



# MIFFEL, Salon de la filière fruits et légumes

18/19/20 octobre 2011, Parc des expositions, Avignon Sud



*Conférence : production intégrée en culture légumière, les premiers résultats*



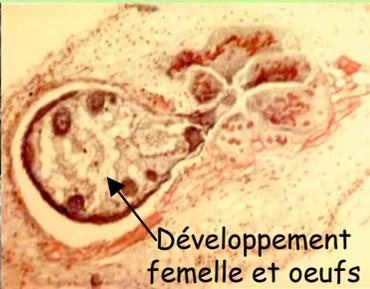
ASSOCIATION PROVENÇALE DE RECHERCHE ET D'EXPÉRIMENTATION LÉGUMIÈRE

*Au cœur de notre terroir, un réseau actif...*

## GESTION DURABLE DES NEMATODES A GALLES DANS LES SYSTEMES MARAICHERS SOUS ABRIS

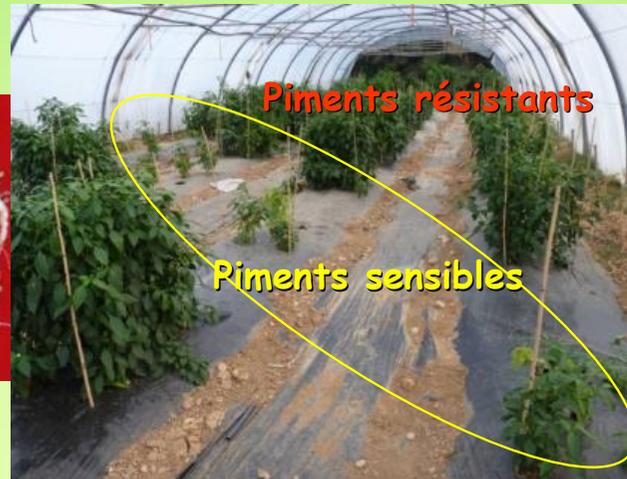


Nématode



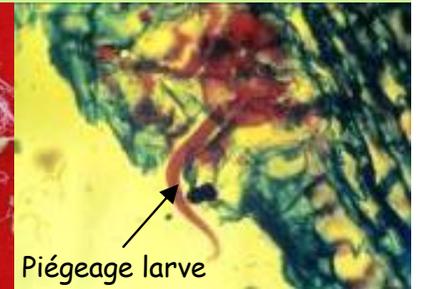
Développement femelle et oeufs

Plantes sensibles



Piments résistants

Piments sensibles



Piégeage larve

Plantes résistantes



Institut National de la Recherche Agronomique

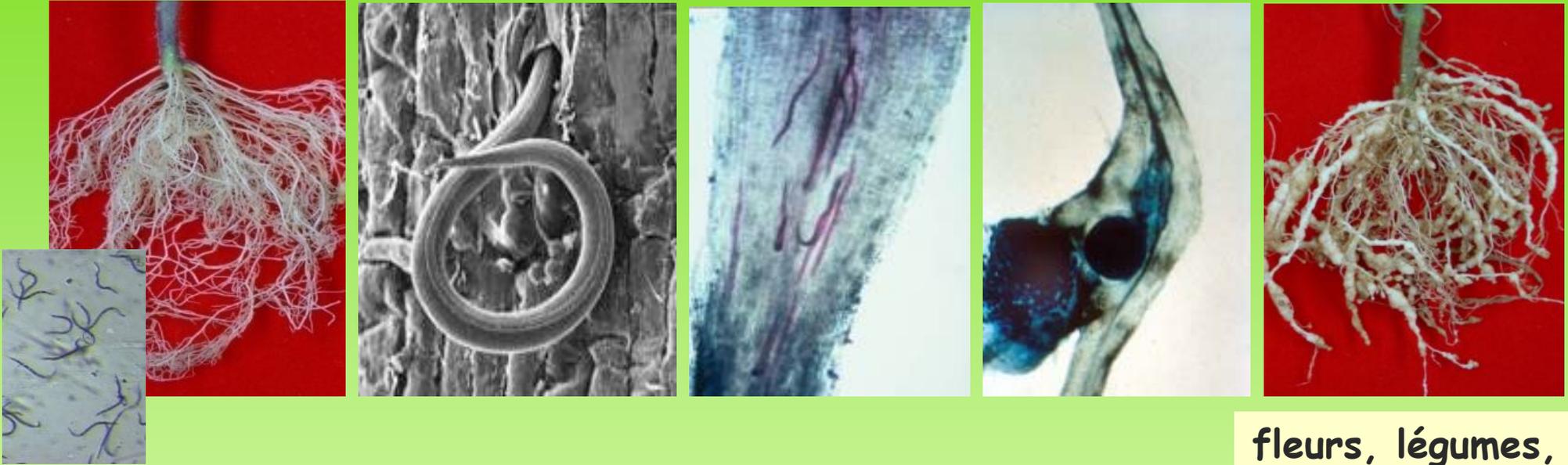


Pôle Santé des Plantes  
Sophia Antipolis

Caroline Djian-Caporalino  
UMR Interactions Biotiques et santé Végétale,  
Equipe Intéractions 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
- ✓ Restriction ou interdiction des nématicides chimiques

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 (*Phytoma* Novembre 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 :  
méthode efficace 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)

Plantes résistantes (pas de galle)



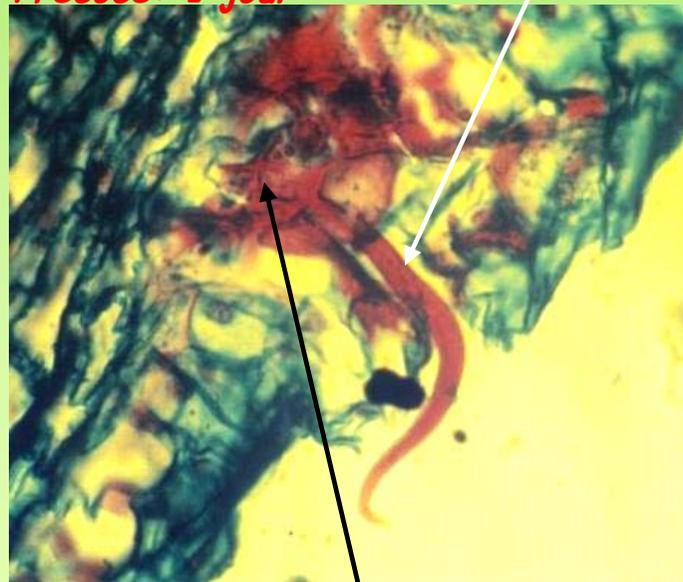
Nématode  
stade femelle



20 jours

Cellules géantes polynucléées (site  
nourricier indispensable au nématode)

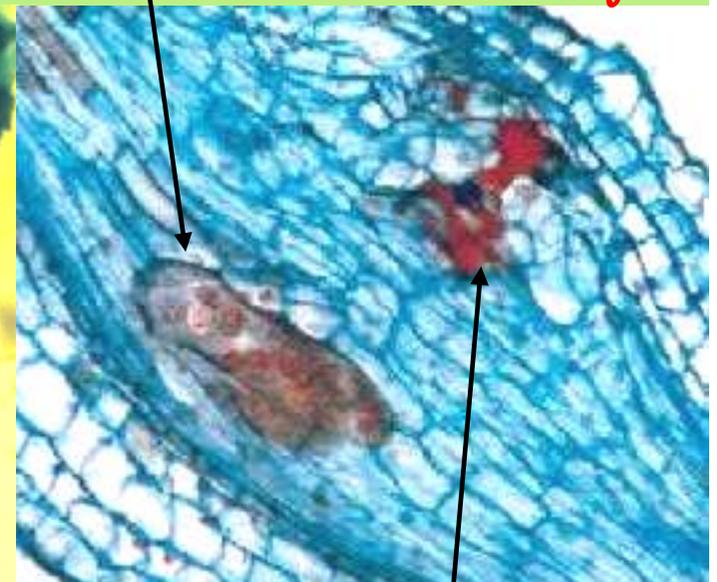
Précoce: 1 jour



Nématode  
stade larvaire

Cellules géantes  
malformées

Tardif : 10 jours



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

# Variétés ou porte-greffes résistants

## Limites

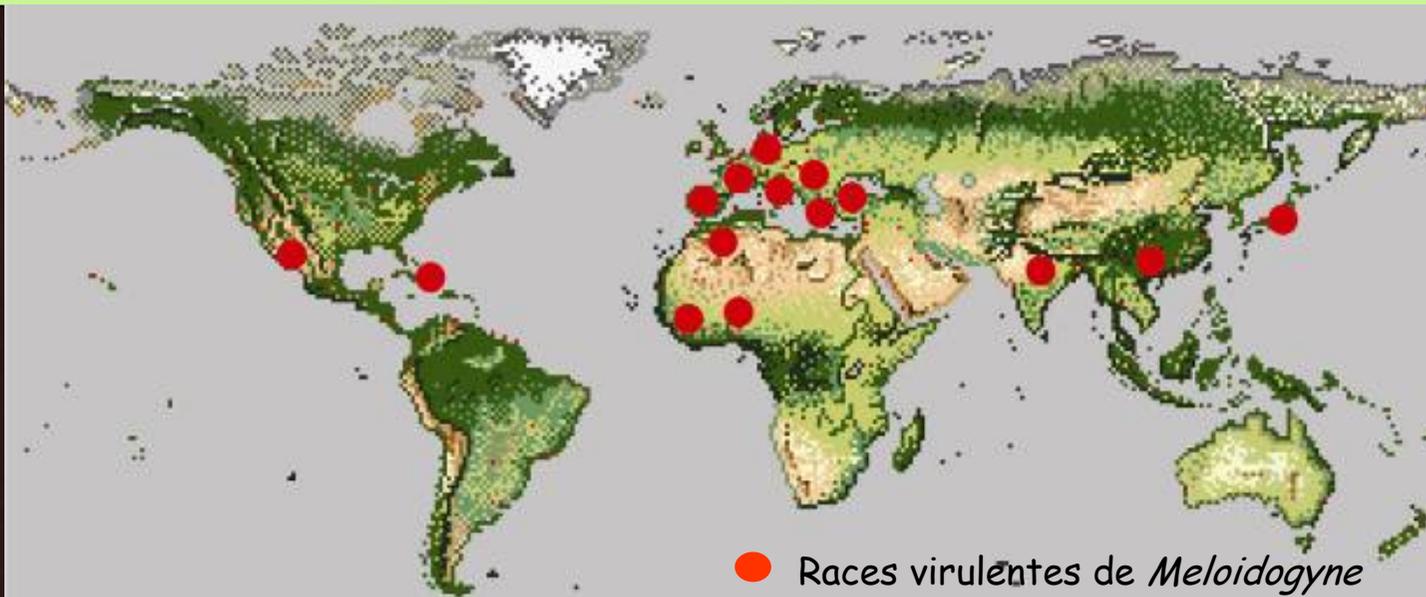
- ✓ R rares (peu de gènes connus) et création variétale longue (7 à 10 ans)
  - tomate (*Mi*), piment (*Me*), pomme de terre (*Rmc1*), carotte (*Mj*)
- ✓ Contournement possible des résistances
  - au laboratoire (fortes pression d'inoculum)
  - en condition naturelle:

Comment protéger  
les gènes de R  
et 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

Tomate résistante  
*Mi-1*



# 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
- évaluer l'effet variétal dans la durabilité de la R
- comparer la durabilité des lignées fixées homozygotes et des hybrides
- déterminer l'intérêt de la combinaison de 2 gènes de R



# 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

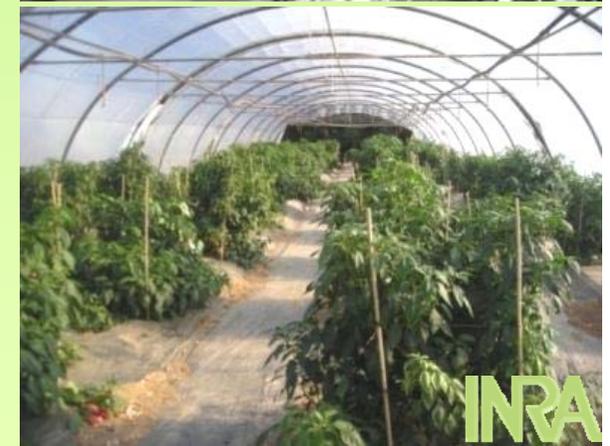
## Approche expérimentale :

Expérimentation biologique en conditions semi-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



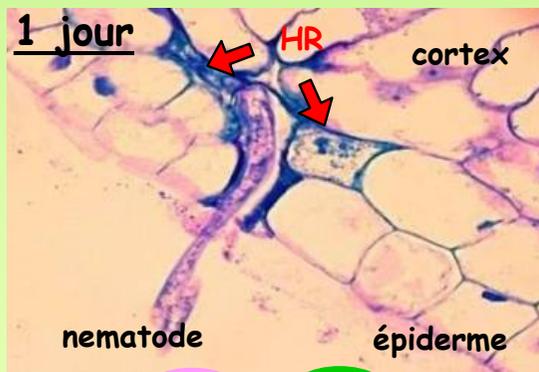
*M. incognita* *M. javanica*  
*M. arenaria*

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

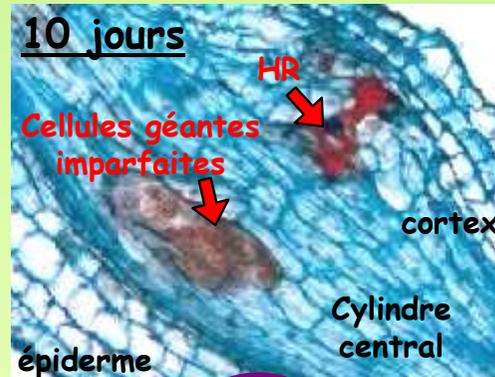


*M. incognita* *M. hapla*  
*M. arenaria* *M. javanica*

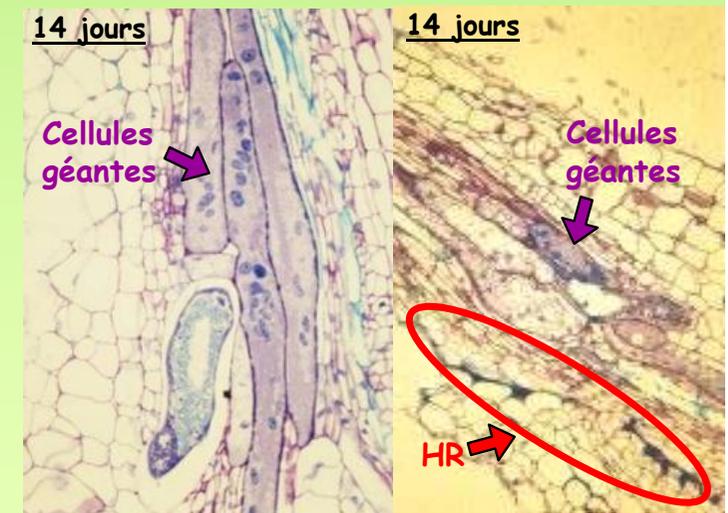
Variétés de piment  
en cours d'amélioration  
très sensibles partiellement R



Gènes contournables



Gène à priori  
non contournable



# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)



Comparaison des 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 µparcelles/modalité

40 à 45 plants/modalité



en culture d'été:



**Me1/Me1** Piment R homozygote



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



**Me3/Me1** pyramidage



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



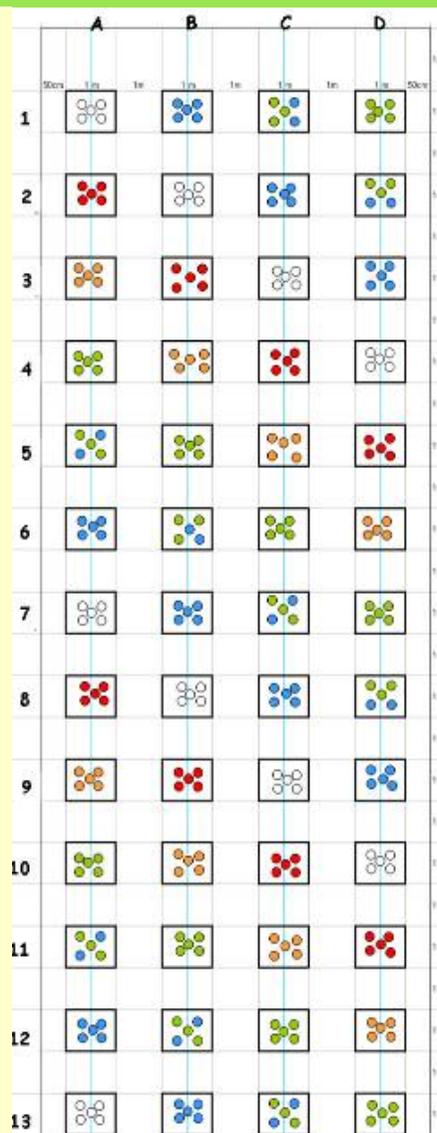
**Me3/Me3 Me1/Me1** mélange



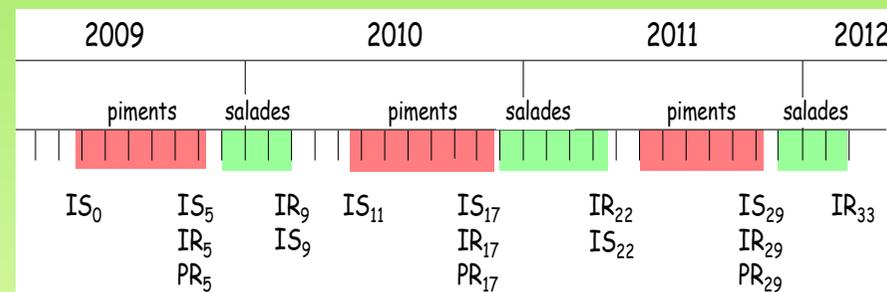
témoin S DLL



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)



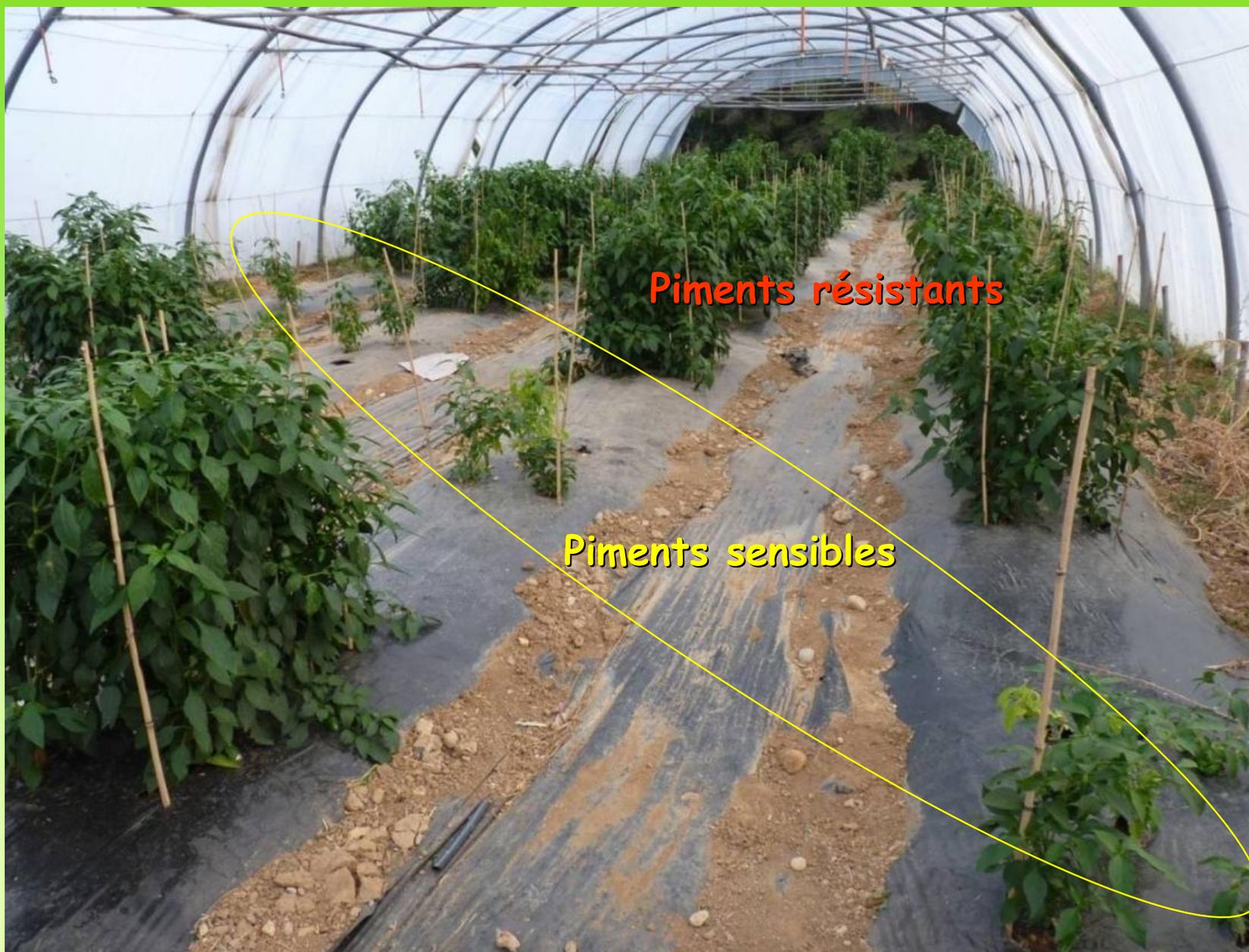
# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)

## Piments



Déroulement de l'expérimentation au cours des années 2009 & 2010

# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)



Comportement des différentes lignées de piment sur parcelle très infestée  
de la CA06 au 16/09/2010 (2<sup>ème</sup> année)

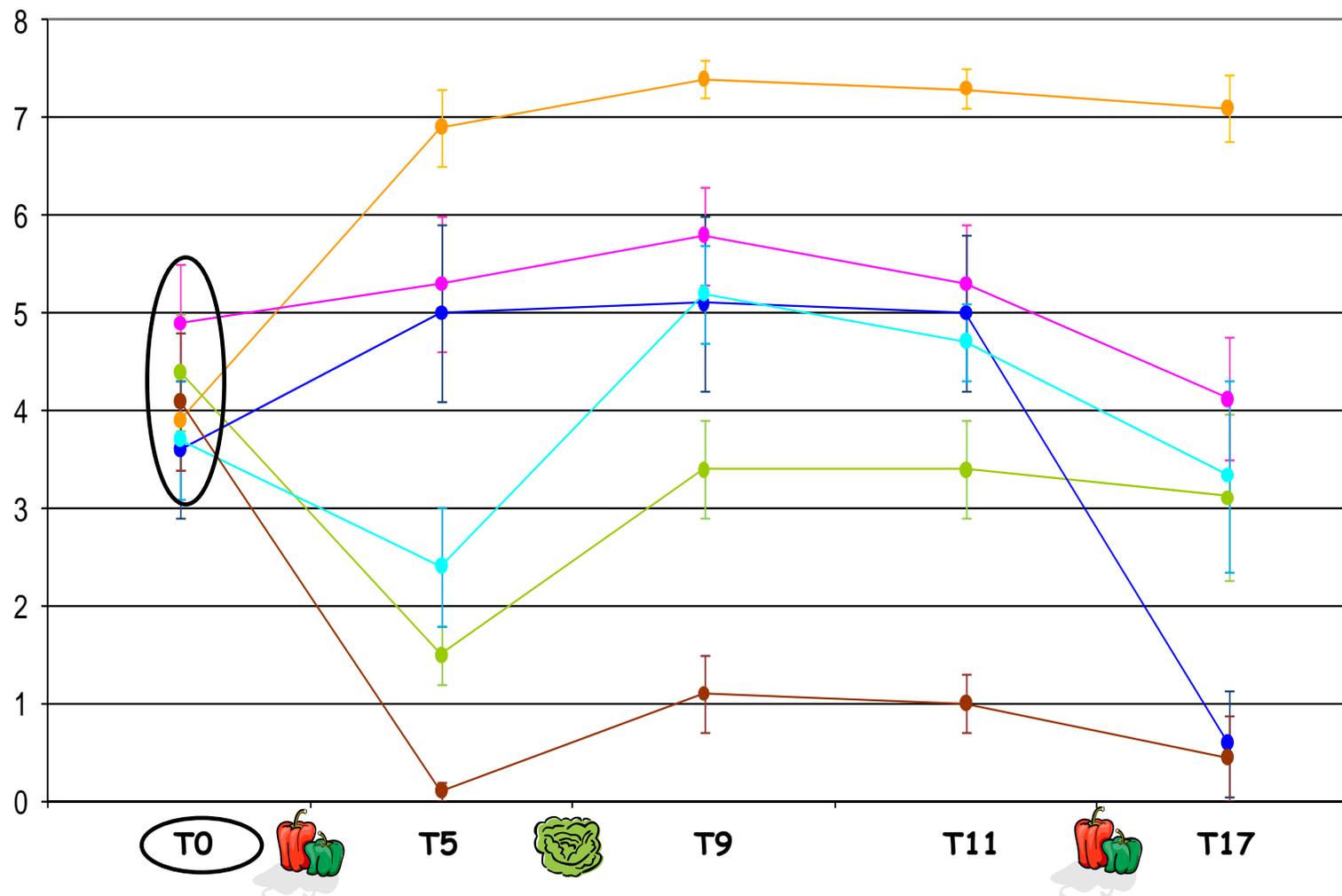
# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)



## Infestation du sol (IS) 8 à 9 répétitions

8 à 9 répétitions

Moyennes sur 8 à 9  $\mu$ parcelles des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles inoculées avec 1 kg de sol/ $\mu$ parcelle (IC5%)



## Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

Moyennes des indices de galles (0 à 10) sur 40 à 45 plants

Piment sensible DLL : IR = 9

Hybride F1 (*Me1xDLL*) :  
IR = 1,5  
mais pas de pop virulente  
PR = 0 (nb d'œufs/nb J2)

Piment HD149 (*Me3Me3*) :  
IR = 1  
et pop virulente obtenue  
PR = 261

Piments en mélange  
HD149+HD330 (*Me3Me3* +  
*Me1Me1*) :  
IR = 0,3 sur HD149

Piment HD330 (*Me1Me1*) :  
IR = 0

Piment hybride pyramidé  
(*Me3Me1*) : IR = 0

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

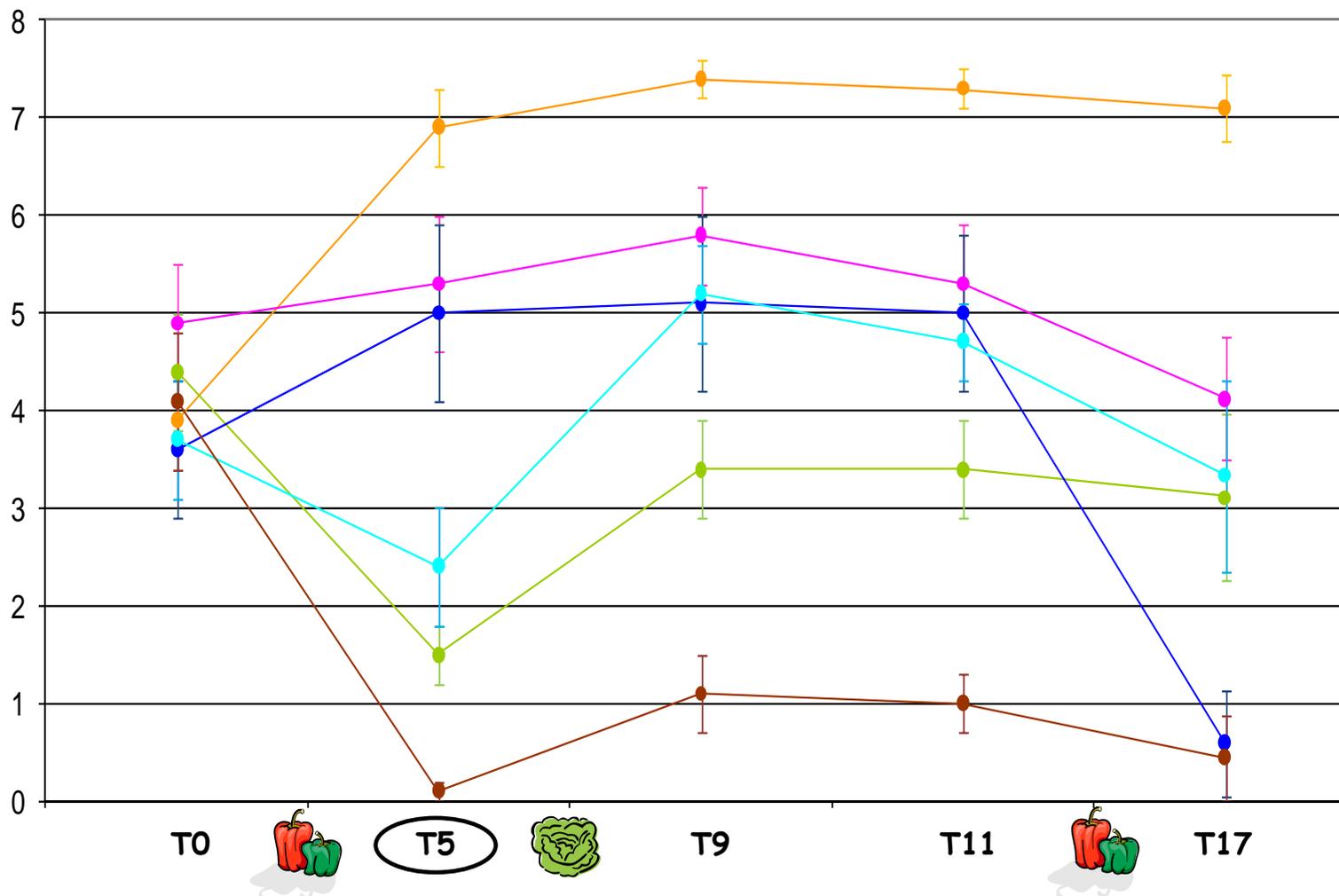
# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)



## Infestation du sol (IS)

8 à 9 répétitions

Moyennes sur 8 à 9  $\mu$ parcelles des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles inoculées avec 1 kg de sol/ $\mu$ parcelle (IC5%)



## Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

Moyennes des indices de galles (0 à 10) sur 40 à 45 plants

Piment sensible DLL : IR = 9

Hybride F1 (*Me1xDLL*) :  
IR = 1,5  
mais pas de pop virulente  
PR = 0 (nb d'œufs/nb J2)

Piment HD149 (*Me3Me3*) :  
IR = 1  
et pop virulente obtenue  
PR = 261

Piments en mélange  
HD149+HD330 (*Me3Me3* +  
*Me1Me1*) :  
IR = 0,3 sur HD149

Piment HD330 (*Me1Me1*) :  
IR = 0

Piment hybride pyramidé  
(*Me3Me1*) : IR = 0

- 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

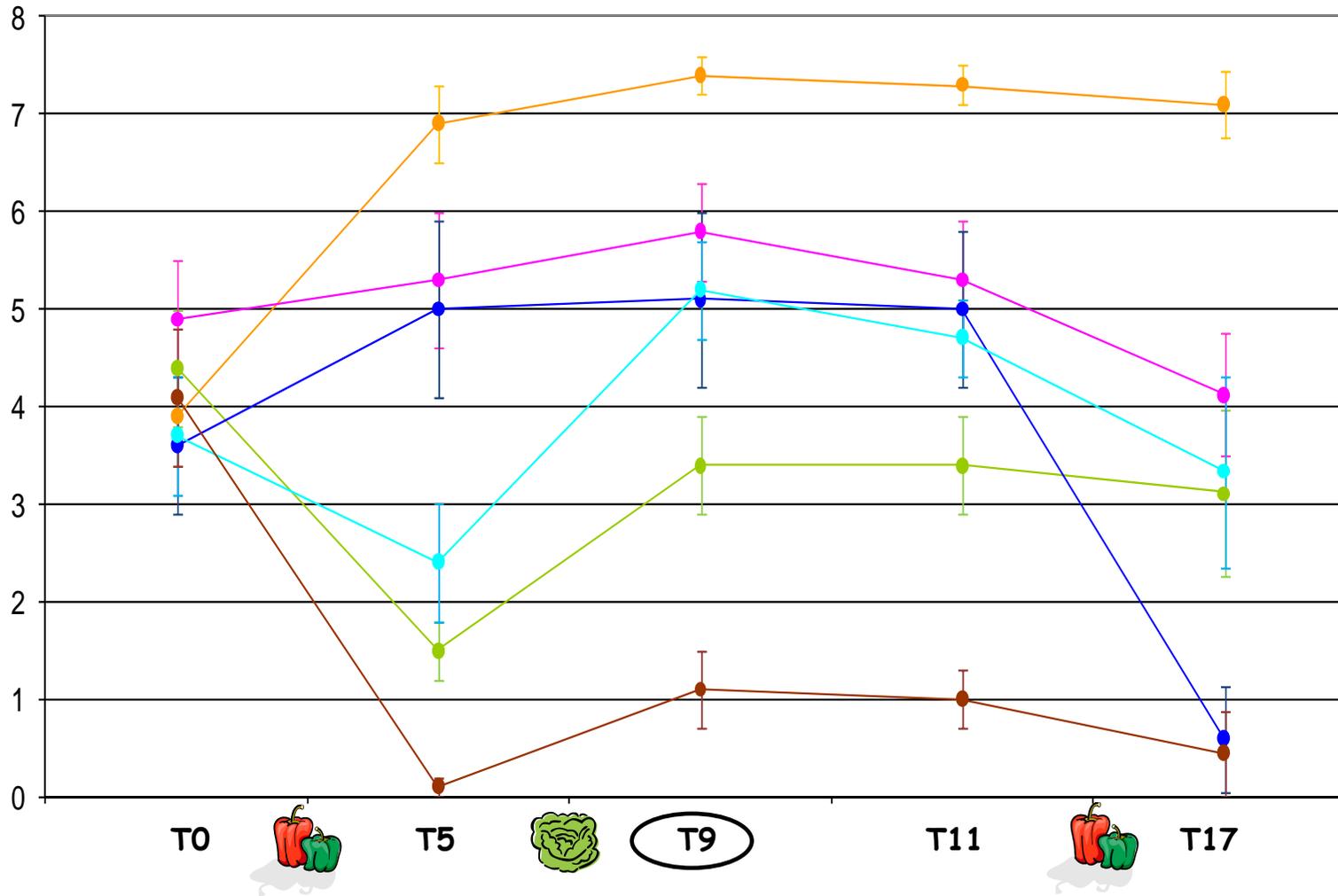
# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)



## Infestation du sol (IS)

8 à 9 répétitions

Moyennes sur 8 à 9  $\mu$ parcelles des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles inoculées avec 1 kg de sol/ $\mu$ parcelle (IC5%)



## Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

Moyennes des indices de galles (0 à 10) sur 40 à 45 plants

Piment sensible DLL : IR = 9

Hybride F1 (*Me1xDLL*) :  
IR = 1,5  
mais pas de pop virulente  
PR = 0 (nb d'œufs/nb J2)

Piment HD149 (*Me3Me3*) :  
IR = 1  
et pop virulente obtenue  
PR = 261

Piments en mélange  
HD149+HD330 (*Me3Me3* +  
*Me1Me1*) :  
IR = 0,3 sur HD149

Piment HD330 (*Me1Me1*) :  
IR = 0

Piment hybride pyramidé  
(*Me3Me1*) : IR = 0

➔ Les salades S multiplient les nématodes dans toutes les microparcelles

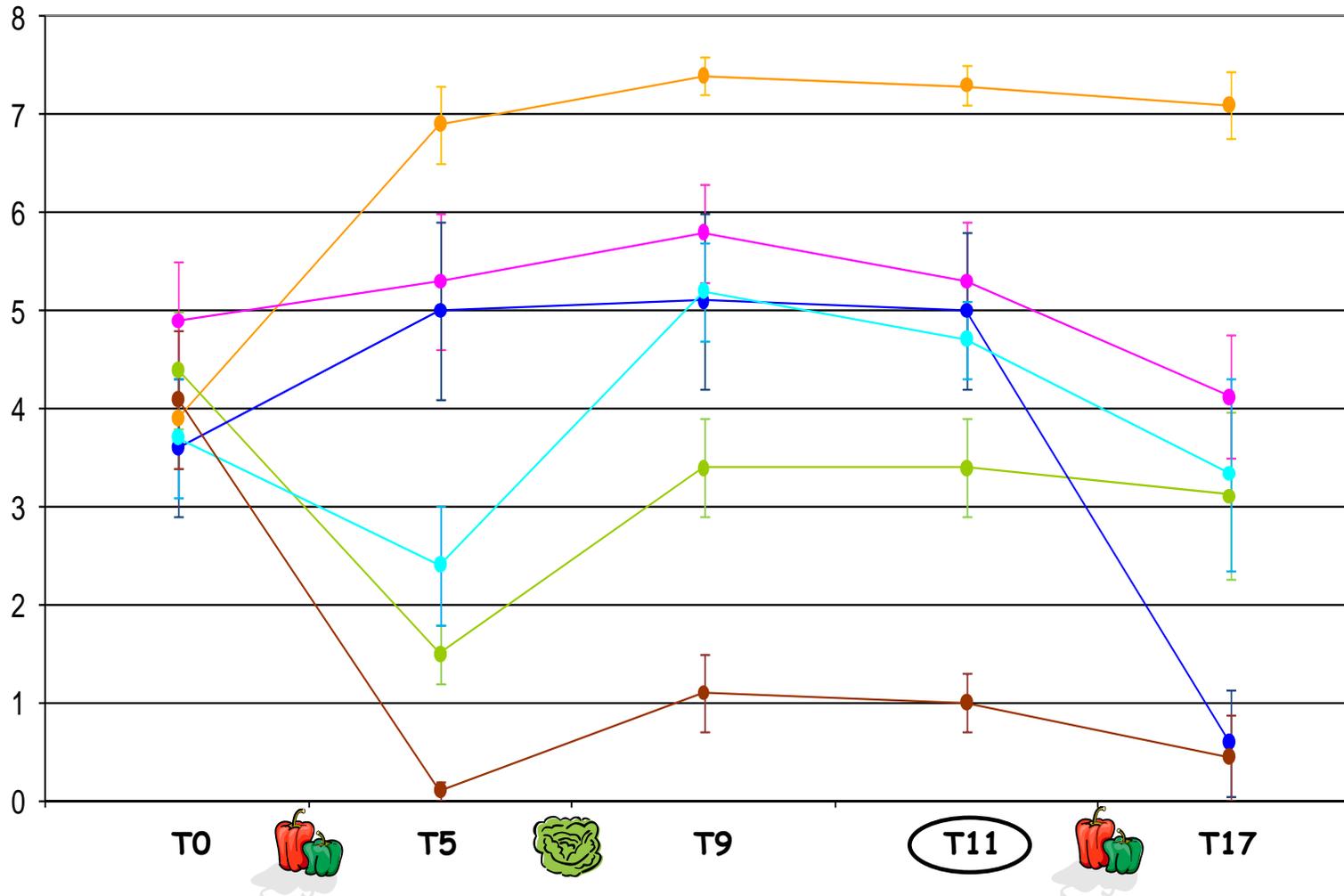
# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)



## Infestation du sol (IS)

8 à 9 répétitions

Moyennes sur 8 à 9  $\mu$ parcelles des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles inoculées avec 1 kg de sol/ $\mu$ parcelle (IC5%)



## Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

Moyennes des indices de galles (0 à 10) sur 40 à 45 plants

Piment sensible DLL : IR = 9

Hybride F1 (*Me1xDLL*) :  
IR = 1,5  
mais pas de pop virulente  
PR = 0 (nb d'œufs/nb J2)

Piment HD149 (*Me3Me3*) :  
IR = 1  
et pop virulente obtenue  
PR = 261

Piments en mélange  
HD149+HD330 (*Me3Me3* +  
*Me1Me1*) :  
IR = 0,3 sur HD149

Piment HD330 (*Me1Me1*) :  
IR = 0

Piment hybride pyramidé  
(*Me3Me1*) : IR = 0

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

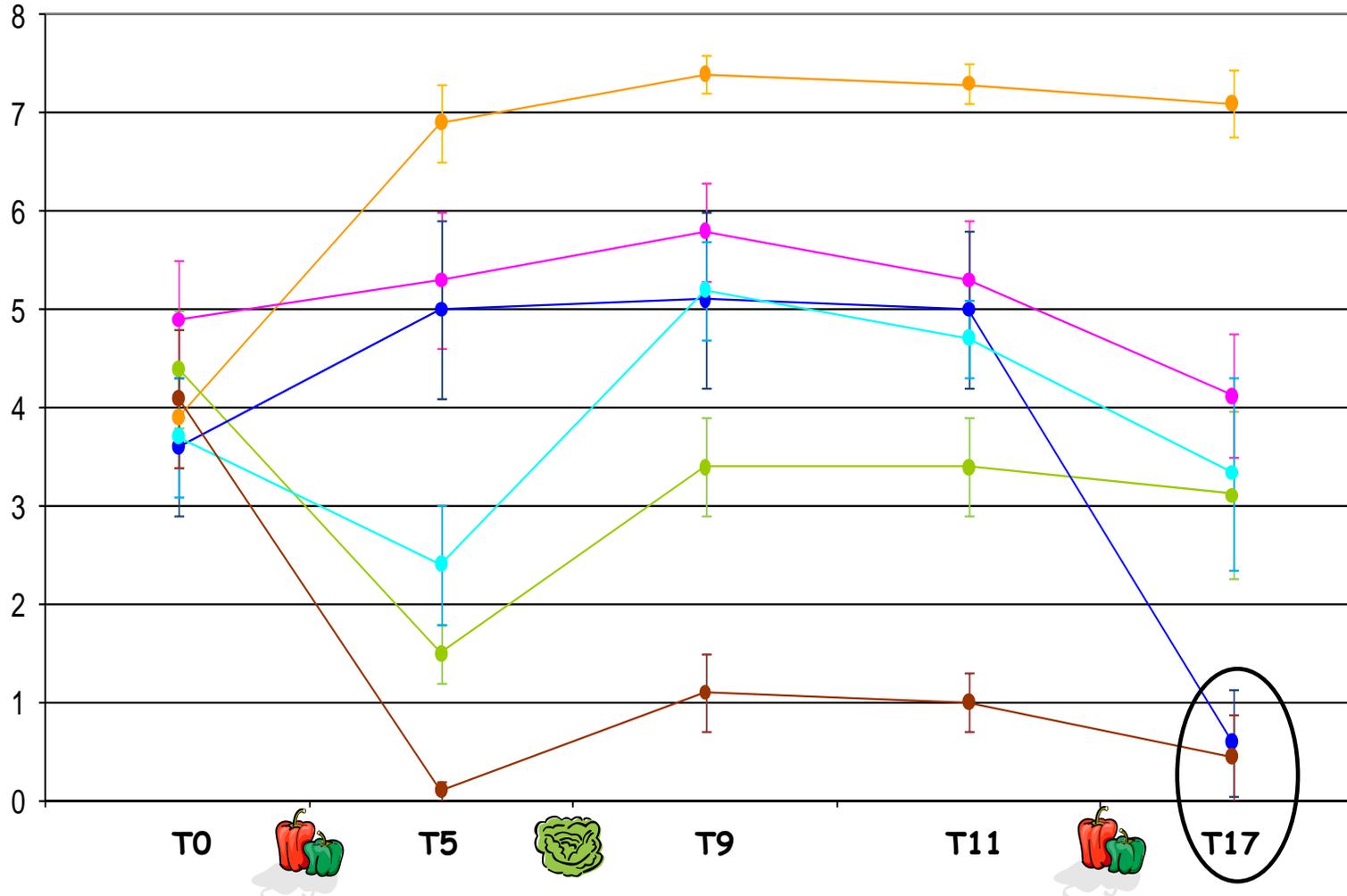
# Exemple d'une expérimentation en conditions naturelles « abri froid » en station expérimentale (CREAT CA06)



## Infestation du sol (IS)

8 à 9 répétitions

Moyennes sur 8 à 9  $\mu$ parcelles des indices de galles (0 à 10) sur tomates sensibles inoculées avec 1 kg de sol/ $\mu$ parcelle (IC5%)



## Infestation racinaire sur piments à T5 & T17

Moyennes des indices de galles (0 à 10) sur 40 à 45 plants

Piment sensible DLL : IR = 9

Hybride F1 (*Me1xDLL*) :  
IR = 1,5  
mais pas de pop virulente  
PR = 0 (nb d'œufs/nb J2)

Piment HD149 (*Me3Me3*) :  
IR = 1  
et pop virulente obtenue  
PR = 261

Piments en mélange  
HD149+HD330 (*Me3Me3 + Me1Me1*) :  
IR = 0,3 sur HD149

Piment HD330 (*Me1Me1*) :  
IR = 0

Piment hybride pyramidé  
(*Me3Me1*) : IR = 0

➔ **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**

# Persectives

➔ **Projet « GEDUNEM »** Innovations techniques et variétales pour une GEstion DURable & intégrée des NEMatodes à galles dans les systèmes maraîchers sous abris

= **test de combinaisons de plantes R et de techniques culturales** (résistance variétale, successions d'espèces diversifiées, gestion de l'interculture, biofumigation, lutte biologique, prophylaxie)

Appel à projet



Labellisé 07/2011



Présenté au MP INRA-GISP-PRESUME



Expérimentations de combinaisons, choisies suite résultats projets Sysbiotel/Picleg, qui seront suivies sur 3-4 ans en station expérimentale (CA06/APREL) et chez des producteurs (CETA/GRAB)



S



biofumigation



R



S

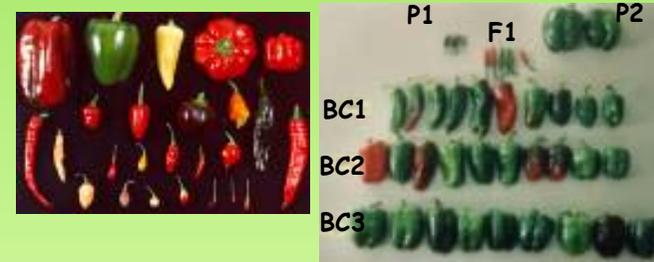
- (1) diminution des populations de bioagresseurs à des niveaux économiquement tolérables
- (2) maintien durable de ces nouvelles situations (augmentation de la durabilité des R?)
- (3) Evaluation des systèmes de culture du point de vue agronomique
- (4) Etude socio-économique (viabilité des systèmes de culture)

# Organisation et collaborations

✓ **INRA PACA, UMR IBSV, IPN (Sophia Antipolis)**



✓ **INRA PACA, UR GAFL (Avignon)**



✓ **INRA PACA, UR Ecodev (Avignon)**

enquêtes -> corrélations pratiques culturales / bioagresseurs tellur.



✓ **Chambre d'agriculture 06, APREL & CETA Aubagne**





*Merci de votre attention*

