

Voir les discussions, les statistiques et les profils des auteurs de cette publication à l'adresse suivante : <https://www.researchgate.net/publication/348760358>

La pourriture de l'extrémité des fleurs du pommier due à *Neonectria ditissima* est initiée par des infections à la pleine floraison et au début de la chute des pétales.

Article dans New Zealand Plant Protection - Janvier 2021

DOI: 10.30843/nzpp.2021.74.11727

CITATIONS

0

LIRE

5

2 auteurs, dont :



Hinrich Hermann Ferdinand Holthusen

Université d'Aarhus

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

VOIR LE
PROFIL

Certains des auteurs de cette publication travaillent également sur ces projets connexes :



Projet de doctorat [Voir le projet](#)

Tout le contenu de cette page a été téléchargé par [Hinrich Hermann Ferdinand Holthusen](#) le 08 février 2021.

L'utilisateur a demandé l'amélioration du fichier téléchargé.

INTERNATIONAL WORKSHOP ON EUROPEAN CANCKER



La pourriture de l'extrémité des fleurs du pommier due à *Neonectria ditissima* est initiée par des infections à la pleine floraison et au début de la chute des pétales†

Hinrich H.F. Holthusen^{1,2} et Roland W.S. Weber^{1,2,*}

¹Centre de recherche et de conseil sur les fruits d'Estebourg, Moorende 53, 21635 Jork, Allemagne
²Département des sciences alimentaires, Université d'Aarhus, Agro Food Park 48, 8200 Aarhus, Danemark

* Auteur correspondant : roland.weber@lwk-niedersachsen.de

(Soumission originale reçue le 10 novembre 2020 ; acceptée sous forme révisée le 15 janvier 2021)

Résumé *Neonectria ditissima* est une cause majeure de la pourriture de l'extrémité de la fleur (pourriture de l'œil, pourriture de l'extrémité du calice) en tant que pourriture du fruit avant la récolte du pommier dans le nord-ouest de l'Europe. L'inoculation artificielle d'arbres a été entreprise à intervalles rapprochés dans des conditions naturelles pendant la floraison afin d'obtenir une définition plus précise du stade phénologique le plus sensible du pommier pour les infections de pourriture de l'extrémité de la fleur par *N. ditissima*. Des essais similaires ont été menés pour un autre champignon de pourriture de l'extrémité de la fleur, *Botrytis pseudocinerea*. Les résultats pour *N. ditissima* ont montré que la pleine floraison était le stade le plus sensible pour l'infection du cultivar 'Pinova', alors que pour le cultivar 'Nicoter' les taux d'infection les plus élevés ont été obtenus de la pleine floraison à la chute des pétales, ce qui reflète les différences temporelles dans le développement des fleurs entre le bois d'un an et le bois plus ancien. Peu d'infections ont été observées par inoculation au début de la floraison ou environ une semaine après la chute des pétales, lorsqu'il ne restait plus de pétales sur les fleurs et que les nœuds des fruits s'élargissaient. Cette découverte raccourcit la durée des infections par rapport aux connaissances antérieures. Les inoculations florales avec des conidies de *B. pseudocinerea* ont échoué. Les options de lutte contre la pourriture de l'extrémité des fleurs dans le cadre de la gestion intégrée des ravageurs comprennent la pulvérisation de fongicides contre la tavelure ou l'oïdium au moment de la pleine floraison, et la taille des chancres juste avant la floraison dans les vergers fortement touchés par *N. ditissima*.

Mots clés pomme, *Botrytis pseudocinerea*, calice, chancre, pourriture de l'œil, *Neonectria ditissima*, pourriture de l'extrémité de la fleur.

INTRODUCTION

Neonectria ditissima (syn. *N. galligena*) est à l'origine du chancre européen, qui figure parmi les trois maladies fongiques les plus importantes des pommiers dans des conditions douces et humides telles que celles créées par le climat actuel du nord-ouest de l'Europe (Weber 2014 ; Saville & Olivieri 2019) et de la Nouvelle-Zélande (Amponsah et al. 2017). En plus d'attaquer l'écorce et le bois des arbres, *N. ditissima* peut également provoquer deux types différents de pourriture des fruits. Infections précoces

donnent principalement lieu à une pourriture pré-récolte émergeant à l'extrémité de la fleur (calice) du fruit, tandis que les infections plus tardives deviennent quiescentes, l'apparition d'une pourriture visible étant retardée jusqu'au début de la maturation du fruit dans le stockage à long terme (Xu & Robinson 2010 ; Weber 2014).

La pourriture de la fleur (également appelée pourriture du calice ou pourriture de l'œil) est la première pourriture du fruit du pommier à se manifester au cours de la saison. Dans le nord de l'Allemagne, les premiers signes de la maladie apparaissent entre la fin juin et la mi-juillet, après la fin du cycle cellulaire.

† Basé sur une présentation donnée lors du quatrième atelier international sur le chancre européen des arbres fruitiers et les vergers résilients, du 2 au 6 novembre 2020 via un forum en ligne utilisant Zoom.

©2021 New Zealand Plant Protection Society (Inc.)

www.nzpps.org Refer to http://www.nzpps.org/terms_of_use.html

la phase de division, lorsque les fruits ont dépassé la taille d'une noix. Dans les vergers commerciaux du nord-ouest de l'Europe, cette maladie est sporadique, affectant généralement <1% des fruits, bien que certaines années ou certains cultivars, les dégâts peuvent atteindre 5% ou plus (Kennel 1992 ; Xu & Robinson 2010). Parmi plusieurs champignons pouvant être associés aux symptômes de pourriture de l'extrémité des fleurs, les plus importants dans le nord de l'Allemagne sont *N. ditissima* et *Botrytis pseudocinerea* (Weber & Dralle 2013 ; Weber et al. 2018). Bien qu'ils puissent être clairement distingués les uns des autres par leurs symptômes (Weber & Dralle 2013), on sait peu de choses sur leur biologie d'infection. Dans le cas de *N. ditissima*, il existe une corrélation visuelle évidente entre l'incidence de la pourriture de l'extrémité de la fleur et l'abondance des lésions de chancre sur les arbres individuels, ce qui suggère que les conidies dispersées par les éclaboussures de pluie plutôt que les ascospores transportées par le vent servent d'inoculum principal (Weber & Dralle 2013).

Il existe peu d'informations publiées sur le moment où les infections conduisant à la pourriture de l'extrémité de la fleur sont initiées. Xu & Robinson (2010) ont montré par inoculation artificielle que la sensibilité aux infections par *N. ditissima* était élevée à la floraison et trois semaines plus tard. Les producteurs et leurs conseillers supposent généralement que la période critique d'infection se situe vers la fin de la floraison (Kennel 1992). En raison du développement phénologique rapide pendant la période de floraison, les applications de fongicides doivent être effectuées au bon moment. C'est pourquoi nous avons mené des essais d'inoculation artificielle d'arbres à intervalles rapprochés en conditions naturelles pendant la floraison afin d'obtenir une définition plus précise du stade phénologique le plus sensible du pommier pour les infections par la pourriture de l'extrémité de la fleur de *N. ditissima*. Des essais similaires ont été menés pour *B. pseudocinerea*.

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Détails du verger

Des vergers appartenant au Centre de recherche et de conseil sur les fruits d'Esteburg (53,51°N, 9,75°E) ont été utilisés pour tous les essais d'inoculation. Le centre d'Esteburg est situé dans la région nord-allemande "Altes Land" au sud-ouest de Hambourg, qui est l'une des plus grandes zones de production cohérente de fruits à pépins en Europe. Des essais ont été menés avec le cultivar 'Pinova' (commercialisé sous le nom d'^{Evelina}) en 2013, et avec le cultivar 'Nicoter' (commercialisé sous le nom de ^{Kanzi}) en 2014 et 2015. Les arbres ont été greffés sur le porte-greffe M9 et ont été cultivés sous forme de fuseaux élançés. Ils étaient âgés de 2 à 6 ans au moment de ces essais.

Préparation de l'inoculum de *N. ditissima*

Un isolat de *N. ditissima* obtenu à l'automne 2012 à partir d'une lésion de chancre dans les vergers d'Esteburg a été utilisé pour l'inoculation au cours de la saison 2013. Un isolat de pourriture de l'extrémité des fleurs obtenu lors de ce premier essai (accession OVB 13-062, collection de cultures d'Esteburg) a été utilisé pour les expériences suivantes. Cet isolat a été conservé sous forme de préparations de conidies lyophilisées sous vide (Smith &

Onions 1983), qui ont été réactivées sur des plaques de gélose potato-dextrose (PDA ; Carl Roth, Karlsruhe, Allemagne) au début du printemps pour la production de conidies fraîches avant l'inoculation. Les plaques de PDA ont été incubées pendant 3 semaines à température ambiante (18-20°C) sur une paillasse de laboratoire, à la lumière du jour et sans exposition directe au soleil. En outre, les plaques ont été exposées à une lumière proche de l'UV ($\lambda_{max} =$

365 nm) pendant 10 minutes chaque jour. Dans ces conditions, les macroconidies courtes (à trois cellules) étaient le type de spore prédominant. Les conidies ont été récoltées dans de l'eau distillée stérile en grattant la surface de la colonie avec une lame de verre stérile et en filtrant la suspension avec de la laine de coton. Environ 5×10^7 conidies ont été obtenues à partir de chaque plaque PDA dans ces conditions. La suspension conidienne a été préparée le jour de l'inoculation et conservée pendant 6 heures au maximum à 2°C dans une chambre froide. Aucune germination n'a eu lieu dans ces conditions de stockage. Après inoculation, 100 µL de la suspension conidienne non utilisée ont étéensemencés sur PDA et incubés pendant 24 h à température ambiante afin de déterminer le taux de germination. Dans tous les cas, >90% des macroconidies étaient viables.

Inoculation et évaluation

Des inoculations artificielles de *N. ditissima* ont été réalisées

à quatre moments différents associés à la floraison, c'est-à-dire 10 % des fleurs ouvertes ; pleine floraison ; chute des pétales ; et fin de la chute des pétales avec les nœuds des fruits qui commencent à s'élargir. Ces stades correspondent respectivement aux échelles BBCH 61, 65, 67 et 69, telles que définies par les agences agricoles et les entreprises industrielles allemandes (Fig. 1 ; Meier 2018). À chaque date d'inoculation, des arbres caractérisés par un degré élevé et uniforme de production de bourgeons floraux ont été choisis au hasard sur la longueur de deux rangées d'arbres (environ 200 m). Les arbres inoculés ont été séparés les uns des autres par au moins un arbre tampon non traité. En 2013, à chaque moment, 10 arbres différents ont été inoculés avec une suspension de 5×10^4 spores mL^{-1} tandis qu'en 2014 et 2015, à chaque moment, quatre arbres différents ont été inoculés avec 1×10^5 spores mL^{-1} . Le même verger "Nicoter" a été utilisé en 2014 et 2015, mais le choix des arbres en 2015 était indépendant de leur utilisation ou non-utilisation antérieure.

Toutes les grappes de fleurs de chaque arbre ont été inoculées par pulvérisation jusqu'à ce que la surface soit mouillée avec 330 ml de suspension de spores, à l'aide d'un pistolet de pulvérisation manuel à pression d'air. Au cours de chaque saison, un total de dix ou quatre arbres non inoculés (respectivement) ont été conservés comme témoins. Ils ont été pulvérisés avec 330 ml d'eau à chacune des quatre dates d'inoculation. Afin d'assurer une humidité d'au moins 6 heures pour une infection réussie des jeunes fruits (Xu & Robinson 2010), les inoculations ont été effectuées le soir (de 18 à 21 heures). En l'absence d'humidité naturelle, les arbres ont été aspergés à plusieurs reprises avec 500 ml d'eau par arbre pour maintenir une humidité de surface continue jusqu'à ce que l'augmentation de l'humidité de l'air au crépuscule empêche la poursuite du dessèchement. A toutes les dates d'inoculation, la température de l'air était comprise entre 11 et 17°C et donc dans la plage de température optimale pour les infections par *N. ditissima* (Latorre et al. 2002 ; Beresford & Kim 2011).

Les arbres choisis pour ces essais étaient exempts de tout chancre visible au moment de l'inoculation. Ils n'ont pas été traités avec des fongicides pendant toute la période d'inoculation et n'ont été soumis à aucune forme d'éclaircissage des fruits pendant toute la saison. Les fruits atteints de pourriture de l'extrémité de la fleur ont été retirés des arbres et comptés dès que les symptômes de

N. ditissima étaient sans équivoque (Weber & Dralle 2013). Les fruits tombés ont également été notés pour la pourriture de l'extrémité de la fleur et comptés. Tous les arbres ont été soumis à une récolte totale le 18 octobre 2013, le 26 septembre 2014 ou le 12 octobre 2015, et tous les fruits récoltés ont été examinés et comptés pour la pourriture de l'extrémité de la fleur. Tous les fruits exempts de signes visibles d'infection ont été placés en



Figure 1. Stades phénologiques du pommier cv. 'Nicoter' auxquels les inoculations avec *Neonectria ditissima* ont été effectuées au printemps 2014.

(A) Environ 10% des fleurs sont ouvertes, BBCH 61. (B) Pleine floraison, BBCH 65. (C) Chute des pétales, BBCH 67 ; notez le développement hétérogène.

dans ce cultivar. (D) Fin de la chute des pétales, BBCH 69. Les nœuds des fruits mesuraient environ 5 mm de diam.

Les fruits ont été stockés au froid (2°C) à l'atmosphère ambiante et évalués à nouveau après 3, 6 et 8 mois pour la pourriture de l'extrémité de la fleur et la pourriture de stockage due à *N. ditissima*, cette dernière étant identifiée sur la base de la formation de macroconidiums en combinaison avec une séparation facile des tissus malades des tissus sains (Weber 2014). Les données ont été compilées pour chaque arbre sous la forme de la somme des fruits présentant une pourriture de l'extrémité de la fleur ou une pourriture de conservation due à *N. ditissima*, et du nombre total de fruits.

Détails des conditions d'inoculation

En 2013, la phénologie des pommiers a été retardée à la suite d'une fin d'hiver rigoureuse. Comme il n'y a pas eu de précipitations naturelles à la première (14 mai ; BBCH 61) et à la deuxième (17 mai ; BBCH 65) date d'inoculation, les arbres ont été soigneusement mouillés avant l'inoculation et aspergés à plusieurs reprises après l'inoculation, afin d'assurer une humidification continue des feuilles pendant au moins 6 heures après l'inoculation. A la troisième date (21 mai ; BBCH 67), les arbres ont été inoculés peu après l'apparition de 47 mm de précipitations faibles à modérées (0,7- 2,3 mm h⁻¹) pendant les 5 premières heures et qui ont permis une humidification continue des feuilles pendant 20 h. A la quatrième date (24 mai ; BBCH 67-69), 15 mm de précipitations avaient cessé 1 h avant l'inoculation, ce qui a conduit à une humidification continue des feuilles pendant 20 h.

>6 h d'humidité naturelle continue par la suite.

En 2014, nous avons connu le début le plus précoce du développement des pommiers depuis le début des enregistrements régionaux dans les années 1930 (Klopp & Klein 2014), et les périodes d'ouverture des fleurs étaient un mois plus tôt qu'en 2013. Les cultivars 'Pinova' et 'Nicoter' étaient très similaires dans leur développement phénologique,

différant l'une de l'autre d'un maximum de 2 jours pendant la période de floraison. Aucune pluie naturelle n'est tombée le jour de la première inoculation (16 avril ; BBCH 61), le jour de la troisième inoculation (26 avril ; BBCH 67) ou le jour de la quatrième inoculation (30 avril ; BBCH 69), de sorte que les inoculations effectuées à partir de 18 heures ont été précédées d'une humidification complète des arbres et suivies d'une brumisation répétée des arbres avec de l'eau afin de garantir l'humidification de la surface pendant au moins 6 heures après l'inoculation. La deuxième inoculation (22 avril ; BBCH 65) a eu lieu après la fin d'une pluie et a été suivie de 20 heures d'humidification naturelle continue de la surface sans autre précipitation.

En 2015, la première inoculation (4 mai ; BBCH 61) a été suivie de 12 heures d'humidité naturelle des feuilles due à la formation de rosée. La deuxième inoculation (5 mai ; BBCH 65) a eu lieu après de fortes pluies, ce qui a entraîné environ 12 heures d'humidité naturelle des feuilles. Le troisième jour (8 mai ; BBCH 67) et le quatrième jour (15 mai ; BBCH 69), l'inoculation à 20 heures a été suivie d'une humidification répétée des arbres afin d'assurer respectivement 6 heures et 13 heures d'humidification continue de la surface.

Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel R, version 4.0.2 (R Core Team 2020). La fréquence de l'infection a été calculée pour chaque année à l'aide de modèles de régression logistique. Dans un premier temps, des matrices de contraste ont été générées afin de comparer les moyennes des dates d'inoculation avec la moyenne du contrôle non inoculé. La comparaison a été suivie d'une

analyse post-hoc (contrastes de Dunnett) à l'aide du package 'multcomp' (Hothorn et al. 2008). Dans un deuxième temps, des matrices de contraste ont été générées pour la comparaison multiple des moyennes des dates d'inoculation, suivie d'une analyse post-hoc (contrastes de Tukey, $P < 0,05$) à l'aide du package 'multcomp'.

Essais avec *Botrytis pseudocinerea*

En 2013 et 2014, des inoculations avec un isolat de *Botrytis pseudocinerea* obtenu à partir d'une lésion de pourriture de l'extrémité de la fleur (OVB12-077) ont été effectuées aux mêmes dates et cultivars, en utilisant la même méthodologie et avec des concentrations de conidium identiques à celles décrites ci-dessus pour *N. ditissima*. Comme pour *N. ditissima*, le taux de germination des macroconidies sur PDA était égal ou supérieur à 90% à chaque point dans le temps. Les fruits ont été récoltés, classés et stockés de la même manière et aux mêmes dates que celles décrites pour *N. ditissima*.

RÉSULTATS

Essai 2013 - cv. 'Pinova'

L'incidence de loin la plus élevée de la pourriture de l'extrémité de la fleur due à *N. ditissima* a résulté de la deuxième date d'inoculation, c'est-à-dire de la pleine floraison le 17 mai, lorsque 8 % d'infection des fruits ont été enregistrés (Fig. 2). Les inoculations au début de la floraison (14 mai) et à la chute des pétales (21 mai) ont également conduit à des niveaux d'infection significativement élevés par rapport au témoin non inoculé. En revanche, aucune infection dépassant le niveau basal du témoin non inoculé n'a été enregistrée dans les arbres inoculés à la fin de la chute des pétales (24 mai). Les inoculations avec *B. pseudocinerea* n'ont pas produit de symptômes de pourriture de la fleur à aucune des quatre dates (données non montrées).

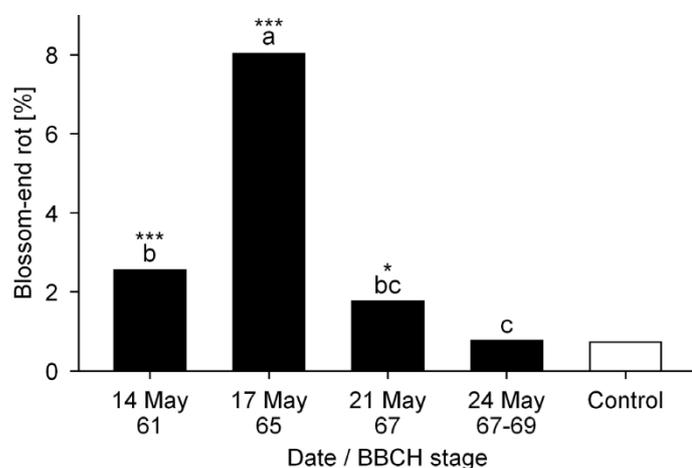


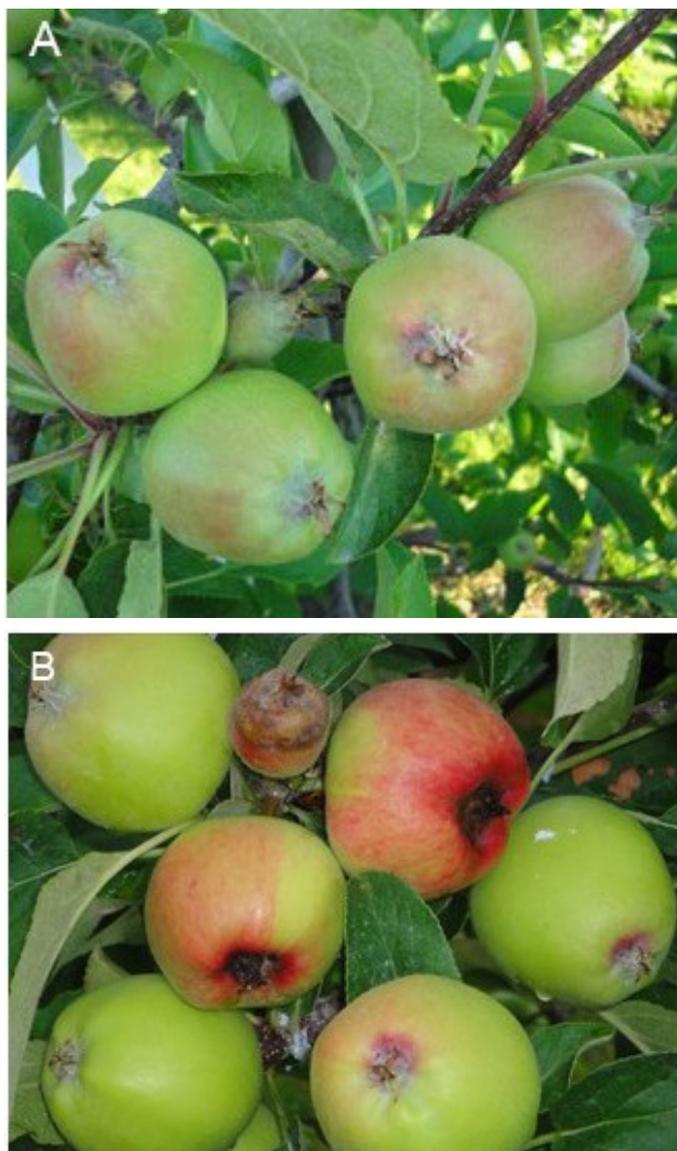
Figure 2 Proportion de fruits atteints de pourriture apicale sur le cv. 'Pinova' en 2013 après inoculation artificielle avec *Neonectria ditissima* aux dates indiquées, en comparaison avec un témoin non inoculé. Chaque colonne montre la moyenne du total des fruits de 10 arbres (1134-1671 fruits par variante). Les astérisques indiquent des niveaux d'infection significativement élevés par rapport au témoin

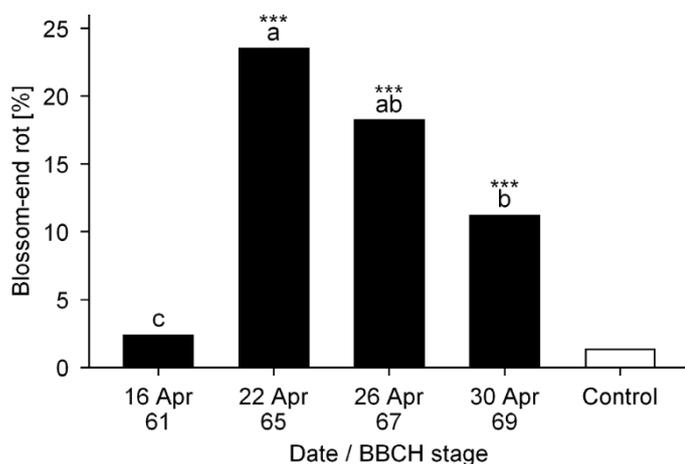
non inoculé selon les contrastes de Dunnett (* $P < 0,05$, *** $P < 0,001$). Des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les dates d'inoculation selon les contrastes de Tukey ($P < 0,05$).

Essai 2014 - cv. 'Nicoter'

En comparaison avec l'essai de 2013 utilisant le cv. 'Pinova', des fréquences massivement accrues d'infections de pourriture de l'extrémité de la fleur causées par *N. ditissima* se sont produites avec le cv. 'Nicoter' en 2014 après l'application d'une suspension de 1×10^5 conidies mL^{-1} . Les infections sont devenues visibles sous forme de décolorations rougeâtres le 17 juin (Fig. 3A), et des symptômes sévères de pourriture brune des fruits ont été observés le 6 juillet (Fig. 3B). Comme en 2013, l'incidence la plus élevée de la maladie a été obtenue à la deuxième date d'inoculation, c'est-à-dire à la pleine floraison le 22 avril. Cependant, les stades ultérieurs de la chute des pétales (26 avril) et la fin de la chute des pétales (30 avril) ont également permis des taux d'infection significativement élevés sur le cv. 'Nicoter' (Fig. 4), alors que la troisième date (26 avril) ne différait pas significativement de la deuxième date (22 avril). Dans ce contexte, nous avons noté un développement floral hétérogène dans le cv. 'Nicoter' (Fig. 1C), qui s'est traduit par une chute avancée des pétales le 26 avril sur le cv.

Figure 3 Pourriture de l'extrémité de la fleur sur le pommier cv. 'Nicoter' suite à une inoculation artificielle avec *Neonectria ditissima* le 22 avril 2014. (A) Symptômes naissants le 17 juin 2014. (B) Symptômes sévères avec tissus nécrosés le 6 juillet 2014.





d'inoculation au BBCH 69 n'était pas statistiquement différente de la date avec l'incidence la plus élevée (Tukey Contrast $P=0,22$). Comme en 2014, des taux d'infection élevés de >10% des fruits ont résulté d'infections artificielles à n'importe quel stade lorsqu'une proportion substantielle de fleurs avait été en pleine floraison, et de

Figure 4 Proportion de pourriture de l'extrémité des fleurs sur le cv. 'Nicoter' 2014 après inoculation artificielle avec *Neonectria ditissima* aux dates indiquées, en comparaison avec un contrôle non inoculé. Chaque colonne montre la moyenne des fruits totaux de 4 arbres (530-976 fruits par variante). Les astérisques indiquent des niveaux d'infection significativement élevés par rapport au témoin non inoculé selon les contrastes de Dunnett (***) $P<0,001$). Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les dates d'inoculation selon les contrastes de Tukey ($P<0,05$).

Les fleurs produites par les pousses fruitières plus âgées (BBCH 67-69), alors que les fleurs sur le bois de la saison précédente étaient encore en pleine floraison (BBCH 65). Le 30 avril, tous les pétales étaient tombés des fleurs des jeunes pousses et des pousses plus âgées, et les nœuds des fruits commençaient à s'élargir. Comme en 2013, les inoculations avec *B. pseudocinerea* n'ont pas produit de symptômes de pourriture de l'extrémité des fleurs (non montré).

Essai 2015 - cv. 'Nicoter'

Le développement phénologique de la saison 2015 était intermédiaire entre la saison extrêmement tardive de 2013 et la saison très précoce de 2014. Toutefois, le développement floral s'est déroulé extrêmement rapidement après l'ouverture des premières fleurs, de sorte que le cv. 'Nicoter' n'a atteint sa pleine floraison qu'un jour après l'ouverture des fleurs. Les différences de phénologie entre les fleurs sur le bois de la saison précédente et sur les pousses plus âgées étaient de nouveau apparentes chez le cv. 'Nicoter' en 2015. Contrairement à 2014, l'incidence la plus élevée de la pourriture de l'extrémité des fleurs due à *N. ditissima* a été observée à la troisième date, lorsque les fleurs sur le bois plus ancien perdaient déjà leurs pétales (BBCH 67), alors que les fleurs sur le jeune bois étaient en pleine floraison. De même, à la deuxième date, la pleine floraison a été observée principalement sur les fleurs du bois plus âgé, les premières fleurs s'ouvrant sur les éperons d'un an. Dans un autre essai mené dans le même verger, une infection moyenne de 18,1 % par la pourriture de l'extrémité des fleurs a été obtenue à partir d'inoculations florales effectuées le 5 mai (données non montrées). Contrairement à 2014, l'incidence de la pourriture de l'extrémité de la fleur résultant de la quatrième date

également à la fin de la chute des pétales (Fig. 5). Les symptômes de pourriture de l'extrémité des fleurs dus à *N. ditissima* ont commencé à apparaître le 1er juillet.

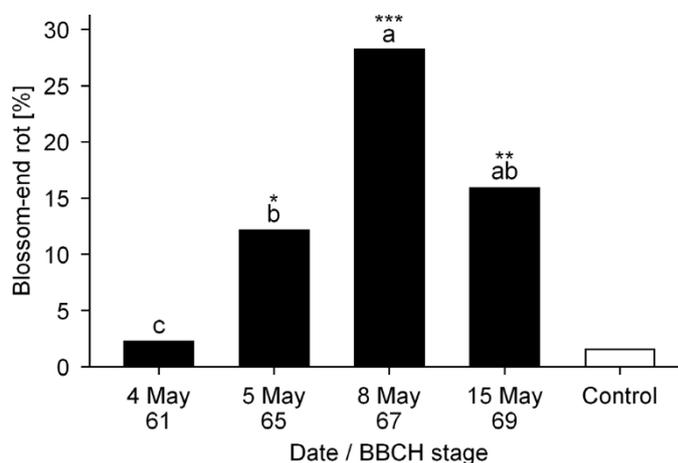
Pourriture de stockage due à *N. ditissima*

Après une notation rigoureuse et l'élimination de toutes les pommes présentant une pourriture de l'extrémité de la fleur au moment de la récolte, seuls les fruits exempts de symptômes ont été placés en entrepôt. Aucun autre symptôme de pourriture de l'extrémité de la fleur ne s'est développé pendant 8 mois dans une chambre froide à l'atmosphère ambiante à 2°C dans aucun des trois essais. De faibles niveaux (<3%) de pourriture de conservation due à *N. ditissima* ont été observés au cours des trois années d'essai, alors que des infections de fruits significativement plus importantes par rapport au témoin non inoculé n'ont été obtenues que dans l'essai de 2013 avec 'Pinova' (Fig. 6). Cette année-là, l'incidence relative de la pourriture post-récolte reflétait étroitement celle de la pourriture de l'extrémité de la fleur avant la récolte aux quatre dates d'inoculation (cf. Fig. 6 par rapport à Fig. 2). La plupart des infections de *N. ditissima* qui se sont développées pendant le stockage étaient localisées sur la surface principale du fruit, plus rarement sur l'extrémité du pédoncule. Dans certains cas, l'apparition de pourritures à la surface du fruit peut être attribuée à des infections du noyau. La pourriture de conservation due à *Botrytis* spp. était trop sporadique (<0,5%) dans les essais de 2013 et 2014 pour permettre une analyse statistique (données non montrées).

DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que chez le cv. 'Pinova', la pleine floraison (BBCH 65) était le stade de développement le plus sensible aux infections par *N. ditissima* conduisant à la pourriture de l'extrémité de la fleur. Cependant, le début de la floraison (BBCH 61) et la chute des pétales (BBCH 67) ont également permis des niveaux significativement élevés de cette maladie, et nous ne pouvons pas exclure que les fortes pluies (47 mm) qui ont commencé immédiatement après l'inoculation à la chute des pétales aient pu laver une partie des spores, réduisant ainsi les niveaux d'infection. L'interprétation des résultats pour les

Figure 5 Proportion de pourriture de l'extrémité des fleurs sur le cv. 'Nicoter' 2015 après inoculation artificielle avec *Neonectria ditissima* aux dates indiquées, en comparaison avec un témoin non inoculé. Chaque colonne montre la moyenne du total des fruits de 4 arbres (516-759 fruits par variante). Les astérisques indiquent des niveaux d'infection significativement élevés par rapport au témoin non inoculé selon les contrastes de Dunnett (* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001). Des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les dates d'inoculation selon les contrastes de Tukey (P<0,05).



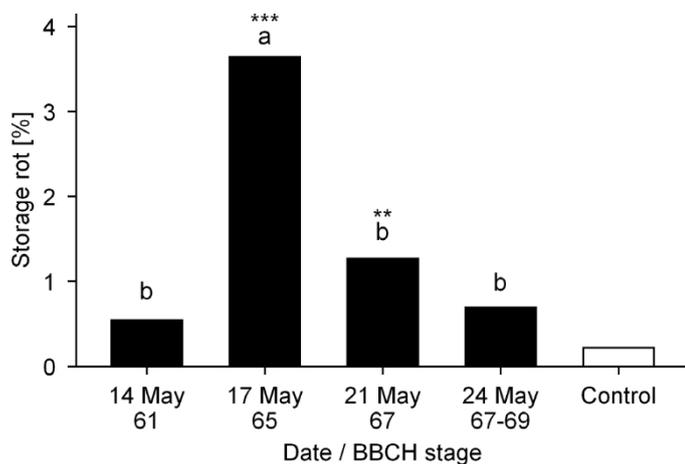


Figure 6 Proportion de pourriture de conservation due à *Neonectria ditissima* dans le cv. 'Pinova' 2013 après inoculation artificielle avec *N. ditissima* aux dates indiquées, en comparaison avec un témoin non inoculé. Chaque colonne montre la moyenne du total des fruits de 10 arbres (1101-1538 fruits par variante). Les astérisques indiquent des niveaux d'infection significativement élevés par rapport au témoin non inoculé selon les contrastes de Dunnett (** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$). Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les dates d'inoculation par les contrastes de Tukey ($P < 0,05$).

La plupart des infections de pourriture de l'extrémité de la fleur dans nos expériences se sont produites à la pleine floraison et à la chute des pétales. Cette dernière période a été largement considérée comme la principale période d'infection pour *N. ditissima* et *B. pseudocinerea* sur la base de considérations indirectes. Les tissus sénescents des pétales peuvent constituer un tremplin pour *B. pseudocinerea* sur son chemin vers la fleur (Grimm 1977 ; Tronsmo & Raa 1977) tandis que les cicatrices ouvertes créées par le détachement des pétales ont été suggérées comme étant un facteur de développement pour *B. pseudocinerea*.

cv. 'Nicoter' est difficile à cause de l'hétérogénéité de la floraison sur les jeunes pousses florales *par rapport aux* pousses florales plus anciennes. Cependant, nos données soutiennent une conclusion similaire pour ce cultivar car les niveaux d'infection les plus élevés ont été obtenus à des dates d'inoculation auxquelles des proportions substantielles de fleurs étaient complètement ouvertes ou perdaient déjà leurs pétales. Comme la chute des pétales, par définition, commence à la pleine floraison (BBCH 65 ; Meier 2018), nos données ne nous permettent pas de faire la distinction entre la floraison et la chute des pétales en termes de pertinence pour la biologie de l'infection de *N. ditissima*.

Cependant, les résultats fournissent une définition plus étroite de la fenêtre d'infection précédemment estimée par Xu & Robinson (2010) comme pouvant durer jusqu'à 4 semaines après la pleine floraison sur la base de leurs inoculations à des intervalles plus importants. Nous avons entrepris une expérience séparée sur les pourritures de conservation (données non publiées) dans laquelle nous avons effectué des inoculations similaires tout au long de la saison. Aucune pourriture de l'extrémité de la fleur ne s'est développée sur les fruits du cv. 'Nicoter' inoculés le 13 juin 2015 (BBCH 73 ; chute des fruits en juin) lorsque les fruits avaient un diamètre d'environ 20-25 mm, ou à n'importe quelle date d'inoculation par la suite. Inversement, dans la présente étude, nous avons constaté une augmentation significative de la pourriture de conservation due à *N. ditissima* à la suite d'infections florales au cours de l'une des trois saisons d'essai. Cette découverte confirme les travaux de Xu & Robinson (2010) qui ont montré que la pourriture de conservation due à *N. ditissima* peut être initiée à une date aussi précoce.

servent de points d'entrée à *N. ditissima* (Kennel 1992). Il est clair que des travaux supplémentaires sont nécessaires pour élucider les voies d'entrée des champignons responsables de la pourriture de l'extrémité de la fleur. Il est certain que ces voies d'entrée sont très différentes des processus d'infection peu avant la récolte qui conduisent principalement aux pourritures de stockage. L'association de deux *Botrytis* spp. différents - *B. pseudocinerea* et *B. cinerea* - à la pourriture de l'extrémité de la fleur et à la pourriture de stockage, respectivement (Weber et al. 2018), peut être un reflet de ces différences.

Dans le présent travail, nous avons noté une incidence plus élevée de

N. ditissima blossom-end rot sur le cv. 'Nicoter' par rapport au cv. 'Pinova'. Bien que la charge de spores utilisée pour l'inoculation dans les cv. 'Nicoter' 2014 et 2015 ait été deux fois plus élevée que dans le cv. 'Pinova' 2013, il est peu probable que cela ait eu un effet décisif car même la concentration la plus faible, à savoir 5×10^4 conidies mL^{-1} , se situait largement dans la plage d'efficacité au moins pour les infections de plaies de *N. ditissima* conduisant au chancre (Walter et al. 2016). Des différences dans l'expression des symptômes entre les années peuvent apparaître même après une inoculation standardisée, et elles ont été expliquées par des différences dans les conditions météorologiques, notamment la température (Scheper et al. 2019). Cependant, l'explication la plus probable repose sur l'hypothèse que la sensibilité des cultivars aux infections florales reflète celle des blessures dans l'écorce, qui est notoirement élevée dans le cv. 'Nicoter' par rapport au cv. 'Pinova' (Weber 2014).

Les chancres sporulants à proximité immédiate des fleurs ou des fruits en développement sont considérés comme la principale source d'inoculum de *N. ditissima* pour la pourriture de l'extrémité de la fleur (Weber & Dralle 2013) et pour la pourriture de conservation (Blank et al. 1975 ; Swinburne 1975 ; Xu & Robinson 2010). Weber & Dralle (2013) ont signalé que les conditions conduisant à la pourriture de l'extrémité de la fleur semblent favoriser soit *N. ditissima* soit *B. pseudocinerea* selon les années. Cependant, nos observations dans les exploitations fruitières régionales cultivant le cv. 'Nicoter' suggèrent que ce cultivar est toujours sujet à la pourriture de l'extrémité de la fleur.

N. ditissima blossom-end rot (pourriture de l'extrémité de la fleur) même pendant les saisons qui favorisent l'apparition de la pourriture de l'extrémité de la fleur.

B. pseudocinerea dans d'autres cultivars. On ne sait toujours pas si cela est dû à une disponibilité élevée de l'inoculum, à une sensibilité intrinsèque élevée des fleurs du cv. 'Nicoter', ou aux deux.

Nos tentatives d'inoculer les fleurs du cv. 'Pinova' ou du cv. 'Nicoter' avec une suspension conidienne de *B. pseudocinerea* n'ont pas réussi à produire de pourriture de l'extrémité de la fleur ou de pourriture de stockage au cours des saisons 2013 et 2014 et, en utilisant la même méthode mais avec un isolat différent, également en 2018 (données non publiées). Les explications possibles

pourraient être la nécessité d'un stade phénologique différent pour l'infection par ce champignon par rapport à *N. ditissima*, ou des conditions d'infection différentes. Il est difficile de faire la lumière sur cette boîte noire car la connaissance d'un stade phénologique précis de sensibilité à l'infection serait une condition préalable à des analyses expérimentales plus détaillées des conditions d'infection. Les résultats de ce travail sont déjà utilisés par

les conseillers en fruits à pépins du nord de l'Allemagne pour recommander l'utilisation de fongicides contre la pourriture de l'extrémité des fleurs à la pleine floraison. Des mélanges en cuve du fongicide phtalimide captan avec le fongicide strobilurine trifloxystrobine ou un inhibiteur de la succinate déshydrogénase (SDHI) tel que le fluopyram ou le fluxapyroxad sont pulvérisés contre la tavelure du pommier et/ou l'oïdium à cette période de la saison. Ces fongicides et d'autres sont généralement reconnus comme ayant une certaine activité contre *N. ditissima* (Saville & Olivieri 2019 ; Anon n.d.).

mais des données spécifiques sur leur efficacité contre les infections par la pourriture de l'extrémité de la fleur font encore défaut. Des essais visant à établir leur efficacité pourraient être menés sur la base d'infections artificielles en utilisant la méthodologie décrite ici. La corrélation entre la pourriture de l'extrémité des fleurs de *N. ditissima* avec l'incidence du chancre signifie que la taille du chancre avant la floraison est recommandée pour les vergers fortement infectés. Dans le cas de *B. pseudocinerea*, la grande sensibilité de ce champignon à tous les fongicides actuellement utilisés avec des modes d'action spécifiques est bien connue (Plesken et al. 2015 ; Weber et al. 2018), ce qui indique que les pulvérisations contre la tavelure ou l'oïdium seront efficaces tant qu'elles cibleront le stade phénologique concerné.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Stefanie Kutz (Esteburg Fruit Research and Advisory Centre) pour son assistance technique ; et le New Zealand Fruitgrowers Charitable Trust pour avoir couvert les frais de publication.

RÉFÉRENCES

- Amponsah NT, Walter M, Scheper RWA, Beresford RM 2017. Libération et disponibilité des spores de *Neonectria ditissima* dans les vergers de pommiers de Nouvelle-Zélande. *New Zealand Plant Protection* 70 : 78-86. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2017.70.32>
- Anon n.d. *Neonectria rot (Neonectria ditissima)*. Apple Best Practice Guide. Agriculture and Horticulture Development Board, Kenilworth, UK. Récupéré 11 septembre 2020 à partir de <https://ahdbapples.azurewebsites.net/nectria-rot.asp>
- Beresford RM, Kim KS 2011. Identification des conditions climatiques régionales favorables au développement du chancre européen du pommier. *Phytopathology* 101 : 135-146. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-10-0137>
- Blank HG, Graf H, Menzinger W, Noack B 1975. Über das Auftreten des Obstbaumkrebses (*Nectria galligena* Bres.) als Erreger von Fruchtfäulen im Anbaugebiet der Niederelbe in der Lagersaison 1974/75. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 30 : 187-195.
- Grimm R 1977. Die Apfel-Kelchfäule und ihre Bekämpfung. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 113 : 33-37.
- Hothorn T, Bretz F, Westfall P 2008. Simultaneous inference in general parametric models (Inférence simultanée dans les modèles paramétriques généraux). *Biometrical Journal* 50 : 346-363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- Kennel W 1992. Kelchfäule beim Apfel - Ursache und Bekämpfung. *Obstbau* 17 : 194-197.
- Klopp K, Klein W 2014. Früheste Apfelblüte seit 80 Jahren. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 69 : 120.
- Latorre BA, Rioja ME, Lillo C, Muñoz M 2002. L'effet de la température et de la durée de l'humidité sur l'infection et un système d'alerte pour le chancre européen (*Nectria galligena*) du pommier au Chili. *Crop Protection* 21 : 285-291. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00099-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00099-0)
- Meier U (Ed.) 2018. Les stades de croissance des plantes mono- et dicotylédones, monographie BBCH. Julius

(*Nectria galligena*). Revue de pathologie végétale 54⁴: 787-799.

- Plesken C, Weber RWS, Rupp S, Leroch M, Hahn M 2015. *Botrytis pseudocinerea* est un pathogène important de plusieurs plantes cultivées, mais il est susceptible d'être remplacé par des souches de *B. cinerea* résistantes aux fongicides. Applied and Environmental Microbiology 81 : 7048-7056. <https://doi.org/10.1128/AEM.01719-15>
- R Core Team 2020. R : un langage et un environnement pour le calcul statistique. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche.
- Saville R, Olivieri L 2019. Maladies fongiques des fruits : le chancre du pommier en Europe. In : Fountain M, Xu X Eds. Integrated management of diseases and insect pests of tree fruit. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, Royaume-Uni. Pp. 59-84. <https://doi.org/10.19103/AS.2019.0046.04>
- Scheper RWA, Vorster L, Turner L, Campbell RE, Colhoun K, McArley D, Murti R, Hodson A, Beresford R, Stock M, Fisher BM, Hedderley DI, Walter M 2019. Développement des lésions et production de conidies de *Neonectria ditissima* sur les pommiers dans quatre régions de Nouvelle-Zélande. New Zealand Plant Protection 72 : 123-134. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2019.72.302>
- Smith D, Onions AHS 1983. The Preservation and maintenance of living fungi (Préservation et entretien des champignons vivants). Commonwealth Mycological Institute, Kew, Royaume-Uni.
- Swinburne TR 1975. Chancre européen du pommier
- Tronsmo A, Raa J 1977. Cycle de vie du pathogène *Botrytis cinerea* Pers. sur le pommier. Phytopathologische Zeitschrift 89 : 203-207. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1977.tb02859.x>
- Walter M, Roy S, Fisher BM, Mackle L, Amponsah NT, Curnow T, Campbell RE, Braun P, Reineke A, Scheper RWA 2016. Combien de conidies sont nécessaires pour l'infection de plaies de pommiers par *Neonectria ditissima* ? New Zealand Plant Protection 69 : 238-245. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2016.69.5886>
- Weber RWS 2014. Biologie et lutte contre le champignon du chancre du pommier *Neonectria ditissima* (syn. *Nectria galligena*) dans une perspective nord-ouest européenne. Erwerbs- Obstbau 56 : 95-107. <https://doi.org/10.1007/s10341-014-0210-x>
- Weber RWS, Dralle N 2013. Fungi associated with blossom-end rot of apples in Germany. European Journal of Horticultural Science 78 : 97-105. <https://www.pubhort.org/ejhs/2013/3930448.htm>
- Weber RWS, Raddatz C, Kutz S 2018. Abondance relative et schémas de résistance aux fongicides de *Botrytis cinerea* et *B. pseudocinerea* sur pommier en Allemagne du Nord. Journal of Plant Diseases and Protection 125 : 501-504. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0166-4>
- Xu X-M, Robinson JD 2010. Effets de la maturité des fruits et de l'humidité sur l'infection des fruits de pomme par *Neonectria galligena*. Plant Pathology 59 : 542-547. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02232.x>