

Le « slow decline » des citrus dû au nématode *Tylenchulus semi-penetrans* Cobb.

par

A. VILARDEBO (*)

et

Michel LUC (**)

I. F. A. C.

O. R. S. T. O. M.

En décembre 1960, la mission de coopération de l'Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (I. F. A. C.) auprès de la Direction de la Recherche Agronomique et de l'Enseignement agricole du Maroc pour les questions d'agrumiculture était quelque peu inquiétée par la mauvaise croissance observée dans certains vergers.

Afin de préciser le rôle éventuel que pouvaient avoir les nématodes dans ces déficiences, deux échantillons de sol ont été adressés à l'un des auteurs pour identification des espèces présentes. Il n'a pas été observé *Radopholus similis*, parasite extrêmement dangereux et agent du « spreading decline » en Floride, mais *Tylenchulus semi-penetrans*, agent du « slow decline », était présent en abondance.

Celui-ci, sans occasionner de dégâts aussi importants que celui-là, n'est cependant pas à négliger.

Devant l'importance économique que les nématodes peuvent présenter pour l'agrumiculture et par suite du manque total d'information dans ce domaine au Maroc, le Gouvernement de ce pays a chargé l'un des auteurs (A. VILARDEBO) d'étudier ce problème.

Le présent article constitue un élément préliminaire à cette mission.

HISTORIQUE. RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE. ORIGINE

Un dépérissement des *Citrus* observé en Californie, fut pour la première fois attribué à un nématode par THOMAS (1913). L'agent, *Tylenchulus semi-penetrans*, est décrit par COBB la même année (1913). Mais ce parasite existait déjà dans d'autres contrées puisque très rapidement il est signalé par COBB (1914) sur des *Citrus* en provenance de Floride, Espagne, Malte, etc., et par TRABUT (1915) en Algérie.

En fait, *T. semi-penetrans* est pratiquement présent partout où des plantations étendues d'agrumes existent. Il a été signalé à ce jour dans les pays suivants :

Europe : Espagne, France, Italie, Malte, U. R. S. S.

Afrique : Afrique du Sud, Algérie, Égypte, Maroc, Rhodésie, Uganda, Tunisie.

Amérique : Argentine, Brésil, Chili, États-Unis, Pérou.

(*) Ingénieur agronome, Institut F. de Rech. Fruitières O. M., Centre de Côte d'Ivoire, Abidjan.

(**) Maître de Recherches O. R. S. T. O. M. Institut d'Enseignement et de Recherches Tropicales, Abidjan, Côte d'Ivoire.

Asie : Ceylan, Chine, Formose, Israël.

Océanie : Australie, Hawaii.

T. semi-penetrans vient d'être récemment reconnu par les auteurs en Côte-d'Ivoire dans de vieilles plantations de pamplemoussiers et d'orangers ainsi qu'en Guinée.

Il est certain que ce parasite existe dans bien d'autres contrées.

Étant donné la vaste répartition géographique de ce parasite due vraisemblablement aux transports de plants de *Citrus* effectués de tous temps, il peut sembler vain de rechercher son lieu d'origine. Toutefois CHITWOOD et BIRCHFIELD (1957) supposent que *T. semi-penetrans* est originaire de Floride ; ces deux auteurs l'ont en effet rencontré en plusieurs occasions sur *Mikania batatifolia* D. C., une Composée sauvage très répandue dans cette région ; plusieurs des prélèvements positifs provenaient de lieux qui n'avaient jamais été mis en culture.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° / 24936x/

29 OCT. 1960



LE PARASITE

Les œufs de *T. semi-penetrans* éclosent dans le sol. Les larves qui en sortent ont déjà subi une mue à l'intérieur de l'œuf comme il est de règle chez le groupe (Tylenchida) auquel appartient cette espèce. Ces larves sont donc dites « larves de 2^e stade ». Elles se

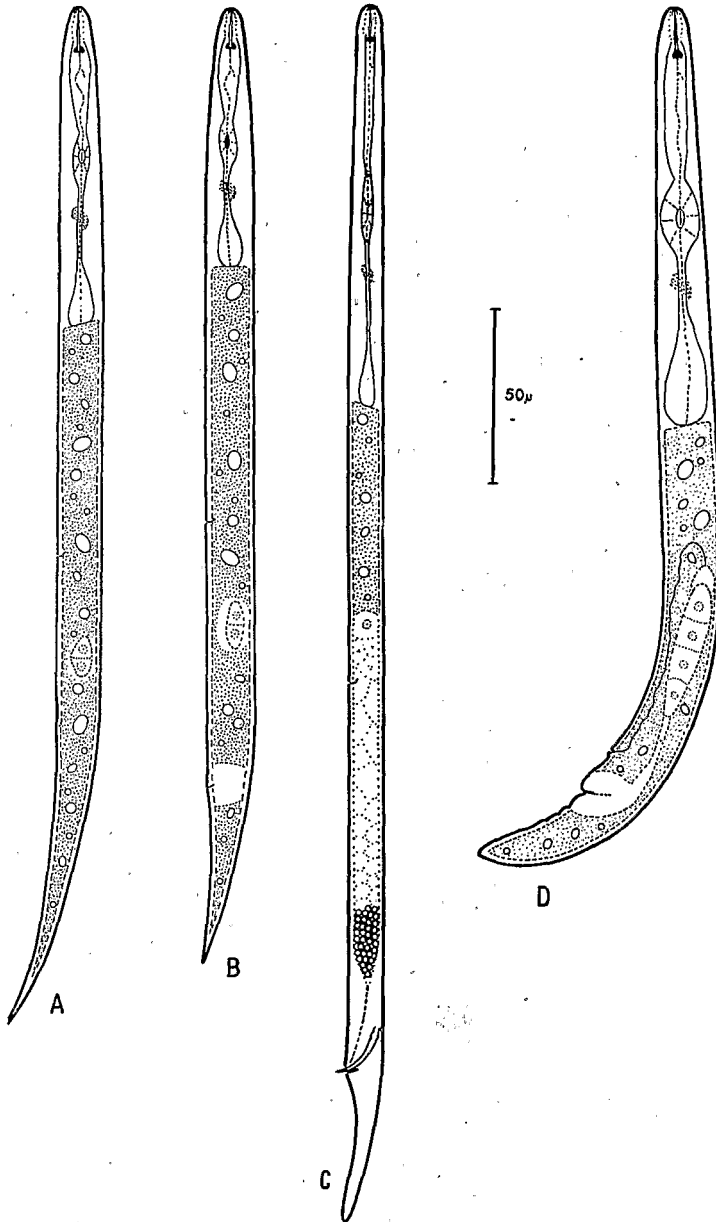


FIG. 1. — Stades libres de *Tylenchulus semi-penetrans* Cobb.

A : Larve femelle, 2^e stade. — B : Larve mâle, 2^e stade. — C : Mâle adulte.
D : Jeune femelle adulte. — (d'après S. D. Van Gundy, 1958).

présentent sous la forme d'un fuseau, arrondi à l'avant et assez effilé vers l'arrière, long de 300 μ à 350 μ ; elles possèdent un stylet long de 12 à 13 μ orné de trois boutons basaux arrondis ; l'œsophage comprend un bulbe médian valvulaire moyennement développé suivi d'une assez longue partie mince (l'isthme) se terminant par un bulbe basal glandulaire renflé ne recouvrant pas l'intestin. C'est ce dernier caractère qui permet d'identifier aisément les larves de *T. semi-penetrans* lors des comptages routiniers et de les différencier notamment des larves de *Meloidogyne* souvent présentes dans les mêmes échantillons : alors que chez ces dernières la limite œsophago-intestinale est très oblique et peu nette, chez les larves de *T. semi-penetrans* cette limite, très distincte, est perpendiculaire au grand axe du corps. En cas de doute, un examen microscopique à fort grossissement révélera le caractère typique du genre : la position du pore excréteur situé sur la moitié postérieure du corps alors que chez tous les autres genres de Tylenchida il est situé au plus au niveau du quart antérieur. Il n'y a pas à craindre de confusion avec d'autres espèces du même genre ; la seule autre espèce connue, *Tylenchulus mangenoti* Luc, strictement localisée et spécialisée, parasite en effet une plante sauvage en de rares points de la Côte d'Ivoire.

Dès ce stade, on peut reconnaître les larves qui donneront des femelles de celles qui donneront des mâles : les premières sont plus minces et plus effilées à l'arrière que les secondes et ont un œsophage plus long.

L'évolution des larves mâles et des larves femelles est très différente (VAN GUNDY, 1958).

Les larves mâles demeurent très peu de temps au second stade (2 à 3 jours) et subissent rapidement trois autres mues pour se transformer en mâle adulte. L'ensemble du processus depuis l'éclosion de l'œuf peut ne prendre que 180 heures. Les mâles adultes, longs de 330 μ à 410 μ , possèdent un œsophage réduit non fonctionnel ; le stylet n'est pratiquement plus visible ; les organes sexuels par contre sont très développés et le testicule unique remplit plus du tiers du corps. Ne pouvant se nourrir et vivant sur leurs réserves les mâles doivent avoir une durée de vie courte. Pendant toute la durée de leur développement ils vivent dans le sol ; le développement entier peut se passer en l'absence d'hôte ; les mâles ne sont donc pas des parasites obligés.

Les larves femelles peuvent demeurer par contre très longtemps au deuxième stade qui constitue le

stade de résistance du nématode ; cette durée dépend essentiellement de la température du sol et peut varier de deux ans et demi pour un sol à 15° C à deux mois et demi pour un sol à 32,5° C (BAINES, 1950). Avant de se transformer en femelles adultes les larves de deuxième stade subissent elles aussi trois mues successives. Au cours de ces mues leur morphologie change : la queue se raccourcit et s'arrondit, le corps s'épaissit, l'œsophage se développe en longueur et en largeur ; les jeunes femelles sont plus trapues avec une queue courte, la portion postérieure du corps arquée ventralement, un œsophage atteignant presque la moitié du corps ; les lèvres de la vulve, située très postérieurement, se renflent. Entre la deuxième mue et la quatrième conduisant à l'adulte, il s'écoule environ sept jours.

Les larves femelles ne semblent pas pénétrer dans les racines, mais vivent à la surface de celles-ci ; les jeunes femelles pénètrent ensuite assez rapidement dans les racines.

La partie antérieure du corps, jusqu'après la jonction œsophago-intestinale, s'insère entre les cellules du parenchyme radiculaire, la partie postérieure restant à l'extérieur de la racine, d'où le nom de l'espèce. Cette partie postérieure se gonfle considérablement par suite du grand développement pris par la gonade femelle. A pleine maturité la femelle se présente avec une partie antérieure d'abord effilée, droite, puis montrant des renflements très variables en nombre et en forme, car ils proviennent du moulage de l'animal dans les espaces intercellulaires. Cette portion antérieure contient le stylet, l'œsophage, pourvu d'un volumineux bulbe médian à valvules très développées, faisant office de pompe aspirante et foulante, et un bulbe basal glandulaire à trois noyaux. La portion extérieure du corps est en forme de cornemuse, renflée, avec une queue courte, arquée ventralement. L'appareil génital comprend une seule gonade, très contournée. Il n'y a pas d'anus visible, par contre l'appareil excréteur (en compensation ?) est bien développé et le pore excréteur situé près de la vulve. La cuticule de la partie extérieure est nettement plus épaisse que celle de la partie engagée dans les tissus radiculaires.

Une seule femelle peut pondre un assez grand

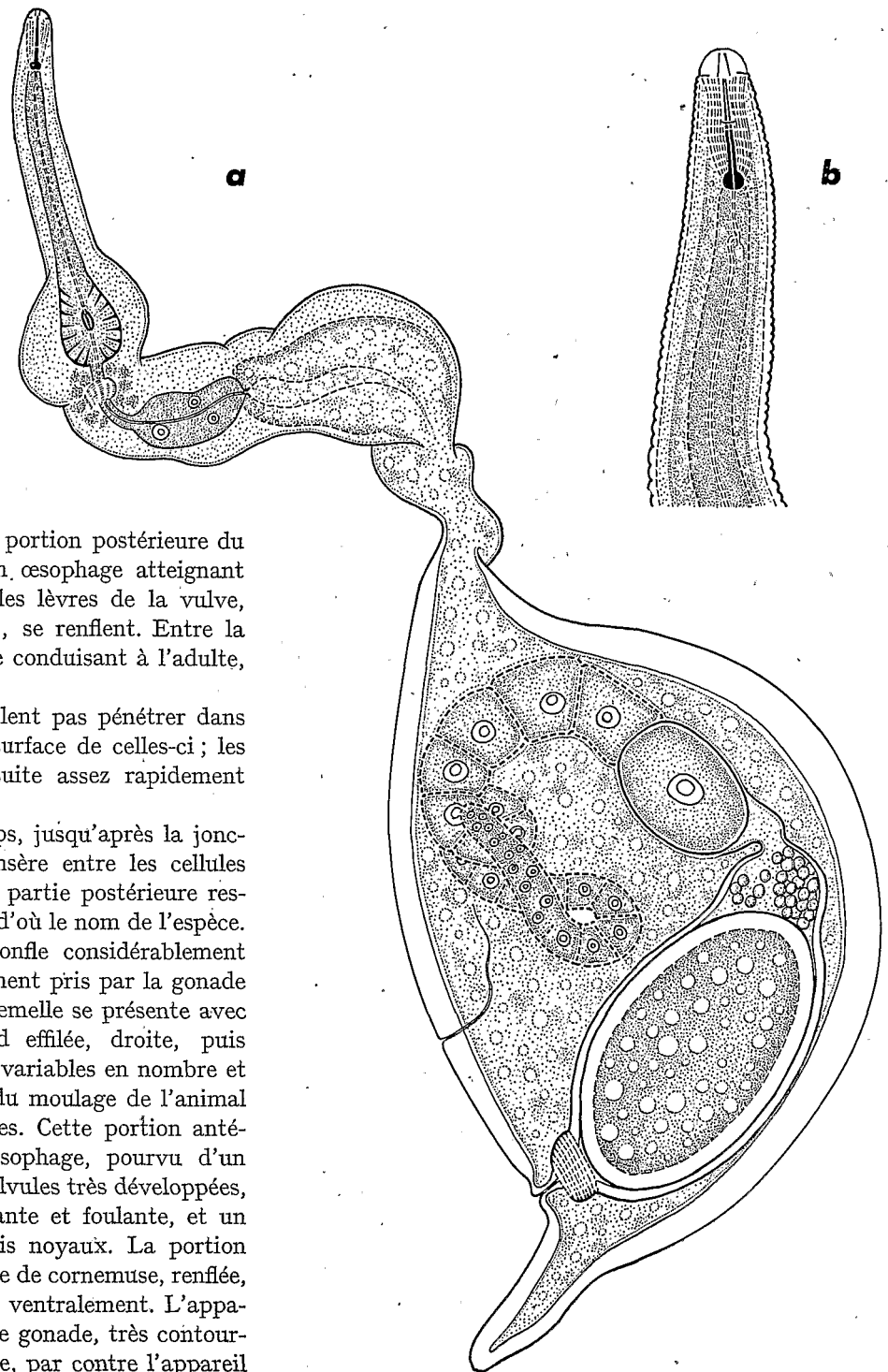


FIG. 2. — *Tylenchulus semi-penetrans*.

- a) Femelle adulte mûre
- b) Détail de la tête.

Dessin original de M. Luc.

nombre d'œufs (75 à 100). Ces œufs mêlés à une substance gélatineuse restent agglomérés en masse autour de la femelle en formant de petites boules irrégulières, auxquelles adhèrent des particules de sol. A l'intérieur de ces masses se trouvent non seulement des œufs, mais aussi des larves, des mâles et de jeunes femelles, car le développement peut commencer immédiatement après la ponte.

Le cycle d'œuf à œuf a une durée de six à huit semaines.

La fécondation des femelles a lieu alors que celles-ci n'ont pas encore pénétré dans les racines. Cette fécondation n'est d'ailleurs pas obligatoire, et des femelles non fécondées peuvent pondre des œufs contenant des larves, mâles et femelles, parfaitement viables.

L'infestation des *Citrus* par *T. semi-penetrans* est sous la dépendance étroite de la température du sol (BAINES, 1950) : la plage optimum s'étend de 25° C à 31° C ; à 15° et à 35° l'infestation ne sera que très légère. Quand la température du sol descend en hiver au-dessous de 15°, les larves entrent en état de quiescence, demeurent inactives mais ne meurent pas.

Tous les stades de *T. semi-penetrans* sont très sensibles à la sécheresse ; par contre, les larves et les mâles survivent très bien à une submersion prolongée pendant plus de neuf mois (GUTIERREZ, 1947). De même l'action de différents sels solubles (NaCl, SO₄Na₂, CaCl₂) conduit à un accroissement de la population de *T. semi-penetrans* (MACHMER, 1958).

PLANTES SENSIBLES ET SÉLECTION DE CITRUS RÉSISTANTS

La liste des espèces et croisements d'espèces de *Citrus* reconnus sensibles à *T. semi-penetrans* est, à ce jour, la suivante :

Citrus amblicarpa Ochse
Citrus aurantifolia (Chaistm.) Swingle
Citrus aurantifolia var. *dulcis*
Citrus Aurantium L.
Citrus celebica var. *southwickii* (Wester) Swingle
Citrus depressa Hayata
Citrus erythroa Hort. ex Tanaka
Citrus excelsa Wester
Citrus grandis (L.) Osbeck
Citrus grandis var. *paradisi*
Citrus hystrix D. C.
Citrus ichangensis SWINGLE
Citrus jambhiri Lush.
Citrus limetta Risso
Citrus Limon
Citrus limonia Osbeck
Citrus longispina Wester
Citrus macrophylla Wester
Citrus macroptera Montr.
Citrus Medica L.
Citrus megaloxycarpa Lush.
Citrus mitis Blanco
Citrus nobilis Lour.
Citrus nobilis var. *deliciosa*
Citrus paradisi Macfard
Citrus reticulata BLANCO

Citrus sinensis (L.) Osbeck
Citrus taiwanica Tanaka et Shimada
Citrus vulgaris
Citrus aurantifolia × *Fortunella* sp.
Citrus grandis × *Citrus Limon*
Citrus grandis × *Citrus sinensis*
Citrus ichangensis × *Citrus grandis*
Citrus ichangensis × *Citrus Limon*
Citrus ichangensis × *Citrus reticulata*
Citrus Limon × *Citrus paradisi*
Citrus macroptera × *Citrus reticulata*
Citrus mitis × *Citrus reticulata*
Citrus reticulata × *Citrus grandis*
Citrus reticulata × *Citrus paradisi*
Citrus reticulata × *Citrus sinensis*
Citrus sinensis × *Poncirus trifoliata*
Citrus tachibana (Mak.) Tan. × *Citrus reticulata*
Eremocitrus glauca × *Citrus Limon*
Fortunella japonica × *Citrus grandis*
Poncirus trifoliata × *Citrus Aurantium*
Poncirus trifoliata × *Citrus Limon*
Poncirus trifoliata × *Citrus paradisi* (*Poncirus trifoliata* × *Citrus sinensis*) × *Citrus sinensis*
(*Poncirus trifoliata* × *Citrus sinensis*) × *Fortunella* sp.

Parmi les genres voisins de Rutacées, les espèces suivantes sensibles ont été signalées :

Poncirus trifoliata (L.) Raf.
Fortunella sp.
Fortunella crassifolia Swingle
Fortunella japonica (Thunb.) Swingle
Cneoridium dumosum Hook
Microcitrus australasica (F. Muell) Swingle
Microcitrus australasica ver. *sanguinea*
Microcitrus virgata Swingle
Eremocitrus glauca (Lindl.) Swingle
Clausena lansium (Lour.) Skeels
Atalantia citroides Pierre ex. Guill.

Enfin de rares plantes appartenant à d'autres familles ont été trouvées porteuses de *T. semi-penetrans* :

Olea europea L. (Oléacées). Californie.
Syringa vulgaris L. (Oléacées). Californie.
Vitis vinifera L. (Vitacées). Californie, Australie.
Diospyros lotus L. (Ebénacées). Californie.
Mikania batatifolia D. C. (Composées). Californie, Floride.
Musa textilis Née (Musacées). B. Bornéo.

Certaines Rutacées voisines des *Citrus* se sont montrées résistantes à *T. semi-penetrans*. Il s'agit de :

Aeglopsis chevalieri Swingle
Afraegle paniculata (Schum.) Engl.
Balsamocitrus dawei Stapf.
Clausena lansium (Lour.) Skeels

Murraya paniculata (Linn.) Jack
Poncirus trifoliata (L.) Raf. (certaines sélections)
Severinia buxophila (Poir.) Tenore.

On remarquera que certaines espèces végétales, *Clausena lansium* et *Poncirus trifoliata*, sont citées à la fois comme sensibles et comme résistantes à *T. semi-penetrans*. L'explication en est qu'à l'intérieur de *T. semi-penetrans* existent plusieurs races biologiques n'ayant pas la même virulence envers toutes les plantes cotées globalement comme sensibles. L'existence de différences dans la pathogénie des nématodes suivant la race biologique avec laquelle on expérimente a été fort bien mise en évidence par BAINES, CLARKE et CAMERON (1958) : trois souches de *T. semi-penetrans* sont isolées de *Poncirus trifoliata*. Une souche est isolée d'oranger de la variété « Standard sour ». On infeste ensuite des orangers de cette variété et les *Poncirus trifoliata*, cultivés sur terre stérilisée, avec chacune de ces quatre souches ; les résultats sont les suivants :

Souches Poncirus sur Poncirus	$\left\{ \begin{array}{l} 90 \% \text{ des pieds infectés légèrement.} \\ 10 \% \text{ des pieds infectés moyennement.} \end{array} \right.$
Souches Poncirus sur Oranger	
Souche Oranger sur Oranger	$\left\{ \begin{array}{l} 100 \% \text{ des pieds infectés moyent à grav.} \\ 100 \% \text{ des pieds infectés moyent à grav.} \end{array} \right.$
Souche Oranger sur Poncirus	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \% \text{ des pieds infectés légèrement.} \\ 99 \% \text{ des pieds non infectés.} \end{array} \right.$

On voit, dans ce cas précis, que si l'on tente de connaître la sensibilité de *Poncirus trifoliata* à *T. semi-penetrans* en l'infectant avec une souche venant d'oranger, on a 99 % de chances de coter cette plante comme résistante alors qu'en réalité elle est à 100 % sensible à sa propre souche. *Clausena lansium* doit certainement être dans le même cas.

En tout état de cause, *Poncirus trifoliata* n'est pas très gravement attaqué même par sa propre souche, aussi est-il recommandé comme porte-greffe dans les zones où *T. semi-penetrans* est très répandu. De même certains citranges (*Poncirus* × orangers), notamment les variétés Troyer et Uvalde, seraient modérément résistants (BAINES, VAN GUNDY et SHER, 1959).

Les produits de nombreux croisements entre *Ponci-*

rus et des *Citrus* divers sont actuellement testés aux U. S. A. Mais il s'agit là d'un programme de longue haleine et pour l'instant ce sont les traitements chimiques qui constituent l'essentiel de la protection contre le « slow decline ».

Symptômes sur la plante. Dommages causés.

Les symptômes caractéristiques doivent être recherchés sur les radicelles. Celles qui sont gravement infectées montrent des nécroses étendues, ont un aspect contourné, irrégulier, et sont plus épaisses et plus courtes que les racines saines. Les particules de sol y restent adhérentes. Ces dégâts sur les racines ont donné en Amérique du Sud, les noms employés pour désigner cette affection : « podridao das radice-las » au Brésil, « podredumbre de las raicillas » dans les pays de langue espagnole. Des pourritures secondaires peuvent intervenir qui aggravent les symptômes ; les *Citrus* attaqués par *T. semi-penetrans* seraient ainsi plus sensibles aux attaques de champignons du genre *Fusarium*.

Sur les parties aériennes les symptômes sont beaucoup moins nets ; ils sont ceux causés par une intoxication et une malnutrition. *T. semi-penetrans* ne tue d'ailleurs pas les *Citrus* atteints mais diminue, parfois considérablement, leur vigueur. Les arbres parasités sont plus petits, ont des feuilles moins nombreuses, plus petites, plus pâles que les arbres normaux ; les fruits sont produits en moins grand nombre et ont un plus faible volume ; le besoin d'engrais se fait sentir plus rapidement ; les reprises de végétation printanière sont moins rapides, les symptômes s'aggravent d'ailleurs en même temps que l'arbre vieillit et celui-ci peut finir par ne produire que des fruits non commercialisables.

Des expériences d'infestation artificielle (BAINES et CLARKE, 1952) ont permis de chiffrer la diminution de vigueur causée par *T. semi-penetrans*. La diminution du volume des racines peut atteindre 40 % par rapport au témoin sain. La diminution du poids frais des organes aériens varie de 10 % (infestation légère) à 50 % (infestation forte) ; la diminution du diamètre du tronc atteint 35 % ; celle de la hauteur des arbres 43 %.

D'après d'autres observations (BAINES, VAN GUNDY et SHER, 1959) la croissance des *Citrus* gravement parasités par *T. semi-penetrans* était de 40 à 50 % plus faible que celle des témoins indemnes.

En fait les symptômes aériens sont peu caractéristiques et ont même quelquefois été confondus avec ceux de la « tristeza », maladie à virus. Les symptômes sur les parties radiculaires sont plus nets, mais le dégagement de celles-ci, leur lavage et leur examen sont longs. La meilleure méthode de repérage des foyers de « slow decline » est certainement le prélèvement de sol de rhizosphère et l'examen du peuplement nématologique : en cas de maladie les larves et les mâles de *T. semi-penetrans* sont toujours très abondants et, avec un peu d'habitude de la part de l'opérateur, sont très aisément et rapidement identifiés.

Si *Tylenchulus semi-penetrans* a été reconnu dans de très nombreux pays, peu de précisions ont été données sur l'importance de son parasitisme.

En Californie, 90 % au moins des vergers de *Citrus* sont atteints (BAINES, 1950) et plus de 50 % dans l'Arizona (REYNOLDS et O'BANNON, 1958).

Comme pour presque tous les parasites du système racinaire, évaluer exactement les dommages est pratiquement impossible sans une expérimentation, car ils se traduisent par une diminution de la taille et du nombre des fruits et par un ralentissement de la production. Aucun critère ne permet de calculer ces pertes dont la valeur ne peut être estimée que par comparaison avec la production de parcelles ayant reçu des traitements nématicides.

Le tableau suivant donne quelques chiffres relatifs à l'augmentation de production obtenue dans quelques vergers de Californie et d'Arizona, zones agrumicoles où *Tylenchulus semi-penetrans* a été le plus étudié (BAINES et al., 1958, 1960).

VARIÉTÉS CULTIVÉS	PORTE-GREFFE	AGE DU VERGER	AUGMENTATION DE PRODUCTION
<i>Citronniers :</i>			
Eureka. ...	oranger doux	7 ans	22 %
Lisbonne ...	oranger doux	16 ans	12 %
Lisbonne ...	oranger doux	20 ans	9 %
Eureka.	Rough Lemon	9 ans	21 %
Eureka.	Rough Lemon	16 ans	10 %
<i>Orangers :</i>			
Valencia. ...	oranger doux	11 ans	28 % (à partir de la 3 ^e année après traitement)
Navel.	?	34 ans	13 %
<i>Tangerine :</i>			
Dancy.	?	30 ans	21 %

Ces chiffres donnent une idée de la valeur de l'amélioration possible à la suite de traitements. Ils dépendent bien entendu des conditions propres à chaque verger et de la climatologie. Dans un verger de tangerine Dancy, traité en avril 1957, il a été obtenu une augmentation de production de 21 % à la récolte de janvier 1958. Les conditions climatiques de l'année 1958 ayant été très bonnes, la production des témoins en janvier 1959 fut élevée et 2 à 3 % seulement d'augmentation de récolte fut enregistrée dans les parcelles traitées, mais ce taux passa à 14 % l'année suivante (janvier 1960) (BAINES et al., 1960).

Les traitements nématicides dans les vergers d'agrumes attaqués par *T. semi-penetrans* apparaissent donc également comme un régulateur de production.

ASPECT DE LA LUTTE CONTRE *T. SEMI-PENETRANS*

Dans le chapitre consacré à la biologie de ce parasite, il a été précisé que les larves et les mâles se trouvaient libres dans le sol tandis que les femelles adultes étaient fixées sur les racines, la partie postérieure du corps faisant saillie à l'extérieur.

A aucun moment de son cycle biologique, ce nématode ne se trouve donc protégé à l'intérieur de tissus végétaux, comme chez d'autres espèces, notamment *Radopholus similis* dont les stades œufs, larves et adultes, se déroulent à l'intérieur même de la racine.

La lutte est alors extrêmement difficile et le danger présenté par cette espèce en est accru. Avec *T. semi-penetrans*, il en est tout autrement, car son mode de parasitisme le rend extrêmement vulnérable.

La lutte contre ce parasite revêt différents aspects selon qu'il s'agit du traitement préventif de nouveaux vergers à créer ou du traitement curatif d'arbres déjà en place.

Dans le premier cas, on pourra envisager la création de plantations totalement saines. Cela nécessite un

matériel végétal et un sol indemne de ce parasite.

Bien que quelques autres plantes aient été reconnues sensibles (cf. *supra*), un terrain n'ayant jamais porté ni *Citrus* ni oliviers a cependant de très fortes chances d'être totalement dépourvu de ce nématode. S'il a porté l'une ou l'autre de ces cultures, elles devront être totalement arrachées (il en sera fait de même pour toute repousse). Le sol sera ensuite assaini par un traitement nématicide à forte dose, suivi d'une jachère de plusieurs mois.

Le matériel végétal de plantation (plants racinés greffés) devra provenir de pépinières contrôlées et certifiées indemnes de ce parasite (et d'autres, bien entendu, notamment de *Radopholus similis* en ce qui concerne les nématodes).

En cas de doute il sera prudent de traiter les jeunes plants par la chaleur. L'éradication de *T. semi-penetrans* peut être effectuée à l'aide des traitements suivants (BAINES et al., 1949) :

— Trempage des racines nues dans l'eau chaude :

- à 45° C pendant 25 mn,
- ou à 46,5° C pendant 10 mn,
- ou à 48,3° C pendant 5 mn.

— Chauffage des pots contenant les plants, dans l'air humide :

- à 46° C pendant 20 mn.

— Chauffage des plants en motte dans l'air humide :

- à 39-40° C pendant 20 mn.

Dans les deux derniers cas, la température devra être prise au centre du pot ou de la motte et le temps compté à partir de l'établissement de la température désirée, ce qui demande de 2 à 3 heures.

Dans ces conditions, et en prenant toute disposition pour éviter une réinfestation ultérieure, il sera créé un verger indemne de *T. semi-penetrans* (cas de sols vierges) ou avec de très faibles chances d'infestation (cas de terrains ayant déjà servi à la culture de *Citrus*). On évitera ainsi, tout au moins pendant de nombreuses années, l'obligation de traitements nématicides.

Dans le cas de vergers établis reconnus infestés, ce sont les arbres en place que l'on traitera. Pour les raisons citées précédemment, d'excellents résultats peuvent être obtenus mais il ne faut pas cependant espérer une éradication du parasite.

Les produits utilisés.

Parmi les nématicides susceptibles d'être utilisés dans la lutte contre *T. semi-penetrans*, citons :

— le Dichloropropane-Dichloropropène ou D. D.

— le Di-Bromo-Chloro-Propane ou D. B. C. P. connu sous différents noms commerciaux dont celui de Némagon en Europe.

— le méthylthiocaramate de sodium ou Vapam.

Le D. D. est un excellent nématicide diffusant bien dans le sol. Les modalités de son application ont été étudiées de manière très approfondie (BAINES et al., 1956, 1957, 1959). Les doses d'application varient de 500 à 2 400 litres/ha selon la texture sableuse ou argileuse du sol. Ce nématicide doit être injecté dans le sol, soit avec des appareils à main, soit avec des machines à grand travail, à une profondeur de 20 à 25 cm. Pour favoriser la diffusion du gaz, le sol sera ameubli sur une bonne profondeur (cas de traitement avant plantation) avant l'application des nématicides, mais il sera ensuite tassé en surface afin d'y former une croûte qui évitera des pertes de produit par diffusion dans l'air. Il est recommandé d'effectuer les traitements en sol humide. Après un traitement avec le D. D. et afin d'éviter toute action toxique sur les jeunes arbres, il y aura lieu d'attendre 3 à 5 mois en sol léger, 4 à 6 mois en sol argileux avant de planter.

Le di-bromo-chloro-propane ou D. B. C. P. contrôle également de façon excellente les nématodes mais il exige, pour que sa diffusion soit bonne, une température du sol assez élevée (voisine de 25°). Dans les sols lourds, argileux, son action est inférieure à celle du D. D. La profondeur d'injection doit être de 15-20 cm. Injecté plus profondément, ce produit assurera un bon contrôle des nématodes plus en profondeur, mais la surface restera non traitée (ICHIKAWA et al., 1955; GILPATRICKS et al., 1956). Le D. B. C. P. a l'avantage d'être présenté en concentré émulsionnable, ce qui permet son application, soit en injection, soit dans l'eau d'irrigation.

Les doses d'utilisation varient avec la nature du terrain, allant de 25 l/ha en sol poreux, à 240 l/ha en sol compact. Sans être totalement inoffensif, ce produit est suffisamment bien supporté par les *Citrus*, ce qui permet son utilisation dans les traitements des vergers en place. C'est pratiquement le seul qui puisse être appliqué dans de telles conditions.

Le « Vapam » est un nématicide peut-être encore plus actif que les précédents mais sa phytotoxicité interdit toute utilisation en sol portant une culture. Il n'a sa pleine efficacité que s'il est appliqué en arrosage ou par la technique dite de « bassinage » (BAINES, 1957). 650 l/ha de produit à 31 % de M. A. appliqués avec une irrigation équivalente à 150 mm d'eau, assurent une éradication de *Tylenchulus semi-penetrans* sur plus d'un mètre de profondeur (BAINES et al., 1956). Pratiquement, la diffusion du produit ne

s'effectue qu'avec l'eau d'irrigation utilisée au moment de son application. 24 heures après, tout le produit est fixé par le sol qui reste toxique pour les nématodes pendant plusieurs jours (BAINES, 1957). Comme avec le D. D., il y a lieu d'attendre un certain laps de temps avant de planter, mais il ne sera dans ce cas que de quatre semaines.

Parmi les autres produits parfois utilisés, mentionnons le dibromure d'éthylène, le VC-13 et le bisulfure de carbone mais tous de faible intérêt. En fait, seuls le D. D. et surtout le D. B. C. P. sont utilisés sur une grande échelle.

Techniques d'application.

L'application dans le sol de ces nématicides peut se faire soit par injection, soit en les incorporant à l'eau d'irrigation.

L'injection, obligatoire pour les produits non miscibles à l'eau, donne d'excellents résultats mais présente de gros inconvénients. Les appareils à grand travail ne peuvent pas être utilisés après la seconde ou troisième année de plantation par suite du développement des arbres qui empêche le passage de l'engin à proximité du tronc, ce qui laisserait autour de ceux-ci une zone non traitée. De plus ces appareils, en général munis de disques ou de coutres endommagent fortement le système racinaire. Il serait possible de faire le traitement avec des pals injecteurs, mais le travail serait long et mal commode, car la frondaison basse des orangers générerait considérablement l'opérateur dans son travail. En fait cette technique classique dans certaines cultures n'a été utilisée qu'expérimentalement dans les vergers d'agrumes.

Par contre l'application des nématicides avec l'eau d'irrigation est simple et rapide. REYNOLDS et O'BANNON, (1958), VAN GUNDY et al., (1960), BAINES et al., (1960) ont étudié l'efficacité des traitements en fonction du système d'irrigation.

Lorsque l'eau est distribuée dans des cuvettes aménagées autour de l'arbre, le nématicide est incorporé à l'eau, soit à son entrée soit dans la cuvette elle-même soit encore en bout de ligne. Le produit est entraîné dans le sol à une profondeur dépendant du volume d'eau utilisé et de la perméabilité du terrain. La répartition du produit est alors très homogène dans tout le volume de terre entourant l'arbre.

Dans le cas d'irrigation par rigoles, la plus voisine de l'arbre passant à l'aplomb de la frondaison, la distribution du produit est hétérogène, décroissante depuis cette rigole vers la base du tronc. Par ailleurs (BAINES et al., 1960) ont observé une mortalité de

97 %, sur 60 cm de profondeur, en début de ligne mais à une cinquantaine de mètres ce pourcentage tombe en surface à 84 % et à 30 % à mi-profondeur (de 30 à 60 cm) pour n'être plus respectivement que 8 % et nul à l'extrémité de la ligne (90 m). Une distribution plus uniforme du produit peut être obtenue si on a pris la précaution d'imbiber d'eau le sol avant le traitement proprement dit, ce qui complique l'opération et le rend plus coûteuse. VAN GUNDY et al. (1960) observent en outre qu'il a fallu plus d'eau pour remplir la première rigole, sur les trois existantes entre deux rangées d'arbres, qu'il n'en a fallu pour les deux autres, la terre de celles-ci étant déjà partiellement humectée. On observe donc une hétérogénéité de la répartition du produit dans le sens de la longueur comme dans celui de la largeur de la bande de terrain délimitée par deux rangées d'arbres.

L'efficacité des traitements au D. B. C. P. appliqué dans l'eau d'irrigation distribuée par rigoles est nettement plus faible que lorsque la même dose de produit est appliquée en injection ou par une irrigation par cuvettes.

Des études ont également été entreprises sur l'efficacité du D. B. C. P. incorporé à l'eau d'irrigation par aspersion. Par ce procédé d'épandage on obtient une distribution très régulière dans les espaces découverts mais aucun produit n'était détecté dans les échantillons de sol prélevés sous l'arbre (VAN GUNDY et al., 1960) précisément la zone où les populations sont les plus élevées.

Dans la pratique, seule l'irrigation par cuvette convient aux traitements nématicides car c'est la seule donnant une bonne distribution du nématicide. Les traitements ainsi conduits ont une grande efficacité et sont ceux qui doivent être recommandés.

Durée d'efficacité des traitements.

L'ensemble des essais de lutte contre *T. semi-penetrans* est encore trop récent pour donner des indications précises sur ce point.

Dans certains cas une augmentation de production très sensible est encore constatée trois ans après traitement. Dans ces mêmes vergers les populations de nématodes dans le sol sont restées assez faibles tandis que dans d'autres le nombre de nématodes rencontrés justifiait un nouveau traitement.

Traitement des vergers.

Ils seront différents selon qu'il s'agira de traitements effectués avant plantation ou d'arbres en place.

a) *Traitements avant plantation.*

Lorsque le sol est nu de toute culture, il ne se pose pas de problème important ; il n'y aura notamment pas à craindre d'action toxique des produits utilisés, du fait de la période qui s'écoule entre le traitement et la date de plantation. Tous les nématicides mentionnés précédemment sont donc susceptibles d'être utilisés. Ils le seront aux doses qui assurent une mortalité élevée, très voisine de 100 %. Dans ces conditions et avec la plantation de matériel sain, on évitera tout traitement ultérieur. Une dépense accrue de traitement avant plantation, se traduira ultérieurement par des économies certaines.

b) *Traitement des arbres en place.*

C'est la grande majorité des cas de traitement auquel le producteur aura à faire face.

En effet, ce n'est que depuis une dizaine d'années, que l'on s'occupe réellement de ce problème, évitant la propagation du parasite avec le transport des plants. Mais dans la majeure partie des cas, il est trop tard, car la plupart des zones de culture des *Citrus* et des vergers sont déjà infestés. C'est la raison pour laquelle ce parasite est si largement distribué en Californie.

Disposer d'un traitement de lutte contre *Tylenchulus semi-penetrans* dans les vergers en production est donc d'un intérêt primordial. Ce but a pu être atteint grâce à la vulnérabilité du parasite et à la grande tolérance des *Citrus* pour le D. B. C. P. Ce produit est le seul utilisable dans le cas de traitement de vergers en place. Avec tous les autres nématicides, les arbres traités présentent des symptômes d'intoxication, chaque fois que ces produits sont utilisés aux doses actives contre les nématodes.

L'efficacité des traitements à base de D. B. C. P. dépend beaucoup de la nature du terrain. Dans un sol léger sablonneux, 25 l/ha de matière active assurent une mortalité de 100 % jusqu'à un mètre de profondeur alors que 200 litres sont nécessaires à l'obtention du même résultat dans un sol argilo-limoneux. Dans de tels sols, une très forte proportion du produit est absorbée par les particules terreuses dans les 50 cm supérieurs, donnant alors dans cette couche, une très forte concentration en produit ; les racines de *Citrus* y sont alors détruites (BAINES, 1958).

Dans la pratique la dose maximum utilisée est de 100 l/ha tandis que 50 l/ha (et parfois moins) est celle la plus fréquemment appliquée. Avec cette dernière dose, il n'est jamais constaté d'action nocive sur la plante, alors que cela est parfois observé avec la dose double.

CONCLUSION

Par le fait que les attaques de *Tylenchulus semi-penetrans* ne provoquent pas l'apparition de symptômes externes bien visibles ni un dépérissement total de l'arbre atteint, ce parasite n'a que peu attiré l'attention du monde agricole. Malgré sa répartition géographique universelle, son importance économique est encore trop souvent méconnue.

Sa biologie est assez bien précisée mais les connaissances sur les conditions écologiques de son parasitisme sont encore très limitées.

Tout le développement larvaire se déroule dans le sol, puis la femelle fixée vit la partie antérieure de son corps à l'intérieur de la racine mais la partie postérieure reste externe. A aucun moment de son cycle biologique, ce nématode n'est donc protégé de l'action éventuelle des fumigants nématicides mis dans le sol. Cela explique les résultats positifs des essais de traitements qui en même temps ont mis en évidence l'importance économique de ce parasite.

La lutte, dans son principe, est simple puisqu'il suffit de répartir dans le sol jusqu'à une profondeur suffisante un fumigant nématicide pour tuer larves et femelles. Le D. B. C. P. offre pour cela de sérieux avantages :

une grande toxicité pour les nématodes alliés à une faible action sur les *Citrus*, la possibilité d'application dans l'eau d'irrigation. C'est cependant sur ce dernier point qu'apparaissent certaines difficultés. Parmi les différentes techniques d'irrigation, seule celle utilisant des cuvettes aménagées autour de l'arbre convient réellement, car elle assure une distribution uniforme du fumigant. Une grande difficulté apparaît avec les sols très riches en argile, car cette dernière fixe le nématicide qui reste alors dans la cape supérieure de terre, les couches sous-jacentes restant non traitées. L'efficacité du traitement est alors réduite dans de fortes proportions. Mais ces difficultés seront certainement surmontées dans un proche avenir et d'ores et déjà des traitements à la dose de 25 à 50 l/ha de D. B. C. P. peuvent être recommandés sur de grandes superficies avec une rentabilité certaine.

BIBLIOGRAPHIE

- BAINES (R. C.). — Nematodes on Citrus. Soil fumigation and resistant Citrus varieties promising as control. *Calif. Agric.*, 4, 8, 7, 1950.
- BAINES (R. C.). — Results with Vapam to control nematodes, fungi. *Calif. Citrograph*, 42, 202, 204, 206-209, 1959.
- BAINES (R. C.), BITTERS (W. P.) & CLARKE (O. F.). — Susceptibility of some species and varieties of Citrus and some other rutaceous plants to the Citrus nematode. *Pl. Dis. Repr.*, 44, 281-285, 1960.
- BAINES (R. C.) & CLARKE (O. F.). — Citrus-root nematode. Effects on young lemon and orange trees studied in inoculation tests under controlled conditions. *Calif. Agric.*, 6, 9-13, 1952.
- BAINES (R. C.), CLARKE (O. F.) & CAMERON (J. W.). — A difference in the pathogenicity of the Citrus nematode from trifoliolate orange and sweet orange roots. *Phytopathology*, 48, 391, 1958.
- BAINES (R. C.), FOOTE (F. J.) & MARTIN (J. P.). — Fumigate soil before replanting to control Citrus nematode. *Calif. Citrograph*, 41, 427, 448-451, 1955.
- BAINES (R. C.) KLOTZ (L. J.), CLARKE (O. F.) & DE WOLFE (T. A.). — Hot water treatment of orange trees for eradication of the Citrus root nematode and *Phytophthora citrophora*. *Phytopathology*, 39, 858, 1949.
- BAINES (R. C.), STOLZY (L. H.), SMALL (R. H.), BOSWELL (S. B.) & GOODHALL (G. E.). — Controlling Citrus nematodes in established orchards. *Calif. Citrograph*, 45, 389, 400, 402, 404-406, 1960.
- BAINES (R. C.), STOLZY (L. H.), TAYLOR (O. C.), SMALL (R. H.) & GOODHALL (G. E.). — Nematode control on bearing trees. *Calif. Citrograph*, 43, 328-329, 1958.
- BAINES (R. C.), VAN GUNDY (S. D.) & SHER (S. A.). — Citrus and avocado nematodes. *Calif. Agric.*, 13, 16-18, 1959.
- CAMERON (J. W.), BAINES (R. C.) & CLARKE (O. F.). — Resistance of hybrids of the trifoliolate orange to infestation by the Citrus nematode. *Phytopathology*, 44, 456-458, 1954.
- CHITWOOD (B. G.) & BIRCHFIELD (W.). — Citrus-root nematode, a native to Florida soils. *Pl. Dis. Repr.*, 41, 525, 1957.
- COBB (N. A.). — Notes on *Mononchus* and *Tylenchulus*. *J. Wash. Acad. Sc.*, 3, 287-288, 1913.
- COBB (N. A.). — Citrus root nematode. *J. Agric. Res.*, 2, 217-230, 1914.
- GILPATRICK (J. D.), ICHIKAWA (S. T.), TURNER (M.) & MCBETH (C. W.). — The effect of placement depth on the activity of Nemagon. *Phytopathology*, 46, 529-531, 1956.
- GUTIERREZ (R. O.). — El nematode de las raicillas de los Citrus *Tylenchulus semi-penetrans* en la Republica Argentina. *Rev. Invest. Agric., B. Aires*, 1, 119-146, 1947.
- ICHIKAWA (S. T.), GILPATRICK (J. D.) & MCBETH (C. W.). — Soil diffusion pattern of 1, 2 dibromo-3-chloropropane. *Phytopathology*, 45, 576-578, 1955.
- MACHMER (J. H.). — Effect of soil salinity on nematodes in Citrus and papaya plantings. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.*, 12, 57-60, 1958.
- O'BANNON (J. H.). — Application of emulsifiable dibromochloropropane in irrigation water as a preplanting soil treatment. *Pl. Dis. Repr.*, 42, 857-860, 1958.
- REYNOLDS (H. W.) & O'BANNON (J. H.). — The Citrus nematode and its control on living Citrus in Arizona. *Pl. Dis. Repr.*, 42, 1288-1292, 1958.
- THOMAS (E. E.). — A preliminary report of the nematode observed on Citrus roots and its possible relation with the mottled appearance of Citrus trees. *Agric. Exp. Sta. Calif.*, Circ. n° 85, 14 p., 1913.
- TRABUT. — Dépérissement des orangers causé par un nématode. *C. R. Acad. Agric. France*, 1, 222, 1915.
- VAN GUNDY (S. D.). — The life history of the Citrus nematode *Tylenchulus semi-penetrans* Cobb. *Nematologica*, 3, 283-294, 1958.
- VAN GUNDY (S. D.), FOOTE (F. J.), BACKHAM (R. L.) & RINKOV (A.). — Studies on methods of application of emulsifiable D.B.C.P. around living Citrus trees. *Pl. Dis. Repr.*, 44, 830-833, 1960.

