ceci explique en partie un manque d'information actualisée sur l'ampleur réelle des maladies associées à "*Alternaria mali*" sur le territoire de l'Union européenne. Des symptômes évoquant l'Alternariose sur feuilles semblent être observés depuis plusieurs années en Europe, mais peu de signalements de l'organisme réglementé existent. Une étude à l'échelle de l'UE est nécessaire pour déterminer la distribution actuelle de la maladie et évaluer la capacité du champignon à s'installer dans l'ensemble des zones de culture du pommier, notamment en Pologne, un des principaux pays producteurs de pommes.

Il reste aussi à déterminer la pathogénicité des souches européennes, car l'isolement d'*Alternaria* spp à partir des lésions ne veut pas forcément dire qu'il s'agit de la cause initiale du foyer de maladie, compte-tenu de la capacité des *Alternaria* à se comporter comme colonisateurs secondaires. Dans le cas de la France, les défoliations plus sévères qui se sont produites ces deux dernières années, correspondent à des années avec des étés caniculaires et secs. A l'heure actuelle, nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que la cause primaire des défoliations des pommiers est « *Alternaria mali* » dans les vergers de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

3.7. Remarque sur la situation réglementaire de l'organisme

La réglementation phytosanitaire européenne issue de la directive 2000/29/CE, classe comme organisme de quarantaine « *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler (isolats pathogènes non européens) ». Néanmoins, au vu des connaissances actuelles en phylogénie et en taxonomie, la dénomination « *Alternaria alternata* » ne semble pas à jour. Comme expliqué précédemment, l'Alternariose sur pommier est causée plutôt par un complexe de taxons génétiquement proches au sein de la section *Alternaria*, y compris l'*Alternaria alternata* f sp. *mali* mais également *A. longipes* et *A. arborescens* (et pour certains auteurs *A. tenuissima*). La détermination d'une origine non européenne des souches du complexe d'*Alternaria* est actuellement impossible avec les outils moléculaires existants, et donc non applicable sur un foyer établi de maladie. Tous les taxons associés aux problèmes sanitaires récents des pommiers (Italie, Australie et Israël) sont déjà présents sur le territoire de l'Union européenne, et les isolats pathogènes auraient pu émerger par une évolution de la pathogénicité au sein de populations d'*Alternaria* résidentes, leur apparition n'étant pas forcément liée à une introduction de souches non-européennes.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

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

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

Alternaria, *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*, *Alternaria arborescens*, *A. alternata*
formaspecialis mali, *Alternaria mali*, pommier, toxine, toxine hôte spécifique, Analyse de risque
phytosanitaire
Apple, host specific toxin, Pest risk assessment

Demande d'avis relatif à une évaluation du risque simplifiée (ERS) des complexes d'*Alternaria* sp. responsables des maladies des taches foliaires des pommiers (dont *Alternaria mali*).

Saisine « 2017-SA-0030 »

**RAPPORT
d'expertise collective**

« CES Risques Biologiques pour la Santé des végétaux »

Septembre 2017

Mots clés

Alternaria, *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*, *Alternaria arborescens*, *A. alternata formae specialis mali*, *Alternaria mali*, pommier, toxine, toxine hôte spécifique, Analyse de risque phytosanitaire

Apple, host specific toxin, 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.

RAPPORTEURS

Madame Marie-Laure DESPREZ-LOUSTAU – INRA, UMR 1202, Bordeaux.

Monsieur Jaime AGUAYO – Anses, LSV, Unité de Mycologie, Nancy

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. Philippe REIGNAULT – Professeur des universités, Université du Littoral Côte d'Opale, Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant

Membres

Mme. Marie-Hélène BALESSENT – Chargée 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. Pierre SILVIE – Chargé de recherche, IRD mis à disposition du CIRAD, UR AïDA

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

Mme Valérie VERDIER – Directrice de recherche, IRD, UMR Résistance des Plantes aux Bioagresseurs

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. Charles MANCEAU – Chef d'Unité ERB – Anses

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations	7
Liste des tableaux.....	7
Liste des figures	7
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	9
1.1 Contexte.....	9
1.2 Objet de la saisine.....	9
1.2.1 Thématiques et objectifs de l'expertise.....	9
1.2.2 Questions sur lesquelles portent les travaux d'expertise	9
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre	10
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.	10
2 Résultat de l'expertise	11
2.1 Première partie : Taxonomie des <i>Alternaria</i> responsables des taches sur feuilles et sur fruits du pommier	11
2.1.1 Situation taxonomique d'" <i>Alternaria mali</i> " au sein du genre <i>Alternaria</i>	11
2.1.2 Etudes étiologiques récentes sur maladies à <i>Alternaria</i> des pommiers : quelles sont les espèces impliquées?	13
2.1.3 Déterminants du pouvoir pathogène et rôle possible des transferts horizontaux de chromosomes dans l'émergence de souches de champignons pathogènes, en particulier <i>A. alternata</i>	14
2.1.4 Résultats obtenus à l'Unité Mycologie du LSV à l'ANSES concernant le foyer français.....	15
2.2 Analyse de risque phytosanitaire rapide: " <i>Alternaria mali</i> "	16
2.2.1 Étape 1. Initiation	17
2.2.1.1 Contexte	17
2.2.1.2 Zone ARP.....	17
2.2.2 Étape 2. Évaluation du risque phytosanitaire	17
2.2.2.1 Taxonomie.....	17
2.2.2.2 Vue d'ensemble de l'organisme	18
2.2.2.2.1 Cycle biologique	18
2.2.2.2.2 Plantes-hôtes	20
2.2.2.2.3 Symptômes	20
2.2.2.2.4 Détection et identification	21
2.2.2.3 Situation réglementaire de l'organisme nuisible	22
2.2.2.4 Répartition géographique	22
2.2.2.5 Plantes-hôtes /habitats et leur répartition dans la zone ARP	26
2.2.2.6 Filières pour l'entrée.....	28
2.2.2.7 Probabilité d'établissement à l'extérieur dans la zone ARP	31
2.2.2.8 Probabilité d'établissement sous abris dans la zone ARP.....	33
2.2.2.9 Dissémination dans la zone ARP	33
2.2.2.10 Impact dans la zone de répartition actuelle	35
2.2.3 Mesures de lutte existantes appliquées contre l'organisme nuisible.....	35
2.2.3.1 Lutte chimique.....	35
2.2.3.2 Sélection de variétés résistantes.....	37
2.2.4 Impact potentiel dans la zone ARP.....	38
2.2.4.1 Impact économique	38
2.2.4.2 Impact sanitaire et environnemental.....	39
2.2.4.3 Identification de la zone menacée	40

2.2.5	Evaluation globale du risque.....	41
2.2.5.1	Probabilité d'entrée	41
2.2.5.2	Probabilité d'établissement.....	42
2.2.5.3	Probabilité de dissémination.....	42
2.2.5.4	Probabilité d'impact sans mesures phytosanitaires	42
2.3	Étape 3. Gestion du risque phytosanitaire	43
2.3.1	Mesures phytosanitaires à envisager	43
2.3.1.1	Prévention contre de nouvelles introductions	43
2.3.1.2	Surveillance du territoire.....	43
2.3.1.3	Eradication et/ou confinement des foyers	43
2.3.1.4	Mesures de gestion	43
2.4	Incertitudes.....	44
2.5	Remarques.....	45
2.5.1	Situation réglementaire de l'organisme	45
3	Bibliographie.....	46
3.1	Publications.....	46
3.2	Normes.....	50
ANNEXES	51

Sigles et abréviations

Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'environnement du travail et de l'alimentation

CES : comité d'experts spécialisé

ERS : Evaluation des risques simplifiée

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

LSV : Laboratoire de la Santé des Végétaux

SRAL : Service régional de l'alimentation

Liste des tableaux

Tableau 1. Données de distribution d' <i>Alternaria mali</i> , d'après EPPO-PQR modifié et complété.....	23
Tableau 2. Plantes hôtes dans la zone ARP	26
Tableau 3. Synthèse des observations sur la sensibilité comparée de variétés de pommier à la maladie des tâches foliaires (et sur fruits) causée par <i>Alternaria alternata</i>	27
Tableau 4. Filières d'entrée pour <i>A. mali</i>	28
Tableau 5. Importation de pommes dans l'Union européenne pour la période 2011-2016 en provenance des pays tiers où la présence d' « <i>A. mali</i> » a été rapportée (Source : Eurostat 2017).	30
Tableau 6. Liste de fongicides testés pour le control d'" <i>Alternaria mali</i> "	36

Liste des figures

Figure 1. Cycle biologique de <i>Alternaria</i> sur pommier (d'après Harteveld).....	19
Figure 2 Carte de distribution d' <i>Alternaria mali</i> (Source : EPPO-PQR)	23
Figure 3 Carte de la production mondiale de pommes, avec un zoom sur l'Europe.....	26
Figure 4 Principales zones climatiques au niveau mondial, suivant la classification de Koppen-Geiger	32
Figure 5 Modes d'irrigation des vergers de pommiers en France	32
Figure 6 Principaux pays producteurs de pommes (en millions de tonnes).....	38
Figure 7 Exportation de pommes fraîches de l'Union européenne vers les pays tiers	39
Figure 8 Températures moyennes estivales en Europe.....	41
Figure 9 Symptômes de l' <i>Alternariose</i> sur feuilles de la variété Gala en Australie	52
Figure 10 Symptômes de l' <i>Alternariose</i> sur feuilles	53
Figure 11 Symptômes de l' <i>Alternariose</i> sur fruits (a, b, c) de la variété Pink Lady en Israël	54



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

1.1 Contexte

Une maladie du feuillage sur pommier a été observée depuis plusieurs années, dans des vergers de quatre départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes, en France. Le phénomène a pris des proportions particulièrement importantes en 2016, et plusieurs échantillons ont été envoyés au laboratoire de la santé des végétaux (LSV) pour la détection de l'*Alternaria alternata* f. sp. *mali*. Ce champignon est considéré comme l'un des pathogènes principaux des pommiers dans les pays où il a été détecté. En effet, la réglementation phytosanitaire européenne classe *Alternaria alternata*, isolats pathogènes non européens, comme organisme de quarantaine.

La maladie se caractérise au début par des petites taches violacées, initialement circulaires, qui deviennent marron et évoluent pour former des taches étendues sur les feuilles. Les feuilles jaunissent puis finissent par tomber. Seules certaines variétés de Pomme sont touchées dont Gala, Canada, Braeburn et Elstar.

La maladie a fait, jusqu'à présent, l'objet de seulement deux signalements en Europe : en ex-Yougoslavie (Bulajic *et al.* 1996) et en Italie du Nord (Redondo 2012).

1.2 Objet de la saisine

1.2.1 Thématiques et objectifs de l'expertise

De tels symptômes pourraient être causés par l'agent pathogène *Alternaria mali*, organisme réglementé de deuxième catégorie selon l'arrêté du 15 décembre 2014, présent sur la liste A1 de l'OEPP et à l'annexe IIAI de la directive 2000/29/CE sous l'intitulé *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler (isolats pathogènes non européens). L'objectif de l'expertise est d'effectuer une évaluation des risques simplifiée de l'organisme responsable de la maladie des taches foliaires du pommier.

1.2.2 Questions sur lesquelles portent les travaux d'expertise

La saisine du 6 février 2017 demande la réponse aux questions suivantes, à travers la rédaction d'une évaluation du risque simplifiée:

- quelle est l'identité taxonomique des souches d'*Alternaria sp.* responsables des maladies des taches foliaires des pommiers?
- quelle est la probabilité d'introduction, d'établissement et de dissémination des espèces d'*Alternaria sp.* responsables des maladies des taches foliaires des pommiers et en particulier d'*Alternaria mali*, sur le territoire européen? Notamment, quelles sont les conditions pédoclimatiques et environnementales favorables à l'établissement et à la dissémination de ces organismes nuisibles et quel est le risque de transmission par le fruit ?
- quelle peut être l'ampleur des conséquences économiques et environnementales de ces maladies? Quels sont les potentiels impacts sanitaires (mycotoxines)?
- quelles seraient les mesures de gestion du risque sanitaire à mettre en place face à ces maladies? Existe-t-il des mesures de prophylaxie ?

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre

L'Anses a confié l'instruction de cette saisine, à deux rapporteurs rattachés au comité d'experts spécialisé « Risques Biologiques pour la Santé des végétaux ».

Les travaux d'expertise des rapporteurs ont été soumis régulièrement au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport produit 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'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 Résultat de l'expertise

Contexte

Le Ministère en charge de l'Agriculture a saisi l'Anses le 6 février 2017 pour la réalisation d'une évaluation du risque simplifié (ERS) portant sur les **complexes d'*Alternaria sp.* responsables des maladies de taches foliaires des pommiers (dont *Alternaria mali*)**. Cette saisine fait suite à l'observation de cette maladie dans des vergers de quatre départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes, en France en 2016. La réglementation phytosanitaire européenne classe ***Alternaria alternata*, isolats pathogènes non européens, comme organisme de quarantaine**. La maladie n'avait fait jusqu'à présent l'objet que de deux signalement confirmés en Europe : en ex-Yougoslavie (Bulajic *et al.*, 1996) et en Italie du Nord (Rotondo *et al.*, 2012).

L'identification de l'organisme visé par l'ARP étant un point critique et délicat, nous faisons précéder l'ERS proprement dite par une première partie détaillée sur les aspects taxonomiques. Les principales conclusions de cette première partie seront exposées dans la partie « Taxonomie » de l'ERS.

2.1 Première partie : Taxonomie des *Alternaria* responsables des taches sur feuilles et sur fruits du pommier

L'organisme nuisible mentionné dans la saisine n'est pas une espèce au sens strict mais "le complexe des *Alternaria sp.* responsables des maladies des taches foliaires du pommier". Ce complexe inclut *Alternaria mali* organisme de quarantaine listé à l'annexe IIAI de la directive 2000/29/CE sous l'intitulé *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler (isolats pathogènes non européens).

Compte-tenu des difficultés taxonomiques dans ce groupe, nous présentons dans cette première partie (1) une synthèse actualisée de la bibliographie sur la taxonomie du complexe d'espèces proches d'*Alternaria alternata*, avec un focus sur *A. mali*, puis (2) des études récentes d'étiologie (identification des agents responsables) de la maladie sur pPommier dans différents pays, (3) une revue du rôle possible des transferts horizontaux de chromosomes dans l'émergence de souches de champignons pathogènes, en particulier pour *A. alternata* et enfin (4) les résultats obtenus par le laboratoire de l'Anses à Nancy à partir des échantillons français.

2.1.1 Situation taxonomique d'"*Alternaria mali*" au sein du genre *Alternaria*

Le genre *Alternaria*, dans la famille des Pléosporacées appartenant aux Ascomycètes, contient un grand nombre d'espèces saprophytes, trouvées dans une grande variété d'environnements dans le monde entier. Les *Alternaria* constituent également un groupe important d'agents pathogènes de plantes, avec plus de 4000 associations (espèce hôte-espèce pathogène) différentes enregistrées dans la base de l'USDA (United States Department of Agriculture), positionnant le genre au 10ème rang parmi plus de 2000 genres de champignons (Armitage 2013). *Alternaria alternata* (Fries) Kessler, auquel est rattaché *A. mali*, est mentionné à lui seul sur plus de 100 plantes-hôtes. Les *Alternaria* sont également très connus pour leur aptitude à produire des métabolites secondaires, notamment des toxines et des mycotoxines (Rotem, 1994; Ostry, 2008). En particulier, certaines espèces d'*Alternaria* produisent une toxine spécifique associée au pouvoir

pathogène sur une espèce (voire un cultivar) de plante hôte donnée (HST = host specific toxins) (Nishimura & Kohmoto, 1983; Rotem, 1994; Tsuge *et al.*, 2013). Certaines espèces d'*Alternaria* sont à l'origine de réactions allergiques chez l'Homme et chez les animaux (Ostry, 2008; Lou *et al.*, 2013).

L'espèce *Alternaria mali* a été décrite initialement par Roberts en 1914 aux Etats-Unis, comme une espèce d'*Alternaria* à l'origine de l'élargissement de tâches foliaires se développant sur pPommiers après blessures, ou infections préalables du champignon *Sphaeropsis malorum* (Roberts 1914, 1924). Cette nouvelle espèce est décrite sur la base du nouvel hôte (pPommier) et de caractères morphologiques, *in vivo* et en culture, la différenciant de quelques espèces d'*Alternaria* connues à l'époque sur d'autres hôtes. Dans les années 1950, des dommages importants allant jusqu'à la défoliation sont décrits sur certaines variétés de pommiers au Japon et attribués à *A. mali*. La production de plusieurs HST différentes sont mises en évidence dans les filtrats de culture, dont 2 majeures et 5 mineures (moins actives), causant des nécroses nervaires ou des taches quand elles sont appliquées sur feuilles; toutes présentent la même spécificité d'hôte que les souches pathogènes correspondantes (Kohmoto *et al.*, 1976). Dans les années 1980, des symptômes beaucoup plus sévères que ceux initialement décrits par Roberts sont observés dans certaines régions des Etats-Unis et associés à des souches d'*A. mali* productrices de la toxine AM1 (appartenant au groupe des HST), identique à celle décrite précédemment au Japon (Filajdić & Sutton, 1991). Le gène *AMT1*, codant pour une enzyme jouant un rôle crucial dans la biosynthèse de la toxine AM (appartenant au groupe des peptides synthétases non-ribosomiques ou NRPS) a été cloné, et une méthode de PCR pour détecter les isolats d'*A. alternata* pathotype *mali* producteurs de la toxine a été développé (Johnson *et al.*, 2000a; Johnson *et al.*, 2000b). Trois autres gènes *AMT* (*AMT2- AMT3- AMT4*) ont été mis en évidence par la suite (Harimoto *et al.*, 2008).

La taxonomie au sein du genre *Alternaria* a toujours été extrêmement complexe compte-tenu de la variabilité intragénérique et du faible nombre de critères morphologiques utilisables pour différencier des espèces. Le genre se caractérise par des conidies (spores asexuées) sombres produites en chaînes simples ou ramifiées, pluricellulaires et divisées par des septas transversaux, longitudinaux ou obliques, avec une forme de massue caractéristique. Sur la base de critères morphologiques Simmons (2007), qui a consacré sa carrière à l'étude de ce genre, reconnaît 276 espèces au sein du genre *Alternaria*. *A. mali* appartient à un groupe d'espèces à petites spores en chaînes, dont *A. alternata* est l'espèce représentative.

L'utilisation de méthodes moléculaires a permis de complètement revisiter la systématique du groupe, selon une approche phylogénétique et non plus simplement basée sur des ressemblances morphologiques. Les premières analyses basées des séquences Internal Transcribed Spacer (ITS, considéré comme le code barre ou *barcode* universel des champignons) montrent que sept espèces pathogènes précédemment décrites sur différentes plantes-hôtes et productrices de HST, dont *A. mali*, ne présentent pas de différences génétiques dans cette région (ni avec l'espèce type *A. alternata* non pathogène) et seraient donc des pathotypes au sein de l'espèce *A. alternata* (Kusaba & Tsuge, 1995). De nombreuses études phylogénétiques plus récentes, basées sur de plus grands échantillons de souches et plusieurs régions génomiques, montrent la proximité des espèces pathogènes regroupées au sein du complexe *A. alternata*, élevé au statut taxonomique de section *Alternaria* par Lawrence *et al.* 2013. Une étude très récente (Woudenberg *et al.*, 2015a) basée sur une analyse génomique poussée (génomome complet de 9 espèces morphologiques, transcriptome de 12 espèces morphologiques et séquençage de 11 gènes sur 168 isolats) confirme la très faible variabilité génétique au sein de la section *Alternaria* (< 3 %). Sur la base de ces données, les auteurs concluent à l'existence de seulement 11 espèces phylogénétiques et un complexe d'espèces au sein de la section. Trente-cinq espèces précédemment décrites et non distinguables par la phylogénie sont synonymisées avec *A. alternata*, dont *A. mali* (représentée par la souche type de Roberts). Toutefois, il faut noter que ce concept d'espèce phylogénétique et le regroupement de certaines espèces au sein de la section *Alternaria* ne sont pas retenus par tous les auteurs. Gannibal (2016) et Lawrence *et al.* (2015) retiennent 59 ou 60 espèces au sein de la section *Alternaria*, dont par exemple *A. tenuissima*, qui

est mise en synonymie avec *A. alternata* par Woudenberg *et al.* (2015a). Ozkilinc *et al.* (2017) confirment que *A. alternata* et *A. tenuissima* ne peuvent pas être différenciées comme espèces phylogénétiques même si des différences morphologiques ont été décrites dans certaines études. Woudenberg *et al.* (2015a) proposent la terminologie d'*A. alternata f. sp. mali* pour les isolats produisant la toxine AM et pathogènes sur Pommier. D'autres auteurs utilisent la terminologie de "pathotype pommier" d'*A. alternata* (par exemple Li *et al.* 2012).

2.1.2 Etudes étiologiques récentes sur maladies à *Alternaria* des pommiers : quelles sont les espèces impliquées?

Trois foyers récents ont fait l'objet d'analyses étiologiques sur la nature des agents pathogènes impliqués: en Italie par Rotondo *et al.* (2012), en Australie par Hartevelde *et al.* (2013), en Israël par Gur *et al.* (2017).

En Italie, la maladie est mentionnée dans le Nord du pays depuis 1999, sur feuilles et fruits, mais l'agent pathogène n'a été identifié que récemment (Rotondo *et al.* 2012). En utilisant des critères morphologiques, génétiques (séquence de 4 gènes + AFLP + microsatellites), pathologiques (inoculations sur feuilles et fruits, après blessure ou pas - dépôt de filtrat de culture), et de production de toxine sur 44 isolats mono-spores, les auteurs révèlent une situation complexe. Les isolats peuvent être classés à quelques exceptions près en trois morpho-groupes correspondant aux espèces types *A. alternata*, *A. tenuissima* et *A. arborescens*. Les deux premiers morpho-groupes se distinguent du troisième dans les analyses génétiques mais ne peuvent être distingués entre eux (se regroupent dans un même clade). On n'observe pas de correspondance entre les morpho-groupes et les niveaux de pouvoir pathogène exprimés sur feuilles ou fruits, avec ou sans blessure, à partir d'inoculations ou en utilisant du filtrat de culture. Seuls 9 des 44 isolats (dont les 3 isolats japonais de référence mais pas l'isolat type de *A. mali*) ont été testés positifs pour la production de toxine AM, en utilisant les amorces de Johnson *et al.* (2000b). Ces isolats se retrouvent dans les 2 morpho-groupes *A. arborescens* et *A. tenuissima* et présentent un niveau relativement élevé de pouvoir pathogène en inoculation ou avec filtrat de culture.

En Australie, Hartevelde *et al.* (2013) montrent également que les 51 isolats étudiés, pathogènes sur feuilles et/ou fruits, se groupent en plusieurs clades phylogénétiques correspondant aux espèces *A. arborescens*, *A. tenuissima/A. alternata*, et *A. longipes*. Des tests sur la production des HST n'ont pas été réalisés par ces auteurs.

En Israël, une épidémie a récemment été observée sur le cultivar Pink Lady, affectant notamment les fruits (en plus des feuilles) (Gur *et al.*, 2017). Les 4 isolats étudiés par séquençage de deux gènes appartiennent au groupe *A. tenuissima/A. alternata*. La recherche du gène responsable de la production de la toxine AM-3 par PCR spécifique était positive pour ces 4 isolats.

Par simplicité, nous utiliserons pour la suite "*Alternaria mali*" pour faire référence aux isolats appartenant au complexe *Alternaria* section *Alternaria* responsables de maladie des tâches foliaires sur pommier. Ceci inclut à la fois *A. alternata f. sp. mali* (ou pathotype mali) mais aussi les isolats pathogènes sur pommier appartenant à d'autres espèces comme *A. arborescens*.

2.1.3 Déterminants du pouvoir pathogène et rôle possible des transferts horizontaux de chromosomes dans l'émergence de souches de champignons pathogènes, en particulier *A. alternata*

Il paraît clair d'après les données obtenues dans différents pays que l'Alternariose du pommier peut être associée à des isolats appartenant à des taxons différents, avec au moins 3 espèces phylogénétiques reconnues appartenant à la section *Alternaria* : *A. alternata* (syn *A. tenuissima*), *A. arborescens*, *A. longipes*. Au Japon et aux Etats-Unis, les isolats pathogènes décrits initialement comme *A. mali* ont été montrés comme producteurs de toxine spécifique (toxine AM) et correspondent donc bien à la définition d'*A. alternata f. sp. mali* ou pathotype pommier. L'association entre infections naturelles-pouvoir pathogène *in vitro*-détection du gène *AMT1* et production de toxines n'est par contre pas systématique en Italie (Rotondo *et al.* 2012).

Ces observations pourraient s'expliquer par la complexité des déterminants du pouvoir pathogène (toxines) et de leurs interactions avec différentes variétés de pommier (Kohmoto *et al.* 1975). Par exemple, dans le cas de la toxine AM-2, il a été montré que plusieurs copies du gène *AMT2* seraient nécessaires pour que les souches soient pathogènes (Harimoto *et al.* 2008). La toxine a deux sites d'actions, un sur la membrane plasmique et l'autre dans le chloroplaste mais il existe une grande variabilité dans la réponse de variétés de pommier à une même souche de *A. alternata f. sp. mali* (Nishimura & Kohmoto 1983, Li *et al.* 2012). Ceci suggère l'implication de plusieurs gènes de l'hôte. Pour d'autres pathosystèmes avec HST, il a été montré que la résistance de certains génotypes serait liée à une détoxification rapide et efficace des toxines spécifiques (Thomma, 2003).

D'autre part il a été mis en évidence que les gènes impliqués dans la production des toxines HST, en particulier chez *A. mali* (les 4 gènes connus, *AMT1* à *AMT4*, mais sans doute beaucoup plus (Nishimura & Kohmoto, 1983) sont regroupés en clusters sur des petits chromosomes (<1.8 kB) "accessoires" (supplémentaires), c'est-à-dire non présents chez toutes les souches (Tsuge *et al.* 2016). La présence de ces gènes de synthèse des HST sur des chromosomes accessoires a été retrouvée pour 6 autres espèces pathogènes productrices de toxines dans le groupe *A. alternata* (Tsuge *et al.*, 2016). C'est en particulier le cas de souches pathogènes sur *Citrus spp.*, avec 2 groupes de souches (pathotypes) mis en évidence, pathogènes sur tangerine d'une part, ou sur *C. jambhiri* ("rough lemon") d'autre part. Chaque pathotype correspond à la production d'une toxine spécifique (HST), respectivement ACT et ACR. Une souche pathogène à la fois sur tangerine et *C. jambhiri* s'est avérée contenir 2 petits chromosomes supplémentaires, avec l'un portant un gène ACT et l'autre ACR. En l'absence d'évidence de recombinaison, les auteurs de cette étude suggéraient que cette souche avait acquis ces facteurs de virulence par transfert horizontal des chromosomes supplémentaires (Masunaka *et al.*, 2005). Des résultats allant dans le même sens, appuyés par une démarche expérimentale, ont été obtenus avec le pathotype tomate d'*A. alternata*. Akagi *et al.* (2009) montrent que les séquences génomiques analysées sur le chromosome accessoire porteur du gène de production de toxine sont identiques entre 5 souches pathogènes appartenant à ce pathotype d'origines géographiques très éloignées (Europe, Amérique, Japon), alors que ces souches diffèrent fortement pour des séquences situées sur d'autres chromosomes. Ceci pourrait suggérer une origine commune du chromosome accessoire par transfert horizontal entre souches. Akagi *et al.* (2009) appuient cette hypothèse en réalisant expérimentalement un tel transfert de chromosome entier par fusion de protoplastes de pathotypes différents, qui conduit à une souche hybride stable avec une gamme d'hôte étendue correspondant aux 2 souches parentes.

Quelques autres exemples de transferts horizontaux de chromosomes accessoires (notamment porteurs de gènes associés au pouvoir pathogènes) ont été décrits dans la littérature entre souches fongiques, par exemple chez *Fusarium oxysporum* (van der Does & Rep, 2007; Mehrabi *et al.*, 2011; Vlaardingerbroek *et al.*, 2016). Le mécanisme de HGT (Horizontal Gene Transfer) entre souches fongiques de la même espèce ou pas, impliquant probablement des fusions d'hyphes entre souches normalement incompatibles reste à élucider (van der Does & Rep, 2007). Des analyses approfondies sont également encore nécessaires pour évaluer la réalité et la

fréquence de ce phénomène en nature, mais il est fortement suggéré que de tels mécanismes pourraient expliquer l'évolution rapide de certains champignons phytopathogènes (Croll & McDonald, 2012).

Il reste la question de l'origine des gènes impliqués dans la production d'HST. Dès 1983, Nishimura & Kohmoto ont abordé la question de l'acquisition et de la perte d'aptitude à produire les toxines HST. Ces auteurs rapportent l'observation au laboratoire de mutants spontanés producteurs de toxines au sein de grandes populations d'*Alternaria* saprophytes. Ils proposent alors l'existence de mutations naturelles au sein de populations saprophytes coïncidant avec la présence d'un hôte se révélant particulièrement sensible à la nouvelle toxine comme hypothèse pour expliquer l'émergence soudaine de maladies impliquant des *Alternaria* pathogènes, l'hôte sensible permettant la multiplication de la sous-population mutante. Les études plus récentes montrant que les gènes impliqués dans la biosynthèse des HST sont groupés en clusters dans des zones riches en éléments transposables, suggèrent une évolution rapide dans ces régions génomiques, par des mécanismes de recombinaison ou duplication par exemple, à l'origine de nouvelles virulences (van der Does & Rep, 2007).

Enfin, en plus des HST, on ne peut exclure l'existence d'autres molécules produites par le champignon qui pourraient avoir un rôle dans le pouvoir pathogène (effecteurs) (Li *et al.* 2012).

2.1.4 Résultats obtenus à l'Unité Mycologie du LSV à l'ANSES concernant le foyer français

Une analyse phylogénétique réalisée à partir de 8 gènes polymorphes (Alta1, EndoPG, Histone 3, OPA 1-3, OPA 2-1, OPA10-2, TMA22 et ATPase) sur une quinzaine d'isolats venant d'échantillons prélevés en zones infectées de la région Auvergne-Rhône-Alpes en 2016 montre que les isolats français se retrouvent dans les deux groupes (espèces phylogénétiques) *A. alternata* (avec l'isolat type *A. mali*) et *A. arborescens* (qui serait un complexe d'espèces d'après Woudenberg *et al.* 2015a). Les résultats montrent également que les souches françaises isolées jusqu'à présent ne comportent pas de souches d'*Alternaria longipes*.

La totalité de la collection de souches d'*Alternaria* isolées en France a été testée pour leur capacité à produire la toxine AM. A défaut de pouvoir détecter les toxines elles-mêmes, une alternative consiste à détecter les gènes impliqués dans leur production par PCR. Deux tests en PCR ont été utilisés pour la recherche des gènes responsables de la production d'AM-1 et d'AM-2 (Johnson *et al.*, 2000b; Harimoto *et al.*, 2008). Les résultats obtenus à partir de ces deux tests montrent qu'aucune des souches françaises ne porterait les gènes impliqués dans la production de ces toxines. Toutefois, il faut rappeler que la capacité à produire la toxine AM-1 ou AM-2 ne serait pas le seul indicateur de la pathogénicité des souches sur les cultivars sensibles, comme démontré en Italie et en Australie (Rotondo *et al.*, 2012; Harteveld *et al.*, 2014b). Des tests de pathogénicité des souches françaises devront être réalisés dans l'avenir.

2.2 Analyse de risque phytosanitaire rapide: "*Alternaria mali*"¹

Résumé de l'Analyse de risque phytosanitaire express pour " <i>Alternaria mali</i> " ¹			
Zone ARP: <i>Territoire de l'Union européenne</i>			
Décrire la zone menacée: <i>Zone de culture du pommier</i>			
<p>Les « complexes d'<i>Alternaria</i> sp. responsables des maladies de taches foliaires des pommiers (dont <i>Alternaria mali</i>) » font l'objet de la saisine et sont réglementés sous l'appellation "<i>Alternaria alternata</i> Fr. Keissler (isolats pathogènes non-européens)" dans l'annexe IIAI de la directive 2000/29 CE. Les études taxonomiques et phylogénétiques récentes ne permettent pas d'assigner une entité singulière à la maladie sur pommier. Les isolats pathogènes appartiennent à plusieurs espèces généralement considérées comme saprophytes mais sont capables de produire des toxines spécifiques (HST = Host Specific Toxin) responsables de leur virulence sur certaines variétés de pommier. Les gènes impliqués dans la production de ces toxines (gènes <i>AMT</i>) sont localisés et regroupés en clusters sur un chromosome supplémentaire, susceptible d'être transféré entre souches d'espèces proches. L'origine des isolats pathogènes (et donc des gènes <i>AMT</i>) dans un lieu donné pourrait résulter de deux mécanismes : une introduction ou une évolution au sein de la population résidente. La causalité des symptômes observés dans les vergers de la région Auvergne-Rhône-Alpes n'est pas encore attribuée à «<i>Alternaria mali</i>» dans la mesure où le pouvoir pathogène des isolats obtenus d'<i>Alternaria</i> section <i>Alternaria</i> n'a pas été reproduit et qu'une toxine HST n'a pas été détectée.</p> <p>L'entrée de l'organisme pathogène sur le territoire de l'UE par importation de matériel contaminé en provenance de régions infectées a une très faible probabilité en l'état actuel de la réglementation. Une entrée par dissémination naturelle <i>via</i> les courants atmosphériques, à partir des foyers présents en Israël, en Iran et en Turquie apparaît beaucoup plus probable. Les conditions climatiques comparables en Europe à celles des régions où la maladie est déjà présente, la culture de cultivars sensibles, ainsi que la présence avérée de la maladie en Italie, indiquent que la probabilité d'établissement est très élevée. L'impact de la maladie est essentiellement économique, correspondant à des pertes de rendement en fruits suite à la chute prématurée des feuilles. Il existe des moyens de gestion utilisant principalement la lutte chimique. Les produits utilisés sont ceux employés pour lutter contre la tavelure du pommier. Cependant, l'observation de symptômes de défoliation dans des vergers conduits en mode conventionnel, s'il se confirme qu'<i>A. mali</i> est l'agent causal, pourrait suggérer que la maladie soit causée par des souches résistantes aux fongicides appliqués. La lutte intégrée mettant en jeu des variétés résistantes et une conduite du verger adaptée intégrant notamment le ramassage et/ou broyage des feuilles mortes et évitant l'irrigation par aspersion devrait permettre de limiter les dégâts à un niveau acceptable.</p>			
Risque phytosanitaire pour la <u>zone menacée</u>	Haut <input type="checkbox"/>	Modéré <input checked="" type="checkbox"/>	Faible <input type="checkbox"/>
Niveau d'incertitude de l'évaluation	Haut <input type="checkbox"/>	Modéré <input checked="" type="checkbox"/>	Faible <input type="checkbox"/>
<p>Autres recommandations:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Poursuivre les études d'étiologie dans les vergers symptomatiques en France (incluant tests de pathogénicité et recherche de gènes <i>AMT</i>) 			

¹ Par simplicité nous utilisons "*Alternaria mali*" pour faire référence aux isolats appartenant au complexe *Alternaria* section *Alternaria* responsables de maladie des tâches foliaires sur pommier

- Identifier l'agent pathogène responsable des symptômes similaires à la maladie des taches foliaires mais pas encore associés à "*A. mali*" dans plusieurs pays européens (par exemple Autriche, Espagne, Allemagne), pour produire une carte valide de distribution de la maladie
- Améliorer/Développer des tests de détection pour application en routine

2.2.1 Étape 1. Initiation

2.2.1.1 Contexte

Le Ministère en charge de l'Agriculture a saisi l'Anses le 6 février 2017 pour la réalisation d'une évaluation du risque simplifié (ERS) portant sur les **complexes d'*Alternaria* sp. responsables des maladies de taches foliaires des Pommiers (dont *Alternaria mali*)**. Cette saisine fait suite à l'observation de cette maladie dans des vergers de quatre départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes, en France en 2016. La réglementation phytosanitaire européenne classe ***Alternaria alternata*, isolats pathogènes non européens, comme organisme de quarantaine**. La maladie n'avait fait jusqu'à présent l'objet que de deux seuls signalements confirmés en Europe : en ex-Yougoslavie (Bulajic *et al.*, 1996) et en Italie du Nord (Rotondo *et al.*, 2012).

2.2.1.2 Zone ARP

A la demande du Ministère, l'ARP est menée pour le territoire européen.

2.2.2 Étape 2. Évaluation du risque phytosanitaire

2.2.2.1 Taxonomie

L'**espèce *Alternaria mali*** a été décrite par Roberts en 1914 comme un agent d'"élargissement de tâches foliaires" causées par d'autres agents primaires (biotiques et abiotiques), avec des symptômes observés dans le Virginia, Maryland, Tennessee, Arkansas, et Missouri (Roberts, 1914; Roberts, 1924). Une Alternariose beaucoup plus grave a ensuite été décrite sur pommiers au Japon en 1956. Les travaux de plusieurs équipes japonaises notamment (Nishimura & Kohmoto, 1983) montrent que les isolats à l'origine de ces symptômes appartiennent à l'espèce *Alternaria alternata* (Fries) Keissler. Cette espèce est ubiquiste et généralement saprophyte ou faiblement pathogène, mais certains isolats, appartenant à des "formes spéciales" ou pathotypes possèdent une toxine spécifique (HST) responsable de leur pouvoir pathogène sur les hôtes correspondants, ici le pommier (avec la toxine dite "AM"). Ainsi, **le pouvoir pathogène n'est pas un attribut fixé de l'espèce mais isolat-dépendant et lié à la production de toxine hôte-spécifique**. Des études plus récentes basées sur des analyses moléculaires confirment cette conception de la maladie. Le nom *Alternaria mali* est ainsi remplacé par ***Alternaria alternata* (Fries) Keissler f.sp. mali** ou ***Alternaria alternata* pathotype mali**.

L'analyse des agents pathogènes impliqués dans de nouveaux foyers de maladie en Italie, Australie, Israël, et en France, a révélé une situation plus complexe. En effet, **en plus d'*A. alternata* d'autres taxons appartenant à la même section *Alternaria*, mais représentant des espèces phylogénétiquement différentes ont été identifiés : *A. tenuissima* (mis en synonymie par certains auteurs avec *A. alternata*), *A. arborescens* et *A. longipes***. La présence de gènes impliqués dans la production de toxine AM est détectée chez ces différents taxons mais pas systématiquement dans toutes les souches.

Plusieurs types d'observations suggèrent fortement que les gènes responsables du pouvoir pathogène des souches d'*Alternaria*, impliqués dans la production d' HST, sont transmis par transferts horizontaux de petits chromosomes supplémentaires. Ces gènes apparaissent groupés en clusters dans des zones riches en transposons, à évolution probablement rapide, pouvant ainsi générer de nouvelles virulences. Certains auteurs vont jusqu'à parler de "clusters égoïstes" pour ces zones du génome ayant leur propre système de dissémination et dont la présence/absence ne serait pas liée à la fitness du champignon (van der Does & Rep, 2007). **Dans cette logique, l'entité pathogène ne serait pas le champignon (une ou plusieurs espèces) mais un chromosome supplémentaire ou un cluster porteur des gènes HST, capable de se transférer entre souches de ces espèces proches. L'origine des souches pathogènes (donc du cluster de gènes liés aux HST) dans un lieu donné pourrait être liée à deux mécanismes : une introduction ou des mutations spontanées au sein de la population résidente.**

Noms communs :

Alternariose, maladie des taches foliaires (et sur fruits) du pommier (Français)

Alternaria leaf blotch (and fruit spot) of apple (English)

Classification

Règne: Eumycètes

Embranchement: Ascomycota

Classe : Dothideomycètes

Ordre: Pléosporales

Famille: Pléosporacées

Genre: *Alternaria*

Espèce: *alternata*

forme spéciale : mali (cf commentaires)

2.2.2.2 Vue d'ensemble de l'organisme

2.2.2.2.1 *Cycle biologique*

Le champignon hiverne principalement sur feuilles mortes au sol, bien qu'elle soit également possible (mais beaucoup moins fréquente et efficace) sur les rameaux et dans les bourgeons (Filajdic & Sutton, 1995; Hartevelde *et al.*, 2014c). Les infections foliaires sont produites au printemps par les conidies (spores asexuées) libérées après une période d'humectation. La maladie se développe au cours de la saison avec plusieurs cycles d'infection à partir des infections foliaires (Hartevelde *et al.*, 2013a).

L'infection des fruits, à l'origine de petites taches brunes, résulte probablement de l'inoculum produit sur feuilles dans la canopée (Hartevelde *et al.*, 2014c, Figure 1). Elle pourrait se produire tout au long de leur développement, mais il existe de fortes différences entre variétés pour la fréquence des symptômes sur fruits (Hartevelde *et al.*, 2013a). Il semble que l'aptitude à infecter les fruits dépende d'autre part des souches du champignon (Hartevelde *et al.*, 2014a; Hartevelde *et al.*, 2014b). **Il est important de distinguer ces infections externes de la pourriture de cœur des**

fruits, visible seulement après récolte et coupe du fruit. Celle-ci est causée par des champignons opportunistes sans spécificité d'hôtes, appartenant à diverses espèces dont *A. alternata*, *A. arborescens*, *A. tenuissima* (isolats non nécessairement pathogènes sur feuilles), qui pénètrent à l'intérieur du fruit au niveau de l'"oeil" (pièces florales) (Rang *et al.*, 2002). Certaines variétés à "oeil ouvert", comme Red Delicious, sont ainsi particulièrement sensibles (Niem *et al.*, 2007).

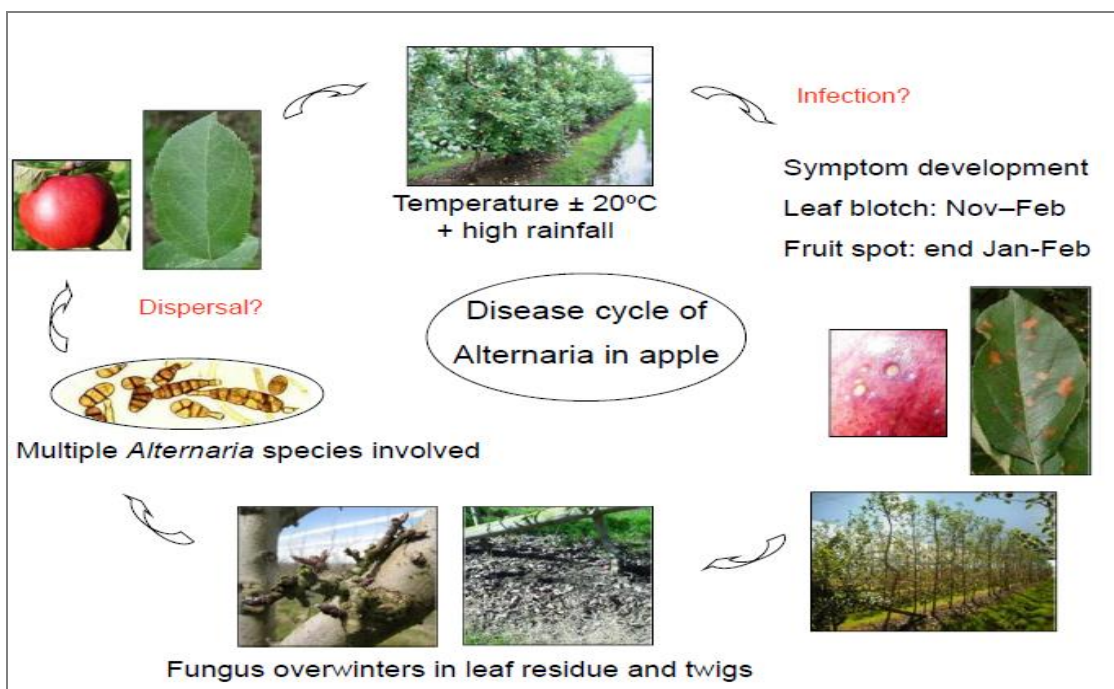


Figure 1. Cycle biologique de *Alternaria* sur pommier (d'après Hartevelde²).

Noter que les périodes indiquées correspondent à l'Hémisphère Sud (saisons inversées)

Il n'existe pas de stade sexué connu chez *Alternaria alternata* mais des études de génétique des populations suggèrent l'existence d'événements de recombinaison méiotique (reproduction sexuée cryptique) ou non méiotique (parasexualité) dans diverses populations : sur Pomme de terre en Chine (Meng *et al.*, 2015); sur Citrus en Floride (Stewart *et al.*, 2013); dans les environnements intérieurs aux USA (Woudenberg *et al.*, 2015a).

Les symptômes sont généralement plus précoces et plus sévères dans la partie inférieure du houppier, en lien avec la localisation de l'inoculum et le microclimat (Hartevelde *et al.*, 2013a).

Influence du climat

Plusieurs études dans différents pays montrent que la maladie est favorisée par un temps relativement chaud et pluvieux.

Selon Kim *et al.* (1986) en Corée, la maladie est initiée après une accumulation de température de 160° jours (base = 10°C) et 4 épisodes de pluie. Si l'on considère une progression de la maladie

²[https://www.appsnet.org/Publications/Darwin_Presentations/Wednesday%20Presentations_WF1/Dalphy%20Hartevelde%20\[Compatibility%20Mode\].pdf](https://www.appsnet.org/Publications/Darwin_Presentations/Wednesday%20Presentations_WF1/Dalphy%20Hartevelde%20[Compatibility%20Mode].pdf)

de type logistique, le taux apparent d'infection est très fortement corrélé à la fréquence des pluies ($R^2 = 0.99$). Une bonne corrélation est observée entre sévérité de maladie et captures de spores dans l'air ($R^2 = 0.33$). Filajdic & Sutton (1992) aux Etats-Unis ont décrit un modèle statistique reliant l'infection à la température et la durée d'humectation. La température optimale prédite est de 23.5°C, associée à une durée minimale d'humectation de 5,1 h.

En Australie, Hartevelde *et al.* (2013a) indiquent que la température et la pluie sont les deux variables les plus significatives pour expliquer les infections foliaires et sur fruits, avec un seuil de 20°C pour les températures. Horlock (2006) mentionne une température optimale pour l'infection, l'expression des symptômes et la sporulation entre 25 et 30°C.

Bhat *et al.* (2015) au Cachemire indiquent également que la maladie est favorisée par l'abondance des pluies et des températures de 25-30°C.

2.2.2.2.2 Plantes-hôtes

Les souches d'*A. alternata* qui nous intéressent ici ont un pouvoir pathogène qui s'exprime spécifiquement sur pommier, causant des nécroses foliaires et parfois des tâches sur fruits. La maladie est uniquement décrite sur pommiers cultivés (*Malus x domestica*), avec des différences importantes (quantitatives) de sensibilité entre cultivars (voir détails dans le paragraphe 2.2.2.5). Abe *et al.* (2010) indiquent que toutes les espèces de pommier sauvage testées (y compris *M. sylvestris*) par inoculations montrent une résistance complète. Toutefois *M. sylvestris* est mentionné comme hôte possible par l'EPPO (1997³) (nous n'avons pas retrouvé la référence primaire, et il pourrait s'agir d'une confusion avec la pourriture des fruits). Un isolat sur *M. sylvestris* (Etats-Unis, sans précision de l'organe) figure dans l'étude de Woudenberg *et al.* (2015a). Nous avons d'autre part trouvé une mention d'*Alternaria mali* sur feuilles de *M. sieversii* au Kazakhstan (Rakhimova *et al.*, 2005).

Tanahashi *et al.* (2016) ont mis en évidence que l'agent causal d'une maladie des tâches noires du poirier Européen au Japon était *A. alternata* pathotype pommier, producteur de la toxine spécifique AM. En Corée, une mention d'*A. mali* sur les feuilles d'*Aronia melanocarpa* (aronie, aronie à fruits noirs ou aronie noir), arbuste d'origine Nord-Américaine très populaire en Europe de l'Est pour les propriétés médicinales de ses baies (Kulling & Rawel, 2008) a été publiée récemment mais l'identification, basée sur la caractérisation morphologique, pathogénique et le séquençage de l'ITS de souches, reste à confirmer (Hahm *et al.* 2016).

Cydonia figure dans les végétaux soumis à la réglementation dans l'annexe de la directive UE 2000/29 mais la seule mention sur cette espèce est ancienne et douteuse (EPPO 1997).

2.2.2.2.3 Symptômes

Les symptômes se caractérisent par des tâches foliaires nécrotiques brunes, initialement circulaires, plus ou moins en forme de cible (Annexe 1), observables à partir d'environ un mois après floraison (Hartevelde *et al.*, 2014c). De fortes infections foliaires (avec coalescence progressive des taches) sont associées à une défoliation prématurée, un moindre grossissement et une chute prématurée des fruits (Filajdic, 1995). Les infections sur fruits produisent des petites lésions sombres souvent centrées sur les lenticelles (Rotondo *et al.*, 2012). Toutefois des symptômes plus importants, associés à des taches nécrotiques et fissures autour de l'"œil" (restes de pièces florales) ont été décrits sur Pink Lady en Israël (Gur *et al.*, 2017). Comme indiqué précédemment, les symptômes sur fruits se distinguent de ceux de pourriture interne (visibles après récolte), causés par des espèces opportunistes.

³ https://www.eppo.int/QUARANTINE/data_sheets/fungi/ALTEMA_ds.pdf

2.2.2.2.4 Détection et identification

Les symptômes d'*A. alternata* sur feuilles de pommiers ne sont pas spécifiques (Horlock 2006) et ressemblent par exemple à ceux causés par *Botryosphaeria obtusa* (*Sphaeropsis malorum*) ("Frog-eye leaf spot") (Filajdic & Sutton 1992b, Peter 2017⁴). Bien que les taches foliaires aient initialement une forme différente, irrégulière, on peut mentionner la maladie ayant récemment émergé en Europe et figurant sur la liste d'alerte de l'OEPP⁵ causée par *Diplocarpon mali* (= *Marssonina coronaria*), dont les infections sévères peuvent entraîner une défoliation précoce, comme dans le cas d'*Alternaria*.

Les *Alternaria* sont faciles à isoler des nécroses mais comme indiqué précédemment (paragraphe 2.1.1), l'espèce et le pathotype (forme spéciale) pommier (syn. *Alternaria mali*) ne peuvent être identifiés sur des bases morphologiques. De plus, l'isolement d'*Alternaria* spp à partir des lésions ne veut pas forcément dire qu'il s'agit de la cause initiale du problème, compte-tenu de la capacité des *Alternaria* comme colonisateurs secondaires de blessures (Horlock 2006). L'identification précise au niveau spécifique nécessite le séquençage de plusieurs gènes. La caractérisation du pathotype/forme spéciale *mali*, par définition basée sur le pouvoir pathogène sur pommier, peut s'appuyer sur des inoculations artificielles avec les isolats obtenus pour vérifier le postulat de Koch (Rotondo *et al.*, 2012; Gur *et al.*, 2017). Enfin, le critère définitif est la mise en évidence d'une toxine hôte spécifique. Des toxines peuvent être recherchées en testant l'effet de filtrats de culture sur différents cultivars de pommier (et autres espèces) (Rotondo *et al.* 2012). La caractérisation s'est d'abord faite par chromatographie (Filajdić & Sutton, 1991). De façon plus récente, plusieurs tests PCR ciblant des gènes impliqués dans la production des toxines de type AM ont été décrits (Johnson *et al.* (2000b) et Andersen *et al.* (2006) pour *AMT-1*, Harimoto *et al.* (2007; 2008) pour *AMT-2* et *AMT-3*). Toutefois, plusieurs auteurs mentionnent que les isolats maintenus en culture perdent leur capacité à produire la (les) toxine(s) (Harteveld *et al.* 2014a), surtout à haute température (Nishimura & Kohmoto, 1983). Johnson *et al.* (2001) ont mis en évidence que l'absence de production de toxine chez un isolat après plusieurs repiquages était liée à la perte du chromosome accessoire porteur du gène *AMT* (cf partie 1), sans que cela affecte la croissance du champignon.

Aucune étude de génétique des populations d'"*A. mali*" n'est disponible, qui aurait permis éventuellement de retracer l'origine des souches. Il est donc impossible à l'heure actuelle d'identifier des "souches non européennes", comme spécifié dans la réglementation.

Au final, la caractérisation de l'agent pathogène, basée sur l'isolement de souches pures, l'amplification et le séquençage de plusieurs gènes, est un processus relativement long (pouvant prendre plusieurs semaines), encore peu adapté à des analyses de routine. Aucun test de détection spécifique sur des tissus végétaux (feuilles ou fruits) n'a encore été développé. Cependant, des tests de détection (sur souches pures) sont disponibles pour trois des gènes codant pour la synthèse des toxines HST du pommier (AMT1, AMT2, AMT3), permettant d'identifier au moins une partie des souches d'"*A. mali*". Le développement d'un outil moléculaire de routine basé sur la détection de ces gènes permettrait d'apporter un soutien au contrôle sanitaire, même de façon imparfaite. L'existence de "faux négatifs" (souches pathogènes sur pommier mais négatives pour

⁴ <http://extension.psu.edu/plants/tree-fruit/diseases/apple-diseases/alternaria-leaf-blotch-of-apple>

⁵ https://www.eppo.int/QUARANTINE/Alert_List/fungi/Diplocarpon_mali.htm

AMT1, AMT2 et AMT3) pourrait s'expliquer par l'implication d'autres toxines AM ou éventuellement d'autres facteurs de virulence (cf partie 1).

3. L'organisme nuisible est-il un vecteur? Oui Non

4. Un vecteur est-il nécessaire pour l'entrée et la dissémination de l'organisme nuisible? Oui Non

Concernant les interactions avec les arthropodes, une étude de Filajdic (1995) montre un effet synergique entre *A. alternata* et Tétranyque rouge (*Panonychus ulmi* Koch) sur le niveau de défoliation des pommiers. Une hypothèse proposée par les auteurs serait que les blessures causées par les acariens favoriseraient la pénétration d'*A. alternata*.

2.2.2.3 Situation réglementaire de l'organisme nuisible

Alternaria alternata (Fr.) Kessler, isolats pathogènes non européens, est un organisme de quarantaine pour l'Europe figurant depuis 1992 à l'annexe IIA Chapitre I de la directive 2000/29. Il est également parasite de quarantaine en Jordanie, Norvège et sur la liste A1 en Turquie (EPPO-PQR).

2.2.2.4 Répartition géographique

La carte de distribution de l'OEPP (Figure 2) ne comprend pas les mentions plus récentes, notamment en Europe. Par contre certaines mentions anciennes sont difficiles à raccorder à *A. alternata* pathotype pommier tel que défini actuellement, et pourraient concerner des infections opportunistes ou la pourriture de cœur sur fruits. Il en est ainsi probablement au Chili, où une mention existe bien que les problèmes d'*Alternaria* sur pommier soient restreints à la pourriture de cœur (Bernardo Latorre, communication personnelle). La détection de toxine AM ou de gène *AMT* n'est pas non plus systématique dans les mentions récentes, par exemple en Australie (Harteveld *et al.* 2013). Il est possible que la distribution de la maladie en Europe soit beaucoup plus large que celle actuellement admise d'après les mentions publiées (cf Tableau I). En effet, nous avons trouvé dans la "littérature grise" des mentions d'infections à *Alternaria* sur feuilles et fruits (avec photos très évocatrices) en Autriche, dans la région de Styrie (Rühmer 2006⁶), peut-être Allemagne (lieu non explicitement mentionné, Bannier 2011⁷) et Espagne, où la maladie serait présente depuis 2010 en Catalogne, particulièrement sur Golden, (IRTA 2015⁸). La Slovénie pourrait également être concernée⁹.

6 Versuchsbericht 04/2006 zur Verringerung von Blattflecken bei Golden Delicious, deren Ursache von Alternaria stammen könnte (http://www.agrar.steiermark.at/cms/dokumente/10935990_11730998/65841ab6/04-2006%20Versuchsbericht%20zur%20Verringerung%20von%20alternaria%20C3%A4hnlichen%20Blattflecken.pdf)

7 <http://www.suttonelms.org.uk/apple-vitality.html>

8 https://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=6266af78-be69-4809-99ad-be0aad61c94&groupId=10136

9 <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163110223>

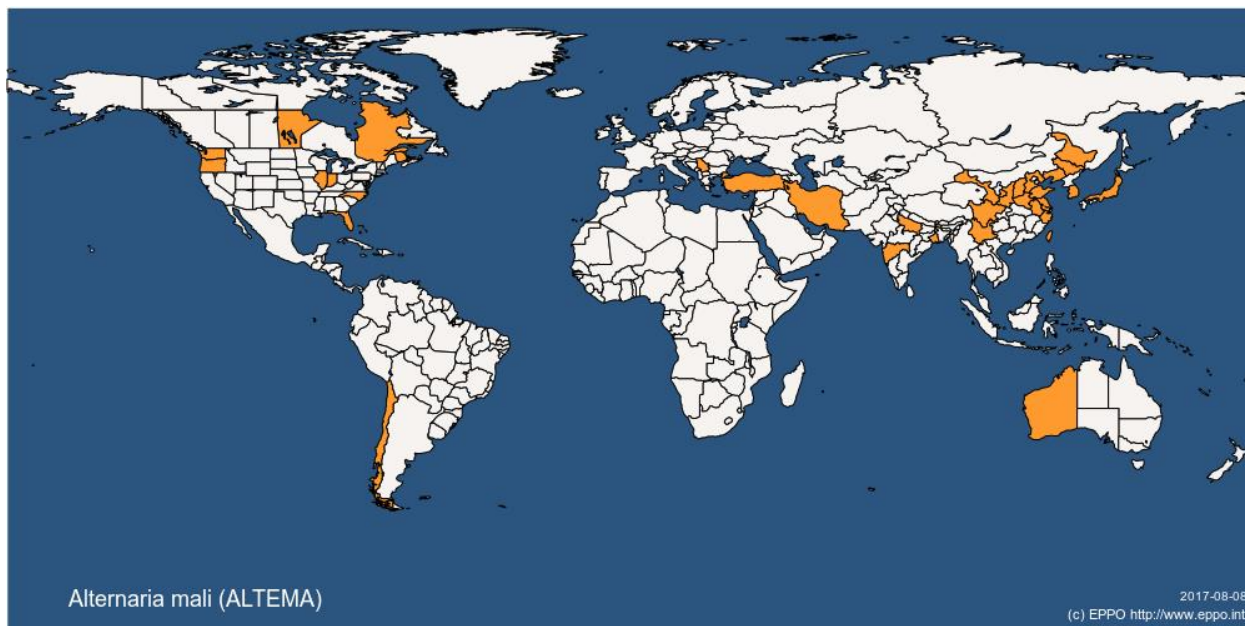


Figure 2 Carte de distribution d'*Alternaria mali* (Source : EPPO-PQR) - (cf texte pour mentions manquantes et douteuses)

Tableau 1. Données de distribution d'*Alternaria mali*, d'après EPPO-PQR modifié et complété.

* pays ou régions dans lesquels des souches productrices de toxine AM ou porteuses d'un gène AMT ont été détectées

& mentions de symptômes foliaires attribués à *Alternaria* mais pas explicitement *A. mali*

Continent	Répartition	Statut phytosanitaire	Référence
Afrique	Zimbabwe	Mention ancienne non confirmée	EPPO 1997 ¹⁰
Amérique	Canada (Manitoba, New Brunswick, Prince Edward Island, Quebec)	Présence, distribution restreinte	EPPO 2017
	Chili ^{&}	Présence, pas de détail	EPPO 2017
	USA Florida, Illinois, Indiana, Oregon, Washington, North Carolina*	Présence, pas de détail	EPPO 2017
		Dommages importants depuis	Filajdic & Sutton (1991)

¹⁰ https://www.eppo.int/QUARANTINE/data_sheets/fungi/ALTEMA_ds.pdf

Continent	Répartition	Statut phytosanitaire	Référence
	Western Virginia Pennsylvania	plusieurs décennies Présent Présent, peu dommageable	Peter 2017 ¹¹
Asie	Chine Anhui, Gansu, Hebei, Heilongjiang, Henan, Jilin, Jiangsu, Liaoning, Sichuan, Shandong, Shaanxi, Shanxi, Taïwan, Yunnan, Zhejiang)	Répandu et dommageable Présence, pas de détail Présent, dommageable	Li <i>et al.</i> 2012 EPPO 2017 Kim <i>et al.</i> 1986
	Corée		
	Inde Cachemire, Maharashtra, Uttar Pradesh, West Bengal)	Répandu et dommageable Présence, pas de détail	Bhat <i>et al.</i> , 2015 EPPO 2017
	Iran*	Présent (Nord-Ouest)	Soleimani & Esmailzadeh 2007 Gur <i>et al.</i> 2017
	Israël*	Présent, plus récemment sur fruits	EPPO 2017
	Japon*	Répandu et dommageable	Rakhimova 2005
	Kazakhstan	Présent	
Europe	Allemagne Autriche Espagne	Présence à confirmer ⁺ Présence à confirmer Présence à confirmer	Bannier 2011 ¹² Rühmer 2006 ¹³ IRTA 2015 ¹⁴

¹¹ <http://extension.psu.edu/plants/tree-fruit/diseases/apple-diseases/alternaria-leaf-blotch-of-apple>

¹² <http://www.suttonelms.org.uk/apple-vitality.html>

¹³ Versuchsbericht 04/2006 zur Verringerung von Blattflecken bei Golden Delicious, deren Ursache von Alternaria stammen könnte (http://www.agrar.steiermark.at/cms/dokumente/10935990_11730998/65841ab6/04-2006%20Versuchsbericht%20zur%20Verringerung%20von%20alternaria%20C3%A4hnlichen%20Blattflecken.pdf)

Continent	Répartition	Statut phytosanitaire	Référence
	France Italie* Pays-Bas Serbie Slovénie Turquie	Présence à confirmer Répandu en Italie du Nord-Est Absence confirmée par enquête Présent, quelques foyers Présence à confirmer Présence (province d'Isparta)	ANSES (non publié) Rotondo <i>et al.</i> 2012 EPPO 2017 Bulajic <i>et al.</i> 1996 Munda <i>et al.</i> 2015 ¹⁵ Ozgonen & Karaca 2006
Océanie	Australie	Présence dans toutes les zones de production de pommes (Queensland, New South Wales, Victoria, South Australia, Tasmania) Sur fruits : Queensland, New South Wales (Sydney Basin and Orange) et Victoria (Yarra Valley).	Horlock 2006

Après la description d'*Alternaria mali* aux USA en 1914, les dégâts importants observés en Asie du Sud-Est (Japon, Chine) à partir des années 1950, puis des dommages plus importants qu'initialement en Caroline du Nord dans les années 1980, il semble qu'il y ait une certaine recrudescence de signalements depuis les années 2000, avec notamment l'Australie, Israël, Iran, divers pays d'Europe. Les infections mentionnées sur fruits en Israël, avec un développement assez important des nécroses, sont également une nouveauté. Ces nouveaux foyers et faciès pourraient être liés à l'émergence et la dispersion de souches pathogènes, à des effets climatiques mais également s'expliquer par le déploiement de nouvelles variétés particulièrement sensibles dans des zones favorables (Nishimura et Kohmoto 1983, Abe *et al.* 2010, Bannier 2011).

¹⁴ https://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=6266af78-be69-4809-99ad-be0aad61c94&groupId=10136

¹⁵ <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163110223>

2.2.2.5 Plantes-hôtes /habitats et leur répartition dans la zone ARP

Tableau 2. Plantes hôtes dans la zone ARP
* voir commentaires dans le paragraphe 2.2.1

Nom scientifique de l'hôte (nom commun)*	Présence dans la Zone ARP	Commentaires	Référence
<i>Malus domestica</i> (pommier cultivé)	Oui	Hôte majeur, dommages économiquement importants	EPPO-PQR
<i>Malus sylvestris</i> (pommier sauvage)	Oui	Hôte mineur Considéré comme résistant	EPPO-PQR (Abe <i>et al.</i> , 2010)
<i>Pyrus domestica</i> (poirier cultivé)	Oui	Une mention	Tanahashi <i>et al.</i> 2016
<i>Aronia melanocarpa</i>	Oui	Une mention	Hahm <i>et al.</i> 2016

Les pommes constituent la première production de fruits en Europe, avec 450 000 Ha (Eurostat 2012), principalement en Pologne, Italie, France (pour l'UE) et Turquie (Figure 3). En France, les trois principaux bassins de production sont situés en région PACA, Midi-Pyrénées et Pays de Loire. La filière concerne 7600 exploitations sur plus de 40000 ha, avec une production annuelle de 1.74 millions de tonnes, et 296 millions d'euros de balance commerciale (Agrimer 2013¹⁶).

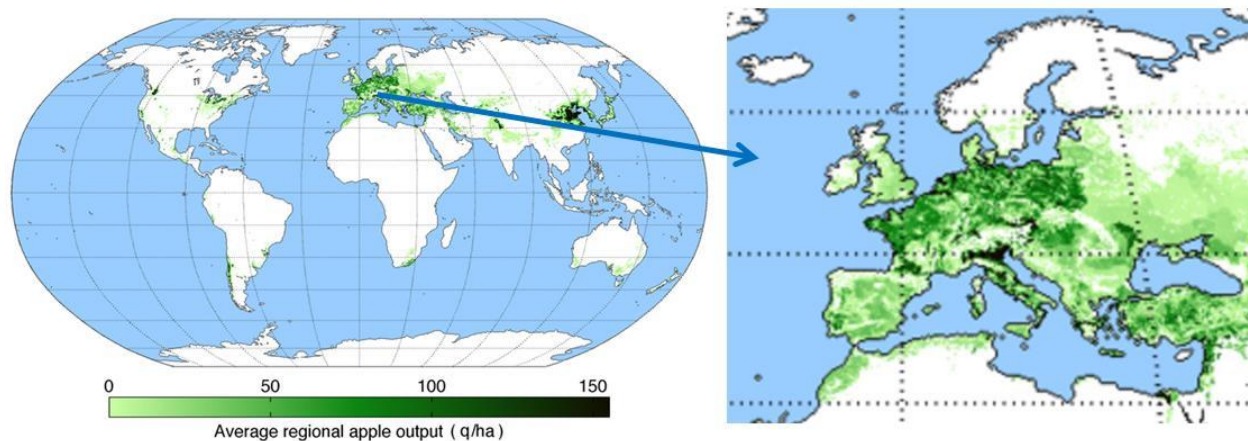


Figure 3 Carte de la production mondiale de pommes, avec un zoom sur l'Europe

¹⁶ <http://www.franceagrimer.fr/content/download/37205/341686/file/fiche%20pomme%20de%20table-FR.pdf>

(estimée à partir de la présence de pommiers et du rendement dans chaque maille par the University of Minnesota Institute on the Environment avec les données de Monfreda, C., N. Ramankutty, and J.A. Foley. 2008).

La sensibilité à l'Alternariose, que ce soit au niveau des feuilles ou des fruits, est très variable selon les variétés. Trois principales études (Filajdic & Sutton, 1991 aux Etats-Unis ; Abe *et al.* 2010 au Japon et Li *et al.* 2012 en Chine) ont comparé la sensibilité de nombreuses variétés de pommier, en infections naturelles et inoculations artificielles, sur feuilles. Gur *et al.* (2017) se sont intéressés à la sensibilité sur fruits. Les principaux résultats sont résumés dans le Tableau II.

Tableau 3. Synthèse des observations sur la sensibilité comparée de variétés de pommier à la maladie des tâches foliaires (et sur fruits) causée par *Alternaria alternata*

Variété	Filajdic & Sutton 1991	Japon -divers	Abe et al 2010	Abe et al 2010	Li et al 2012	Gur et al 2017	mentions en vergers
Braeburn			R				France
Elstar							France
Fuji		MR/R	S	MR	S		Australie
Gala		R	R	R	S	MR	Australie, Italie, France
Golden Delicious	S/MR	MR/R	S/MR	R	S	S	Australie, Italie, Espagne
Granny			R			MR	Australie
Idared	R		R				
Jonagold			S-/R	R	S		
Jonathan	S-/R	R/MR	R	R	HS	R	
Pink Lady						S	Australie, Israël
Red Delicious	HS	HS/S	HS	S	S	MR	Australie
Reinette du Canada							France
	inoculations artificielles sur jeunes plants avec 4 souches	(in Abe et al 2010)	inoculations artificielles sur feuilles détachées	infection naturelle au Japon	infections naturelles en Chine	infection artificielle sur fruits détachés avec un isolat	

En dehors de la très forte sensibilité de la variété Red Delicious sur feuilles, on note des résultats assez variables selon les études.

En particulier, Jonathan, Gala et Golden, considérées comme plutôt résistantes dans certaines études sont trouvées sensibles dans d'autres. Gala et Golden font également partie des variétés pour lesquelles des dommages sont observés en vergers dans différents pays. Golden serait aussi particulièrement affectée en Catalogne (IRTA 2015¹⁷).

Bannier (2011¹⁸) suggère que des variétés modernes comme Pinova, Rubinola, Topaz, Rewena, Arlet, Prima et Summerred seraient particulièrement sensibles, à la fois sur feuilles et fruits.

Le classement des variétés pour la sensibilité sur fruits et feuilles pourrait être différent, comme on le voit pour Red Delicious (Gur *et al.*, 2017). Le pouvoir pathogène sur fruits serait plus restreint à certains isolats par rapport au pouvoir pathogène sur feuilles (Harteveld *et al.*, 2014b). De façon générale, des interactions différentielles variétés- isolats, aussi bien pour les infections foliaires que sur fruits, sont impliquées, notamment en lien avec la sensibilité aux toxines HST (Kohmoto *et al.* 1975).

2.2.2.6 Filières pour l'entrée

Tableau 4. Filières d'entrée pour *A. mali*

Filières possibles (par ordre d'importance)	Courte description expliquant pourquoi cette filière est considérée comme étant possible	Filière interdite dans la zone ARP?	Organisme déjà intercepté sur la filière?
Courants atmosphériques	Bien que cela n'ait pas été démontré pour les <i>Alternaria</i> pathogènes du pommier spécifiquement, les spores d' <i>Alternaria spp</i> semblent pouvoir être dispersées par le vent et courants aériens à très grande distance (Fernandez-Rodriguez <i>et al.</i> 2015, Woudenberg <i>et al.</i> 2015a - cf question 11)	-	-
Fruits	Des infections sur fruits, bien que moins fréquentes que sur feuilles, sont décrites dans plusieurs pays, notamment en Israël sur variété Pink Lady (Gur <i>et al.</i> 2017). On peut supposer que les fruits les plus atteints ne sont pas exportés. Toutefois, des infections peu développées ou latentes, bloquées à faible température pendant transport et stockage, pourraient se développer une fois à température favorable.	Non	Non (données ANSES et Europhyt 2013 et 2016)
Végétaux destinés à la plantation (Plants dormants sans feuilles)	Le pathogène peut être présent dans les bourgeons ou rameaux Mais cette forme de survie et source d'inoculum semble peu importante	Oui (pays non européens) en raison du feu	Non

¹⁷ https://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=6266af78-be69-4809-99ad-be0aad61c94&groupId=10136

¹⁸ <http://www.suttonelms.org.uk/apple-vitality.html>

	(Harteveld <i>et al.</i> 2014b)	bactérien	
--	---------------------------------	-----------	--

Entrée par courants atmosphériques

Notation de la probabilité d'entrée	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input checked="" type="checkbox"/>
Notation de l'incertitude	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input checked="" type="checkbox"/>

Une dispersion des *Alternaria* à l'échelle continentale est suggérée aux Etats-Unis, de l'Ouest vers l'Est (Woudenberg *et al.*, 2015b). La maladie étant présente dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est (Turquie, Iran, Israël), la dissémination de l'agent pathogène vers l'Europe apparaît probable, et pourrait expliquer sa présence avérée en Italie. L'incertitude est jugée haute car il n'est pas certain que l'émergence de la maladie dans un endroit donné (et donc en Italie) soit toujours liée à l'introduction de souches (mais peut-être à une évolution locale -cf partie 1). Concernant la dissémination aérienne, les études en aérobiologie suggérant de très fortes capacités de dispersion aérienne ne sont pas focalisées sur un pathotype précis (pommier ou autre) mais concernent l'ensemble des *Alternaria* spp de la section *Alternaria*. Ce regroupement pourrait masquer des dynamiques spécifiques plus restreintes. De plus, les introductions effectives par transport aérien à longue distance (plusieurs centaines de kilomètres) restent probablement des événements assez rares, en lien avec le régime des vents (Woudenberg *et al.*, 2015b). Le trajet Proche-Orient-Europe est contraire à la direction des vents dominants.

Entrée par importation de fruits

Notation de la probabilité d'entrée	Faible <input checked="" type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input type="checkbox"/>
Notation de l'incertitude	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input checked="" type="checkbox"/>

En 2015, la France a importé 182 000 tonnes de pommes, dont 131 000 de l'UE28, principalement Royaume-Uni, Espagne *et al.*lemagne. Les importations hors UE viennent principalement de l'hémisphère sud (Chili, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud¹⁹). L'importation de pommes des pays où *Alternaria mali* a été signalé constitue une faible part du total, à l'exception du Chili (Tableau 5. Comme indiqué précédemment, il reste toutefois à confirmer que les mentions de maladie au Chili qui date de 1983 rapportées par l'OEPP, correspondent bien à "*A. mali*".

19 https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/fruit-and-vegetables/product-reports/apples-and-pears/slide-shows/grex-presentation-mele-2011_en.pdf

Tableau 5. Importation de pommes dans l'Union européenne pour la période 2011-2016 en provenance des pays tiers où la présence d' « *A. mali* » a été rapportée (Source : Eurostat 2017²⁰).

Pays d'origine	Quantité importée (tonnes)
Chili	873 747.0
USA	52 313.2
Serbie	35 890.3
Chine	21 123.2
Australie	3 378.0
Canada	2 815.2
Israël	1 603.7
Turquie	967.4
Iran	314.1
Japon	1.3
Taiwan	0.0
Corée	0.0
Inde	0.0
Zimbabwe	0.0
Total des importations	3 029 586.9

L'importation de fruits en Europe venant des USA fait l'objet d'un certificat phytosanitaire pour les organismes de quarantaine (*Grapholita packardi*, *Rhagoletis pomonella*, *Tachypterellus quadrigibbus*, et *Monilinia fructicola*) et d'inspections systématiques (25% des cargaisons au moins devant être inspectés)²¹, mais *Alternaria* n'est pas mentionné. La réglementation européenne (Directive 2000/29/CE) ne concerne que les végétaux (*Malus*, *Pyrus* et *Cydonia*) destinés à la plantation et donc pas les fruits.

La forte incertitude sur cette voie d'entrée correspond au fait que nous n'avons trouvé aucune information sur les fruits comme source d'inoculum et d'infection. Toutefois il faut noter que l'isolement du champignon à partir des fruits nécrosés est tout à fait possible (Rotondo *et al.*, 2012; Harteveld *et al.*, 2013b).

Enfin il faut rappeler que **l'existence de mutations spontanées au sein des populations d'*Alternaria spp* saprophytes (suivies de multiplication des mutants sur hôtes sensibles) constitue une hypothèse alternative à l'entrée de souches pathogènes** (paragraphe 2.1.3).

²⁰ <http://ec.europa.eu/eurostat/fr/data/database>

²¹ <http://nwhort.org/export-manual/countries-toc/european-union/>

2.2.2.7 Probabilité d'établissement à l'extérieur dans la zone ARP

Les principaux facteurs d'établissement de la maladie sont la présence d'hôtes sensibles, les conditions climatiques, et les pratiques culturales.

Les 5 variétés les plus cultivées en Europe sont par ordre décroissant de production: Golden (2,7 millions de tonnes), Gala (1,3), Idared (1,2), Red Delicious (0,7), Jonagold (0,6). Pour la France, Golden et Gala sont les plus cultivées, suivies par Granny, Pink Lady, puis d'autres variétés. La plupart de ces variétés, en particulier Golden et Gala, sont déjà mentionnées comme infectées ou considérées comme sensibles (cf tableau II). Donc la présence d'hôtes sensibles n'est pas un facteur limitant d'établissement de l'agent pathogène.

En ce qui concerne les exigences climatiques pour le développement de la maladie, toutes les observations et études pointent le rôle déterminant des températures, avec un optimum dans la gamme 23-30°C, et des pluies. Le développement de la maladie apparaît ainsi favorisé par la présence de journées chaudes et humides pendant la saison de végétation.

Les zones les plus anciennement affectées par la maladie (Japon, Chine, Etats-Unis) se situent dans la zone de climat "tempéré-doux, à précipitations régulières et étés chauds" (Cfa) de la classification de Köppen-Geiger (Figure 4). Les mentions plus récentes en Australie, Europe, Israël correspondent à des climats plus frais (Cfb, voire Dfb), et/ou plus secs (Csb) en été. Au total, les zones d'expression de la maladie, correspondent à la principale zone de culture des pommiers.

Si la maladie est favorisée par la présence d'épisodes chauds et pluvieux au printemps-été, nous n'avons pas trouvé d'éléments sur une possible limite climatique dans les zones les plus froides de culture du pommier, du fait d'une moindre survie au froid du champignon par exemple. Peter (2017²²) signale la maladie en Pennsylvanie, même si elle ne cause pas de dommages importants.

²² <http://extension.psu.edu/plants/tree-fruit/diseases/apple-diseases/alternaria-leaf-blotch-of-apple>

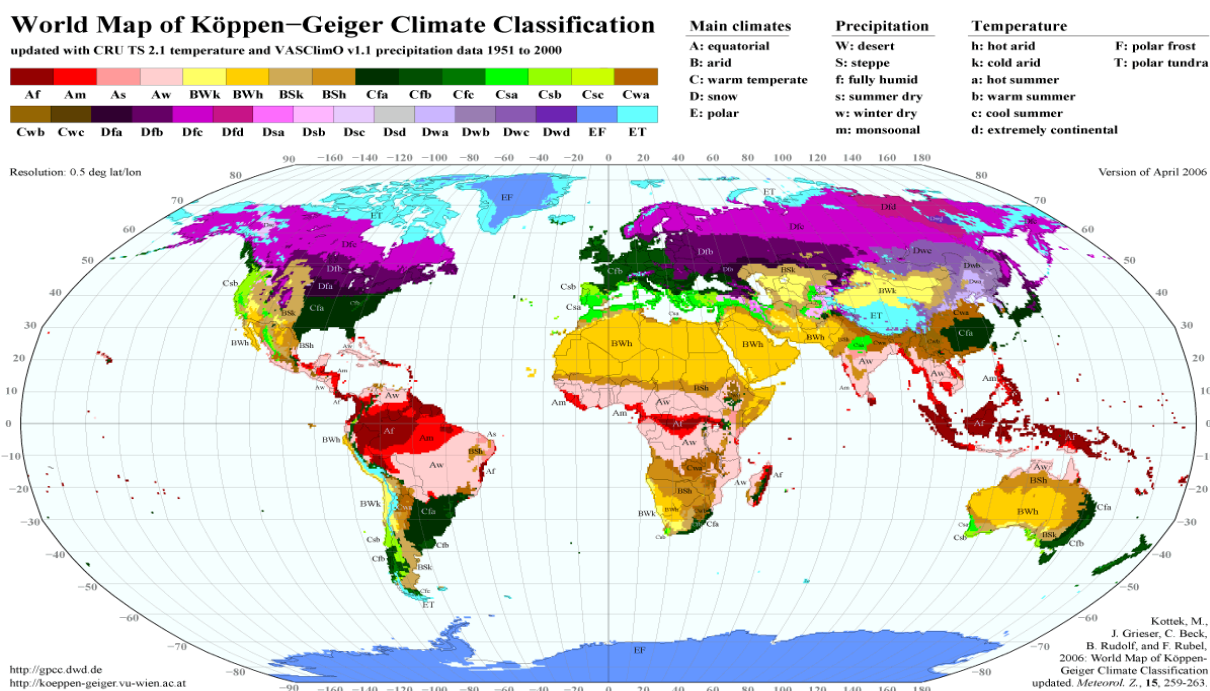
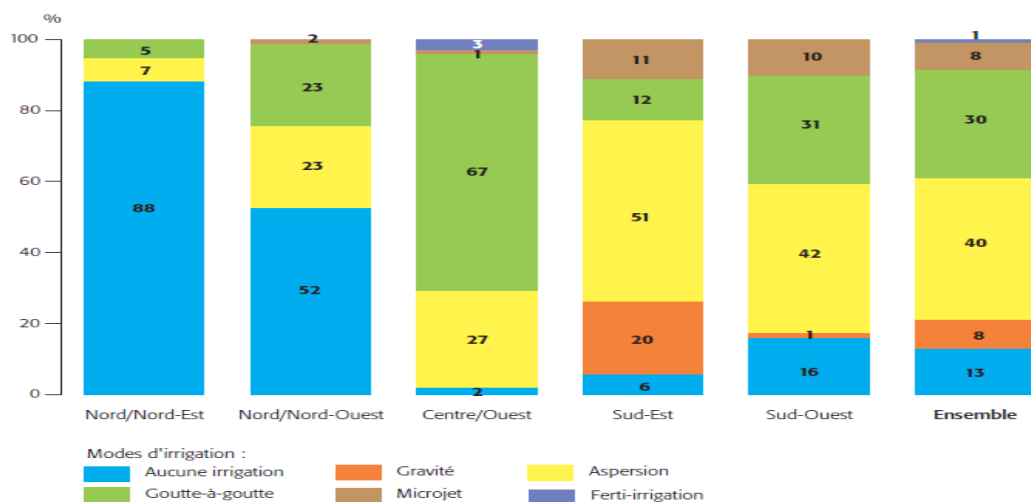


Figure 4 Principales zones climatiques au niveau mondial, suivant la classification de Koppen-Geiger

Concernant les exigences en précipitations, il faut considérer que beaucoup de vergers de pommiers sont irrigués dans les régions les plus sèches, notamment par aspersion (cf Figure 5 pour la France). Ce mode d'irrigation est à même de pallier l'absence de précipitations pour favoriser la dispersion d'*Alternaria* à partir des infections foliaires.



Source : SSP - Agreste – Enquête sur les pratiques phytosanitaires en arboriculture 2012

Figure 5 Modes d'irrigation des vergers de pommiers en France²⁴

Au-delà de l'irrigation, d'autres pratiques culturales ou modes de conduite des vergers sont à même de modifier la probabilité d'établissement de la maladie (Filajdic & Sutton 1991). Ainsi, le recours ou non à des fongicides et méthodes visant à réduire la survie hivernale de l'inoculum (broyages de feuilles) utilisés pour limiter l'impact de la tavelure et potentiellement efficace contre les *Alternaria* est un facteur à considérer. L'émergence récente de *Marssonina coronaria* en Europe est ainsi principalement mentionnée dans les vergers à bas intrants ou menés en agriculture biologique (EPPO 2017²³).

Au total, la probabilité d'établissement dans la zone ARP (Europe) est considérée comme haute, avec une faible incertitude, au moins dans les régions avec étés chauds.

Notation de la probabilité d'établissement à l'extérieur	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input checked="" type="checkbox"/>
Notation de l'incertitude	Faible <input checked="" type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input type="checkbox"/>

2.2.2.8 Probabilité d'établissement sous abris dans la zone ARP

La culture de pommiers sous tunnels n'existe pas actuellement.

2.2.2.9 Dissémination dans la zone ARP

- *Dissémination naturelle*

Il existe une certaine discordance dans la bibliographie au sujet du mode principal de dispersion suivant qu'il s'agit d'études ciblées sur des *Alternaria* pathogènes de plantes (en particulier sur Pommier), ou sur des *Alternaria* allergènes pour les populations humaines.

Dans le premier cas l'accent est souvent mis sur la dispersion locale à faible distance par rain-splash (EPPO 1997²⁴) alors que les *Alternaria* allergènes sont recherchés par captures de spores dans l'air, sous-entendant une forte dispersion par le vent (Fernández-Rodríguez *et al.*, 2015). La dispersion via des insectes a été observée mais ne paraît pas très importante (Filajdic, 1995).

Les deux modes de dispersion, par la pluie et par le vent, sont probablement impliqués (Rotem, 1994), la pluie intervenant plutôt pour la libération et le vent pour le transport des spores. Hartevelde *et al.* (2014c) mentionnent par exemple que dès le départ des épidémies, des symptômes sont observés dans le haut de la canopée, même si moins fréquents que dans le bas. Par une approche indirecte utilisant des marqueurs génétiques (isozymes), Hwang *et al.* (1987) ont montré que des populations d'*A. mali* distantes d'environ 300 km en Corée divergeaient fortement, alors qu'on n'observait pas de structure spatiale dans un rayon de 100 à 200 km.

²³ https://www.eppo.int/QUARANTINE/Alert_List/fungi/Diplocarpon_mali.htm

²⁴ https://www.eppo.int/QUARANTINE/data_sheets/fungi/ALTEMA_ds.pdf

Fernández-Rodríguez *et al.* (2015) dans une étude mettant en œuvre des capteurs de spores en Espagne ont montré que les concentrations de spores d'*Alternaria spp* collectées dans l'air (de l'ordre de 10 à 30 spores/m³ par jour en moyenne dans plusieurs villes) étaient positivement corrélées avec la vitesse du vent dans certains cas. La quantité de spores captées a été mise en relation à la fois avec la présence de sources locales (vergers et cultures dans un rayon de 100 km) mais également plus distantes, en lien avec le déplacement des masses d'air. De façon générale, on s'attend à une dilution du nuage de spores avec la distance; la quantité de spores disséminées sur une distance donnée est donc également fonction de l'intensité de la source, i.e. quantité de spores produites (Fernandez-Rodriguez *et al.* 2015).

Des études récentes avec des marqueurs génétiques (microsatellites) sur des isolats d'*Alternaria section Alternaria* en environnement intérieur suggèrent également de très forts flux de gènes, à l'échelle continentale (Etats-Unis) (Woudenberg *et al.*, 2015b). Des valeurs très élevées de taux de migration (supérieures à 100 migrants par génération) sont estimées entre le quadrant sud-ouest et le quadrant sud-est des Etats-Unis, correspondant à la direction des vents dominants.

- *Dissémination par l'homme*

Les organes infectés étant principalement les feuilles et fruits, une dissémination du pathogène peut théoriquement être réalisée par transport de plants (feuillés) et de fruits. Ce mode de dissémination est probablement peu actif, du fait que le commerce de plants concerne des plants dormants (sans feuilles). Bien que le champignon puisse survivre dans les bourgeons et blessures sur rameaux, cette source d'inoculum serait peu efficace (Harteveld *et al.*, 2014c). Concernant le transport par des fruits infectés, il semble également peu probable du fait que les plus fortes intensités de maladie conduisent à une chute prématurée des fruits. L'infection des fruits est beaucoup moins fréquente et sévère que sur feuilles (à l'exception du cas israélien sur Pink Lady), produit des lésions visibles (donc fruits normalement pas commercialisés) et ne serait pas une source d'inoculum importante (Harteveld *et al.*, 2014c).

Au total, les capacités de dissémination naturelle du champignon par le vent (courants aériens) sont sans doute suffisantes pour une dissémination à longue distance (à l'échelle régionale voire continentale), dont la probabilité augmente avec l'intensité de la source (quantité de spores produites). L'incertitude tient à la quantification précise du gradient de dispersion, en interaction avec les facteurs environnementaux (direction et vitesse des vents, barrières naturelles, etc.). De plus, comme indiqué précédemment, les études en aérobiologie suggérant de très fortes capacités de dispersion aérienne ne sont pas focalisées sur un pathotype précis (pommier ou autre) mais concernent l'ensemble des *Alternaria spp* de la section *Alternaria* et pourraient donc surestimer des capacités de dispersion réelle d'un taxon donné. Concernant "*A. mali*", on peut noter que la maladie est présente en Italie depuis près de 20 ans (Rotondo *et al.* 2012) sans qu'une dissémination massive en Europe soit documentée.

Notation de la magnitude de la dissémination	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input checked="" type="checkbox"/>
Notation de l'incertitude	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input checked="" type="checkbox"/>	Haute <input type="checkbox"/>

2.2.2.10 Impact dans la zone de répartition actuelle

L'impact dans la zone de répartition actuelle est essentiellement économique, et notamment associé aux pertes de rendement suite à la chute précoce des feuilles. En Israël et aux Etats Unis, 60 à 80% des arbres peuvent être atteints de défoliation dans les vergers de cultivars sensibles (Filajdić & Sutton, 1991; Gur *et al.*, 2017), avec des conséquences économiques considérables. En Australie, dans les régions du Queensland et de New South Wales, les pertes de production liées à *Alternaria* ont été estimées entre 15 et 25 % (Harteveld *et al.*, 2013b). Lorsque la maladie infecte les fruits, leur utilisation se réduit à la production de jus de pomme, avec une perte de bénéfice économique moyenne de 90% (Horlock, 2006). En Israël, le nombre de fruits affectés par des lésions supérieures à 30 mm de diamètre peut atteindre jusqu'à 80% dans certains vergers (Gur *et al.*, 2017).

Aux Etats-Unis et en Australie, l'impact est limité dans certaines régions où le parasite est pourtant présent, du fait de températures pas assez élevées (Volk *et al.*, 2015), par exemple en Pennsylvanie (Peter 2017²⁵) ou d'un niveau de précipitations relativement faible, en Australie du Sud ou dans certaines parties du Victoria (Horlock, 2006). Le réchauffement climatique est cité comme un facteur d'augmentation de l'impact de la maladie des taches foliaires du Pommier à *Alternaria* aux Etats-Unis (Brown & Maloney, 2013).

2.2.3 Mesures de lutte existantes appliquées contre l'organisme nuisible.

2.2.3.1 Lutte chimique

Le contrôle de la maladie s'effectue principalement par la lutte chimique. Les produits phytosanitaires appliqués correspondent à ceux utilisés pour le contrôle de la tavelure du pommier, causé par *Venturia inaequalis* et/ou le « black rot » provoqué par *Botryosphaeria obtusa* (Horlock, 2006). Quelques études rendent compte des expériences de lutte chimique contre l'Alternariose (Lee & Kim, 1986; Filajdic, N & Sutton, TB, 1992; Horlock, 2006; Bhat *et al.*, 2015). Ces études sont difficilement comparables entre elles car les produits utilisés et les conditions d'application diffèrent. En Australie, les fongicides Polyram (matière active = métirame) et Delan (dithianon) ont montré des résultats intéressants dans la réduction des taches foliaires, mais également dans la prévention de la chute précoce de feuilles (Horlock, 2006). D'après les données recueillies en Australie (Horlock, 2006) il n'y aurait pas de différence significative dans la réduction des symptômes quand les applications de produits chimiques se réalisent dans un but préventif (d'après un calendrier établi au début de la saison) ou curatif (application des produits chimiques après des épisodes pluvieux).

Aux Etats-Unis, en Caroline du Sud, seule l'iprodione s'est montré efficace dans la diminution des symptômes foliaires produits par *Alternaria mali*. Le tableau 6 rend compte des différentes expériences en lutte chimique réalisées dans la zone de répartition actuelle de la maladie.

²⁵ <http://extension.psu.edu/plants/tree-fruit/diseases/apple-diseases/alternaria-leaf-blotch-of-apple>

Tableau 6. Liste de fongicides testés pour le control d'"*Alternaria mali*"

Produit	Matière active	Type de symptômes	Pays	Efficacité
-	Iprodione	Feuilles	Etats-Unis, Corée	Efficace
Rovral		Feuilles et fruits	Australie (NSW)	Peu efficace
-	Captafol	Feuilles	Corée	Efficace
-	Chlorothalonil	Feuilles	Corée	Efficace
-	Polyoxin	Feuilles	Corée	Efficace
-	Carbendazime	Feuilles	Inde	Efficace
-			Italie, Chine	Efficace
-	Mancozèbe	Feuilles	Chine	
-		Feuilles		Peu efficace
-			Etats-Unis	
-		Feuilles		Peu efficace
-	Propinèbe	Feuilles	Corée	Moyennement efficace
-	Captane	Feuilles	Etats-Unis	Peu efficace
-	Mancozèbe + Captan	Feuilles	Etats-Unis	Peu efficace
Bordeaux mixture	Cuivre	Feuilles	Corée, Chine	Peu efficace
Delan	Dithianon	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Efficace
Bogard	Difenoconazole	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Peu efficace
Spin	Carbendazime	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Peu efficace
Vision	Fluquinconazole + pyrimethanil	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Peu efficace
Chorus	Cyprodinil	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Peu efficace
Nustar	Flusilazole	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Peu efficace
Stroby	Kresoxim-methyl	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Peu efficace

²⁶ <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance.selection&language=EN>

Produit	Matière active	Type de symptômes	Pays	Efficacité
Ziram Granuflo	Ziram	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Peu efficace
Polyram	Metiram	Feuilles et fruits	Australie (Q)	Efficace
Dodine	Dodine	Feuilles et fruits	Australie (NSW)	Peu efficace
Thiram	Tetramethylthiuram disulfide	Feuilles et fruits	Australie (NSW)	Peu efficace
Nimrod	Bupirimate	Feuilles et fruits	Australie (NSW)	Peu efficace
Vision	Fluquinconazole + pyrimethanil	Feuilles et fruits	Australie (NSW)	Efficace

Q : Région de Queensland, NSW : Région de New South Wales

*Cités par Horlock *et al.*, 2006

2.2.3.2 Sélection de variétés résistantes

Au Japon, l'étude de la sensibilité des variétés à *Alternaria* et son héritabilité est devenue une priorité après l'émergence de la maladie en 1956, ayant coïncidé avec l'augmentation des surfaces de variétés très sensibles (Abe *et al.* 2010). Cinq cultivars ont été utilisés comme parents dans les programmes de création variétale au Japon, dont deux (Indo et Delicious) très sensibles à *Alternaria* (Igarashi *et al.*, 2016). Saito & Takeda (1984) (cités dans Igarashi *et al.* 2016) ont montré que la sensibilité à la maladie des taches foliaires causée par *Alternaria* était un trait à héritabilité dominante déterminé par un gène majeur (Alt). Ce gène a été localisé sur le chromosome 11 et des marqueurs liés à ce gène pouvant être utilisés en sélection assistée par marqueurs ont été identifiés (Igarashi *et al.*, 2016). D'autres gènes pourraient être impliqués dans l'expression de la sensibilité (Igarashi *et al.*, 2016). Des tests de sensibilité sur feuilles détachées sur un grand nombre de cultivars au Japon ont montré que les cultivars résistants à la tavelure présentent une grande variabilité de réponse vis-à-vis d'*Alternaria* (Abe *et al.* 2010). En Chine Li *et al.* (2012) ont montré que les résistances à *Alternaria* pathotype pommier et *Marssonina coronaria* étaient très fortement corrélées dans une étude portant sur 74 cultivars, suggérant l'existence de mécanismes génétiques de résistance communs aux deux maladies. Cette même étude montre qu'il y a une plus forte proportion de résistance dans les génotypes de pommiers d'origine asiatique par rapport aux génotypes d'origine occidentale (23 à 26% contre 7%). Li *et al.* (2012) émettent l'hypothèse que ces facteurs de résistance auraient été sélectionnés par co-évolution entre le pommier et *Marssonina coronaria* en Asie.

Au total, la magnitude de l'impact a été jugée comme modérée compte tenu du fait qu'une seule filière est concernée, qu'il s'agit uniquement de pertes de production sans mortalité des arbres, qu'il existe des mesures de gestion pouvant limiter la maladie et que l'impact sanitaire et environnemental est faible.

Notation de la magnitude de l'impact dans la zone de répartition actuelle	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input checked="" type="checkbox"/>	Haute <input type="checkbox"/>
Notation de l'incertitude	Faible <input checked="" type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input type="checkbox"/>

2.2.4 Impact potentiel dans la zone ARP

2.2.4.1 Impact économique

Les principaux pays producteurs de pommes en Europe sont la Pologne, l'Italie et la France (Figure 6), ces deux derniers étant déjà affectés par la maladie.

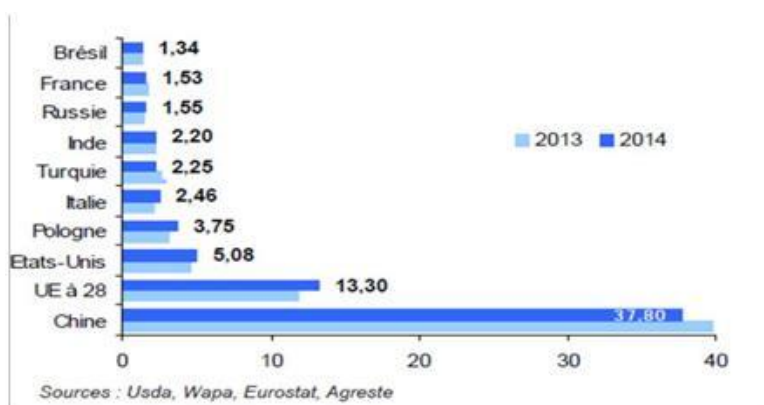


Figure 6 Principaux pays producteurs de pommes (en millions de tonnes)

L'impact des espèces du complexe *Alternaria* sur pommier observé dans les zones déjà infestées pourrait être similaire dans la zone ARP, comme déjà observé en Italie (Rotondo *et al.*, 2012). Comme signalé précédemment, ceci s'explique principalement par la présence de cultivars sensibles à la maladie en Europe, notamment les 2 variétés les plus cultivées, Golden et Gala. Le développement et l'impact de la maladie étant favorisés par des températures élevées et de l'humidité, l'impact pourrait être limité dans les zones de production moins chaudes comme le Nord de l'Europe.

L'impact de la maladie des tâches foliaires va-t-il entraîner de nouveaux traitements phytosanitaires? En 2011, les vergers de pommiers ont reçu en moyenne 35 applications, dont 22 contre les maladies fongiques, la tavelure notamment (Agreste, 2015²⁷). D'après la littérature consultée, les mêmes fongicides que ceux destinés à la lutte contre *V. inequalis* et *Botryosphaeria obtusa* peuvent être utilisés pour le contrôle des maladies sur feuilles et sur fruits provoquées par *Alternaria*. Par conséquent, une augmentation de l'IFT ne devrait pas être nécessaire. Reste à connaître l'impact que la maladie pourrait avoir sur des vergers menés en agriculture biologique. Ceux-ci ne représentent encore que 55000 à 60000 tonnes pour 2015, soit environ 3% de la production nationale en pommes, mais avec des surfaces en constante augmentation (Agreste 2015¹). Comme indiqué précédemment, l'émergence de *Marssonina coronaria* en Europe concerne principalement les vergers à bas intrants ou menés en agriculture biologique (EPPO 2017). La réduction des mesures de lutte contre la tavelure (traitements fongicides, broyages des

²⁷ <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur323.pdf>

feuilles) dans le cas de l'utilisation de variétés résistantes pourrait favoriser le développement d'autres champignons pathogènes jusqu'alors masqués.

L'impact éventuel sur les exportations de pommes à cause de la réglementation internationale est limité. Les pays pour lesquels « *A. mali* » est considéré comme un organisme de quarantaine sont la Norvège et la Jordanie. Les exportations vers ces pays ont représenté 3.66% des exportations totales des Etats membres de l'Union Européenne vers les pays tiers (Figure 7).

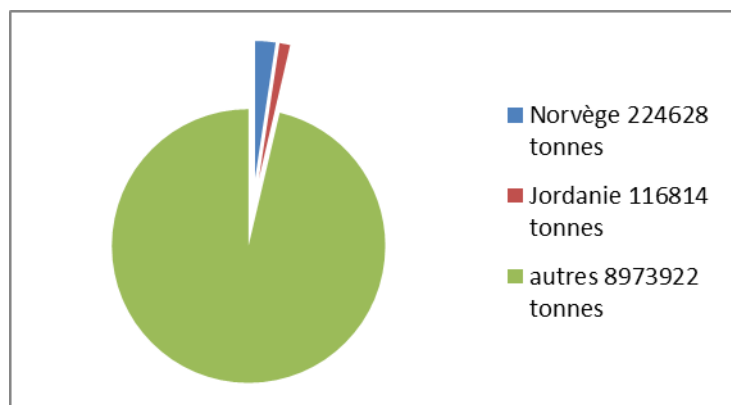


Figure 7 Exportation de pommes fraîches de l'Union européenne vers les pays tiers (9 315 364 tonnes) incluant les pays pour lesquels « *A. mali* » est sur la liste de quarantaine (Norvège et Jordanie) pour la période 2011-2016 (Source Eurostat 05/09/2017)²⁸

2.2.4.2 Impact sanitaire et environnemental

L'impact environnemental direct est a priori considéré comme très faible compte tenu de la faible sensibilité du pommier sauvage *Malus sylvestris* (voir plus haut).

Comme vu précédemment l'impact environnemental indirect via l'utilisation requise de fongicides ne devrait pas augmenter de façon générale par rapport au niveau actuel, dans la grande majorité des vergers qui sont traités contre la tavelure. Toutefois, en agriculture biologique et/ou dans des vergers utilisant des variétés de pommiers résistants à la tavelure, l'émergence de la maladie pourrait conduire à réintroduire des traitements fongicides (au cuivre par exemple).

Les espèces d'*Alternaria* sont connues pour produire des métabolites secondaires toxiques (mycotoxines). En particulier, *A. alternata* produit plusieurs mycotoxines parmi lesquelles l'alternariol, l'alternariol monométhyl ether, l'altenuene, les altertoxines I, II, III, l'acide tenuazonique

²⁸ <http://ec.europa.eu/eurostat/fr/data/database>

(Ostry, 2008). Un impact sanitaire des *Alternaria* associés à la maladie des taches foliaires via la contamination des fruits par des mycotoxines est considéré comme très faible du fait du faible impact actuel sur fruits de la maladie dans les zones où elle est présente. De plus, s'agissant de lésions externes, les fruits infectés ne sont pas commercialisés.

Un autre impact sanitaire potentiel des *Alternaria* concerne leur capacité allergénique (Kustrzeba-Wójcicka *et al.*, 2014; Fernández-Rodríguez *et al.*, 2015). On peut toutefois supposer que les souches pathogènes sur feuilles de Pommier constituent une source relativement mineure par rapport à l'ensemble des souches saprophytes.

Les impacts seront-ils en grande partie les mêmes que dans la zone de répartition actuelle? **Oui**

Notation de la magnitude de l'impact dans la zone de répartition actuelle	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input checked="" type="checkbox"/>	Haute <input type="checkbox"/>
Notation de l'incertitude	Faible <input checked="" type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Haute <input type="checkbox"/>

2.2.4.3 Identification de la zone menacée

Les données recueillies semblent indiquer que le complexe d'espèces d'*Alternaria* pathogènes sur pommier constitue une menace pour toutes les régions productrices de pommes en Europe. La présence confirmée de la maladie dans le Nord de l'Italie (y compris de la *forma speciale mali*) depuis la fin des années 1990 (Rotondo *et al.*, 2012), sa présence fortement soupçonnée dans d'autres pays (Autriche, Espagne) et l'apparition de foyers épidémiques en 2016 en France en Auvergne-Rhône-Alpes (sans que la *forma speciale mali*, puisse être détectée), montre que le complexe d'espèces d'*Alternaria* pourrait s'établir avec succès en Europe. Les zones de production de pommes en Europe sont localisées dans la zone climatique Cfb, comme d'autres pays déjà atteints par la maladie (Australie). En particulier, l'Italie et la France font partie des pays pour lesquels on peut s'attendre à un impact relativement élevé de la maladie, du fait de l'importance de la production de pommes et de leur situation dans des zones climatiquement plus favorables, avec étés chauds (Figure 8). Toutefois, comme indiqué précédemment, des facteurs autres que climatiques peuvent largement influencer l'impact de la maladie, notamment les pratiques culturales (irrigation par aspersion, lutte fongicide, variétés utilisées).

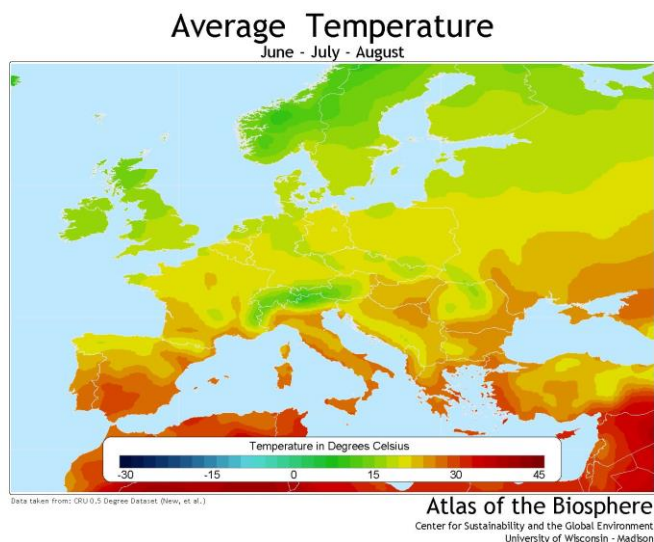


Figure 8 Températures moyennes estivales en Europe²⁹

2.2.5 Evaluation globale du risque

Le risque global de la maladie est jugé modéré avec une incertitude faible. La maladie est déjà présente dans certains pays d'Europe et les probabilités de dissémination et d'impact sont hautes. Le niveau de dégâts (pertes économiques) sera probablement variable selon les zones géographiques/climatiques (plus fort dans zones à été chauds et pluvieux), les techniques culturales (utilisation ou pas de fongicides, irrigation par aspersion, broyage des feuilles mortes) et l'utilisation de variétés plus ou moins sensibles (les deux variétés les plus cultivées, Golden et Gala étant sensibles).

2.2.5.1 Probabilité d'entrée

Le complexe d'espèces provoquant l'Alternariose sur pommier est déjà présent en Europe depuis plusieurs années comme signalé par Rotondo *et al.* (2012) en Italie, et fortement soupçonné pour d'autres pays. A l'heure actuelle nous ne disposons pas de données sur les voies d'introduction du champignon. Il n'existe aucune étude de génétique des populations de l'agent pathogène dans les pays où il est présent, permettant éventuellement de retracer l'origine des souches. Une introduction liée au commerce de produits infectés semble peu probable car la principale source d'inoculum se trouve sur feuilles et les plants feuillés de pommier ne sont pas commercialisés internationalement. L'introduction via les fruits est également peu probable compte tenu de la visibilité des infections, et du fait que ces infections ont une faible probabilité de devenir une source d'inoculum en vergers. En l'état actuel des connaissances, les courants atmosphériques apparaissent comme la voie d'entrée la plus probable d'introduction de souches pathogènes non européennes, mais avec une forte incertitude. En effet, l'introduction de souches d'origine exogène

²⁹ https://nelson.wisc.edu/sage/data-and-models/atlas/maps/avgsumtemp/atl_avgsumtemp_eur.jpg

n'est jamais évoquée dans la littérature pour expliquer les émergences de maladie des taches foliaires du pommier, les facteurs avancés étant plutôt d'ordre agronomique (Filajdic & Sutton 1991, Nishimura et Kohmoto 1983). Une alternative à l'introduction serait une émergence de souches pathogènes au sein de populations d'*Alternaria* résidentes, par des mécanismes génétiques complexes au sein de chromosomes supplémentaires transmissibles par transferts horizontaux entre souches.

2.2.5.2 Probabilité d'établissement

La probabilité d'établissement est jugée élevée, avec une incertitude faible, compte tenu du fait que la maladie est déjà présente en Europe, et qu'elle a réussi à s'établir dans des régions productrices de pommes géographiquement et climatiquement très différentes. L'augmentation des températures et des périodes de pluie pendant l'été, liée au changement climatique, pourrait favoriser l'établissement de l'Alternariose dans des régions plus septentrionales, comme le Nord de l'Europe.

2.2.5.3 Magnitude de dissémination

La magnitude de dissémination est jugée élevée, avec une incertitude faible. La maladie s'est propagée en quelques années dans la région Trentino Alto Adige, dans le nord de l'Italie (Rotondo *et al.*, 2012). Une propagation assez rapide a été également signalée dans le Nord d'Israël (Gur *et al.*, 2017). Les capacités de dissémination naturelle du champignon sont probablement élevées, via les courants aériens, comme le montrent les études sur les *Alternaria alternata* allergènes pour l'homme (Fernández-Rodríguez *et al.*, 2015). L'incertitude est jugée modérée du fait qu'il n'y a pas d'études visant spécifiquement la dissémination à longue distance d'"A. mali".

2.2.5.4 Magnitude d'impact sans mesures phytosanitaires

La magnitude d'impact de l'Alternariose sans mesures phytosanitaires est jugée modérée. La maladie pourrait être à l'origine de pertes économiques compte-tenu du fait que la plupart des variétés plantées en Europe, notamment Golden Delicious et Gala, sont sensibles. La sévérité de la maladie est favorisée par des conditions climatiques favorables (étés chauds et pluvieux) mais sans doute également par certaines pratiques culturales (irrigation par aspersion, absence de broyage des feuilles mortes, traitements fongicides peu utilisés). L'impact en dehors de la filière de production de pommes est jugé faible, que ce soit au niveau environnemental (pas d'hôtes sauvages) ou sanitaire (faible risque allergène et lié aux mycotoxines).

2.3 Étape 3. Gestion du risque phytosanitaire

2.3.1 Mesures phytosanitaires à envisager

2.3.1.1 Prévention contre de nouvelles introductions

En l'état actuel de la réglementation (portant sur les plants), la probabilité d'entrée en Europe de souches d'"A. mali" par importation de matériel contaminé est probablement très faible. Des mesures de prévention supplémentaires s'appliquant aux fruits apparaissent peu justifiées compte tenu du faible risque de cette voie d'entrée. Elles nécessiteraient d'autre part la mise au point d'un test de détection rapide de l'organisme réglementé, pas encore disponible.

2.3.1.2 Surveillance du territoire

La surveillance du territoire dans toute la zone de production de pommes dans l'UE est recommandée. Cette surveillance du territoire devra être associée à des prélèvements d'échantillons et à des analyses moléculaires dans les foyers de maladie pour valider l'identification de l'agent pathogène et réaliser un état des lieux de la répartition et de la fréquence des différentes espèces. Ceci concerne à la fois la détection des nouveaux foyers, mais également l'identification de l'agent pathogène responsable des symptômes similaires à ceux provoqués par l'Alternariose, mais pas encore associés au complexe d'espèces d'*Alternaria* (Autriche, Espagne, Allemagne, etc.), permettant *in fine* la construction d'une carte valide de distribution de la maladie. Cette surveillance devra inclure des données sur la variété de pommier, le type d'exploitation (biologique ou conventionnel) et la gestion des vergers (mesures de prévention ou de lutte contre les maladies), afin de permettre des analyses épidémiologiques.

2.3.1.3 Eradication et/ou confinement des foyers

La mise en place des mesures d'éradication et/ou confinement des foyers de maladie provoquée par "*Alternaria mali*" ne paraît pas pertinente, compte-tenu des moyens de dispersion de l'agent pathogène et de la présence répandue de l'hôte principal dans la zone ARP. Ce type de mesures n'est jamais cité par les pays où la maladie est présente, car n'a pas fait la preuve de son efficacité pour contrôler la maladie.

2.3.1.4 Mesures de gestion

A court terme, des mesures de prophylaxie visant à réduire l'inoculum, notamment l'inoculum initial produit sur débris de feuilles sont une priorité. Le ramassage et le broyage des feuilles, qui sont également préconisés et dans certains cas déjà mis en place pour lutter contre la tavelure, pourraient également être utilisés contre l'Alternariose. Leur efficacité et leur coût devraient être étudiés. D'après la littérature, l'application de fongicides déjà utilisés notamment pour la lutte contre la tavelure devrait suffire pour contrôler l'alternariose. Des expériences menées dans d'autres pays pourraient servir de base pour la réalisation d'études sur l'efficacité des fongicides autorisés à être utilisés dans l'UE. Des études visant la résistance des souches aux fongicides devraient être également conduites. Aucune donnée n'est à ce jour disponible sur la sensibilité des différents taxons du complexe d'*Alternaria* aux principaux produits phytosanitaires utilisés en vergers en Europe. On peut envisager que l'émergence de la maladie puisse être liée à l'apparition récente de souches résistantes aux fongicides. Les spectres de résistance des différents taxons pourraient être différents, ce qui impliquerait de mettre en place des stratégies de protection adaptées selon les taxons identifiés dans les exploitations. Concernant les vergers conduits en

agriculture biologique, l'application de produits autorisés comme le cuivre, le soufre, sous ses formes mouillable ou en poudre, et le bicarbonate de potassium devraient être testée et éventuellement appliquée. Une autre mesure de gestion à prendre en compte est l'irrigation de vergers dans les régions plus sèches, notamment par aspersion. Ce mode d'irrigation pourrait probablement favoriser le développement de l'Alternariose. L'utilisation d'autres méthodes d'irrigation (goutte à goutte par exemple) pourrait être préconisée.

A long terme, l'utilisation des cultivars résistants semble être la seule mesure durable pour éviter des épidémies annuelles d'Alternariose. La construction d'une carte de distribution de la maladie en fonction des cultivars permettrait, dans un premier temps, d'évaluer la sensibilité à l'Alternariose des variétés cultivées dans la zone ARP, mais aussi d'autres hôtes potentiels signalés dans la littérature comme le pommier sauvage et le poirier européen. Dans un deuxième temps, l'expérience acquise dans des pays comme le Japon et la Chine peuvent servir comme référence pour démarrer des programmes visant la sélection de variétés résistantes à la maladie ou l'introduction de cultivars résistants.

A ce stade, la réalisation d'études épidémiologiques qui puissent déterminer plus clairement les facteurs de risque (gestion de vergers, facteurs environnementaux ou autres) favorisant le développement de la maladie dans les zones infectées est une priorité.

2.4 Incertitudes

L'incertitude majeure concerne l'entité pathogène elle-même au sein d'espèces généralement saprophytes, ce qui n'est pas seulement une question théorique mais avec de fortes implications pratiques en termes de réglementation et de détection. La détection au niveau spécifique n'étant pas pertinente, faut-il détecter des gènes, des chromosomes supplémentaires, des protéines? L'origine du pathogène est-elle exogène (introduction d'isolats non européens) et/ou endogène (évolution au sein de populations résidentes)?

Ceci explique en partie un manque d'information actualisée sur l'ampleur réelle des maladies associées à "*Alternaria mali*" dans la zone ARP. Des symptômes évoquant l'Alternariose sur feuilles semblent être observés depuis plusieurs années en Europe, mais peu de signalements de l'organisme réglementé existent. Une étude à l'échelle de l'UE est nécessaire pour déterminer la distribution actuelle de la maladie et évaluer la capacité du champignon à s'installer dans l'ensemble des zones de culture du Pommier, notamment en Pologne, un des principaux pays producteurs de pommes.

Il reste aussi à déterminer la pathogénicité des souches européennes, car l'isolement d'*Alternaria* spp à partir des lésions ne veut pas forcément dire qu'il s'agit de la cause initiale du problème, compte-tenu de la capacité des *Alternaria* à se comporter comme colonisateurs secondaires. Dans le cas de la France, les défoliations plus sévères se sont produites ces deux dernières années, qui correspondent à des années avec des étés caniculaires et secs. A l'heure actuelle nous ne pouvons pas affirmer que la cause primaire des défoliations des pommiers est "*Alternaria mali*" dans les vergers de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

2.5 Remarques

2.5.1 Situation réglementaire de l'organisme

La réglementation phytosanitaire européenne issue de la directive 2000/29/CE, classe comme organisme de quarantaine « *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler (isolats pathogènes non européens) ». Néanmoins, au vu des connaissances actuelles en phylogénie et en taxonomie, la dénomination « *Alternaria alternata* » ne semble pas à jour. Comme expliqué précédemment, l'Alternariose sur pommiers est causée plutôt par un complexe de taxons génétiquement proches au sein de la section *Alternaria*, y compris l'*Alternaria alternata* f sp. *mali* mais également *A. longipes* et *A. arborescens* (et pour certains auteurs *A. tenuissima*). La détermination d'une origine non européenne des souches du complexe d'*Alternaria* est actuellement impossible avec les outils moléculaires existants, et donc non applicable sur un foyer établi de maladie. Tous les taxons associés aux problèmes sanitaires récents des pommiers (Italie, Australie et Israël) sont déjà présents en Europe, et les isolats pathogènes auraient pu émerger par une évolution de la pathogénicité au sein de populations d'*Alternaria* résidentes, leur apparition n'étant pas forcément liée à une introduction de souches non-européennes.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par le comité d'experts spécialisé : 12 septembre 2017

3 Bibliographie

3.1 Publications

- Abe K, Iwanami H, Kotoda N, Moriya S, Takahashi S. 2010.** Evaluation of apple genotypes and Malus species for resistance to Alternaria blotch caused by Alternaria alternata apple pathotype using detached-leaf method. *Plant Breeding* **129**(2): 208-218.
- Akagi Y, Taga M, Yamamoto M, Tsuge T, Fukumasa-Nakai Y, Otani H, Kodama M. 2009.** Chromosome constitution of hybrid strains constructed by protoplast fusion between the tomato and strawberry pathotypes of Alternaria alternata. *Journal of General Plant Pathology* **75**(2): 101.
- Andersen B, Smedsgaard J, Jørring I, Skouboe P, Pedersen LH. 2006.** Real-time PCR quantification of the AM-toxin gene and HPLC qualification of toxigenic metabolites from Alternaria species from apples. *International Journal of Food Microbiology* **111**(2): 105-111.
- Bhat K, Peerzada S, Anwar A. 2015.** Alternaria epidemic of apple in Kashmir. *African Journal of Microbiology Research* **9**(12): 831-837.
- Brown SK, Maloney KE. 2013.** An update on apple cultivars, brands and club-marketing. *New York Fruit Quarterly* **21**(1): 3-10.
- Bulajic A, Filajdic N, Babovic M, Sutton T. 1996.** First report of Alternaria mali on apples in Yugoslavia. *Plant Disease* **80**(6): 709.
- Croll D, McDonald BA. 2012.** The accessory genome as a cradle for adaptive evolution in pathogens. *PLoS Pathog* **8**(4): e1002608.
- Fernández-Rodríguez S, Sadyś M, Smith M, Tormo-Molina R, Skjøth CA, Maya-Manzano JM, Silva-Palacios I, Gonzalo-Garijo Á. 2015.** Potential sources of airborne Alternaria spp. spores in South-west Spain. *Science of The Total Environment* **533**: 165-176.
- Filajdic N. 1995.** The influence of European red mites on intensity of Alternaria blotch of apple and fruit quality and yield. *Plant Disease* v. **79**(no. 7): pp. 683-690-1995 v.1979 no.1997.
- Filajdic N, Sutton T. 1992.** Chemical control of Alternaria blotch of apples caused by Alternaria mali. *Plant Disease (USA)*.
- Filajdic N, Sutton T. 1992.** Influence of temperature and wetness duration on infection of apple leaves and virulence of different isolates of Alternaria mali. *Phytopathology* **82**(11): 1279-1283.
- Filajdic N, Sutton T. 1995.** Overwintering of Alternaria mali, the causal agent of Alternaria blotch of apple. *Plant Disease* **79**(7): 695-698.
- Filajdić N, Sutton T. 1991.** Identification and distribution of Alternaria mali on apples in North Carolina and susceptibility of different varieties of apples to Alternaria blotch. *Plant Disease* **75**(10): 1045-1048.
- Gannibal PB. 2016.** Distribution of Alternaria species among sections. 2. Section Alternaria. *Mycotaxon* **130**(4): 941-949.
- Gur L, Reuveni M, Cohen Y. 2016.** Occurrence and etiology of Alternaria leaf blotch and fruit spot of apple caused by Alternaria alternata f. sp. mali on cv. Pink lady in Israel. *European Journal of Plant Pathology*: 1-14.

- Gur L, Reuveni M, Cohen Y. 2017.** Occurrence and etiology of Alternaria leaf blotch and fruit spot of apple caused by Alternaria alternata f. sp. mali on cv. Pink lady in Israel. *European Journal of Plant Pathology* **147**(3): 695-708.
- Hahm S-S, Kwon M-K, Kim B-R, Han K-S, Nam Y-G. 2016.** Alternaria leaf spot caused by Alternaria mali on black chokeberry in Korea. *Research in Plant Disease* **22**(1): 50-54.
- Harimoto Y, Hatta R, Kodama M, Yamamoto M, Otani H, Tsuge T. 2007.** Expression Profiles of Genes Encoded by the Supernumerary Chromosome Controlling AM-Toxin Biosynthesis and Pathogenicity in the Apple Pathotype of Alternaria alternata. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **20**(12): 1463-1476.
- Harimoto Y, Tanaka T, Kodama M, Yamamoto M, Otani H, Tsuge T. 2008.** Multiple copies of AMT2 are prerequisite for the apple pathotype of Alternaria alternata to produce enough AM-toxin for expressing pathogenicity. *Journal of General Plant Pathology* **74**(3): 222-229.
- Harteveld D, Akinsanmi OA, Becker MF, Drenth A. 2014a.** Comparative fitness of Alternaria species causing leaf blotch and fruit spot of apple in Australia. *Australasian Plant Pathology* **43**(5): 495-501.
- Harteveld D, Akinsanmi OA, Chandra K, Drenth A. 2013a.** Timing of Infection and Development of Alternaria Diseases in the Canopy of Apple Trees. *Plant Disease* **98**(3): 401-408.
- Harteveld D, Akinsanmi OA, Drenth A. 2013b.** Multiple Alternaria species groups are associated with leaf blotch and fruit spot diseases of apple in Australia. *Plant Pathology* **62**(2): 289-297.
- Harteveld D, Akinsanmi OA, Drenth A. 2014b.** Pathogenic variation of Alternaria species associated with leaf blotch and fruit spot of apple in Australia. *European Journal of Plant Pathology* **139**(4): 789-799.
- Harteveld D, Akinsanmi OA, Dullahide S, Drenth A. 2014c.** Sources and seasonal dynamics of Alternaria inoculum associated with leaf blotch and fruit spot of apples. *Crop Protection* **59**: 35-42.
- Horlock CM. 2006.** *Management of Alternaria leaf and fruit spot in apples*: Horticulture Australia.
- Hwang BK, Yun JH, Kim ZS. 1987.** Geographic variation of esterase isozymes in populations of Alternaria mali on apple leaves. *Journal of Phytopathology* **119**(3): 225-231.
- Igarashi M, Hatsuyama Y, Harada T, Fukasawa-Akada T. 2016.** Biotechnology and apple breeding in Japan. *Breeding Science* **66**(1): 18-33.
- Johnson L, Johnson RD, Akamatsu H, Salamiah A, Otani H, Kohmoto K, Kodama M. 2001.** Spontaneous loss of a conditionally dispensable chromosome from the Alternaria alternata apple pathotype leads to loss of toxin production and pathogenicity. *Current Genetics* **40**(1): 65-72.
- Johnson R, Johnson L, Itoh Y, Kodama M, Otani H, Kohmoto K. 2000a.** Cloning and characterization of a cyclic peptide synthetase gene from Alternaria alternata apple pathotype whose product is involved in AM-toxin synthesis and pathogenicity. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **13**(7): 742-753.
- Johnson R, Johnson L, Kohmoto K, Otani H, Lane CR, Kodama M. 2000b.** A Polymerase Chain Reaction-Based Method to Specifically Detect Alternaria alternata Apple Pathotype (A. mali), the Causal Agent of Alternaria Blotch of Apple. *Phytopathology* **90**(9): 973-976.
- Kim C-H, Cho W-D, Kim S-C. 1986.** An empirical model for forecasting alternaria leaf spot in apple. *Korean journal of applied entomology* **25**(4): 221-228.

- Kohmoto K, Khan I, Renbutsu Y, Taniguchi T, Nishimura S. 1976.** Multiple host-specific toxins of *Alternaria mali* and their effect on the permeability of host cells. *Physiological Plant Pathology* **8**(2): 141-153.
- Kulling SE, Rawel HM. 2008.** Chokeberry (*Aronia melanocarpa*)—A review on the characteristic components and potential health effects. *Planta medica* **74**(13): 1625-1634.
- Kusaba M, Tsuge T. 1995.** Phology of *Alternaria* fungi known to produce host-specific toxins on the basis of variation in internal transcribed spacers of ribosomal DNA. *Current Genetics* **28**(5): 491-498.
- Kustrzeba-Wójcicka I, Siwak E, Terlecki G, Wolańczyk-Mędrała A, Mędrała W. 2014.** *Alternaria alternata* and Its Allergens: a Comprehensive Review. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology* **47**(3): 354-365.
- Lawrence DP, Gannibal PB, Peever TL, Pryor BM. 2013.** The sections of *Alternaria*: formalizing species-group concepts. *Mycologia* **105**(3): 530-546.
- Lawrence DP, Rotondo F, Gannibal PB. 2015.** Biodiversity and taxonomy of the pleomorphic genus *Alternaria*. *Mycological Progress* **15**(1): 1-22.
- Lee C-U, Kim K-H. 1986.** Cross-tolerance of *Alternaria mali* to various fungicides. *The Korean Journal of Mycology* **14**(1): 71-78.
- Li Y, Hirst PM, Wan Y, Liu Y, Zhou Q, Gao H, Guo Y, Zhao Z, Wang L, Han M. 2012.** Resistance to *Marssonina coronaria* and *Alternaria alternata* apple pathotype in the major apple cultivars and rootstocks used in China. *HortScience* **47**(9): 1241-1244.
- Lou J, Fu L, Peng Y, Zhou L. 2013.** Metabolites from *Alternaria* fungi and their bioactivities. *Molecules* **18**(5): 5891-5935.
- Masunaka A, Ohtani K, Peever TL, Timmer LW, Tsuge T, Yamamoto M, Yamamoto H, Akimitsu K. 2005.** An Isolate of *Alternaria alternata* That Is Pathogenic to Both Tangerines and Rough Lemon and Produces Two Host-Selective Toxins, ACT- and ACR-Toxins. *Phytopathology* **95**(3): 241-247.
- Mehrabi R, Bahkali AH, Abd-Elsalam KA, Moslem M, Ben M'Barek S, Gohari AM, Jashni MK, Stergiopoulos I, Kema GH, de Wit PJ. 2011.** Horizontal gene and chromosome transfer in plant pathogenic fungi affecting host range. *FEMS Microbiology Reviews* **35**(3): 542-554.
- Meng J-W, Zhu W, He M-H, Wu E-J, Duan G-H, Xie Y-K, Jin Y-J, Yang L-N, Shang L-P, Zhan J. 2015.** Population genetic analysis reveals cryptic sex in the phytopathogenic fungus *Alternaria alternata*. *Scientific Reports* **5**: 18250.
- Niem J, Miyara I, Ettedgui Y, Reuveni M, Flaishman M, Prusky D. 2007.** Core rot development in red delicious apples is affected by susceptibility of the seed locule to *Alternaria alternata* colonization. *Phytopathology* **97**(11): 1415-1421.
- Nishimura S, Kohmoto K. 1983.** Host-Specific Toxins and Chemical Structures from *Alternaria* Species. *Annual Review of Phytopathology* **21**(1): 87-116.
- Ostry V. 2008.** *Alternaria* mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. *World Mycotoxin J* **1**(2): 175-188.
- Ozkilinc H, Rotondo F, Pryor BM, Peever TL. 2017.** Contrasting species boundaries between sections *Alternaria* and *Porri* of the genus *Alternaria*. *Plant Pathology*: n/a-n/a.
- Rakhimova E, Byzova Z, Valiyeva B, Dernovskaya L. 2005.** Diversity of microfungi in fruit forests of Ili-Alatau National Park (Kazakhstan). *Phytopath. Polonica* **35**: 203-213.

- Rang J-C, Crous PW, McHau GRA, Serdani M, Song S-M. 2002.** Phylogenetic analysis of *Alternaria* spp. associated with apple core rot and citrus black rot in South Africa. *Mycol Res* **106**(10): 1151-1162.
- Roberts JW. 1914.** Experiments with apple leaf-spot fungi. *J. Agr. Res* **2**: 57-66.
- Roberts JW. 1924.** Morphological characters of *Alternaria mali* Roberts. *Journal of Agricultural Research* **27**: 699-708.
- Rotem J. 1994.** *The genus Alternaria: biology, epidemiology, and pathogenicity*: American Phytopathological Society.
- Rotondo F, Collina M, Brunelli A, Pryor BM. 2012.** Comparison of *Alternaria* spp. collected in Italy from apple with *A. mali* and other AM-toxin producing strains. *Phytopathology* **102**(12): 1130-1142.
- Simmons EG. 2007.** *Alternaria: an identification manual: fully illustrated and with catalogue raisonné 1796-2007*: Am Soc Microbiol.
- Soleimani MJ, Esmailzadeh M. 2007.** First report of *Alternaria mali* causing apple leaf blotch disease in Iran. *Australasian Plant Disease Notes* **2**(1): 57-58.
- Stewart JE, Thomas KA, Lawrence CB, Dang H, Pryor BM, Timmer L, Peever TL. 2013.** Signatures of recombination in clonal lineages of the citrus brown spot pathogen, *Alternaria alternata* sensu lato. *Phytopathology* **103**(7): 741-749.
- Tanahashi M, Nakano T, Akamatsu H, Kodama M, Otani H, Osaki-Oka K. 2016.** *Alternaria alternata* apple pathotype (*A. mali*) causes black spot of European pear. *European Journal of Plant Pathology* **145**(4): 787-795.
- Thomma BPHJ. 2003.** *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite. *Molecular Plant Pathology* **4**(4): 225-236.
- Tsuge T, Harimoto Y, Akimitsu K, Ohtani K, Kodama M, Akagi Y, Egusa M, Yamamoto M, Otani H. 2013.** Host-selective toxins produced by the plant pathogenic fungus *Alternaria alternata*. *FEMS Microbiology Reviews* **37**(1): 44-66.
- Tsuge T, Harimoto Y, Hanada K, Akagi Y, Kodama M, Akimitsu K, Yamamoto M. 2016.** Evolution of pathogenicity controlled by small, dispensable chromosomes in *Alternaria alternata* pathogens. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **95**: 27-31.
- van der Does HC, Rep M. 2007.** Virulence Genes and the Evolution of Host Specificity in Plant-Pathogenic Fungi. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **20**(10): 1175-1182.
- Vlaardingerbroek I, Beerens B, Rose L, Fokkens L, Cornelissen BJ, Rep M. 2016.** Exchange of core chromosomes and horizontal transfer of lineage-specific chromosomes in *Fusarium oxysporum*. *Environmental Microbiology* **18**(11): 3702-3713.
- Volk GM, Chao CT, Norelli J, Brown SK, Fazio G, Peace C, McFerson J, Zhong G-Y, Bretting P. 2015.** The vulnerability of US apple (*Malus*) genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution* **62**(5): 765-794.
- Woudenberg J, Seidl M, Groenewald J, de Vries M, Stielow J, Thomma B, Crous P. 2015a.** *Alternaria* section *Alternaria*: Species, formae speciales or pathotypes? *Studies in Mycology* **82**: 1-21.
- Woudenberg J, Van Der Merwe N, Jurjević Ž, Groenewald J, Crous P. 2015b.** Diversity and movement of indoor *Alternaria alternata* across the mainland USA. *Fungal Genetics and Biology* **81**: 62-72.

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).

ANNEXES

Annexe 1 :

Annexe 1. Illustrations pertinentes (pour information)



Figure 9 Symptômes de l'Alternariose sur feuilles de la variété Gala en Australie

Source : Horlock et al. 2006

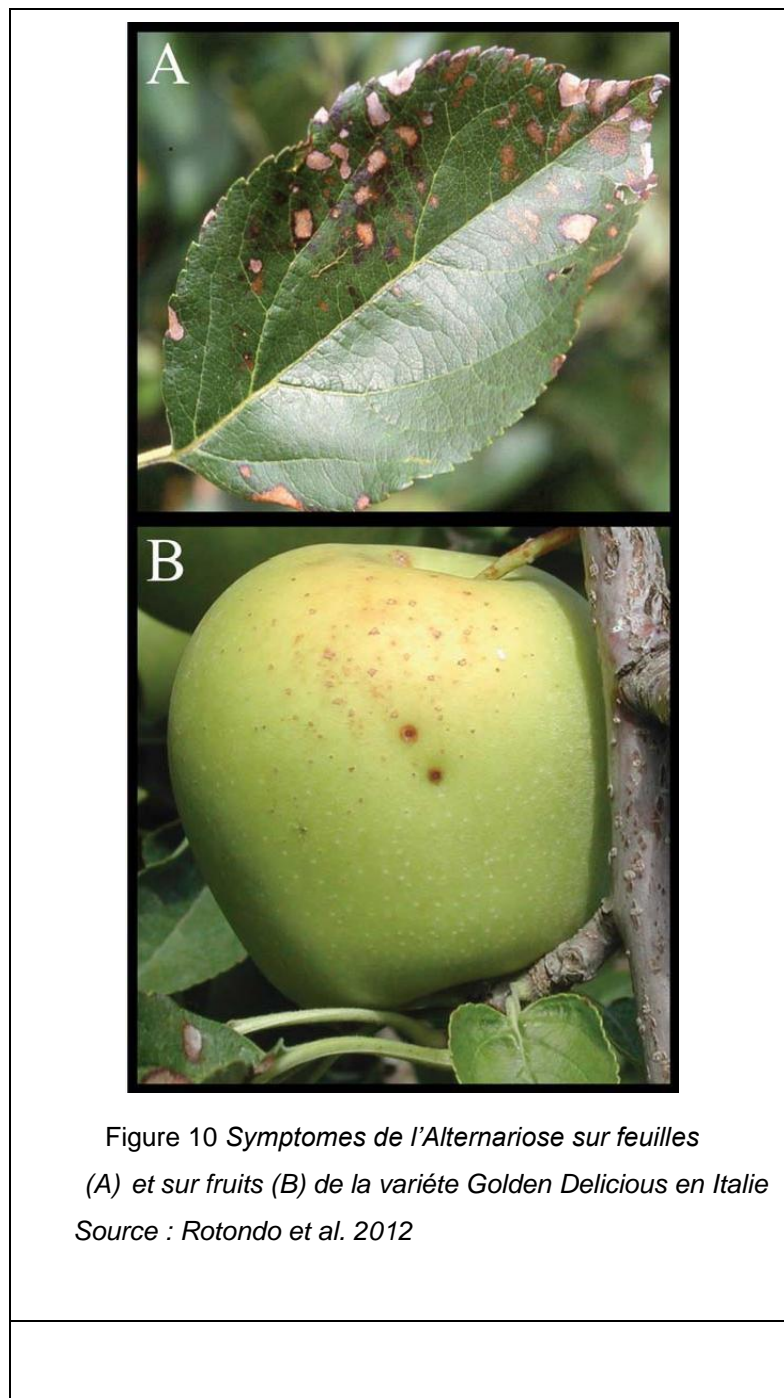


Figure 10 Symptomes de l'Alternariose sur feuilles (A) et sur fruits (B) de la variété Golden Delicious en Italie
Source : Rotondo et al. 2012





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)