



# Les 6<sup>èmes</sup> rencontres du végétal

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

Session: *Semences et Plants : Innovation Variétale et Environnement*

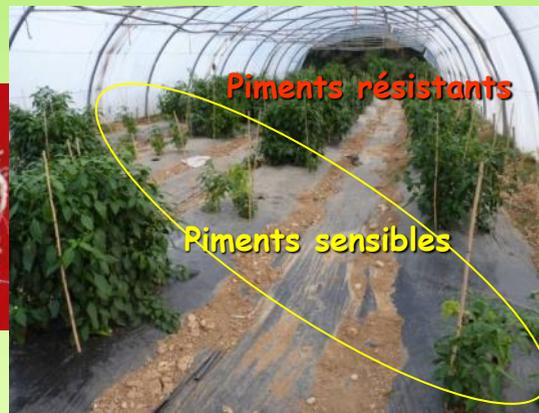
## STRATEGIES DE DEPLOIEMENT SPATIO-TEMPOREL DE GENES DE RESISTANCE AUX NEMATODES A GALLES CHEZ LE PIMENT POUR UNE GESTION DURABLE DES RESISTANCES



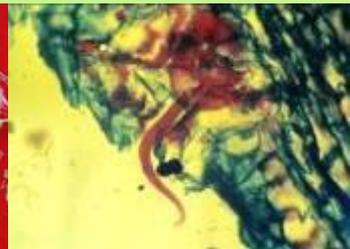
Nématode



Plante sensible



Plante résistante



# 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

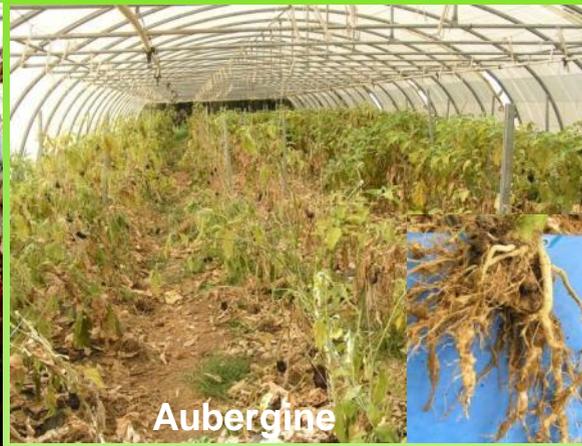
fleurs, légumes,  
arbres fruitiers,  
vigne, céréales,  
légumineuses  
fourragères,  
bananier, café,  
coton, canne à  
sucre, tabac,  
mauvaises herbes...

# Les nématodes à galles (*Meloidogyne*)

Un problème en croissance sur cultures maraîchères en France



Tomate



Aubergine



Piment



Melon



Salade



Carotte

- 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

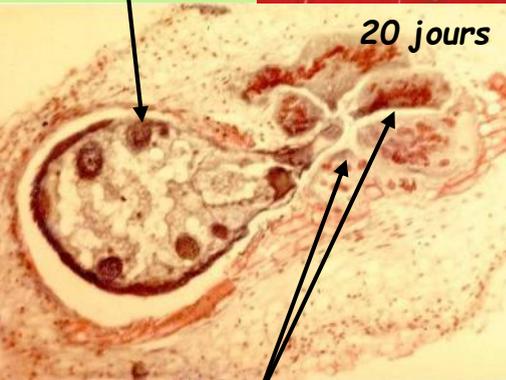
-> attirer les nématodes et les bloquer  
(réaction d'hypersensibilité due à l'expression d'un gène de résistance)

Plante sensible (galles)



Nématode  
stade femelle

20 jours



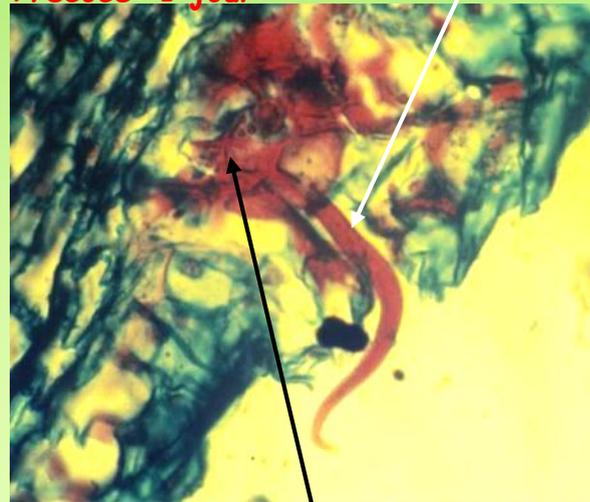
Cellules géantes polynucléées (site  
nourricier indispensable au nématode)

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

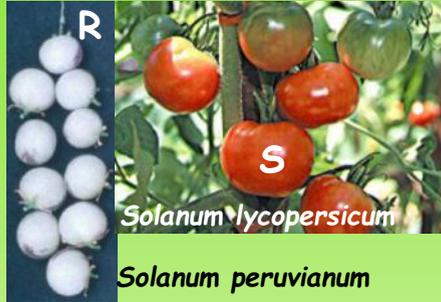
Tardif : 10 jours



# Variétés ou porte-greffes résistants

## Limites

✓ Résistances à l'origine dans lignées sauvages



tomates *Mi-1*, *Mi-3*



piments *Me1*, *Me3*, *Me7*



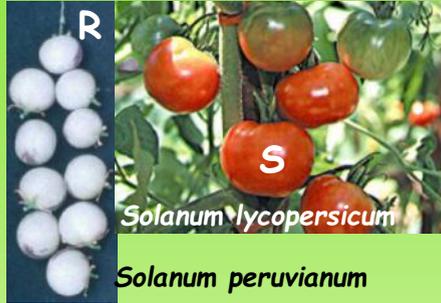
*Capsicum annuum*

# Variétés ou porte-greffes résistants

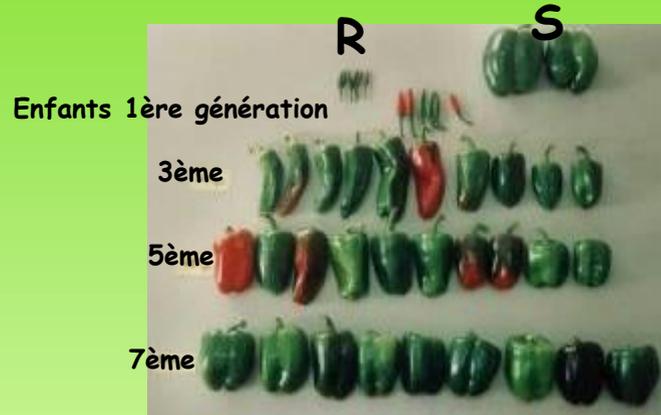
## Limites

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

✓ Résistances à l'origine dans lignées sauvages



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

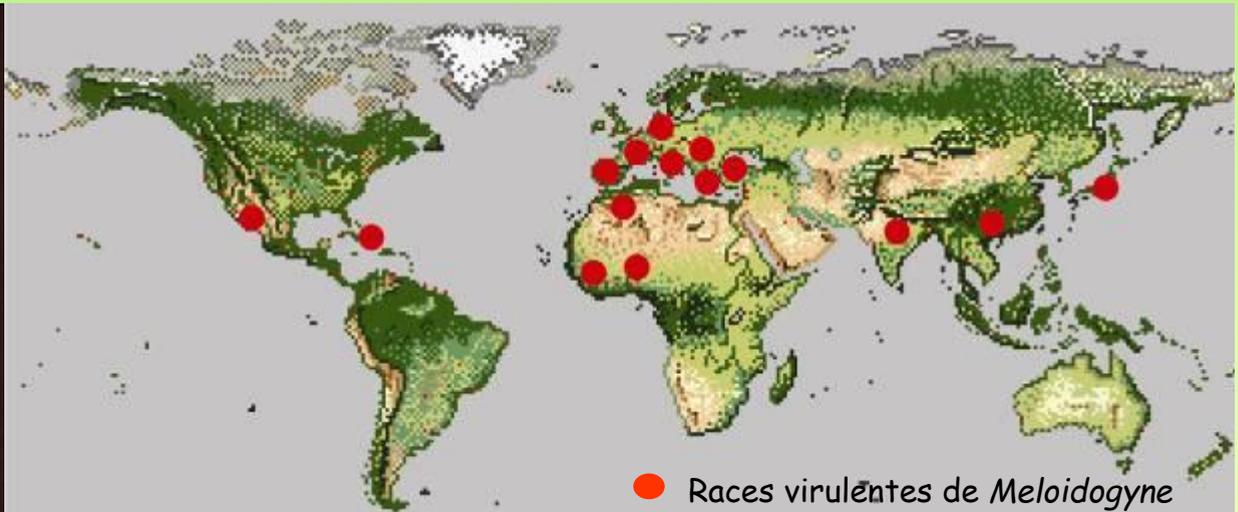
### ✓ Contournement possible des résistances

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



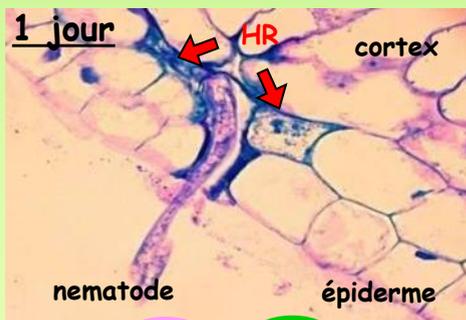
*M. incognita*      *M. hapla*  
*M. arenaria*      *M. javanica*

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



DLL

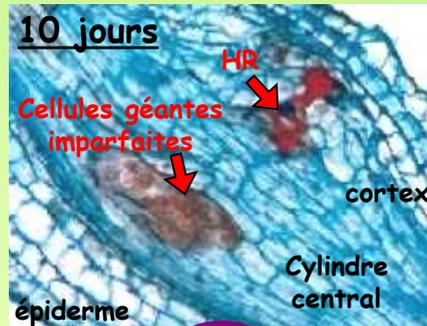
YW



*Mi-1*

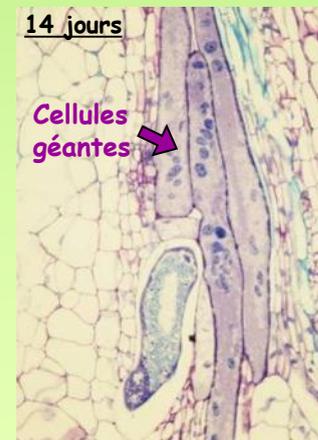
*Me3*

Gènes contournables



*Me1*

Gène à priori  
non contournable

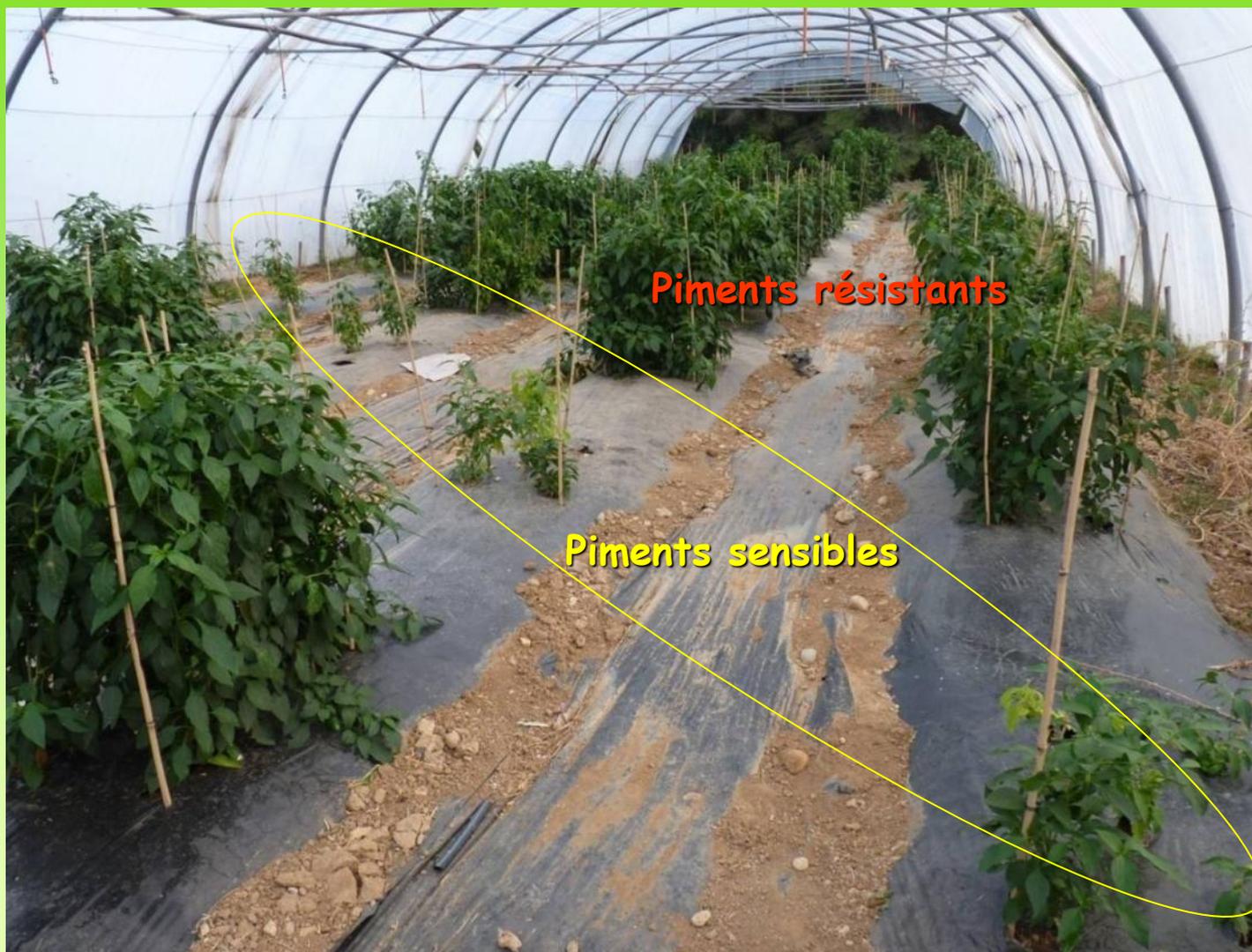


DLL



YW

# Comportement en conditions naturelles « sol très infesté »

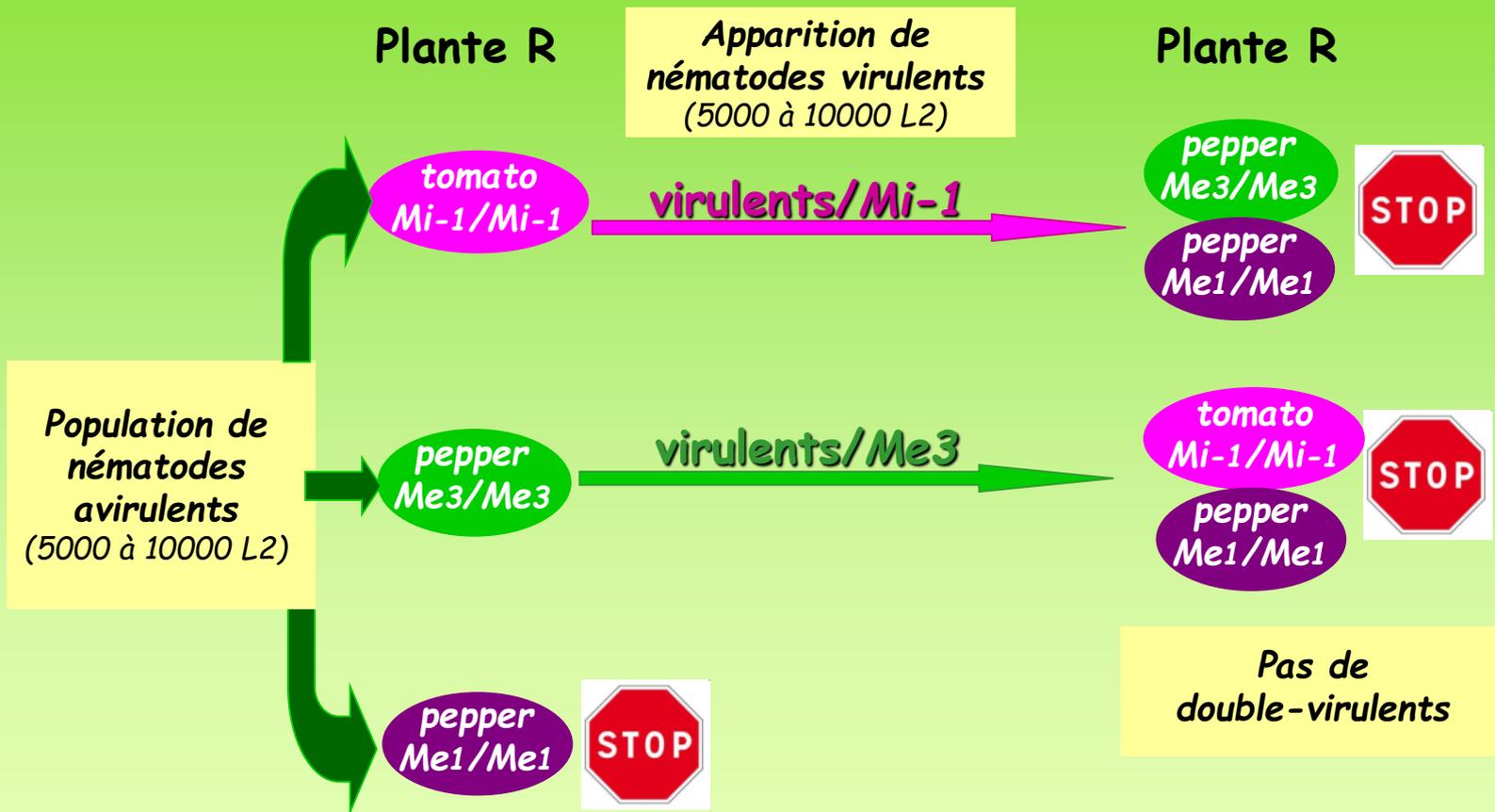


Exemple sur parcelle très infestée de la CA06 au 16/09/2010

# 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**

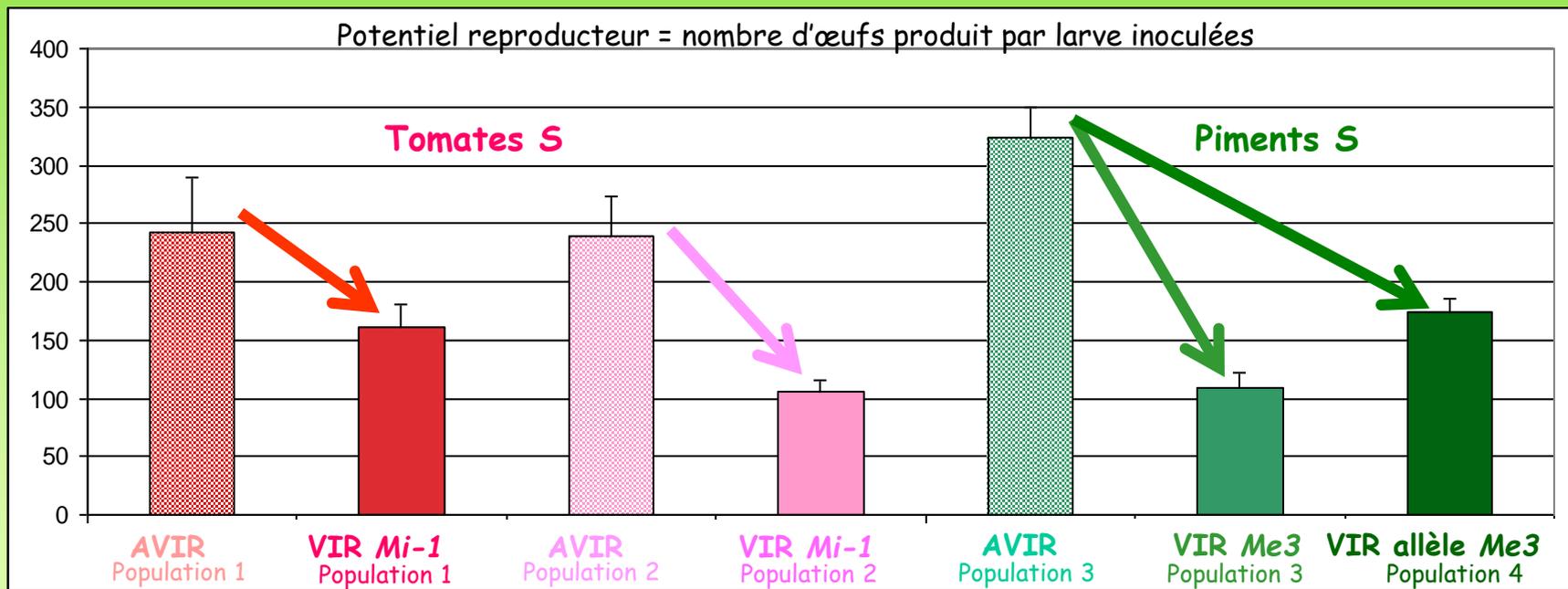
# Gestion des gènes : Ex de résultats



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



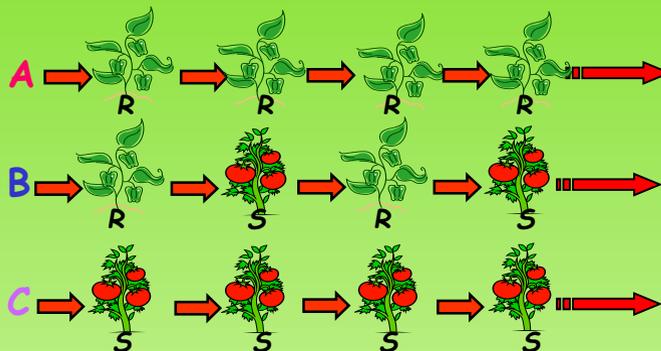
**Question 3:** utilisation possible de l'effet plante « piège » des plantes R pour « nettoyer » le sol?

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)?

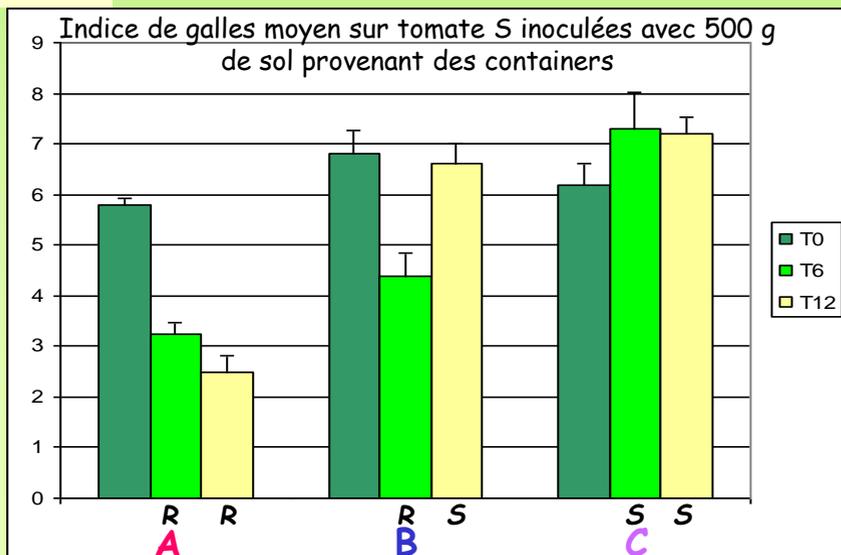
IG sur tomate = 0 à 4/10

En combien de temps?



Essai en cours avec diverses modalités

1 exemple



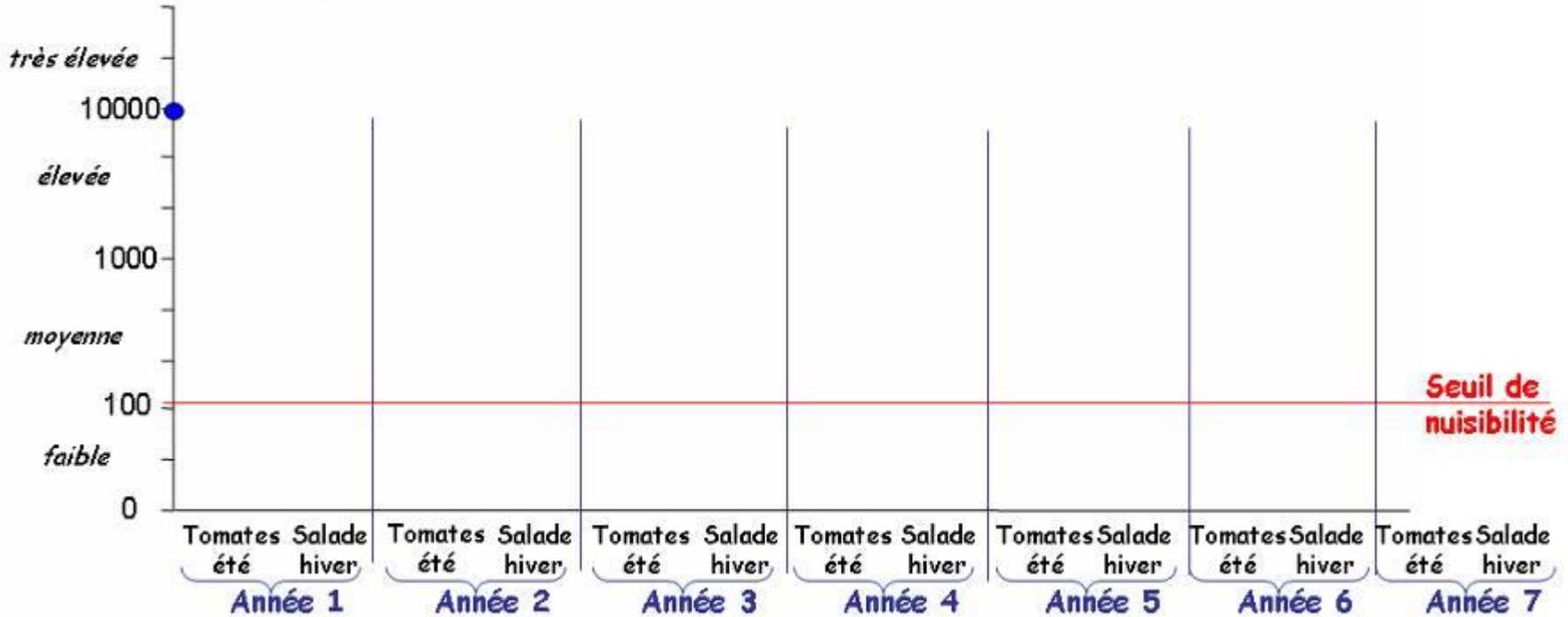
**Réduction du taux d'infestation du sol avec seulement 1 cycle (6 mois) de plantes résistantes : effet plante « piège » => pourraient être utilisées en « traitement » avant plantation de culture S**

essais à poursuivre

# Efficacité des plantes « pièges »

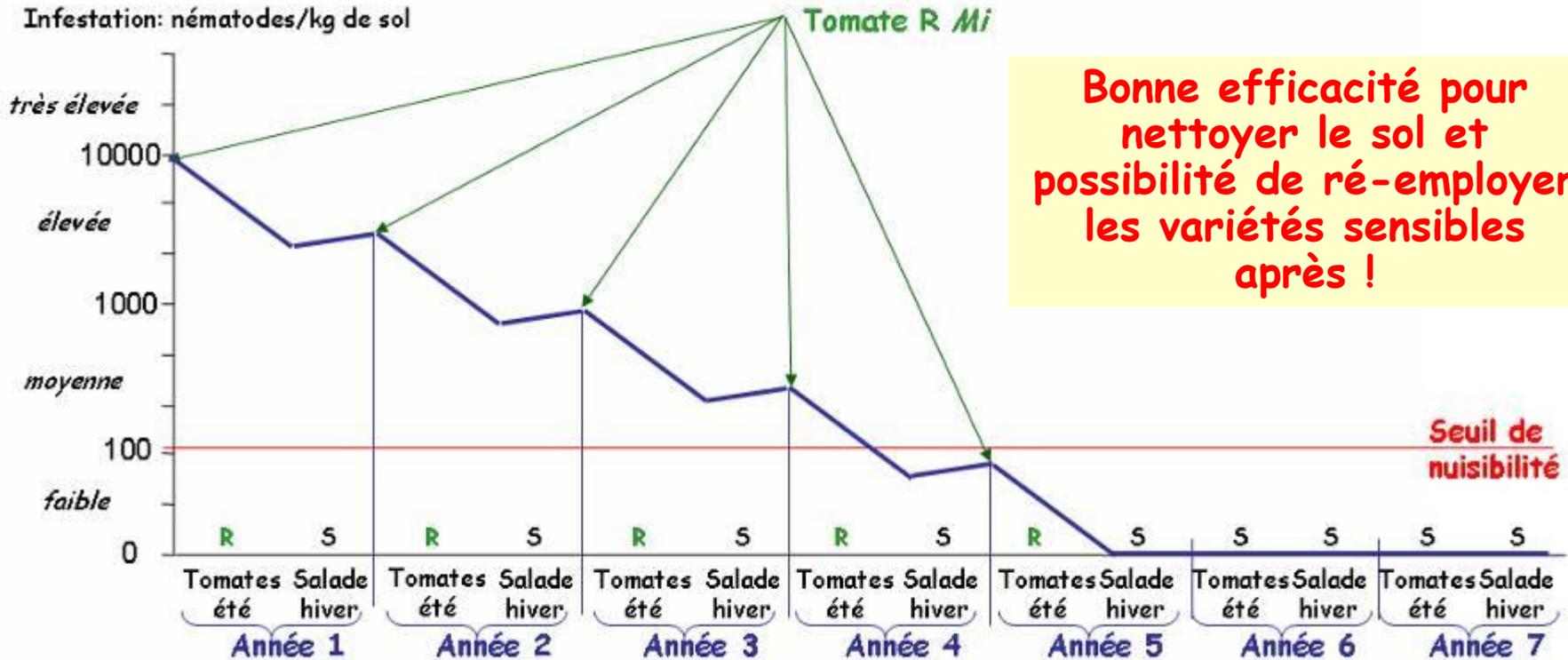
Enquête 2008 chez un producteur maraîcher du 06

Infestation: nématodes/kg de sol



# Efficacité des plantes « pièges »

Enquête 2008 chez un producteur maraîcher du 06



# 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 250m<sup>2</sup>**

**6 MODALITES**

8 à 9  $\mu$ parcelles/modalité  
40 à 45 plants/modalité

**Piments en culture d'été:**

**Me1/Me1** Piment R homozygote

**Me1/-** Piment R hybride F1[RxS]

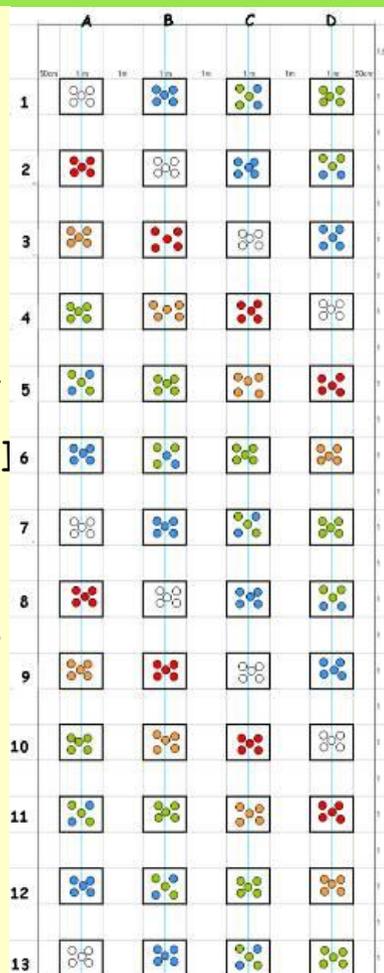
**Me3 / Me1** pyramidage

**Me3/Me3** alternance **Me1/Me1**

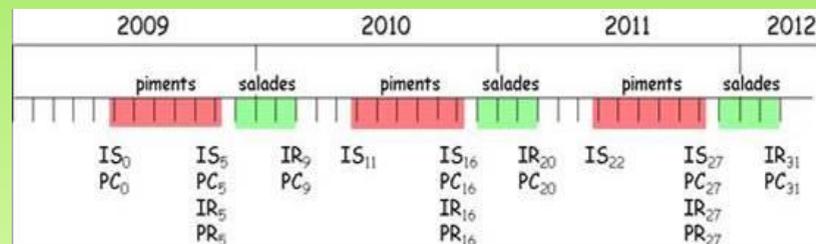
**Me3/Me3 Me1/Me1** mélange

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



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

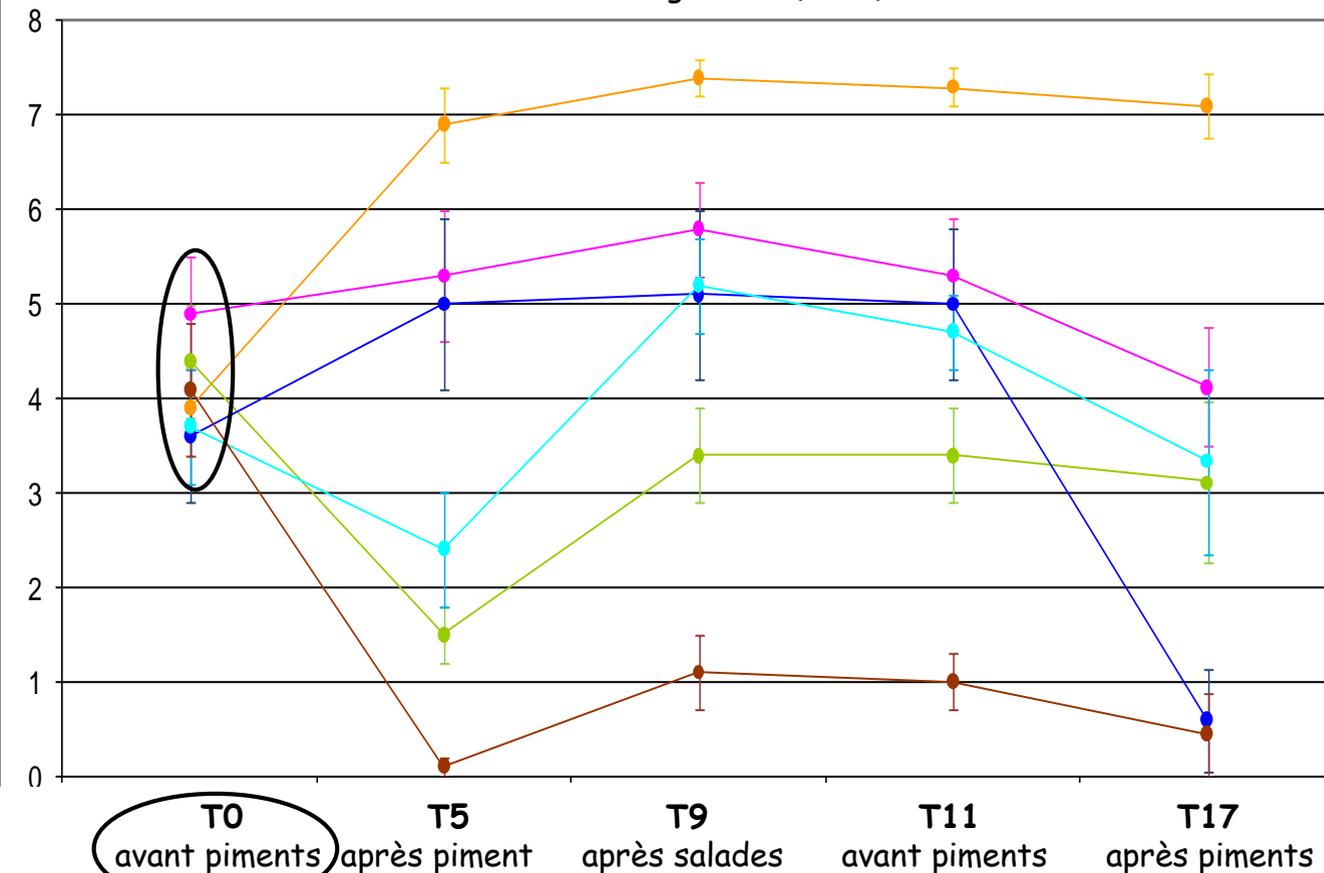
Me3Me3 puis Me1/Me1 :  
IR = 1 sur Me3/Me3

Me3Me3 + Me1Me1 :  
IR = 0,3 sur Me3Me3

Me1Me1 : IR = 0

Me3Me1 : IR = 0

40 à 45 répétitions



T0  
avant piments

T5  
après piment

T9  
après salades

T11  
avant piments

T17  
après piments

➡ 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

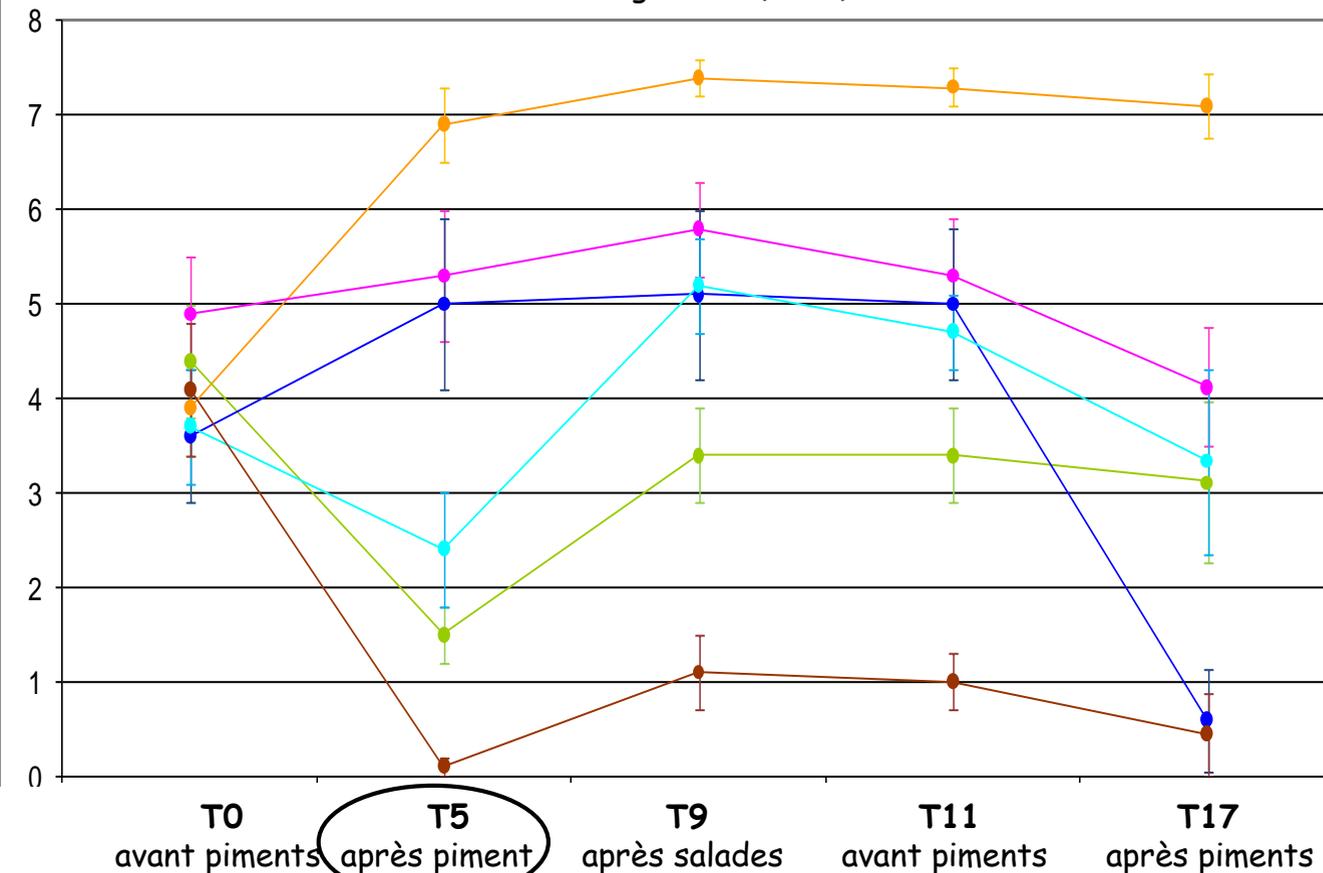
Me3Me3 puis Me1/Me1 :  
IR = 1 sur Me3/Me3

Me3Me3 + Me1Me1 :  
IR = 0,3 sur Me3Me3

Me1Me1 : IR = 0

Me3Me1 : IR = 0

40 à 45 répétitions



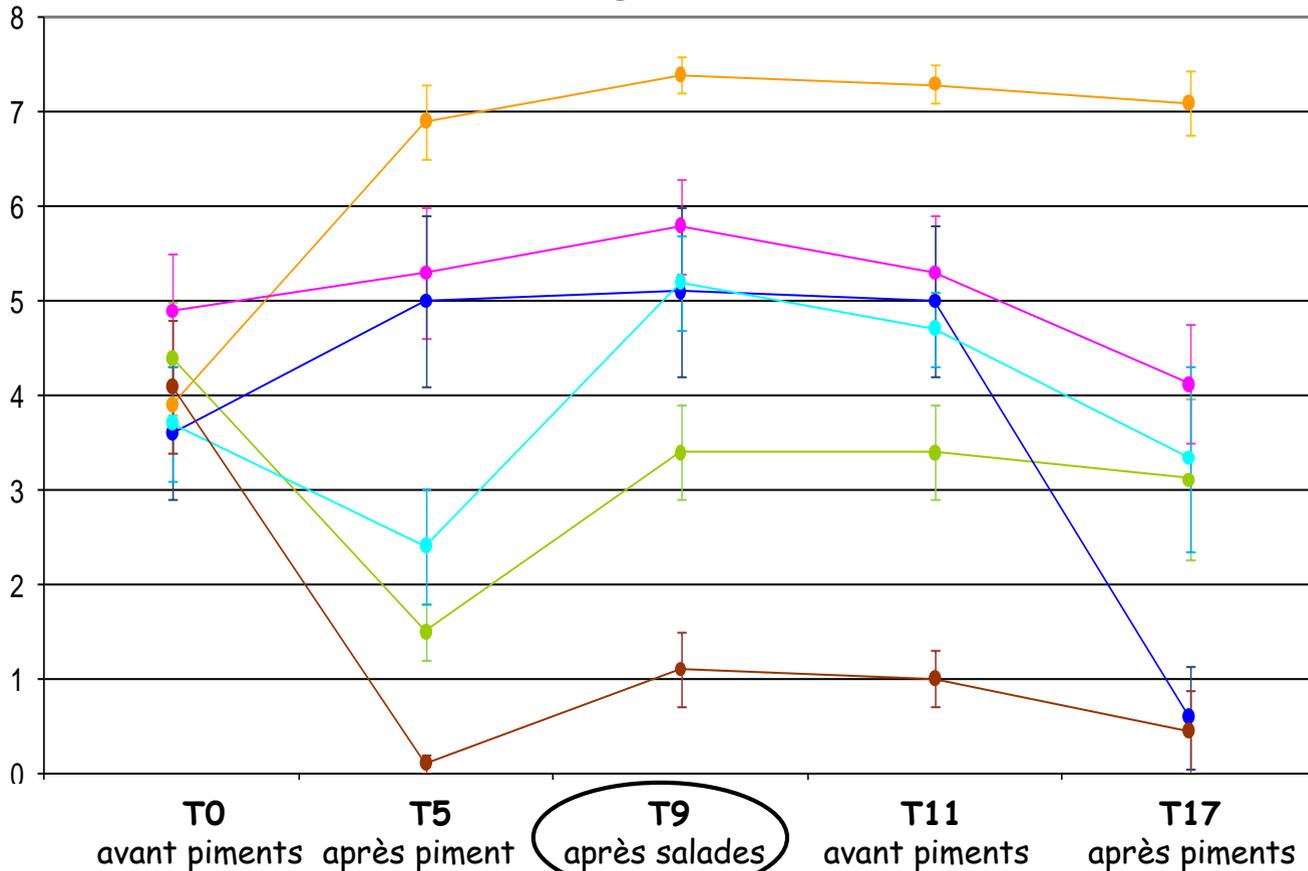
- Les piments S DLL augmentent fortement l'IS
- Les piments R Me3Me3 + Me1Me1 en mélange réduisent l'IS
- Les piments R Me1Me1 et combinant Me3Me1 réduisent très fortement l'IS

# 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

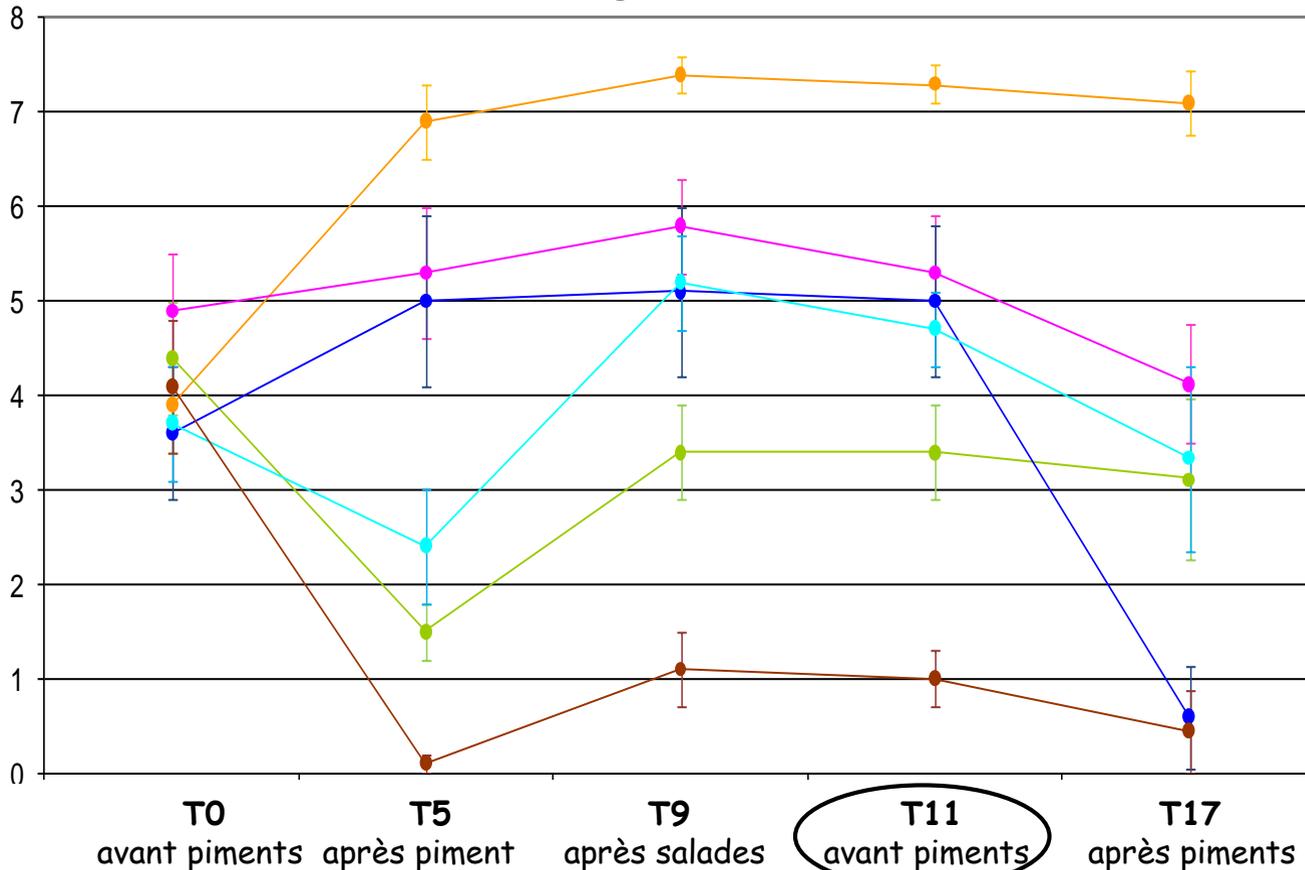
Me3Me3 puis Me1/Me1 :  
IR = 1 sur Me3/Me3

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

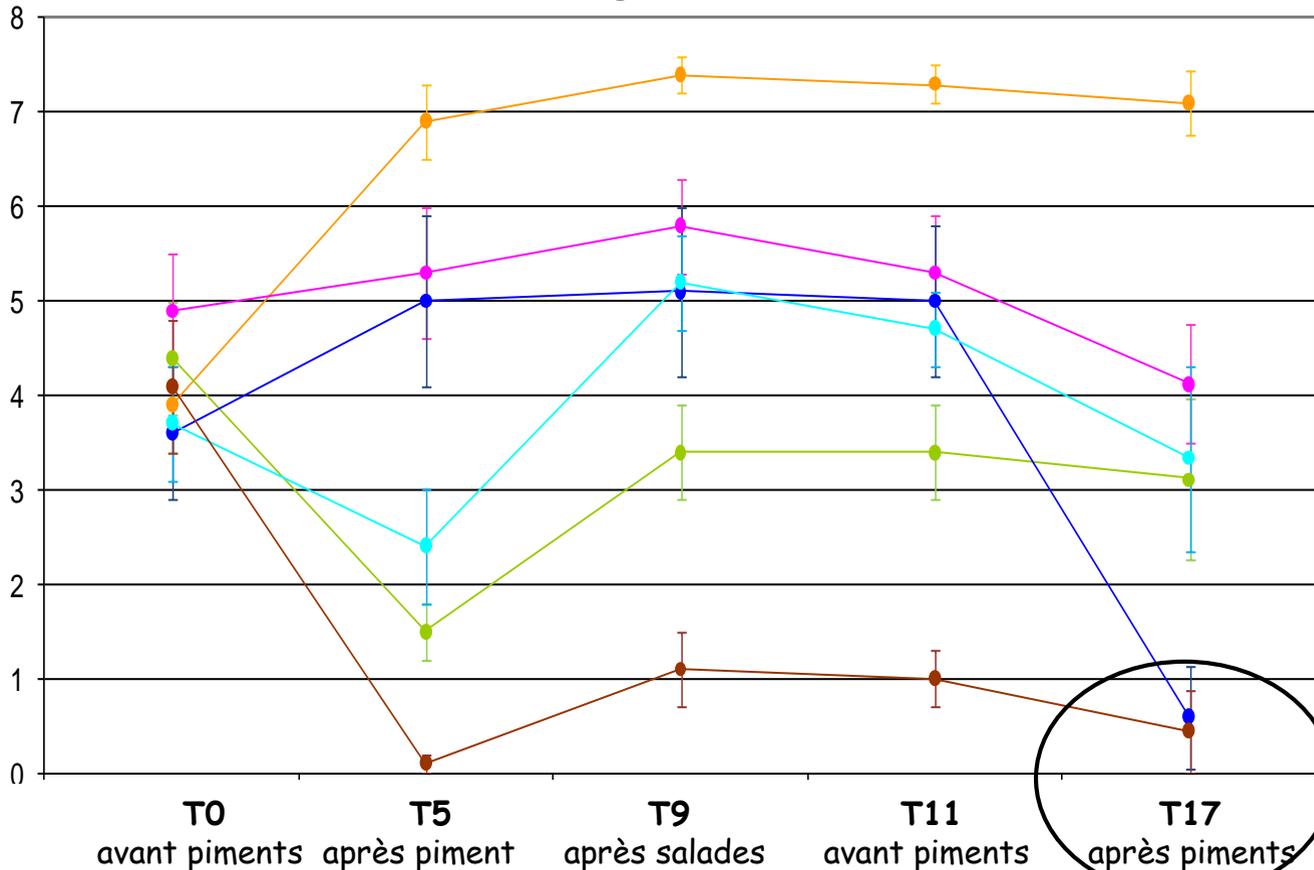
Me3Me3 puis Me1/Me1 :  
IR = 1 sur Me3/Me3

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

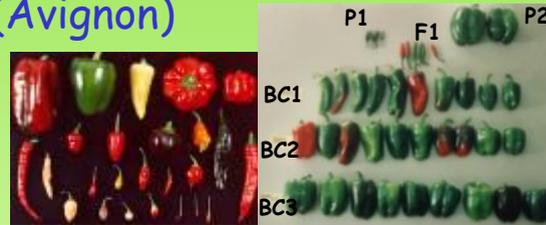
# Organisation et collaborations

## ✓ INRA PACA, UMR IBSV, IPN (Sophia)

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



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 Piante** (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*

