



Les 6^{èmes} rencontres du végétal

10/11 JANVIER 2011, Agrocampus Ouest, Centre d'Angers

Session: Semences et Plants : Innovation Variétale et Environnement

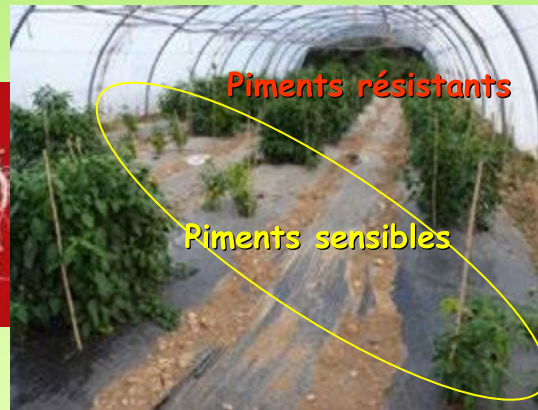
STRATEGIES DE DEPLOIEMENT SPATIO-TEMPOREL DE GENES DE RESISTANCE AUX NEMATODES A GALLES CHEZ LE PIMENT POUR UNE GESTION DURABLE DES RESISTANCES



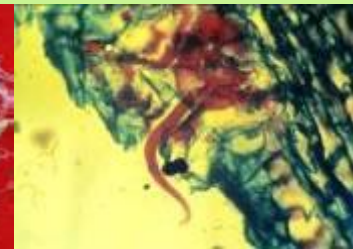
Nématode



Plante sensible



Plante résistante



Pôle Santé des Plantes
Sophia Antipolis

Caroline Djian-Caporalino
UMR Interactions Biotiques et santé Végétale,
Equipe Interactions Plantes-Nématodes

Les nématodes à galles (*Meloidogyne*)

Vers cachés et protégés dans le sol ou la plante



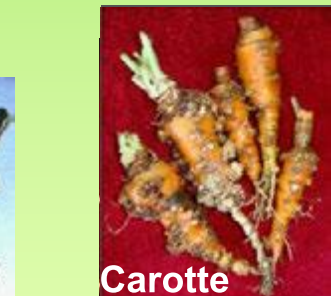
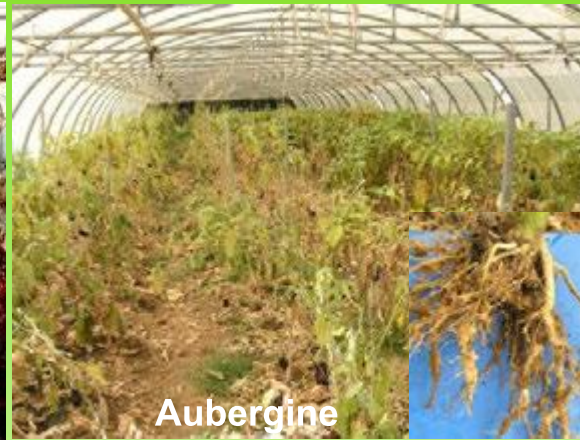
Incidence économique

- ✓ Répartis dans le monde entier
- ✓ Polyphages > 5500 espèces de plantes attaquées
- ✓ Pertes mondiales >100 milliards \$ /an
- ✓ Plus de nématicide autorisés et pas de lutte biologique efficace

fleurs, légumes,
arbres fruitiers,
vigne, céréales,
légumineuses
fourragères,
bananier, café,
coton, canne à
sucre, tabac,
mauvaises herbes...

Les nématodes à galles (*Meloidogyne*)

Un problème en croissance sur cultures maraîchères en France



- Une enquête conduite entre 2007 et 2010 (Djian-Caporalino, *Phytoma* 2010) :
 - > 40% des exploitations maraîchères du sud-est de la France sont touchées
 - => inquiétude des producteurs suite à l'interdiction des nématicides chimiques
- Rotations culturales avec plantes résistantes : économiquement viable et sans danger pour l'environnement

Variétés ou porte-greffes résistants

-> attirer les nématodes et les bloquer
(réaction d'hypersensibilité due à l'expression d'un gène de résistance)

Plante sensible (galles)



Nématode
stade femelle



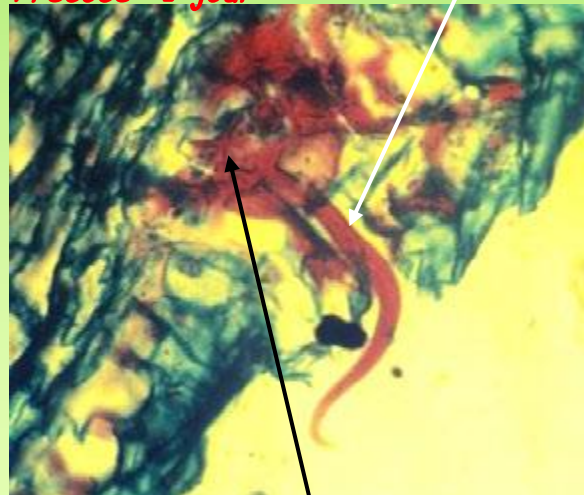
20 jours

Cellules géantes polynucléées (site
nourricier indispensable au nématode)

Plantes résistantes (pas de galle)



Précoce: 1 jour

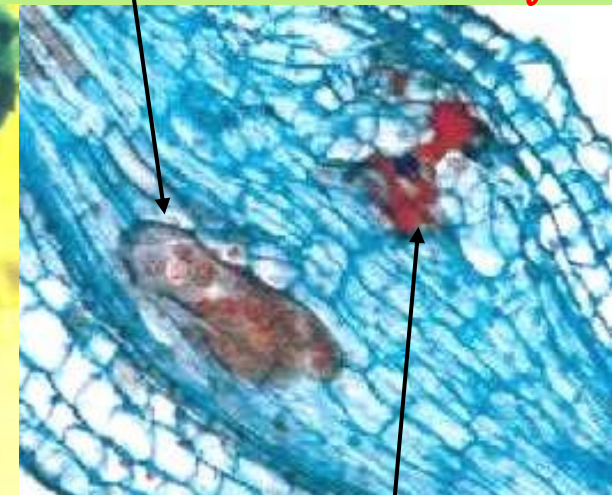


Nématode
stade larvaire

Cellules nécrosées localisées autour du
nématode (réaction hypersensible HR,
bloque le nématode)

Cellules géantes
malformées

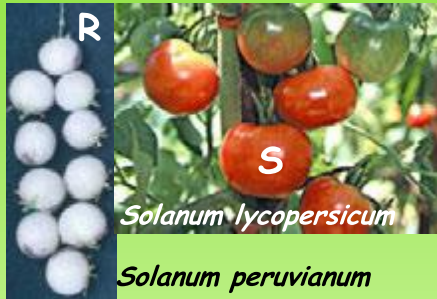
Tardif : 10 jours



Variétés ou porte-greffes résistants

Limites

✓ Résistances à l'origine dans lignées sauvages



tomates *Mi-1, Mi-3*



Capsicum annuum

piments *Me1, Me3, Me7*

Variétés ou porte-greffes résistants

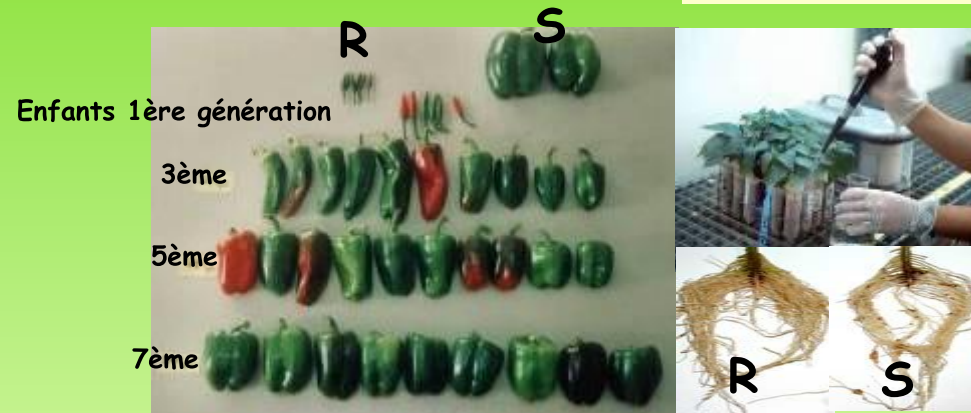
Limites

- ✓ Résistances à l'origine dans lignées sauvages

Création de
variétés R longue
(7 à 10 ans) !



tomates *Mi-1, Mi-3*



piments *Me1, Me3, Me7*

- ✓ Peu de gènes de résistance



carotte *Mj-1*



pomme-de-terre *Rmc1*



coton *hirsutum*
MIC-3, rkn-1, Mi1



prunus *Ma1* (prunier,
pêcher, abricotier)

Protéger les gènes de R et bien les employer
pour éviter les contournements de R (adaptation des nématodes) !

Variétés ou porte-greffes résistants

Limites

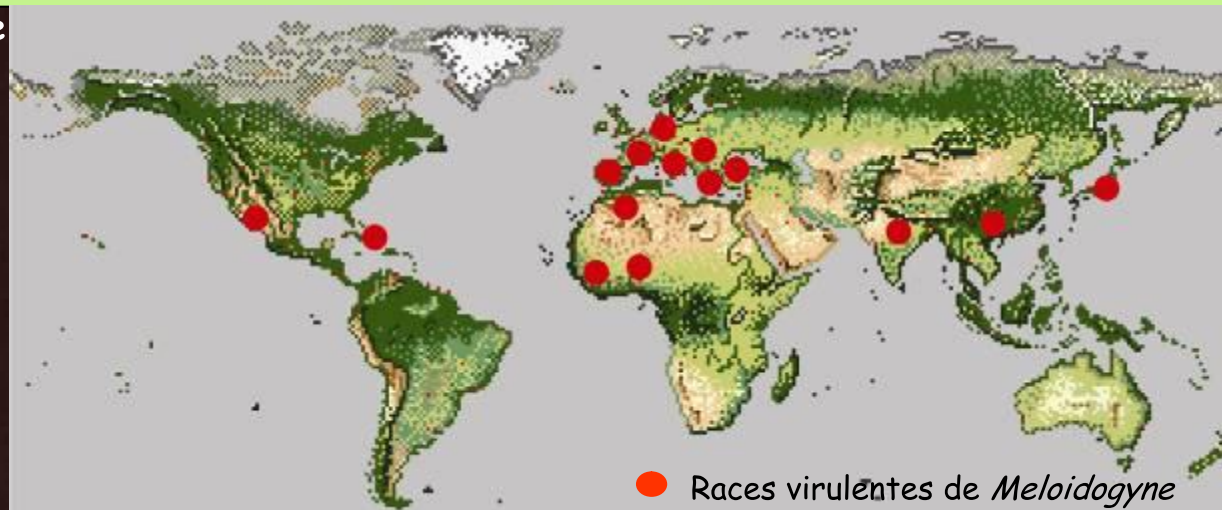
✓ Contournement possible des résistances

- au laboratoire (fortes pression d'inoculum)
- en condition naturelle:

Comment augmenter la durabilité des R !

Mi-1 de la tomate: seul gène utilisé depuis les années 1950

Distribution mondiale des populations de *Meloidogyne* spp. capables de contourner le gène de R *Mi* de la tomate



Projets DURANEM en cours

"Durabilité des résistances aux Nématodes"



Projet du ministère de l'agriculture 2007-2010
Comité Technique Permanent de la Sélection végétale



Thèse
2011-2014



7 sélectionneurs
privés de semences



Projet Européen réseau ENDURE 2008-2010
European network for durable exploitation of crop protection strategies

**Comparer les différentes résistances aux nématodes
chez la tomate et le piment/poivron**

➔ orienter les sélectionneurs dans la construction de nouveaux
PG ou variétés résistantes robustes et durables

Approche expérimentale :

Expérimentation biologique en **conditions
contrôlées « pièces climatisées »**

- choix du ou des gènes à introgresser
- intérêt du pyramiding
- dans quelle variétés (quel fond génétique)?
- plutôt des lignées fixées homozygotes que des hybrides?...



Projets DURANEM en cours

"Durabilité des résistances aux Nématodes"



Projet du réseau INRA PICLeg, 01/2009-12/2011



Projet ANR Systerra, 01/2009-12/2012



Projet Interreg
Alcotra, 01/2010-12/2012

Expérimenter en conditions contrôlées (serres) et en conditions naturelles (tunnels sous abri froid, plein champ) les plantes résistantes

- proposer aux agriculteurs de nouvelles méthodes capables de faire régresser les populations de nématodes et leur conseiller la meilleure façon de gérer les nouvelles R

Approche expérimentale :

**Expérimentation biologique en conditions contrôlées
« serres INRA »**

- temps nécessaire à l'amélioration sanitaire du sol (réduction des parasites sous leur seuil de nuisibilité) par la culture des variétés ou porte-greffes résistants (effet plantes « pièges »)

**Expérimentation biologique en conditions naturelles
« abri froid » en parcelle d'agriculteur**

- stratégies de gestion des gènes (alternance ou combinaison dans le temps et l'espace) afin de promouvoir leur durabilité (limiter les risques de contournement)

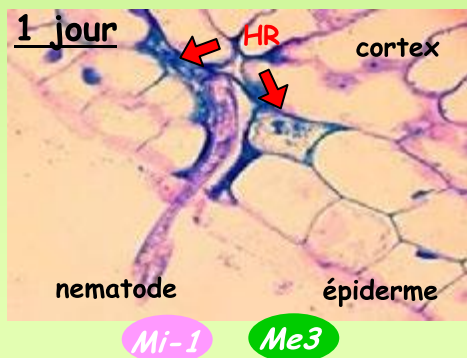


Modèles maraichers étudiés : tomate, piment/poivron

Gène *Mi-1* de *Solanum peruvianum*
dans la plupart des variétés cultivées
dominant, inactif à 30°C

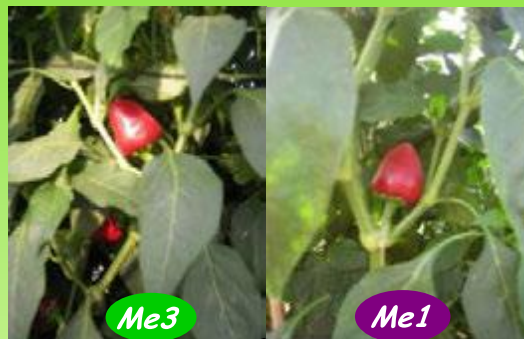


M. incognita *M. javanica*
M. arenaria

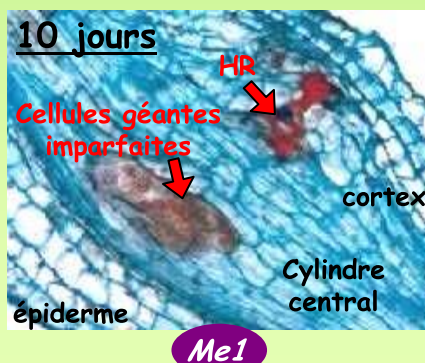


Gènes contournables

Gènes *Me1* et *Me3* de *Capsicum annuum*
en cours d'introggression dans des variétés cultivées
dominants, stables à haute T°C



M. incognita *M. hapla*
M. arenaria *M. javanica*



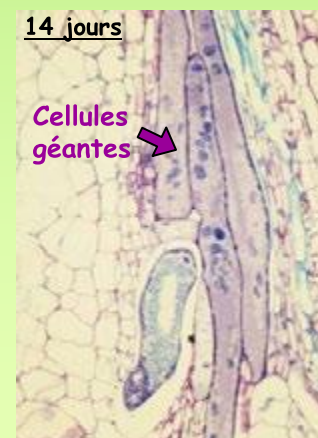
Gène à priori
non contournable

Variétés de piment
en cours d'amélioration
très sensibles partiellement R

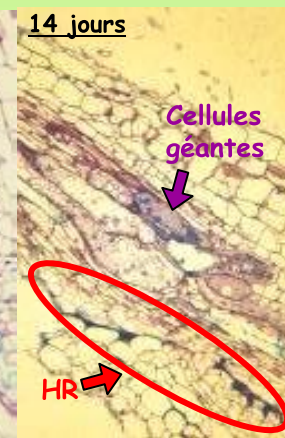


DLL

YW



DLL



YW

Comportement en conditions naturelles « sol très infesté »

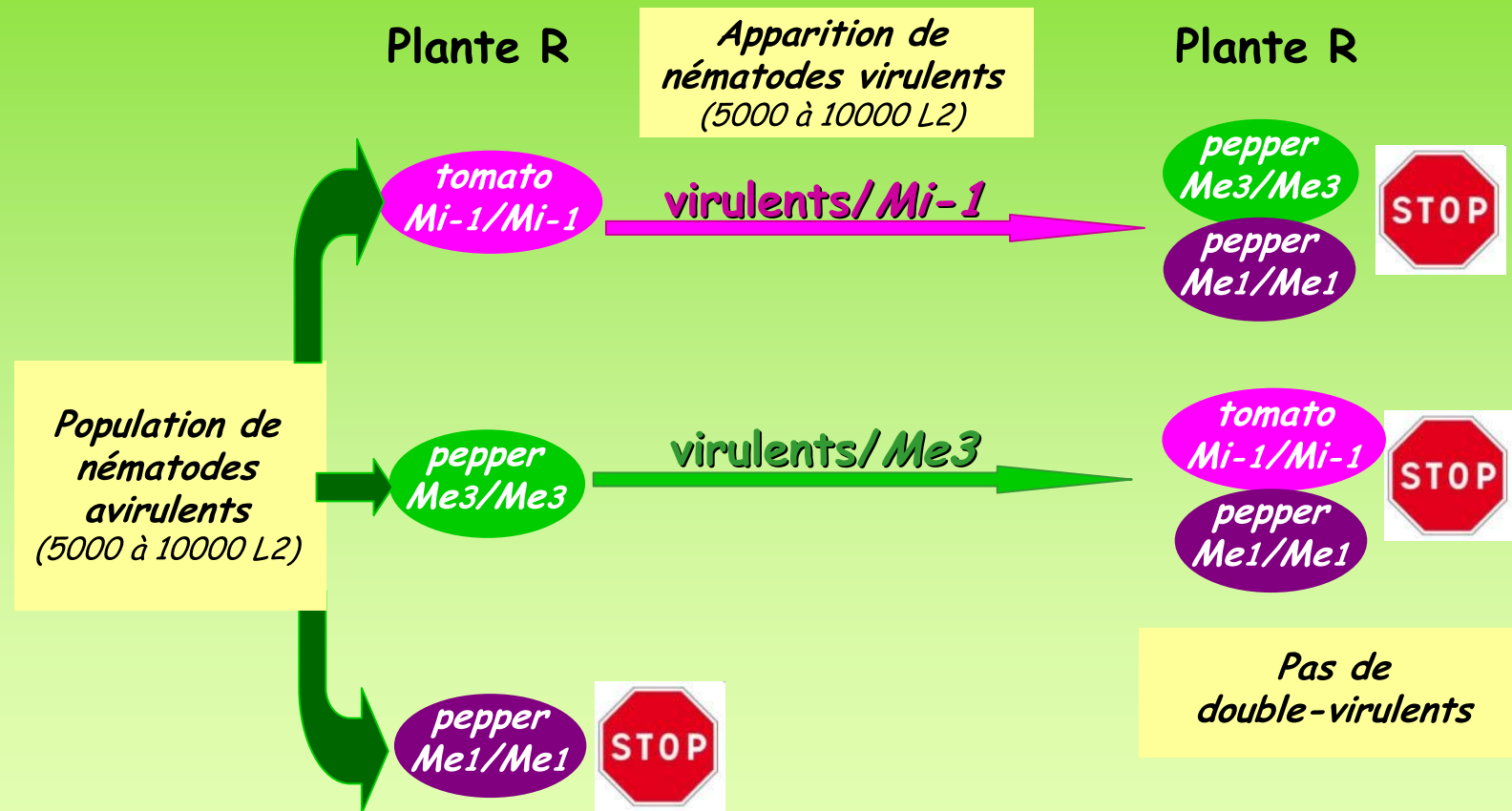


Exemple sur parcelle très infestée de la CA06 au 16/09/2010

Gestion des gènes : Ex de résultats



Question 1: si alternance de plantes résistantes (2 gènes différents) en rotation => apparition de nématodes contournant les 2 gènes (double-virulents) ?



➔ **Spécificité de la virulence => alternance (rotation) des gènes possible pour éviter les contournements de R**

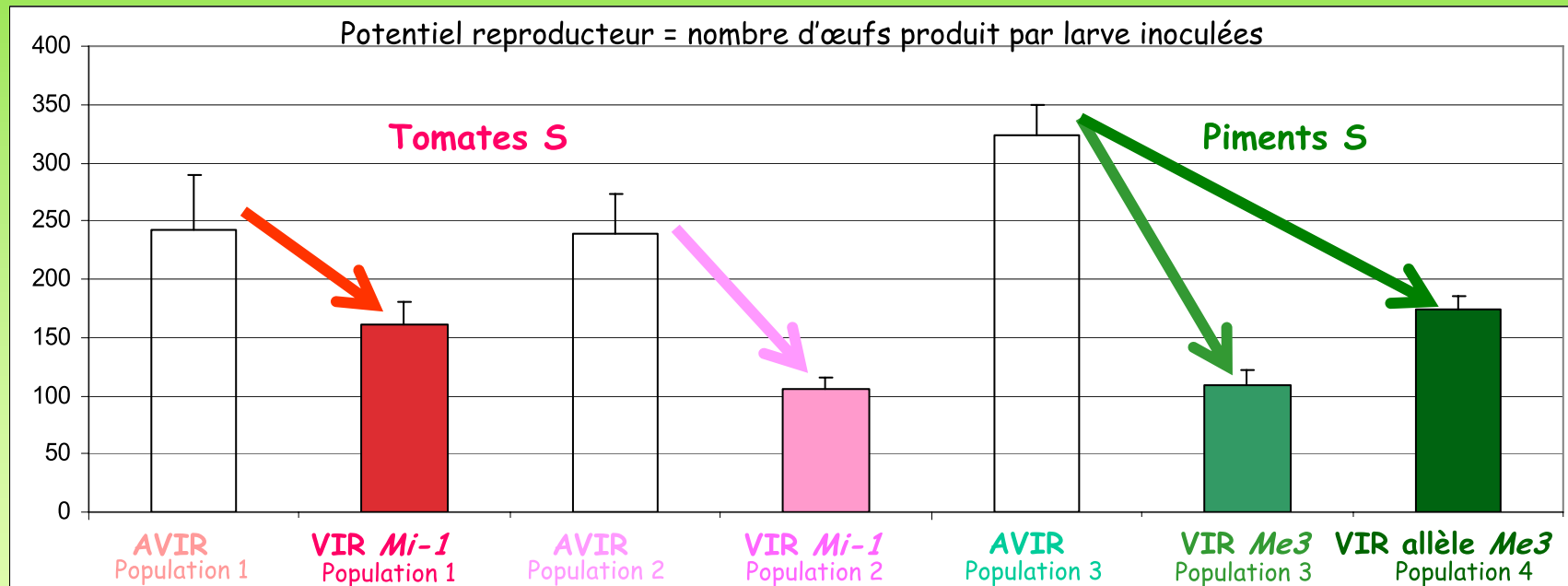
Gestion des gènes : Ex de résultats



Question 2: si plante sensible après plante résistante, compétition entre populations avirulentes et virulentes?

ETUDES SUR PLANTES SENSIBLES

Inoculation avec 500 L2 *M. incognita*



➔ **Coût associé à la virulence chez le nématode**
=> **populations virulentes semblent moins compétitives sur plantes S**



Gestion des gènes : Ex de résultats

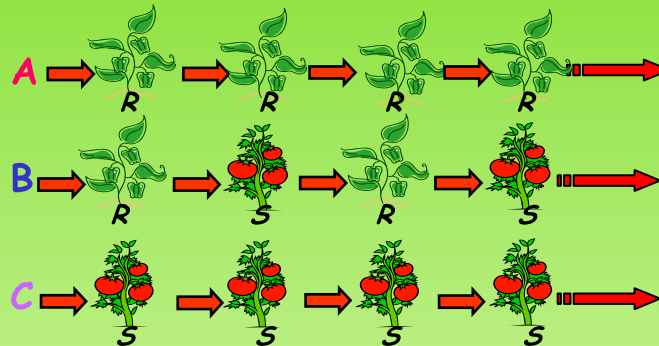


Question 3: utilisation possible de l'effet plante « piège » des plantes R pour « nettoyer » le sol?

Sol très infesté
IG sur tomate = 5 à 9/10



en container 10 kg



différents temps de culture de plante R (1 à 6 mois)
et rotations (1 à 5 cycles R/S)

Sol « nettoyé » (sous
seuil de nuisibilité) ?

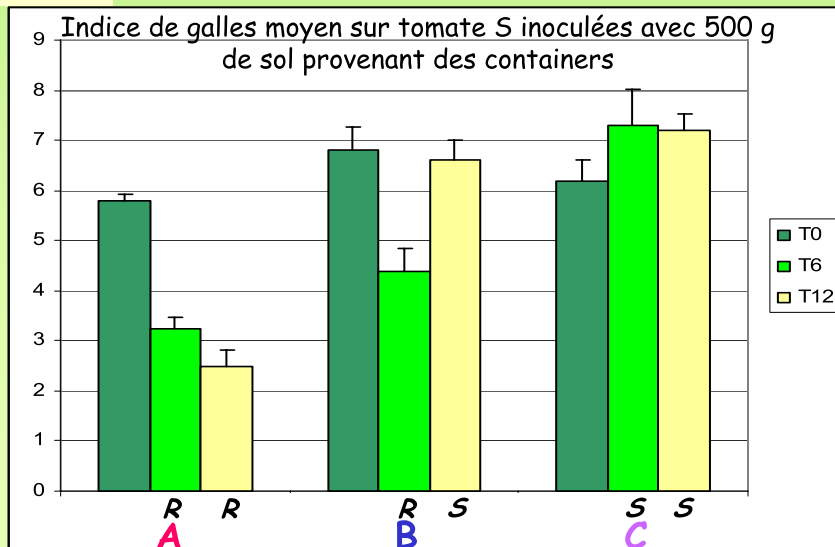
IG sur tomate
= 0 à 4/10

En combien de temps?



Essai en cours avec
diverses modalités

1 exemple



**Réduction du taux
d'infestation du sol avec
seulement 1 cycle (6 mois) de
plantes résistantes : effet
plante « piège »
=> pourraient être utilisées
en « traitement » avant
plantation de culture S**

essais à poursuivre

Effacité des plantes « pièges »

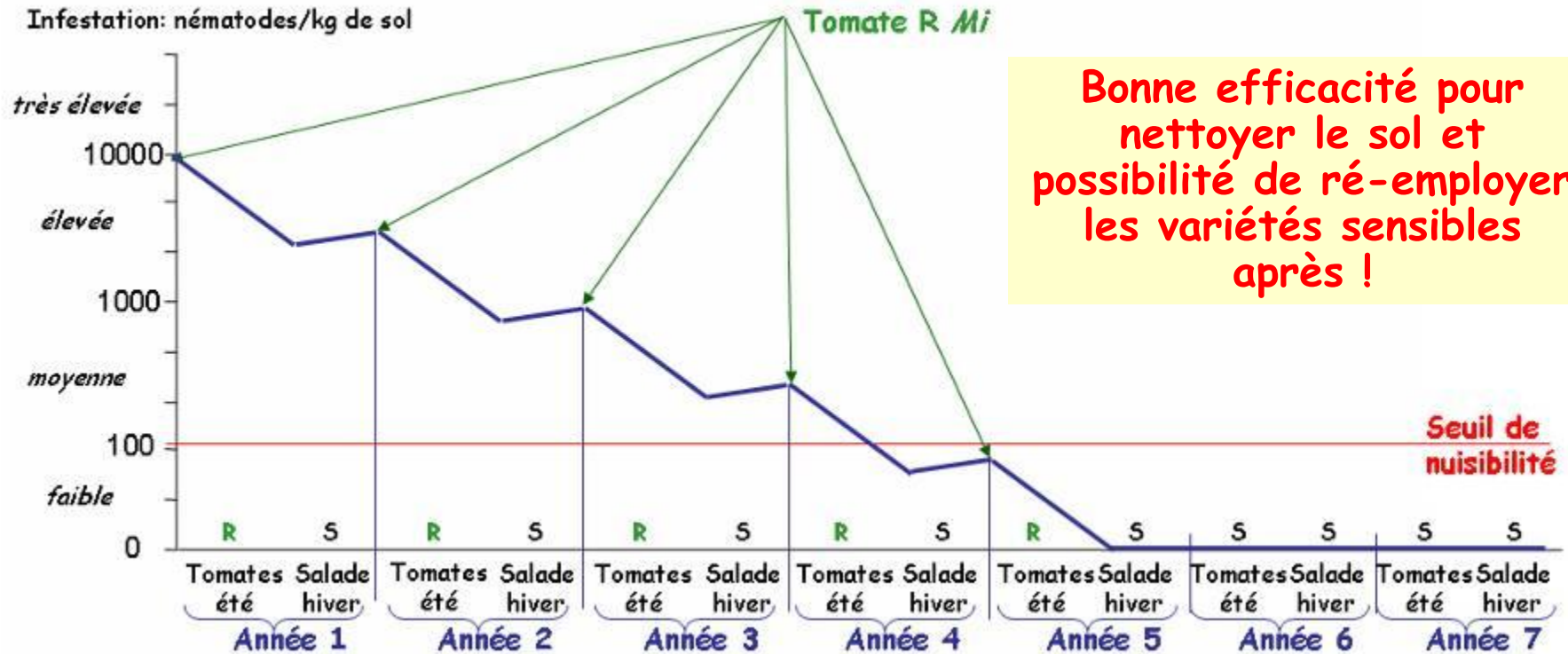
Enquête 2008 chez un producteur maraîcher du 06

Infestation: nématodes/kg de sol



Efficacité des plantes « pièges »

Enquête 2008 chez un producteur maraîcher du 06



Bonne efficacité pour nettoyer le sol et possibilité de ré-employer les variétés sensibles après !



Gestion des gènes : Ex de résultats



Question 4: possibilités de contournement par des populations naturelles de nématodes de nouveaux génotypes de piment cumulant plusieurs gènes de R vs alternance de gènes dans les successions culturales vs semis en mélange?







Tunnel 250m²

6 MODALITES

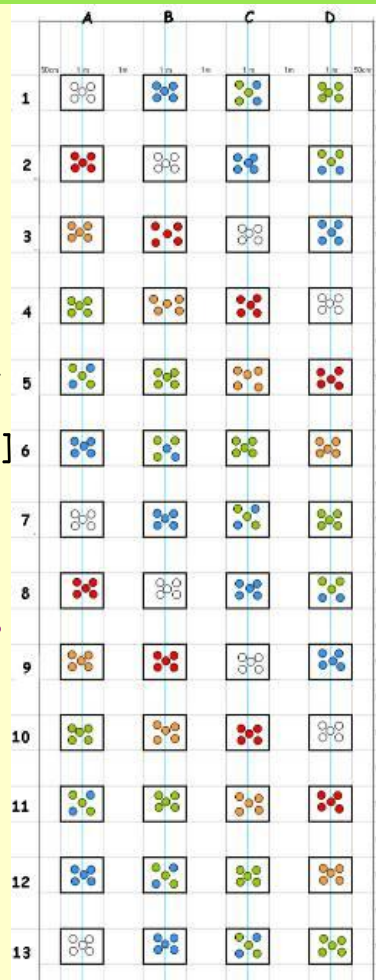
8 à 9 μ parcelles/modalité

40 à 45 plants/modalité

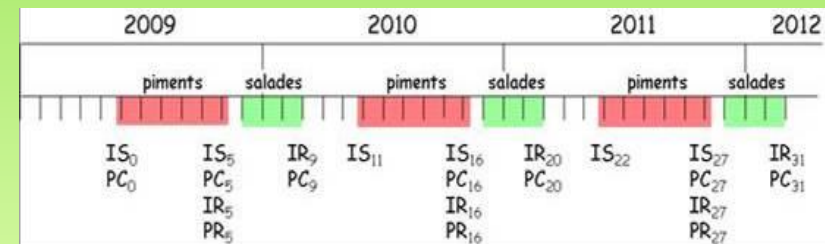
Piments en culture d'été:

-  **Me1/Me1** Piment R homozygote
-  **Me1/-** Piment R hybride F1[RxS]
-  **Me3 / Me1** pyramidage
-  **Me3/Me3** alternance **Me1/Me1**
-  **Me3/Me3 Me1/Me1** mélange
-  témoin S DLL

Salades sensibles en culture d'hiver



Mesures et notations



IS = taux d'infestation du sol
 IR = taux d'infestation racinaire
 PR = potentiel reproducteur des nématodes virulents (si détectés)



Gestion des gènes : Ex de résultats

Piments



Salades

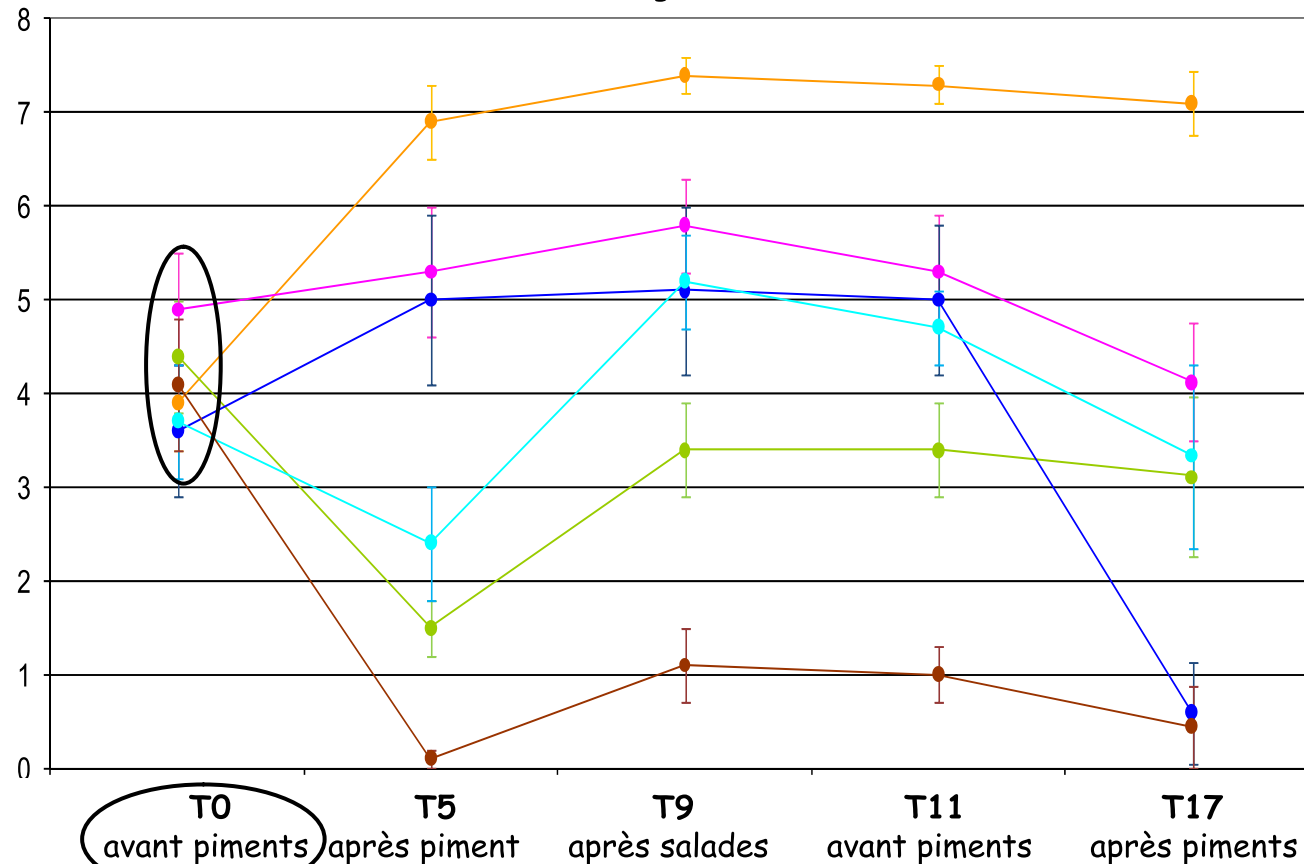
Déroulement de l'expérimentation au CREAT de la CA06 années 2009 & 2010

Gestion des gènes : Ex de résultats



Infestation du sol (IS) 8 à 9 répétitions

Moyenne des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles inoculées avec 1kg de sol (IC5%)



Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

(IR: 0 à 10)

Témoin S DLL : IR = 9

Me1xDLL : IR = 1,5

Me3Me3 puis Me1/Me1:
IR = 1 sur Me3/Me3

Me3Me3 + Me1Me1 :
IR = 0,3 sur Me3Me3

Me1Me1 : IR = 0

Me3Me1 : IR = 0

40 à 45 répétitions

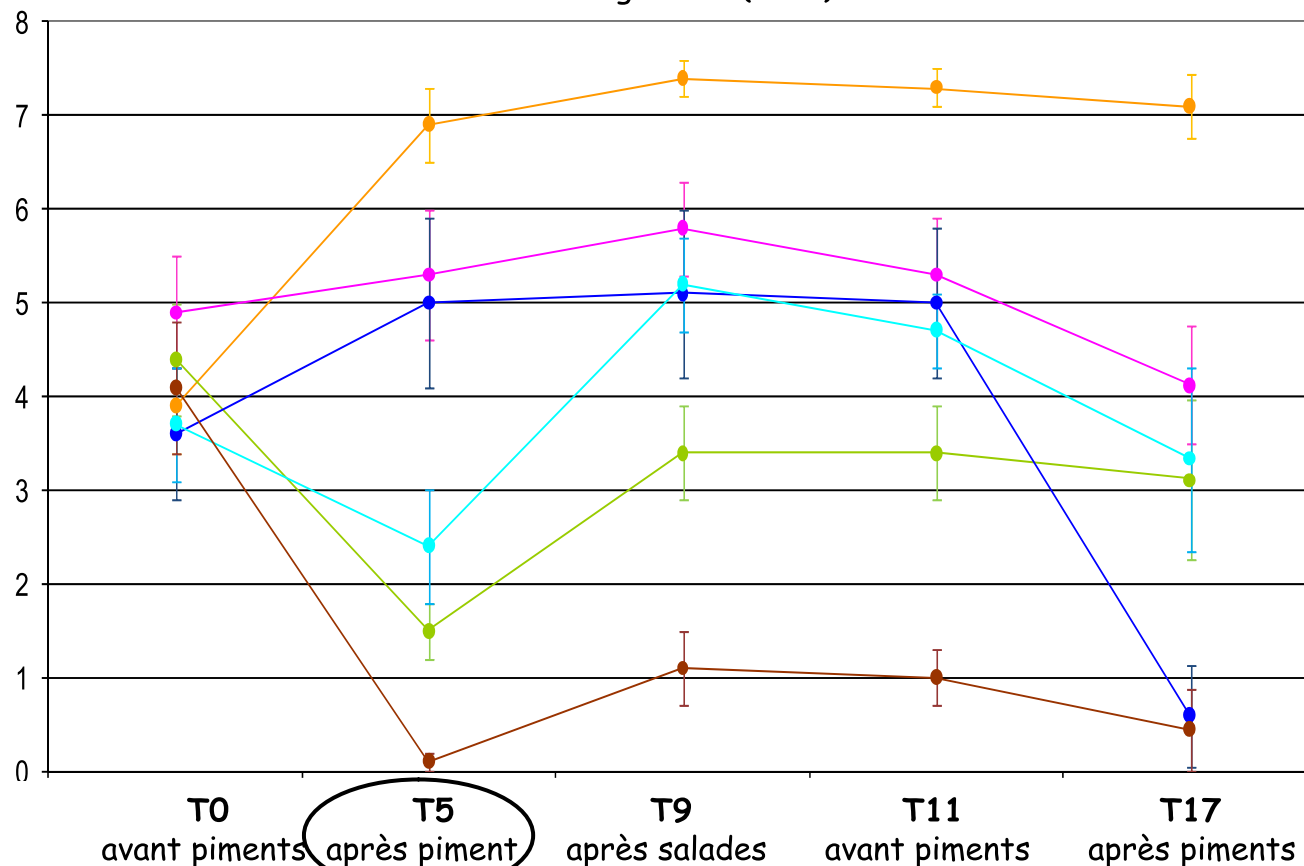
➡ Avants piments : IS élevé dans chaque microparcelle (4-5)

Gestion des gènes : Ex de résultats



Infestation du sol (IS) 8 à 9 répétitions

Moyenne des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles inoculées avec 1kg de sol (IC5%)



Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

(IR: 0 à 10)

Témoin S DLL : IR = 9

Me1xDLL : IR = 1,5

Me3Me3 puis Me1/Me1:
IR = 1 sur Me3/Me3

Me3Me3 + Me1Me1 :
IR = 0,3 sur Me3Me3

Me1Me1 : IR = 0

Me3Me1 : IR = 0

40 à 45 répétitions

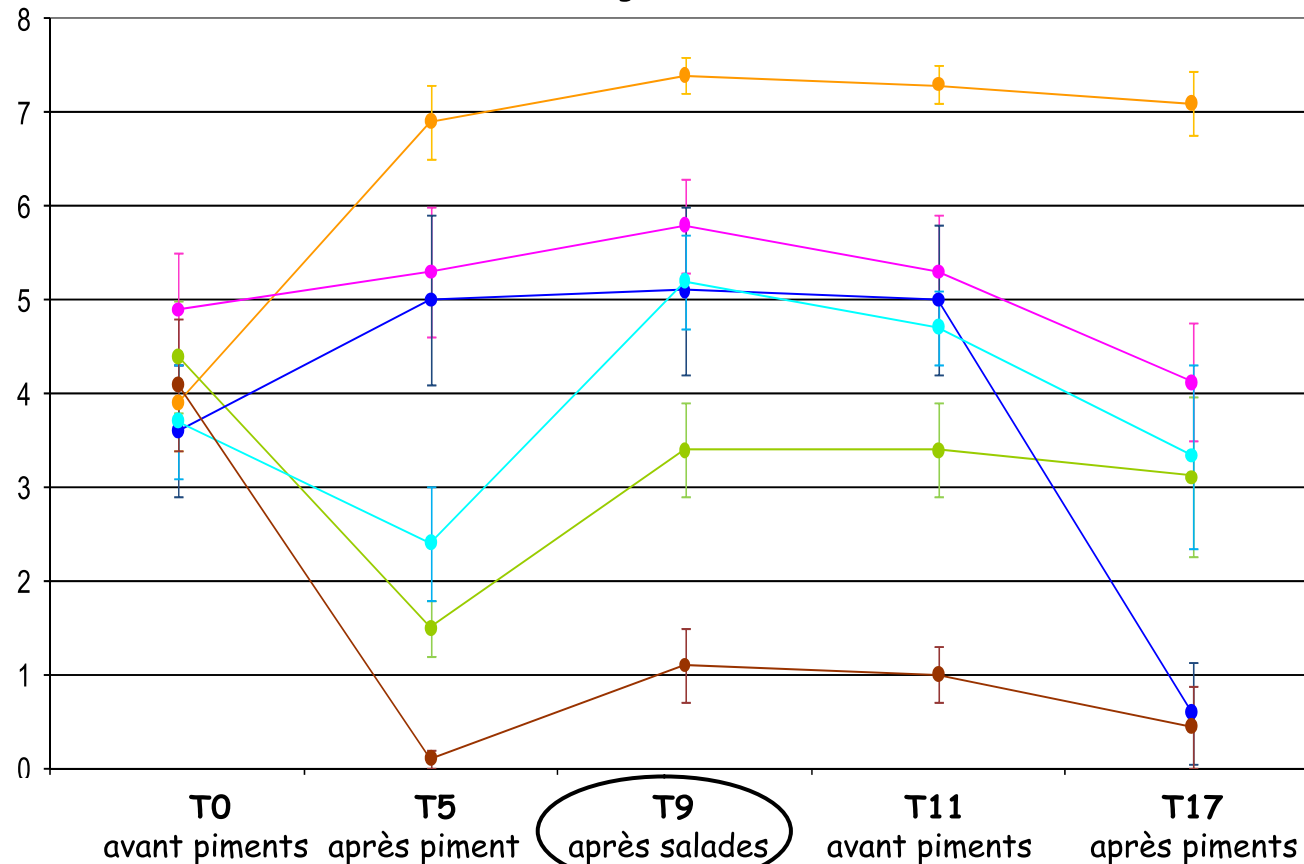
- Les piments S DLL augmentent fortement l'IS
- Les piments R Me3Me3 + Me1Me1 en mélange réduisent l'IS
- Les piments R Me1Me1 et combinant Me3Me1 réduisent très fortement l'IS

Gestion des gènes : Ex de résultats



Infestation du sol (IS) 8 à 9 répétitions

Moyenne des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles
inoculées avec 1kg de sol (IC5%)



Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

(IR: 0 à 10)

Témoin S DLL : IR = 9

Me1xDLL : IR = 1,5

Me3Me3 puis Me1/Me1:
IR = 1 sur Me3/Me3

Me3Me3 + Me1Me1 :
IR = 0,3 sur Me3Me3

Me1Me1 : IR = 0

Me3Me1 : IR = 0

40 à 45 répétitions

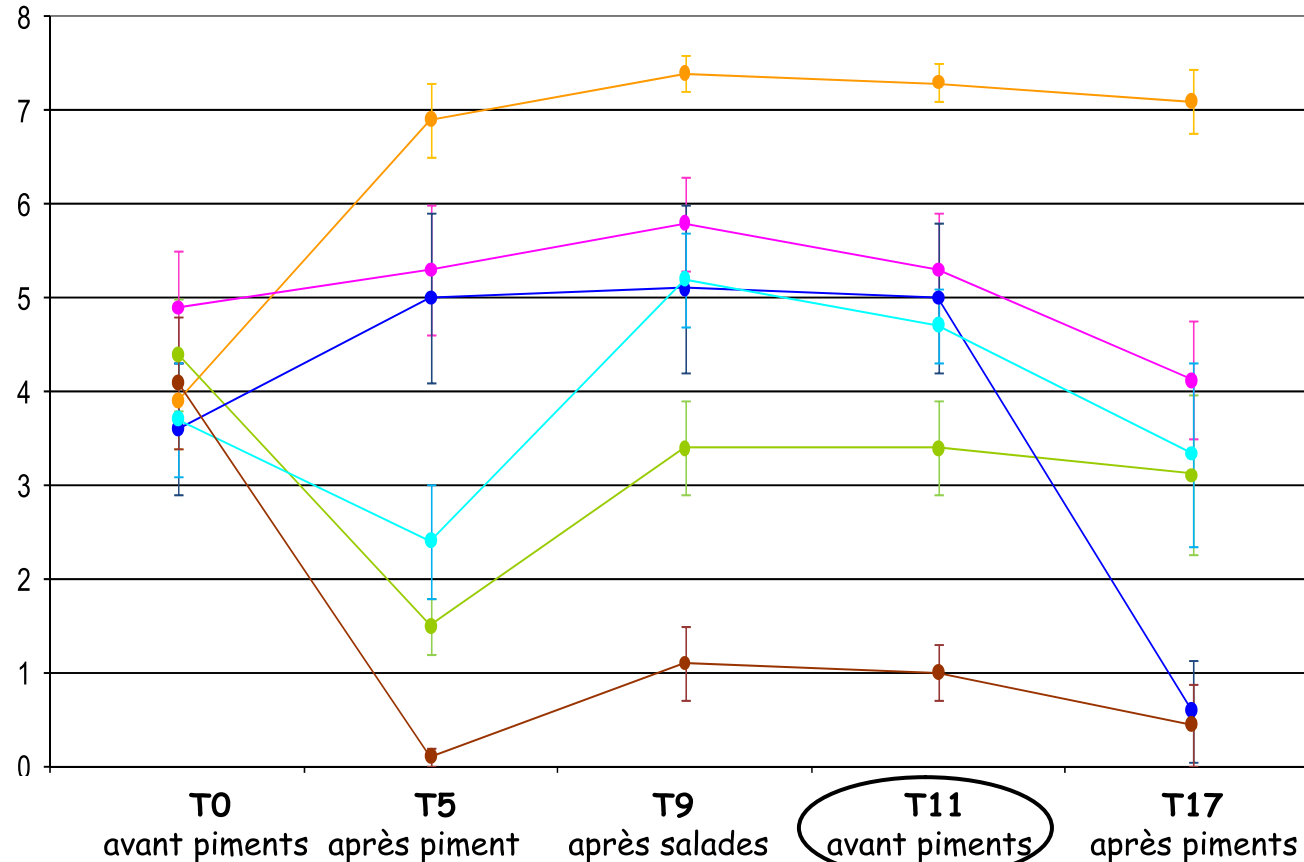
➡ Les salades S multiplient les nématodes dans toutes les microparcelles

Gestion des gènes : Ex de résultats



Infestation du sol (IS) 8 à 9 répétitions

Moyenne des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles
inoculées avec 1kg de sol (IC5%)



Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

(IR: 0 à 10)

Témoin S DLL : IR = 9

Me1xDLL : IR = 1,5

Me3Me3 puis Me1/Me1:
IR = 1 sur Me3/Me3

Me3Me3 + Me1Me1 :
IR = 0,3 sur Me3Me3

Me1Me1 : IR = 0

Me3Me1 : IR = 0

40 à 45 répétitions

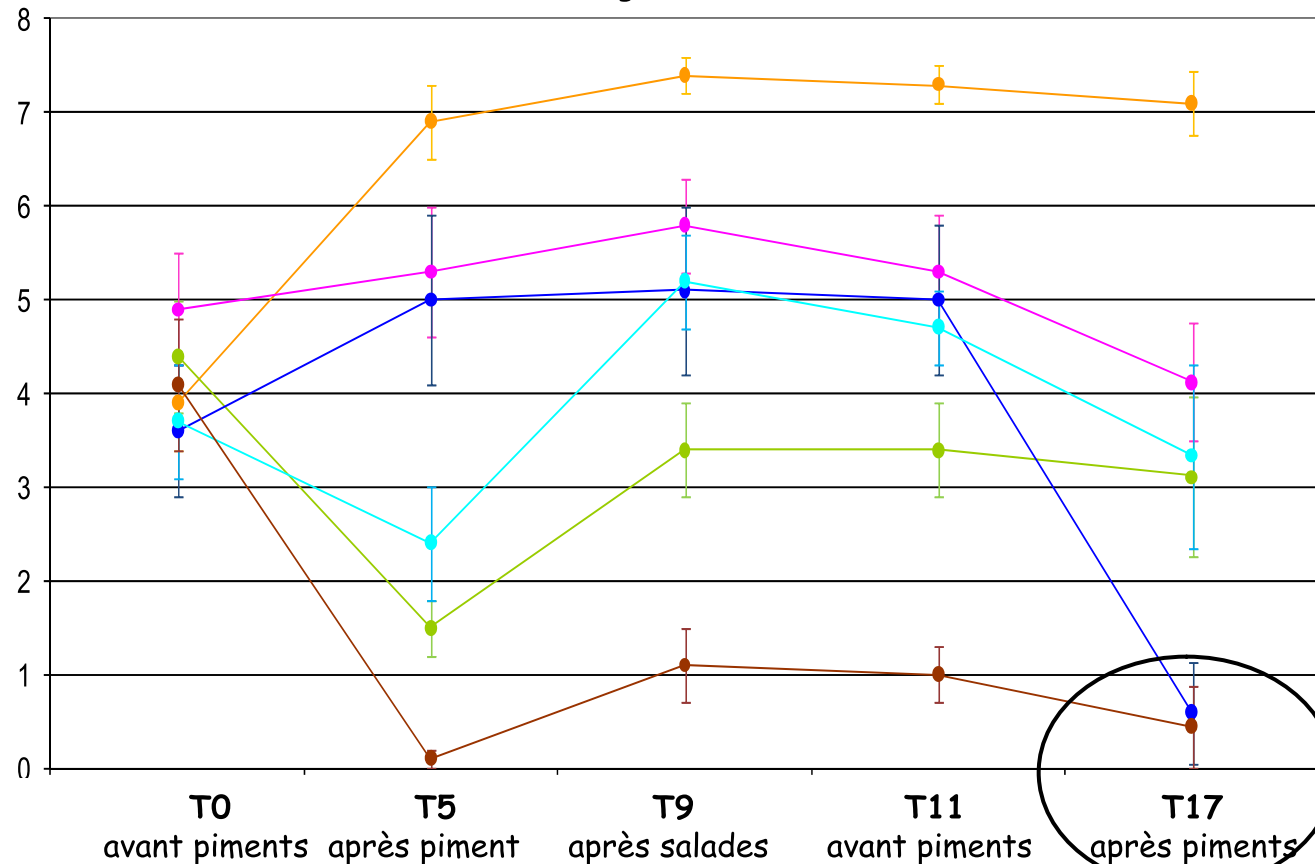
➡ Après 2 mois de sol nu, pas d'évolution significatives des IS

Gestion des gènes : Ex de résultats



Infestation du sol (IS) 8 à 9 répétitions

Moyenne des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles
inoculées avec 1kg de sol (IC5%)



Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

(IR: 0 à 10)

Témoin S DLL : IR = 9

Me1xDLL : IR = 1,5

Me3Me3 puis Me1/Me1:
IR = 1 sur Me3/Me3

Me3Me3 + Me1Me1 :
IR = 0,3 sur Me3Me3

Me1Me1 : IR = 0

Me3Me1 : IR = 0

40 à 45 répétitions

➔ Piments R combinant *Me3Me1* non contournés (résistance durable) et alternance *Me3* et *Me1* réduisent le plus significativement le taux d'infestation du sol = meilleures modalités comme plantes « pièges » résistantes

Organisation et collaborations

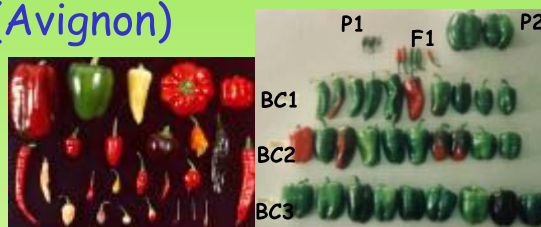
✓ INRA PACA, UMR IBSV, IPN (Sophia)

Caroline Djian-Caporalino
Philippe Castagnone-Sereno
Ariane Fazari
Nathalie Marteu



✓ INRA PACA, UR GAFL (Avignon)

Alain Palloix
Anne-Marie Sage-Palloix
Ghislaine Nemouchi



Carole Caranta
André Moretti



✓ Chambre d'agriculture 06/APREL CREAT (La Baronne)

Sabine Risso, Roger Lanza, Catherine Taussig, Jacky Odet

expérimentation de combinaisons de méthodes / bioagresseurs telluriques



✓ Sociétés privées productrices de semences

Syngenta, Vco, Gautier, Taki, Sakata, Neunhems, Rijkzwaan

introgression des gènes dans des cultivars, expérim. en cond. agro.



Thèse



Collaborations (suite)

✓ **IRD, CBGP** (Montpellier)

Thierry Mateille, Johannes Tavoillot



✓ **CTIFL & GRAB** (Avignon) : étude des rotations avec plantes de coupure

✓ **INRA**



• **UE Alenya** (Montpellier) : expériment. de combinaisons de méthodes/ bioagresseurs tellur.

• **UR Ecodev** (Avignon) : enquêtes -> corrélations pratiques culturales / bioagresseurs tellur.

• **UMR MSE** (Dijon) : impact des rotations / communauté de parasites telluriques

• **UMR Bio3P** (Rennes) : impact des rotations/maladies telluriques autre que nématodes & durabilité R blé/*Puccinia* et colza *Leptosphaeria*

• **UMR Santé Vég** (Bordeaux) & **UMR Santé Vigne** (Colmar) : durabilité vigne/*Plasmopara*



• **UMR PaVé & GenHort** (Angers) : durabilité R pommier/*Venturia*

• **UR Patho végétale** (Avignon) : test des lignées R aux nématodes comme PG

✓ **CNR, Istituto per la Protezione delle Plante** (Bari, Italie)

Tests croisés de populations virulentes sur plantes R pour détermination de la spécificité et des coûts de fitness de la virulence



✓ **Université de Turin & CRESO** (Italie) : expérimentation méthodes de protection intégrée / légumes et fraise





Merci de votre attention

