

INTEMAR

GUIDE SUR LES MALADIES DES PLANTES ET LA GESTION DES VECTEURS



intemar-italietunisie.eu



Région Sicilienne



République Tunisienne



Projet financé par
l'Union européenne

Introduction

Parmi les nombreuses pathologies associées aux plantes, les maladies bactériennes, représentent une catégorie difficile à gérer tant par des moyens biologiques que chimiques et qui nécessite donc avant tout une stratégie de contrôle préventif.

Les Candidatus Liberibacter sont des bactéries Gram-négatives, appartenant à la famille des Rhizobiaceae ; ce sont des organismes non cultivables dont la taxonomie est définie en fonction de certains traits d'ADN (Ilardi et Catara, 2013) et ne relèvent pas du code international de nomenclature bactérienne (Lapage et al., 1992). Les bactéries mentionnées sont transmises par le phloème et les vecteurs primaires et obligatoires sont représentés par les psylles (Homoptera, Psylloidea), les insectes suceurs de sève (Phytomyzae), un groupe entomologique qui comprend plusieurs espèces nuisibles aux cultures agricoles (Haapalainen, 2014).

Parmi les pathologies les plus dangereuses, il faut sans doute citer le Huanglongbing des agrumes (HLB ou maladie du verdissement) dont les agents étiologiques sont représentés par 'Ca. L. asiaticus', 'Ca. L. americanus' et 'Ca. L. africanus', une maladie dévastatrice, probablement la plus grave des agrumes (en particulier l'orange, la mandarine et le pamplemousse), car elle compromet la longévité, la productivité et la qualité du fruit (Bovè, 2006 ; Wang et Trivedi, 2013). Une autre maladie redoutable appelée « puce zébrée » est causée par le 'Ca. L. solanacearum', qui a causé de graves pertes dans la production de pommes de terre et de tomates en Amérique du Nord et Centrale ainsi qu'en Nouvelle-Zélande (Munyaneza, 2012).



1.1 Origine et phylogénie de *Ca. Liberibacter*

Candidatus Liberibacter appartient à l'ordre des Rhizobiales de la subdivision $\beta 2$ des Protéobactéries à Gram négatif, formant un groupe monophylétique divergent des autres β -Protéobactéries (Texeira et al., 2008 ; Leonard et al., 2012). Des études génétiques ont permis de déterminer que les *Ca. Liberibacter* ne sont pas apparentées aux phytoplasmes, qui descendent de bactéries gram-positives (Hogenhout et al., 2008). Parmi les bactéries phylogénétiquement les plus proches de *Ca. Liberibacter*, on trouve un certain nombre d'agents pathogènes transmis par les insectes à l'homme et aux animaux, appartenant aux genres *Bartonella*, *Brucella*, *Rhizobium* et *Agrobacterium*, ce dernier étant associé aux plantes. Le trait commun de toutes ces bactéries est leur relation étroite avec un organisme hôte Eucaryote.

Les *Ca. Liberibacter* sont des parasites obligatoires qui dépendent de leurs hôtes vivants et des insectes vecteurs et, par conséquent, leur évolution a suivi celle des organismes auxquels ils sont étroitement liés. Un exemple de coévolution environnementale est celui observé dans la tolérance aux températures élevées de "*Ca. L. asiaticus*" transmise par le psylle asiatique des agrumes tolérant à la chaleur (Bové, 2006). En revanche, '*Ca. L. africanus*', '*Ca. L. americanus*' et '*Ca. L. solanacearum*' sont sensibles aux températures supérieures à 32 °C (Bové et al., 1974 ; Lopes et al., 2009 ; Munyaneza et al., 2012a). Des preuves indirectes peuvent être observées chez '*Ca. L. americanus*', qui même lorsqu'il est transmis par *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera, Psyllidae), ne présente pas de tolérance aux températures élevées. L'origine exacte de '*Ca. L. americanus*' est inconnue et, malgré son association avec les agrumes, l'espèce est phylogénétiquement plus proche de '*Ca. L. europaeus*' et comparée à '*Ca. L. asiaticus*' et '*Ca. L. africanus*' (Raddadi et al., 2011 ; Nelson et al., 2013 ; Lin et al., 2013 ; Thompson et al., 2013). La comparaison des séquences génomiques a confirmé que '*Ca. L. asiaticus*' et '*Ca. L. solanacearum*' sont plus étroitement apparentés l'un à l'autre qu'à '*Ca. L. americanus*' (Wulff et al., 2014). Il n'est pas exclu que '*Ca. L. americanus*' soit le résultat d'une évolution de '*Ca. L. europaeus*' introduite accidentellement en Amérique du Sud (Haapalainen, 2014).

Texeira et al. (2008) ont avancé des calculs selon lesquels '*Ca. L. americanus*' s'est séparée de l'ancêtre commun avec les deux autres espèces impliquées dans le HLB il y a environ 300 millions d'années. On suppose également que l'évolution de ces bactéries a été accélérée par l'émergence d'une nouvelle espèce d'insecte, les ancêtres des psylles s'étant développés au cours de l'ère permienne (il y a 300 à 280 millions d'années) (Hodkinson, 1980). Cependant, les estimations concernant le temps de spéciation de ces bactéries sont spéculatives, étant donné que le taux de mutation n'est pas connu avec précision et qu'il pourrait être plus rapide chez les espèces parasites que chez les espèces vivant librement (Itoh et al., 2002).

1. Candidatus *Liberibacter solanacearum*'

En 1994, une nouvelle maladie de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) a été signalée au Mexique et aux États-Unis. La maladie transforme une partie de l'amidon en sucres solubles et, après cuisson, des rayures zébrées apparaissent dans la pomme de terre, une caractéristique qui a suggéré le nom de "zebra chip" (ZC) pour identifier la maladie (Secor et Rivera-Varas, 2004) (Fig. 2).

La bactérie s'attaque également à la tomate, dont les symptômes se manifestent sur les feuilles par une chlorose ou une décoloration rose (Crosslin et al., 2010 ; Munyaneza, 2012). La puce zébrée de la pomme de terre et la maladie du jaunissement de la tomate sont transmises par le psylle *Bactericera cockerelli* (Munyaneza et al., 2007 ; Hansen et al., 2008). Initialement, l'espèce trouvée au Mexique sur pomme de terre a reçu le nom de "Candidatus *Liberibacter psyllaerous*" (Hansen et al., 2008). Cependant, une comparaison des séquences d'ARN ribosomique 16S des isolats américains de *Ca. Liberibacter* avec celles trouvées précédemment en Nouvelle-Zélande sur tomate et poivron, il a été établi qu'il s'agissait de la même espèce et, par conséquent, la souche américaine a été identifiée comme étant *Ca. Liberibacter solanacearum* (Liefiting et al., 2009 ; Abad et al., 2009).

En 2008, la nouvelle maladie a été signalée sur des plants de tomate et de poivron cultivés sous serre en Nouvelle-Zélande, se manifestant par une cassure et un enroulement des feuilles, une chlorose et une déformation des baies (Liefiting et al., 2009). La même bactérie pathogène a été associée à des maladies de la tomate et du poivron au Mexique (Munyaneza et al., 2009). Plus récemment, la bactérie a été trouvée au Honduras dans des champs commerciaux de tabac (*Nicotiana tabacum* L.), dont les plantes présentaient une chlorose sévère, un enroulement, une nécrose vasculaire sur les feuilles et les rameaux, et un flétrissement des plantes plus jeunes (Aguilar et al., 2013). Il a également été démontré que de nombreuses autres Solanaceae sont des hôtes de *Ca. L. solanacearum*, parmi lesquelles on peut citer l'aubergine (*Solanum melongena* L.) et le poivron (*Capsicum annuum*) (Wen et al., 2009). Dans chacun de ces cas, il semble que le rôle principal dans la transmission de *Ca. Liberibacter solanacearum* est joué par *Bactericera cockerelli* (Sulc), un psylle originaire d'Amérique et introduit accidentellement en Nouvelle-Zélande en 2006 (Thomas et al., 2011).



Fig. 2 - *Solanum tuberosum* affetta da «Zebra chip», il cui agente batterico è rappresentato da *Ca. Liberibacter solanacearum*'

1.1.2 Symptomatologie de Ca.

L. solanacearum sur les Apiacées

En plus des Solanaceae mentionnées ci-dessus, Ca. L. solanacearum a été trouvé sur des carottes cultivées (*Daucus carota*) en Finlande (Munyaneza et al., 2010, 2011), en Suède (Munyaneza et al., 2012) et en Norvège (Munyaneza et al., 2012). Dans ces cas, l'agent vecteur a été identifié dans le psylle *Trioza apicalis* Foerster. Chez les plants de carotte atteints par le pathogène, la maladie se manifeste par un jaunissement, une coloration rougeâtre des feuilles, un développement réduit des racines pivotantes et une prolifération latérale des racines secondaires (Munyaneza et al., 2011)(Fig. 3). Le nombre de feuilles symptomatiques et la réduction du poids des racines sont en corrélation avec le taux élevé de Ca. L. solanacearum dans la plante (Nissinen et al., 2014). L'électroscopie réalisée sur des carottes infectées a révélé des cellules de phloème effondrées et des vaisseaux de phloème densément colonisés par des bactéries (Fig. 4).

Dans les îles Canaries en Espagne, en 2012, des plants de carotte ont été testés positifs pour Ca. L. solanacearum et leur vecteur s'est avéré être le psylle, *Bactericera trigonica* (Alfaro - Fernández et al., 2012a, b). Le même pathogène a ensuite été trouvé sur céleri (*Apium graveolens*) en Espagne (OEPP, 2012 ; Teresani et al., 2014), dont les plantes présentaient une prolifération et une distorsion des tiges.

Récemment, Ca. L. solanacearum a été détecté sur des carottes symptomatiques au Maroc (Tahzima et al., 2014), en France (sur des carottes symptomatiques et asymptomatiques) (Loiseau et al., 2014), en Grèce (Holeva et al., 2017) et en Italie (Catara et al., 2017). En Italie et en Angleterre, la bactérie a été trouvée, respectivement, sur des graines de carotte et de persil prélevées dans des emballages destinés à la vente dans des magasins spécialisés (Bartolini et al., 2014b ; Monger et Jeffries, 2016). En France et au Maroc, les insectes vecteurs qui transmettent la maladie n'ont pas encore été identifiés.



Fig. 3 - Piante di carota caratterizzate dai sintomi tipici del batterio *Ca. Liberibacter solanacearum*' quali arrossamento, clorosi e riduzione della dimensione del fittone. Piante raccolte in due differenti periodi: Agosto (A) e Ottobre (B) (Munyaneza et. al, 2011).

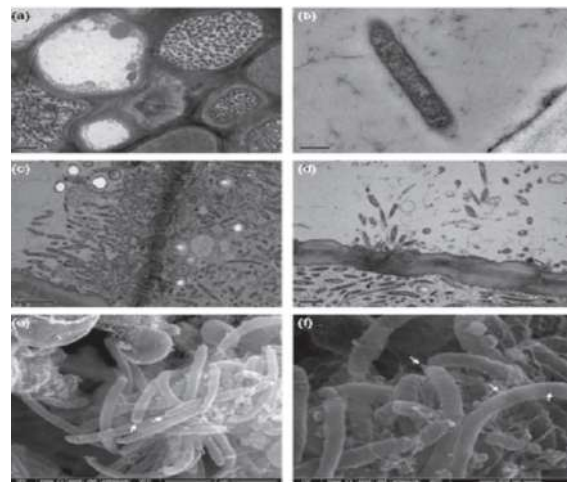


Fig. 4 - Micrografi elettronici di 'Candidatus *Liberibacter solanacearum*' in tessuto floematico di piante di carota infette (Nissinen et al., 2014)

1.1.3 Haplotypes de Ca. L. Solanacearum associés aux Apiacées

L'analyse des isolats de Ca. L. Solanacearum originaires de différentes zones géographiques a permis de supposer qu'il existe cinq haplotypes différents : LsoA, LsoB, LsoC, LsoD et LsoE. Ils ont été caractérisés sur la base d'un polymorphisme dans un seul nucléotide (SNP) de l'ARNr 16S (figure 5).

Les haplotypes A et B sont associés à différentes Solanacées et sont transmis par *B. cockerelli*. L'haplotype A a été trouvé pour la première fois au Honduras, puis au Guatemala, dans l'ouest du Mexique, en Arizona, en Californie et en Nouvelle-Zélande. L'haplotype B est actuellement connu dans l'est du Mexique, au Texas et dans l'État de Washington.

L'haplotype C a été trouvé sur des carottes en Europe du Nord (Finlande, Norvège, Suisse et Allemagne) et a été associé à *Trioza apicalis*, tandis que l'haplotype D a été trouvé sur des carottes et *Bactericera trigonica* en Espagne. Les haplotypes ont donc été définis non seulement génétiquement, mais aussi par leur distribution géographique. Láska (2011) a noté que le ravageur est apparu en 1896 sur l'île danoise de Sjælland après les premières observations de feuilles de carotte caractérisées par un enroulement.

Dans certaines régions européennes et méditerranéennes, le Lso est associé à des maladies affectant principalement les plantes de la famille des Apiacées, en particulier les carottes et le céleri. Des études ont démontré la présence du Lso D sur des plants de carottes dans plusieurs régions de France en 2013, 2014 et 2016 ; le Lso E a été trouvé dans plusieurs échantillons de carottes en 2012, 2014 et 2016. La présence des deux haplotypes dans différentes régions géographiques suggère qu'aucune relation n'a pu être établie entre les haplotypes Lso de France sur la base de leur origine géographique (Hajri, et al., 2017).

Gene region, description	Haplotypes				
	A	B	C	D	E
16S rRNA					
116 C>T	C	C	C	T	C
151 A>G	A	A	A	A	G
212 T>G	T	C	T	T	T
381 T>C	T	C	T	T	T
959 C>T	C	C	C	C	T
1039 A>G	A	A	G	G	A
1073 G>A	G	G	G	A	G

Fig. 5 - Fig. 5- Variazione di singoli nucleotidi (SNPs) in aplotipi LsoA, LsoB, LsoC, LSOD, LSOE (Teresani et al., 2014).

1.2 Insectes vecteurs d'agents phytopathogènes

Les vecteurs animaux des agents phytopathogènes sont principalement représentés par des insectes à becs piqueurs-suceurs appartenant aux ordres des hémiptères et des Thysanoptères.

Les pièces buccales suceuses représentent un outil particulièrement adapté à la transmission des pathogènes en raison de leur structure et de leurs fonctions. En effet, par le biais du flux de sève aspiré par les insectes et envoyé dans le canal alimentaire, les phytopathogènes peuvent être ingérés et inoculés à d'autres plantes. Les insectes phytomythes peuvent être regroupés en trois catégories trophiques principales : les plasmomythes, les phloémomythes et les xylémomythes. Les premiers vident le contenu cellulaire des cellules du mésophylle, les seconds aspirent la sève élaborée contenue dans les tubes criblés et les derniers la sève brute contenue dans les vaisseaux ligneux.



1.1.2 Les psylles

PARTIE 1

Les psylles sont des hémiptères homoptères Sternorrhynques. Ce sont de petits insectes (dont la longueur varie d'environ 1 à 5 mm). Sur la tête, qui est fortement hypognathe, on trouve une paire d'yeux composés et trois ocelles ; chez de nombreuses espèces, il y a une paire de processus tuberculaires frontaux robustes appelés "cônes génitaux". Les antennes sont filiformes et comportent généralement 10 articles ; les pièces buccales sont symétriques et piqueuses-suceuses (ce qui leur permet de se nourrir de plantes, suggérant par exemple le phloème), initialement tournées vers l'arrière mais avec les derniers articles du rostre faisant saillie entre les coxae prothoraciques. Le thorax est développé et porte deux paires d'ailes membraneuses qui, au repos, sont repliées vers l'arrière. Les pattes pro- et méso-thoraciques sont typiquement ambulatoires, tandis que les pattes métathoraciques montrent une adaptation au saut. L'abdomen est simple, légèrement pédonculé et porte à l'extrémité caudale l'appareil génito-anal, d'une grande importance pour l'identification de l'espèce.

Chez le mâle, cet appareil est constitué du proctiger, de la lame sous-génitale, d'une paire de paramères (organes d'accrochage lors de la copulation) et de l'édéage. Chez la femelle, l'appareil génital anal est constitué de deux éléments sclérifiés et plus ou moins allongés, l'un dorsal et l'autre ventral, en forme de douche sur leur face interne et renfermant tous les éléments qui constituent l'ovipositeur ; à la base du proctiger et sur sa face dorsale s'ouvre l'orifice anal, entouré d'un anneau de pores céphériques généralement disposés sur une simple rangée. Chez les adultes des Psylloidea, la coloration est très variable, allant du jaune verdâtre chez certaines espèces au brun rougeâtre chez d'autres.

Cependant, chez les espèces adultes hivernantes, il peut y avoir des variations saisonnières de couleur, avec des teintes plus foncées chez les spécimens hibernants qu'en été, en raison des substances tanniques qui s'accumulent dans la cuticule.

Les œufs sont généralement de forme ovale, un peu allongée, et possèdent généralement un pédoncule latérobasal ou basal, qui leur permet de s'ancrer aux tissus de la plante hôte et d'absorber l'humidité. Les stades juvéniles (néanidés et nymphes) sont constitués d'une seule structure, appelée céphalo-prothorax. La tête est toujours pourvue d'yeux composés, bien développés et disposés latéralement ; les antennes peuvent être de développement variable (jusqu'à dix antennomères) ; elles sont généralement courtes, trapues et avec peu d'articles chez les espèces galligènes, dont les spécimens se développent protégés à l'intérieur des galles (cecidiae) qu'ils produisent. Les pièces buccales présentent les mêmes caractéristiques que celles déjà examinées pour les adultes. Dans la région thoracique, les ailettes peuvent différer entre les différents groupes de Psyllidae, par leur taille et leur forme générale, ainsi que par leur relative dislocation par rapport au contour général de la nymphe. Les pattes sont toutes ambulatoires (Cravedi et al., 2008).

1.1.2 Les psylles

PARTIE 2

On suppose que ces insectes ont évolué au début de la période permienne (300–280 millions d'années) (Hodkinson, 1980). Les psylles sont largement répandus dans tous les environnements terrestres avec végétation, démontrant une grande capacité d'adaptation à diverses conditions climatiques (Hodkinson, 2009). Actuellement, les psylles sont classés, sur la base d'analyses morphologiques et moléculaires, en 8 familles et 20 sous-familles, contenant environ 3850 espèces (Hodkinson, 2009 ; Li, 2011 ; Buckhardt et Ouvrard, 2012 ; Ouvrard, 2014). La plupart des espèces sont spécialisées dans l'alimentation d'une seule plante (monophage), elles sont donc spécifiques à une espèce, tandis que d'autres se nourrissent aux dépens de plusieurs espèces de la même famille (oligophage) (Percy et al., 2004).

La spécificité des psylles vis-à-vis des plantes nourricières est plus prononcée aux stades juvéniles, alors que les adultes sont généralement moins exigeants. La reproduction des Psylloidea est généralement amphigonique, avec de rares cas de parthénogenèse (Hodkinson, 2009). Le mode de ponte est très variable et dépend principalement des adaptations écologiques ; les œufs peuvent être fixés aux feuilles ou à la surface des bourgeons, mais aussi déposés à l'aisselle des feuilles et des pousses ou le long des fissures des branches (Cravedi et al., 2008). Le cycle de développement des psylles, de l'œuf à l'adulte, se déroule en cinq stades juvéniles. Il y a généralement deux stades néanides et trois stades nymphaux, ou trois stades néanides et deux stades nymphaux (Hodkinson, 2009). Le nombre total d'œufs pondus peut varier de cent à mille pour la plupart des espèces étudiées (Hodkinson, 2009).

Le temps nécessaire pour que les œufs se transforment en adultes matures varie en fonction de la température, mais prend généralement environ un mois. Au cours d'une année, il peut y avoir un nombre variable de générations, en fonction de l'espèce considérée et des conditions écologiques de développement. Cependant, au moins dans les milieux italiens, les espèces monovoltines dominent et sont majoritaires ; des dizaines d'espèces présentent un cycle bivoltin, et très peu sont réellement polyvoltines (Hodkinson, 2009). En fonction de la saison et des conditions météorologiques, les adultes volent vers de nouvelles plantes hôtes et commencent un nouveau cycle ou migrent vers des plantes abris pour l'hiver. Les adultes sont capables de voler sur plus d'un kilomètre et peuvent également être transportés sur de longues distances par le vent.

2. Triozidae

PARTIE 1

C'est dans les familles des Psyllidae et des Triozidae que l'on trouve le plus grand nombre d'espèces d'intérêt appliqué en Italie. Pour la distinction immédiate et rapide des espèces appartenant aux deux familles, les caractères les plus précieux à observer résident dans les ailes antérieures des spécimens adultes. Chez les Psyllidae, la veine basale (radiale + médiale + cubitale) est d'abord bifurquée en radiale et médiale-cubitale ; cette dernière se divise ensuite en médiale et cubitale après un court étirement. Chez les Triozidae, en revanche, trois autres nerfs clairement distincts naissent de la côte basale.

Les Triozidae sont de petits insectes au corps ailé de 3 à 7 mm de long et à la tête aussi large que le thorax. La famille comprend 1005 espèces réparties en 71 genres, dont 2 sont fossiles (Ouvrard, 2017). Parmi celles-ci, les espèces *Bactericera nigricornis*, *B. tremblayi* et *B. trigonica* sont d'une importance fondamentale pour l'étude entreprise dans le cadre de cette recherche.

Bactericera nigricornis Foerster a été décrit à l'origine en Allemagne et qualifié de polyphage, ayant été trouvé sur de nombreuses plantes herbacées. Ce dernier détail est une anomalie, étant donné que les Psylloidea ont tendance à avoir une gamme de plantes-hôtes très étroite (Hodkinson, 1974). En fait, des études ultérieures ont confirmé que l'espèce vit sur quelques espèces, bien qu'appartenant à des familles différentes. Les plantes établies à ce jour sont l'oignon (*Allium cepa*, Amarillidaceae), *Brassica chinensis* (Brassicaceae), *Cirsium arvense*, *Senecio vulgaris* (Asteraceae), la carotte (*Daucus carota*, Apiaceae) et la pomme de terre (*Solanum tuberosum*, Solanaceae) (Ouvrard, 2017).

L'espèce est répartie sur l'ensemble du continent européen, en Iran, en Afghanistan, au Kazakhstan, en Mongolie et en Chine (Ouvrard, 2017). *B. nigricornis* développe plusieurs générations par an (2-3) (Hodkinson, 2009) et l'hivernage se fait à l'âge adulte (Lauterer, 1991). En 1997, une autre espèce, *Bactericera brassicae* (Vasiliev), jusqu'alors considérée comme distincte des autres, a été placée en synonymie avec *B. nigricornis*, les caractères morphologiques qui la distinguaient des espèces précitées s'étant révélés incohérents (Buckhardt et Lauterer, 1997).

Quelques années plus tard, une espèce très similaire *B. nigricornis* a été découverte en Italie sur des oignons, dont elle différait cependant par la structure des paramères mâles et a été nommée *Bactericera tremblayi* (Wagner). Cette espèce a d'abord été trouvée sur oignon, mais il a été montré plus tard que la ponte pouvait aussi avoir lieu sur chou (*Brassica oleraceae*), *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae), *Chenopodium* sp. (Amarantaceae), poivre (*Capsicum annuum*, Solanaceae) et *Stellaria media* (Cariofillaceae) (Tremblay, 1965). Plus tard, l'espèce a également été trouvée sur *Lactuca serriola* (*L. scariola*) (Asteraceae), *Raphanus sativus* (Brassicaceae), la carotte et le poireau (*Allium porrum*) (Ouvrard, 2017). L'espèce est connue pour les dégâts qu'elle peut causer aux cultures d'oignons (Kazemi et Jafarloo, 2008), mais elle a récemment été signalée en France pour les dégâts importants qu'elle cause à certaines cultures de poireaux (Ouvrard, 2017). L'espèce hiverne à l'état adulte et réalise 2 à 3 générations par an (Hodkinson, 2009).

2. Triozidae

PARTIE 2

En analysant quelques spécimens de la collection du British Natural History Museum et de quelques collections au Portugal et à Chypre sur carotte et en Iran sur capucine, Hodkinson (1981) a distingué une nouvelle espèce, qui a reçu le nom de *Bactericera trigonica* Hodkinson (trigonicus = triangulaire, en raison de la forme du proctiger mâle). *B. trigonica* a deux à trois générations par an (Hodkinson, 2009) et a été signalée dans tout le bassin méditerranéen, en Iran, en Suisse, en République tchèque et en Hongrie (Ouvrard, 2017). Outre les plantes hôtes susmentionnées, l'espèce a également été collectée sur *Apium graveolens* (Apiaceae), tandis que le signalement sur *Ambrosia artemisiifolia* (Asteraceae) reste à confirmer. L'espèce a gagné en importance car elle a été trouvée associée aux haplotypes D, E de *Ca. Liberibacter solanacearum* (Lso) et est son principal agent vecteur (Antolinez, 2017). La bactérie est transmise de manière persistante-propagative car elle est forcée de se répliquer dans le corps du psylle après avoir été acquise par l'alimentation, avant d'être inoculée dans une nouvelle plante par la salive lorsque la psylle infectée se nourrit d'une autre plante.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les trois espèces sont morphologiquement proches et ne se distinguent les unes des autres que par quelques caractères. Le principal est la forme des paramères mâles (Fig. 6) et, en second lieu, la forme des cônes génitaux (Fig. 7), sachant toutefois que des variations intra-spécifiques peuvent prêter à confusion (Ouvrard, 2012). Les femelles ne présentent pas de caractères morphologiques utiles à une discrimination spécifique. Les œufs sont orangés et possèdent un pédicelle qui les fixe au substrat végétal (Ouvrard, 2012). Les stades néanides sont comprimés dorso-ventralement, de couleur orange ou brun clair (Ouvrard, 2012). Tous les psylles hébergent des bactéries endosymbiotiques qui permettent à l'insecte d'obtenir les acides aminés essentiels absents de la sève (Brownlie et al., 2009 Saha et al., 2012).

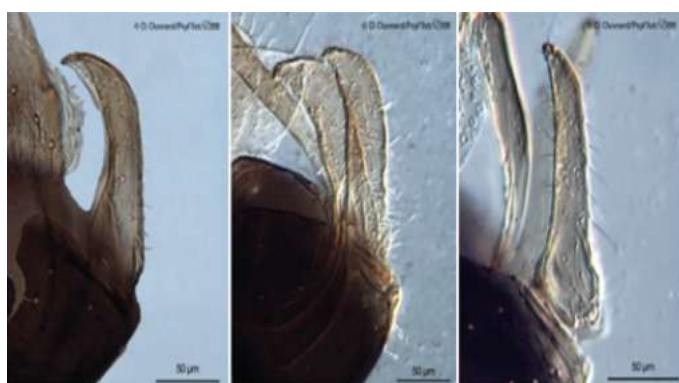


Fig. 6 - Differenze tra *B. nigricornis*, *B. tremblayi*, *B. trigonica* e la forma dei parameri maschili



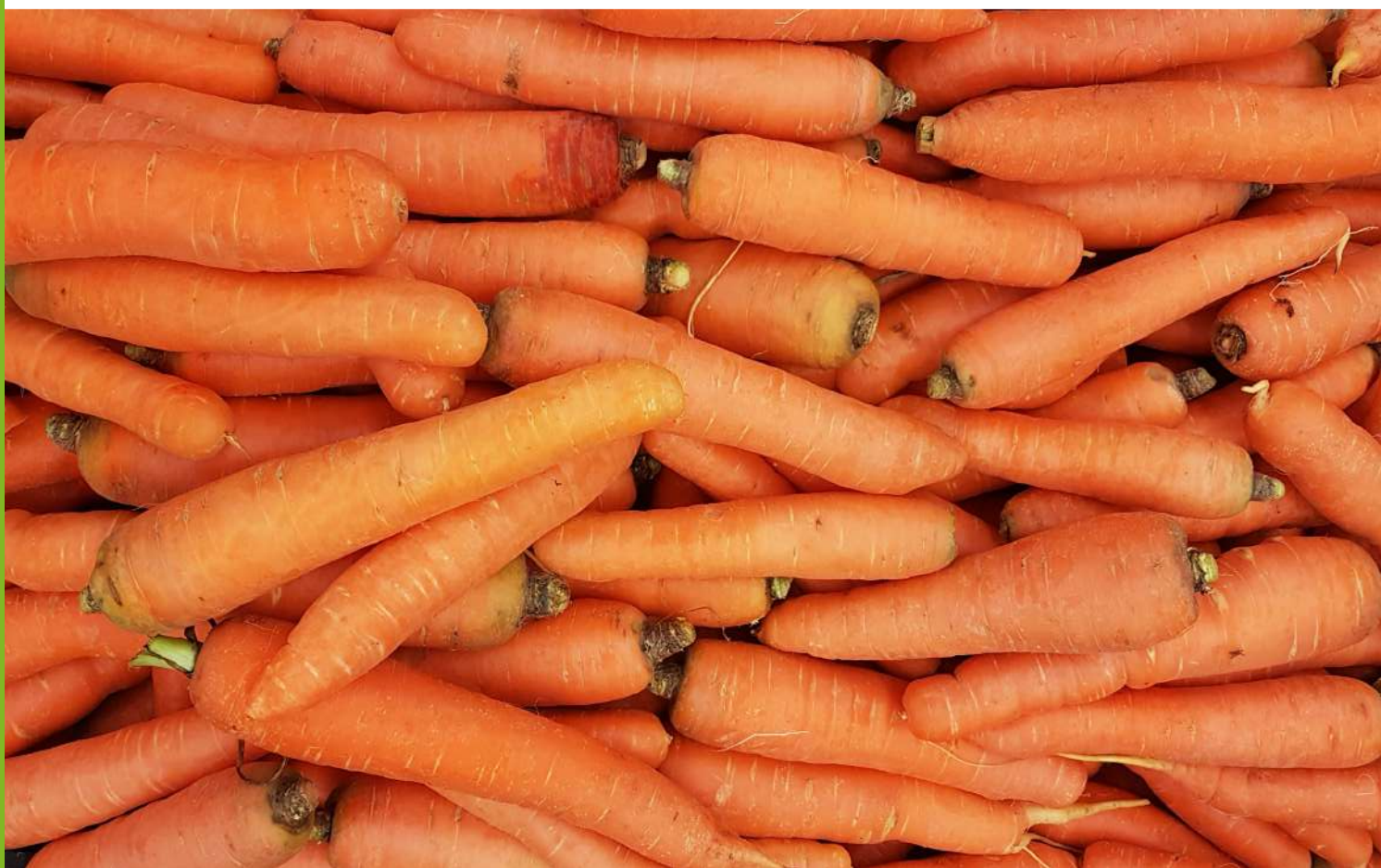
Fig. 7 - Differenze tra *B. nigricornis*, *B. tremblayi*, *B. trigonica* e la forma dei coni geniali

1.1.3 Transmission de "*Candidatus Liberibacter solanacearum*"

En plus des Solanaceae mentionnées ci-dessus, *Ca. L. solanacearum* a été trouvé sur des carottes cultivées (*Daucus carota*) en Finlande (Munyaneza et al., 2010, 2011), en Suède (Munyaneza et al., 2012) et en Norvège (Munyaneza et al., 2012). Dans ces cas, l'agent vecteur a été identifié dans le psylle *Trioza apicalis* Foerster. Chez les plants de carotte attaqués par le pathogène, la maladie se manifeste par un jaunissement, une coloration rougeâtre des feuilles, un développement réduit des racines pivotantes et une prolifération latérale des racines secondaires (Munyaneza et al., 2011)(Fig. 3). Le nombre de feuilles symptomatiques et la réduction du poids des racines sont en corrélation avec le taux élevé de *Ca. L. solanacearum* dans la plante (Nissinen et al., 2014). L'électroscopie réalisée sur des carottes infectées a révélé des cellules de phloème effondrées et des vaisseaux de phloème densément colonisés par des bactéries (Fig. 4).

Dans les îles Canaries en Espagne, en 2012, des plants de carotte ont été testés positifs pour *Ca. L. solanacearum* et leur vecteur s'est avéré être le psylle, *Bactericera trigonica* (Alfaro - Fernández et al., 2012a, b). Le même pathogène a ensuite été trouvé sur céleri (*Apium graveolens*) en Espagne (OEPP, 2012 ; Teresani et al., 2014), dont les plantes présentaient une prolifération et une distorsion des tiges.

Récemment, *Ca. L. solanacearum* a été détecté sur des carottes symptomatiques au Maroc (Tahzima et al., 2014), en France (sur des carottes symptomatiques et asymptomatiques) (Loiseau et al., 2014), en Grèce (Holeva et al., 2017) et en Italie (Catara et al., 2017). En Italie et en Angleterre, la bactérie a été trouvée, respectivement, sur des graines de carotte et de persil prélevées dans des emballages destinés à la vente dans des magasins spécialisés (Bartolini et al., 2014b ; Monger et Jeffries, 2016). En France et au Maroc, les insectes vecteurs qui transmettent la maladie n'ont pas encore été identifiés.



1.2 Développement des symptômes sur les plantes affectées

PARTIE 1

Les espèces végétales réagissent différemment à l'infection par 'Ca. Liberibacter spp.'. Certaines plantes sont très sensibles, tandis que d'autres se révèlent plutôt tolérantes à la colonisation bactérienne. Par exemple, dans le cas de 'Ca. L. solanacearum', les plants de pomme de terre et de tomate peuvent présenter une maladie grave, tandis que les plants de poivron et d'aubergine peuvent survivre avec des populations de psylles virulentes sans développer de symptômes graves (Lin et Gudmestad, 2013). Des observations de ce type suggèrent que le développement de symptômes dans les plantes infectées par 'Ca. Liberibacter' pourrait être déterminé principalement par la sensibilité de la plante hôte à l'infection, modulée par des interactions spécifiques entre la bactérie et la plante hôte. Le stress de la plante, causé par la taille, par exemple, peut également augmenter la prolifération bactérienne et le développement des symptômes (Albrecht et Bowman, 2012). Cela peut être dû à la propagation des bactéries dans le feuillage stimulé par la taille (Johnson et al., 2013) et au fait que la plante elle-même a moins de ressources pour lutter contre le pathogène parce qu'elle est en même temps confrontée à une autre condition de stress. Certaines espèces botaniques semblent être immunisées contre l'infection par 'Ca. Liberibacter', bien qu'elles soient utilisées pour nourrir les psylles infectés.

Par exemple, la patate douce ou la pomme de terre américaine (*Ipomoea batatas*) (Convolvulaceae) a maintenu une population infectée par *B. cockerelli* pendant plusieurs mois sans que 'Ca. L. solanacearum' ne soit transmis (Sengoda et al., 2013). Il est intéressant de noter qu'un grand nombre de cellules bactériennes ont été trouvées dans les tubes du phloème de plantules non symptomatiques, alors qu'elles n'ont pas été observées dans les plantules symptomatiques (Folimonova et Achor, 2010). La quantité de bactéries observée dans les tubes du phloème semble insuffisante pour causer directement la maladie, suggérant que dans les stades avancés de la maladie, la population bactérienne peut être en faible concentration (Achor et al., 2010). Chez la pomme de terre, les symptômes de la maladie ZC ont été observés dans les parties superficielles de la plante et comprenaient la chlorose et la décoloration, le gonflement des entre-nœuds, la prolifération des pousses axillaires, les tubercules aériens, le brunissement du système vasculaire et la mort de la plante (Secor et Rivera-Varas, 2004 ; Munyaneza et al., 2007 ; Munyaneza, 2012).

Contrairement à la pomme de terre, où la bactérie est souvent disséminée de manière inégale dans la plante, la carotte est systématiquement infectée par 'Ca. L. solanacearum', ce qui entraîne un titre bactérien élevé à la récolte, en étroite corrélation avec les symptômes foliaires et racinaires (Nissinen et al., 2014).

1.2 Développement des symptômes sur les plantes affectées

PARTIE 2

Dans les plantes gravement atteintes, de nombreuses cellules du tissu phloémien sont colonisées par des bactéries, ce qui entraîne l'effondrement des cellules.

L'effondrement cellulaire observé est probablement une conséquence de la réponse de défense de la plante qui conduit à la mort cellulaire. Les dommages dans les vaisseaux du phloème entravent le transport du saccharose vers la racine, ce qui explique la réduction du poids de la racine observée dans les plantes atteintes. Chez le céleri, 'Ca. L. solanacearum' haplotype E provoque une prolifération et un enroulement des tiges similaires aux symptômes causés par les maladies à phytoplasme (Hogenhout et al., 2008b ; Teresani et al., 2014).



Figure. 8 - Symptoms of yellowish discoloration (on the left) and purplish discoloration (on the right) on carrot leaves.



INTEMAR

**Cette publication a été réalisée avec le soutien financier de l'Union européenne dans le cadre du Programme IEV de Coopération Transfrontalière Italie-Tunisie 2014-2020 à travers le projet INTEMARIS_ 2.1_073 « Innovations dans la lutte intégrée contre les ravageurs et maladies récemment introduits sur cultures maraîchères ». Son contenu relève de la seule responsabilité du bénéficiaire principal et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne et celles de l'Autorité de Gestion (numéros de subvention E64118002460007).*