



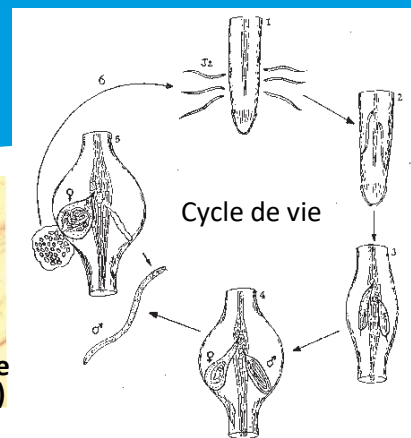
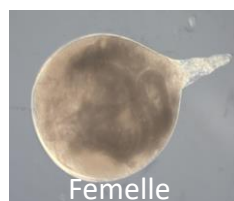
**Session 5** : Durabilité de l'efficacité des solutions techniques au regard de l'évolution des bioagresseurs : sélection, émergences, invasion

# Evaluation expérimentale de stratégies de déploiement de gènes de résistance pour la gestion durable des nématodes à galles

Djian-Caporalino Caroline,  
INRA PACA, équipe IPN



# Contexte



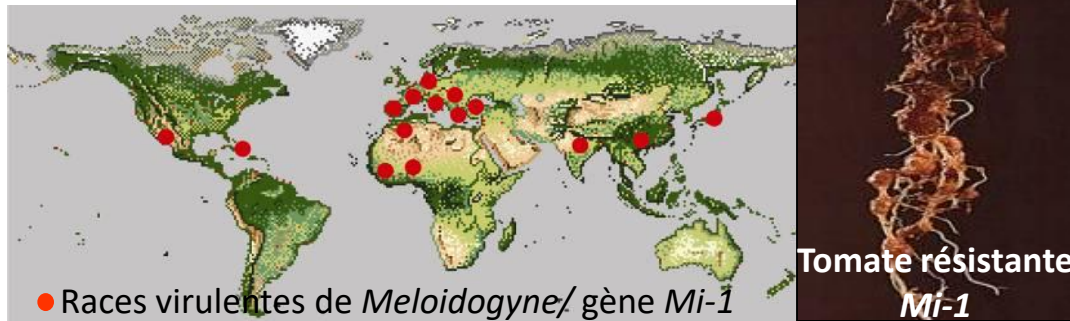
**Les nématodes à galles :** un problème en croissance sur cultures maraîchères en Europe (*Wesemael et al., Nematology 2011*) et dans tous les pays Méditerranéens, en particulier sous abris en France



- **Enquête 2007-2010 conduite en France** (*Phytoma Novembre 2010, EPPO Bulletin Avril 2012*):  
-> **40% des exploitations maraîchères** du sud-est de la France sont touchées  
=> **inquiétude des producteurs** suite à l'interdiction des nématocides chimiques  
(*Fumigants toxiques: bromure de méthyle, chloropicrine, dichloropropène*)

# Contexte

- **50% de réduction d'utilisation des pesticides pour 2018**  
(Plan Ecophyto 2018 & Loi « Grenelle 2 » de 2010)
- Intérêt accru des sélectionneurs de semences pour la création de nouveaux **porte-greffes et variétés résistantes** aux nématodes
- **Emergence de nématodes adaptés dits “virulents”,** capables de contourner les résistances actuelles : *Mi-1* tomate, *Me3* et *N* piment  
(Jarquin-Barberena et al. 1991 ; Castagnone-Sereno et al. 1994, 1996, 2001, 2002 ; Meher et al. 2009 ; Djian-Caporalino et al. 2011 ; Hendy et al. 1983 ; Tzortzakakis et al. 2005, 2008 ; Verdejo-Lucas et al. 2009 ; Devran and Sögüt 2010 ; Thies 2011)



- **Peu de gènes de résistance** identifiés à ce jour et **création longue** (7 à 10 ans)

**Nécessité d'accroître la durabilité des ressources génétiques**

# Contexte

- **Expérimentations en conditions contrôlées** (chambres climatisées) **et semi-contrôlées** (serres), réalisées dans le cadre de projets financés par le **CTPS 2007-2010** et le réseau européen **ENDURE 2008-2010**, ont montré l'importance :
  - **du choix des gènes** (mode d'action & spectre d'action)
  - **de l'effet variétal** (fond génétique)
  - **de la combinaison de gènes** (pyramiding)
- ➔ sur **l'efficacité de la R** (totale ou partielle)
- ➔ sur **la durabilité des R** (contournement ou pas des gènes de R = apparition ou pas de populations virulentes)



## Valider les résultats obtenus en conditions contrôlées

- Evaluer le comportement de **divers génotypes R en conditions naturelles d'infestation et selon des procédés de conduite culturale conventionnels**, tout en vérifiant leur innocuité vis-à-vis de la nématofaune utile du sol



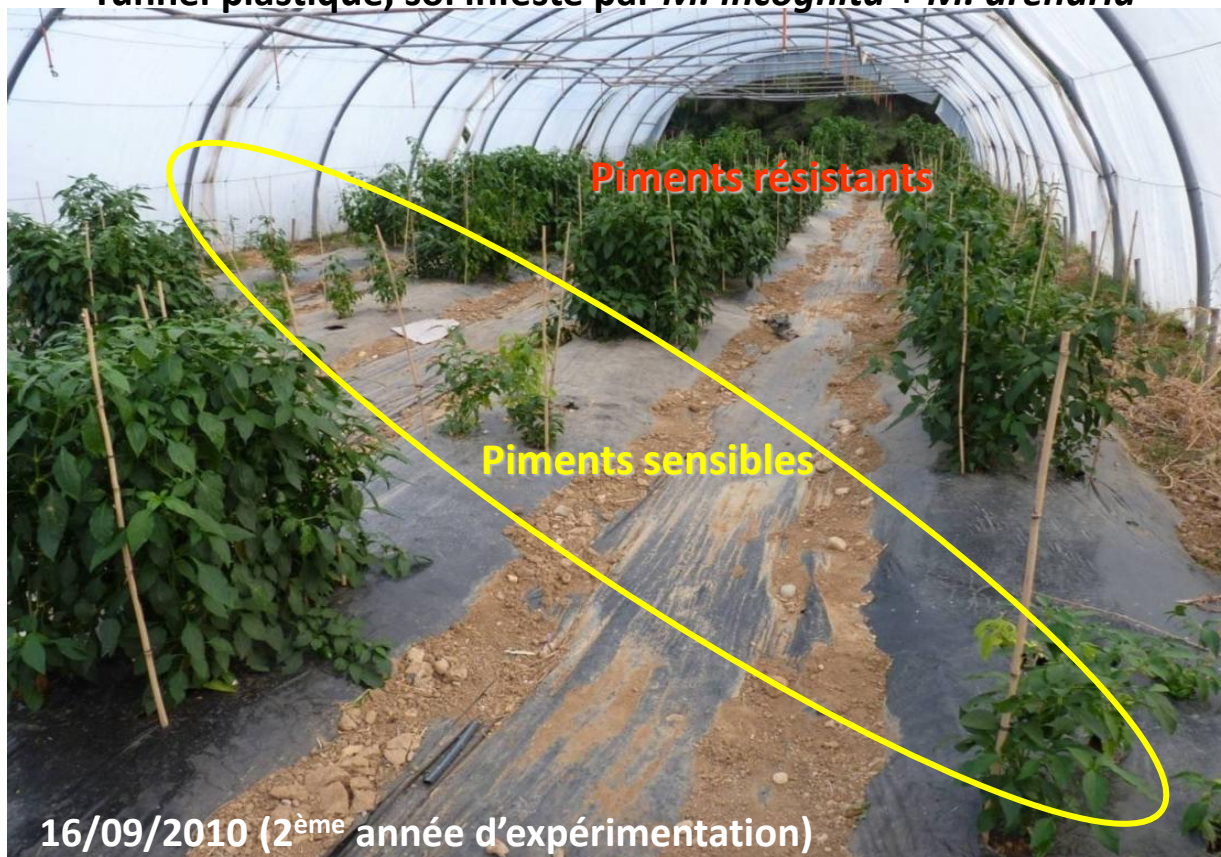
## Elaborer des stratégies de gestion des gènes disponibles dans un objectif de R durable

- Alternance des gènes de R dans les rotations,
- Mélange de différents génotypes R dans la même parcelle
- Pyramiding de 2 gènes de R dans le même génotype
  - ➔ en estimant le risque de contournement de la résistance au champ
  - ➔ en quantifiant le potentiel d'assainissement du sol par les génotypes R

# Méthodes

## Exemple d'une expérimentation sur Nice (parcelle agricole, CREAT La Baronne, centre d'expérimentation de la CA06)

Tunnel plastique, sol infesté par *M. incognita* + *M. arenaria*



224 m<sup>2</sup>, 52 µparcelles,  
5 plants/µparcelle

	A	B	C	D	
1					1m
2					1m
3					1m
4					1m
5					1m
6					1m
7					1m
8					1m
9					1m
10					1m
11					1m
12					1m
13					1m

16/09/2010 (2<sup>ème</sup> année d'expérimentation)

# Méthodes

## 6 MODALITES

8 à 9  $\mu$ parcelles/modalité  
x 5 plants/ $\mu$ parcelle  
= 40 à 45 plants/modalité

Cultivar sensible DLL (témoin)

Lignée fixée R Me1

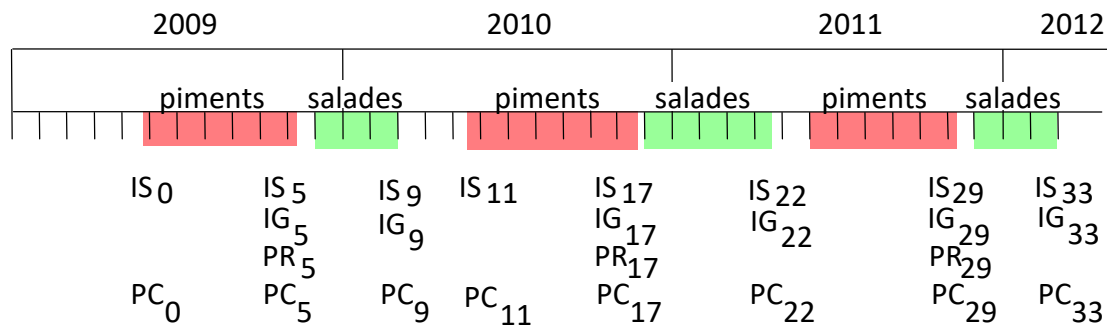
Hybride R [DLL x Me1]

Alternance Me3 et Me1

Mélange Me3 et Me1

Pyramiding Me3 Me1

## Mesures et notations



**IS = taux d'infestation du sol** (*nbre de larves de Meloidogyne /kg de sol*)

**IG = indice de galle** (*sur piments et salades*)

**PR = potentiel reproducteur des nématodes**

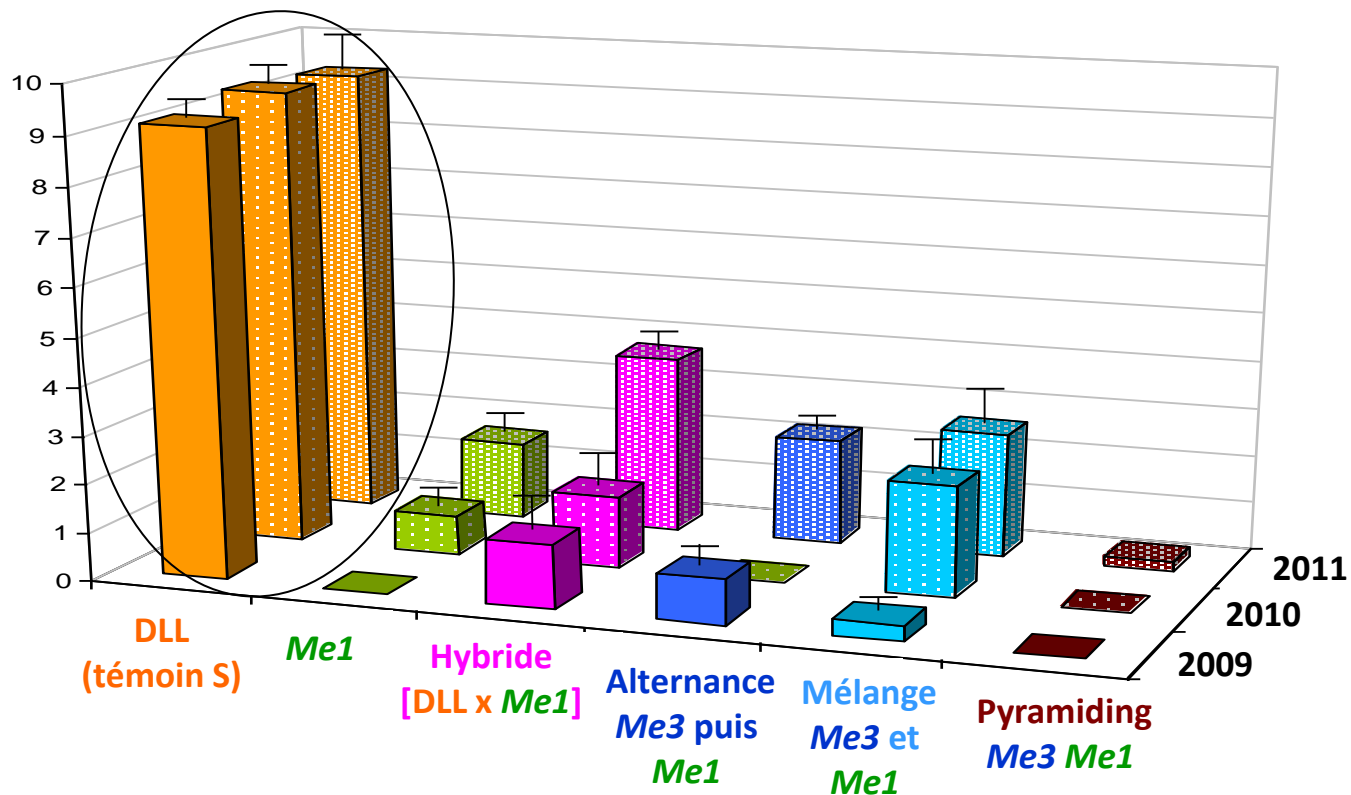
**si des masses d'œufs sont détectées sur piments R** (*nombre d'œufs produits /larve inoculée sur piment R en conditions contrôlées*)

**PC = patrons de communautés (nématofaune globale)** (*identification des espèces et dénombrement / dm<sup>3</sup> de sol*) Collaboration IRD

# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galles) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture ( $IC_{5\%}$ )



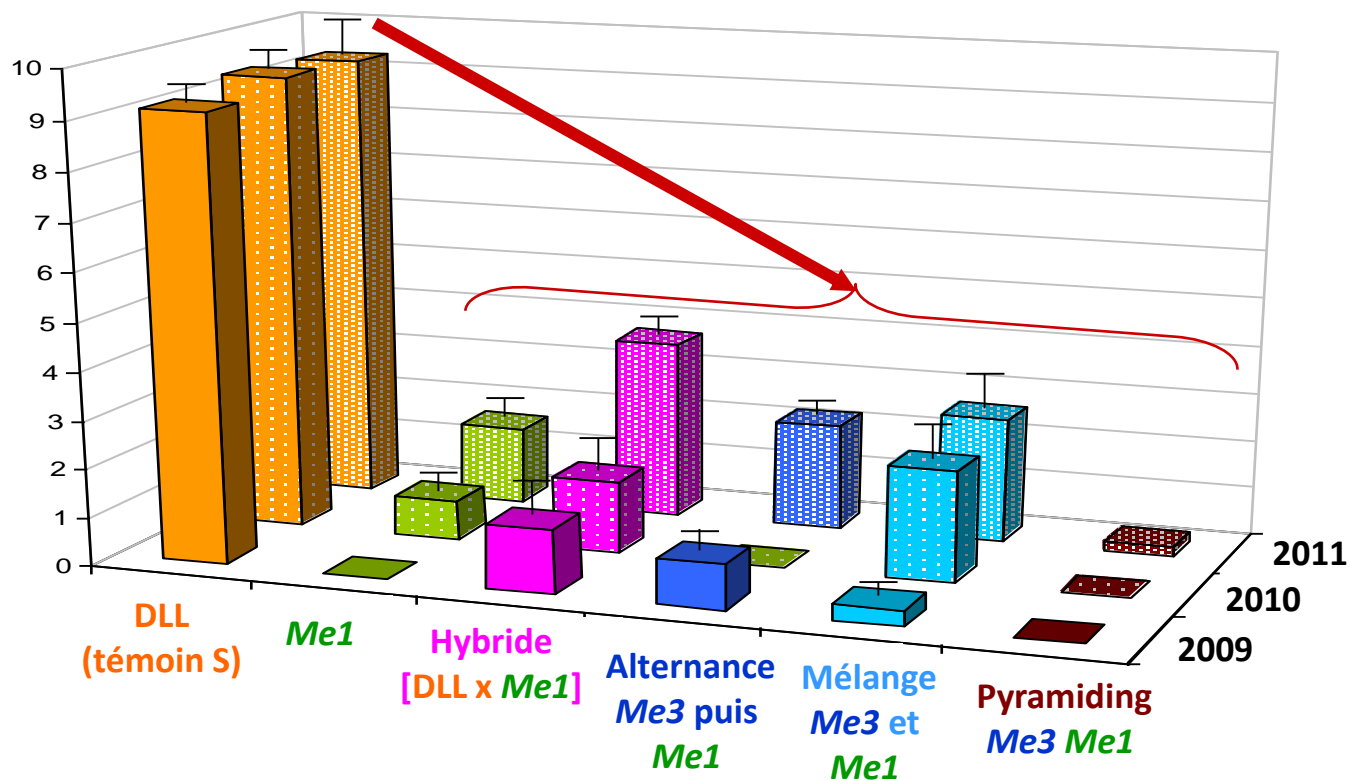
 IG sur piments S quasi maximum



# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galles) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture ( $IC_{5\%}$ )

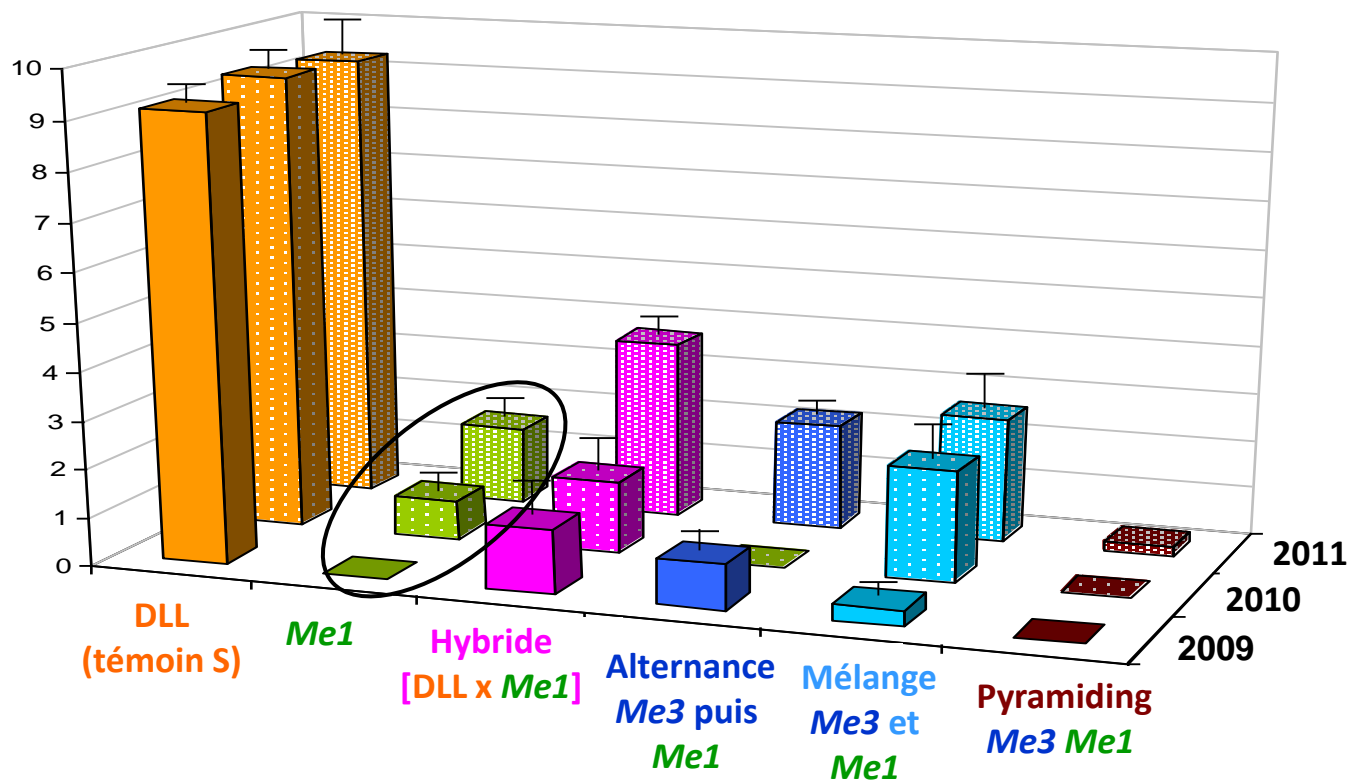


 IG sur piments S quasi maximum et très élevés comparés aux piments R

# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galles) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture (IC<sub>5%</sub>)

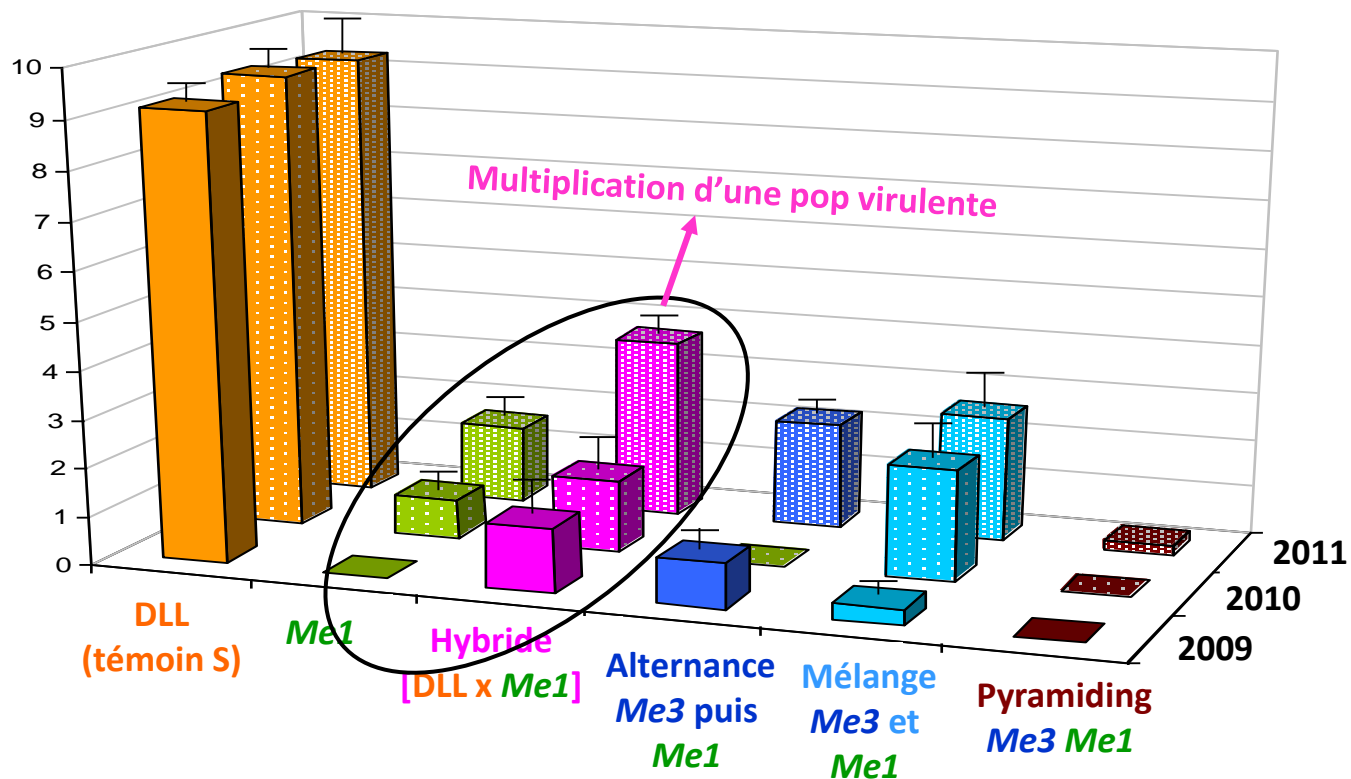


 **Me1 robuste : difficile à contourner**

# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galles) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture (IC<sub>5%</sub>)

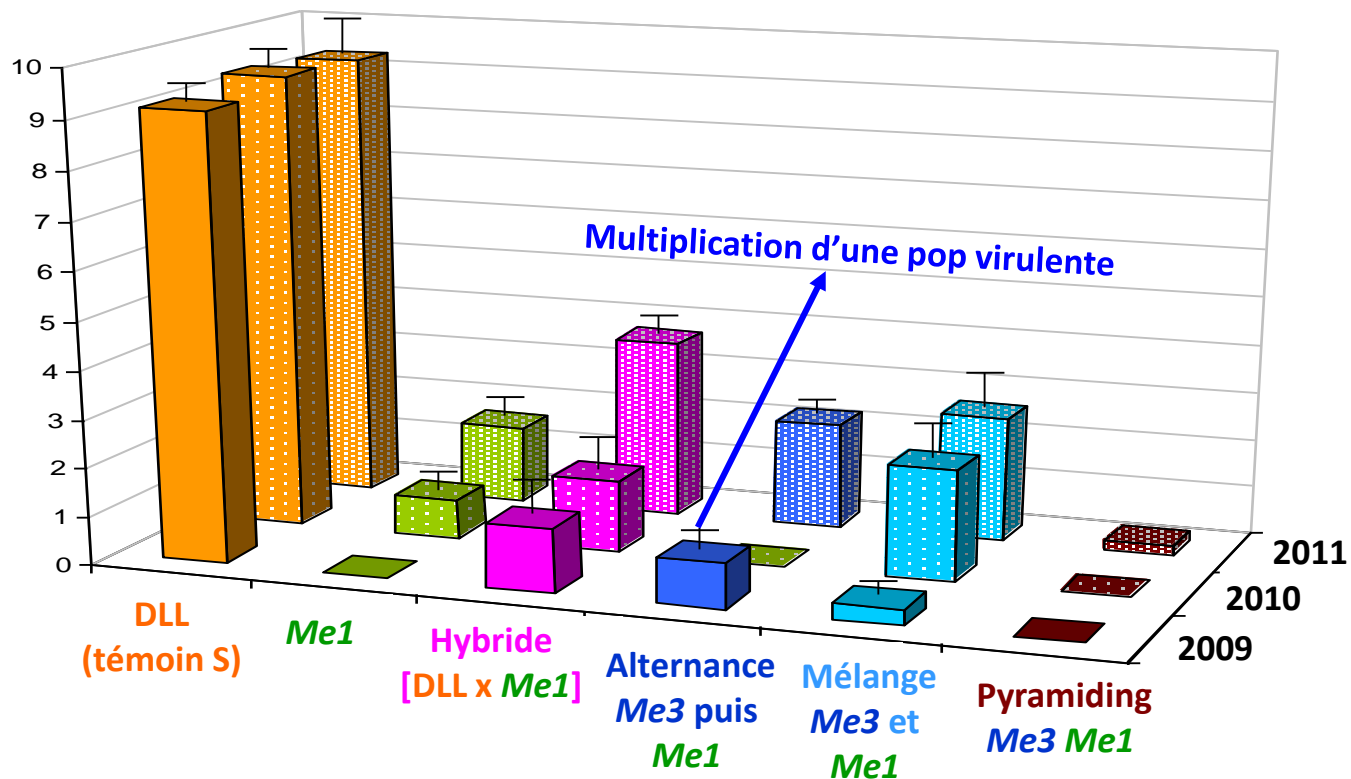


🌶️ Hybride F1 (*Me1* dans fond génétique S) moins R que parent *Me1*

# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galles) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture ( $IC_{5\%}$ )

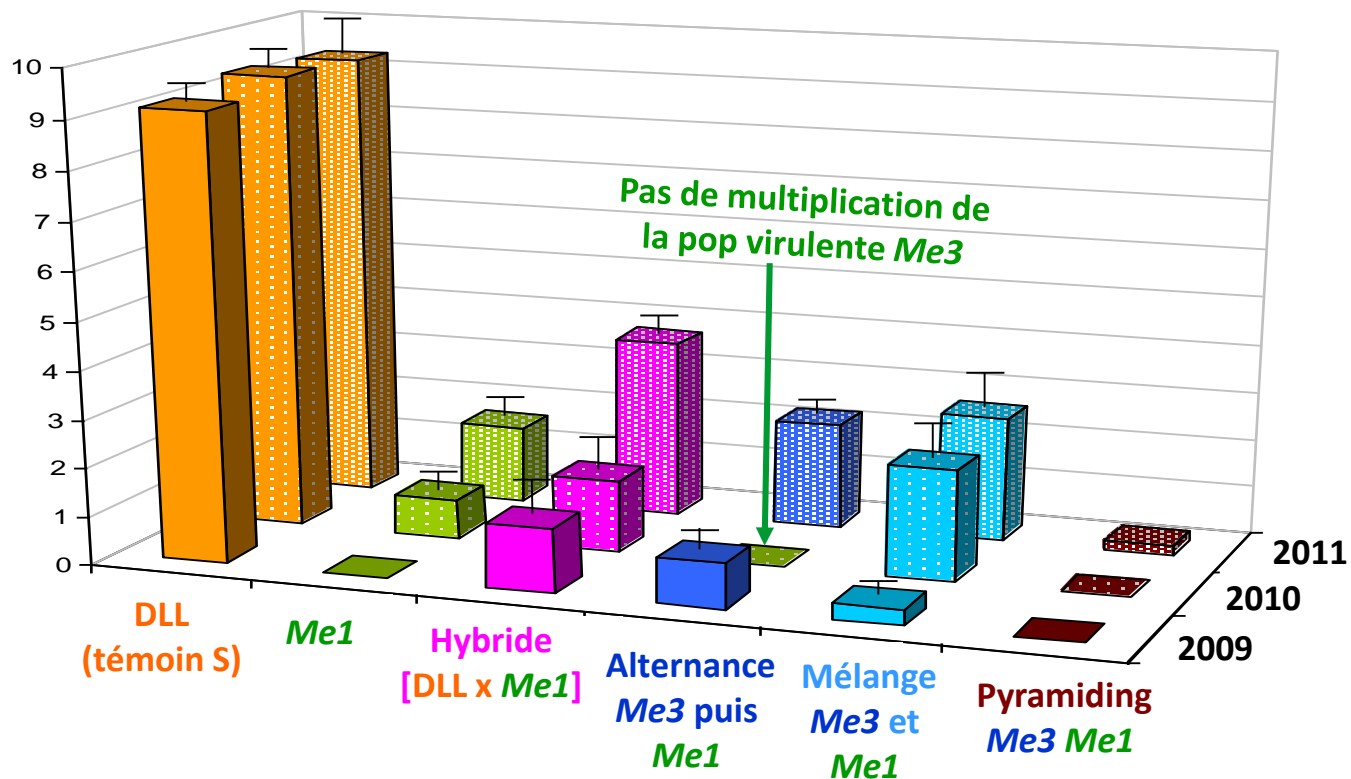


 **Me3 contourné dès la 1<sup>ère</sup> année**

# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galles) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture (IC<sub>5%</sub>)



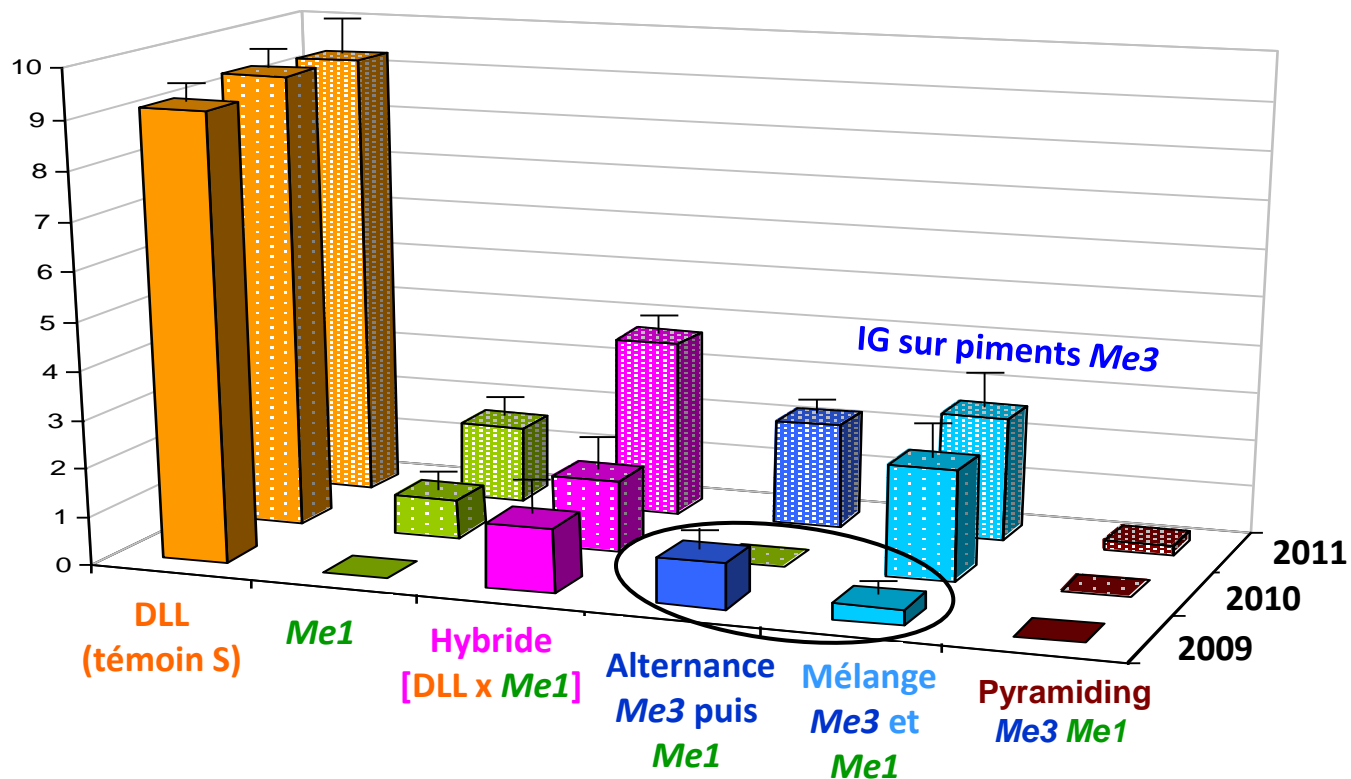
 **Me3 contourné dès la 1<sup>ère</sup> année mais spécificité de la virulence confirmée :**

*Djian-Caporalino et al., EJPP 2011* => **alternance Me3 et Me1 intéressante**

# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galles) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture (IC<sub>5%</sub>)



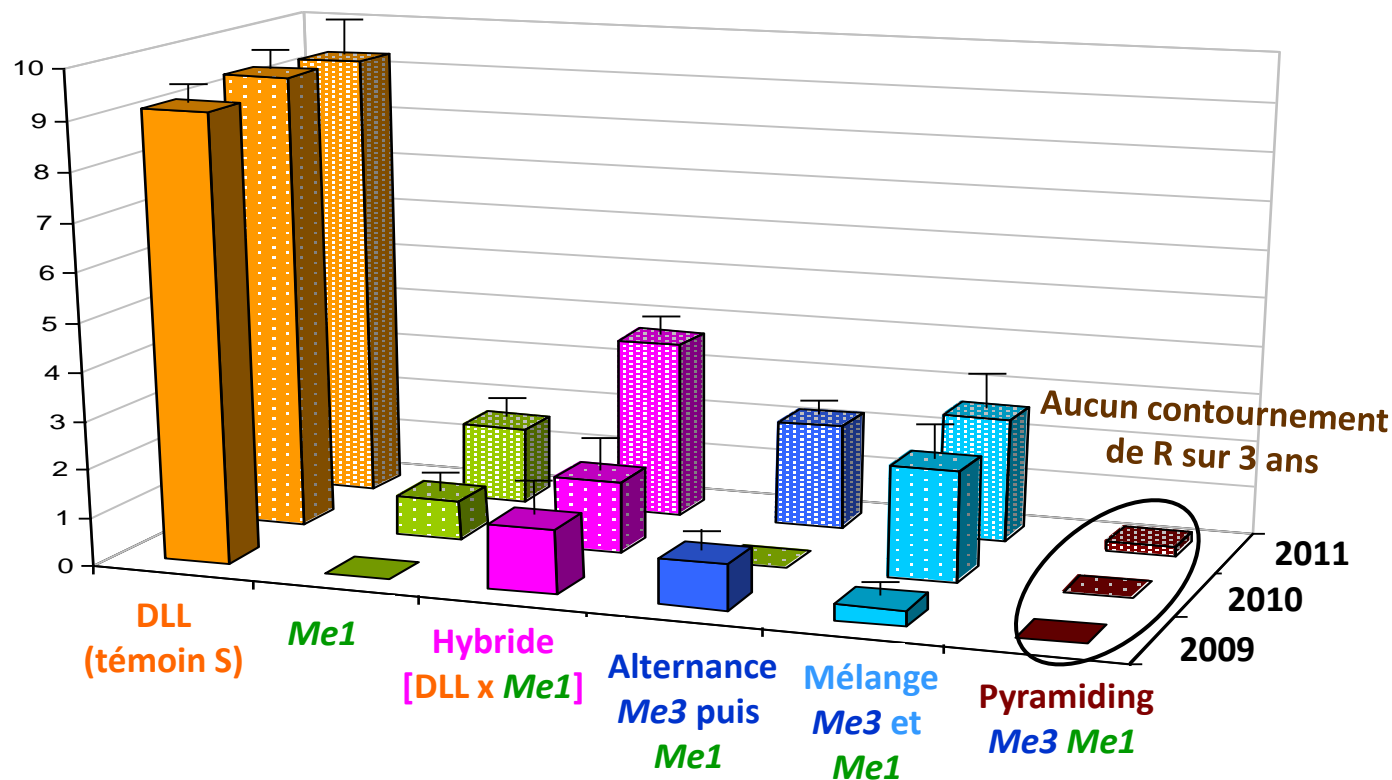
 **Piments Me3 semblent protégés par piments Me1 la 1<sup>ère</sup> année**

Amendement organique + bonne fertirrigation la 1<sup>ère</sup> année  
=> bon développement racines (intercroisées entre plants Me1 et Me3)

# Résultats

## Robustesse et durabilité des résistances

Moyenne des IG (indices de galle) sur 40 à 45 plants de piments après 5 mois de culture ( $IC_{5\%}$ )

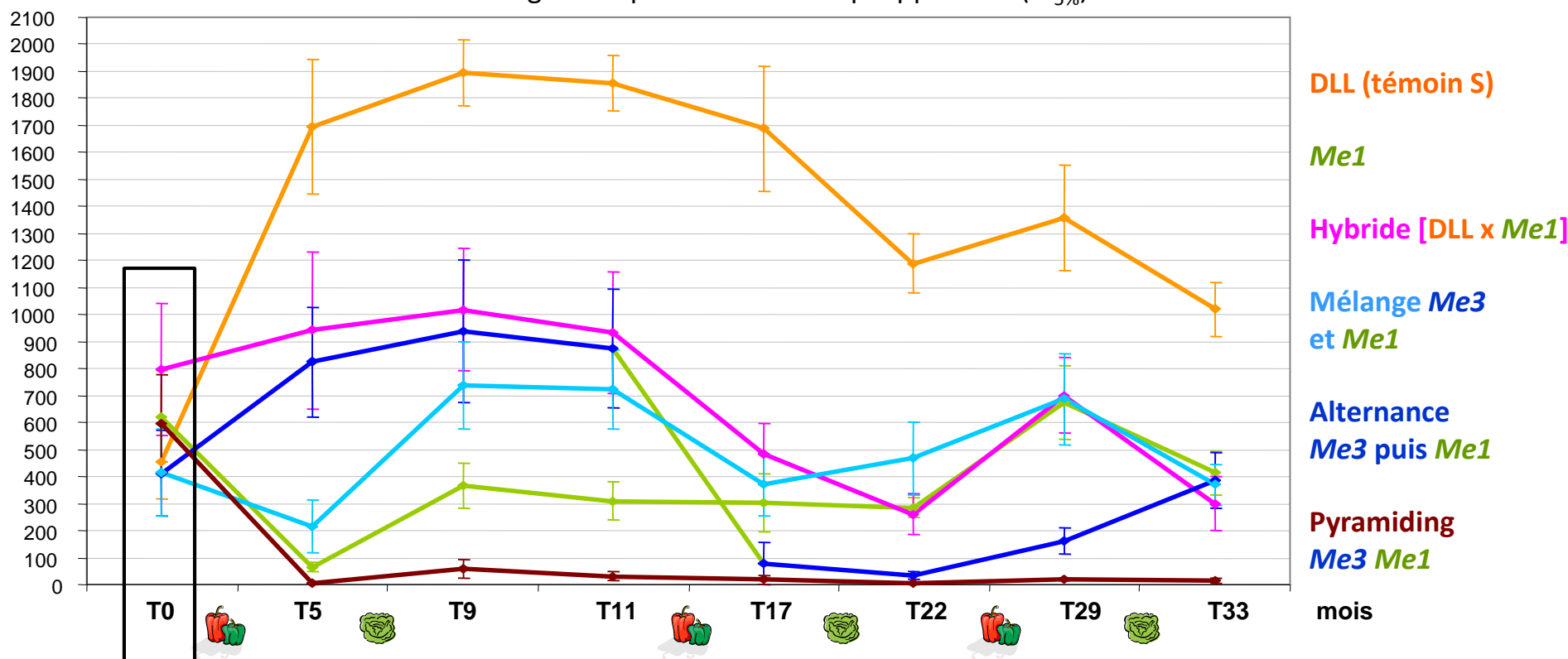


 **Piments Me3Me1 non infestés : meilleure modalité d'utilisation des gènes de R**

# Résultats

## Réduction du potentiel infectieux du sol (action 'plante-piège')

Moyennes des IS sur 8 à 9 µparcelles : pontes produites sur tomates sensibles  
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque µparcelle (IC<sub>5%</sub>)



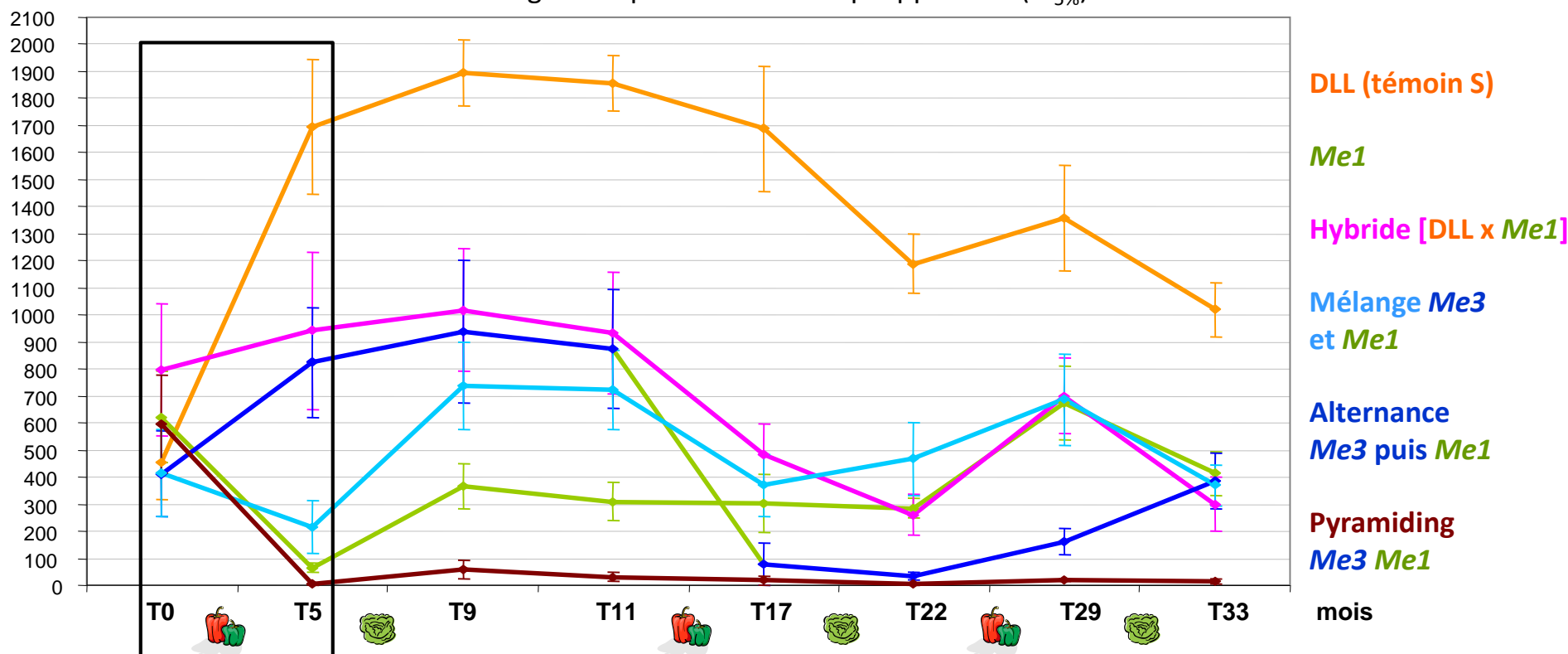
Avants piments : IS élevé dans chaque microparcelle (IG > 5)



# Résultats

## Réduction du potentiel infectieux du sol (action 'plante-piège')

Moyennes des IS sur 8 à 9 µparcelles : pontes produites sur tomates sensibles  
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque µparcelle (IC<sub>5%</sub>)

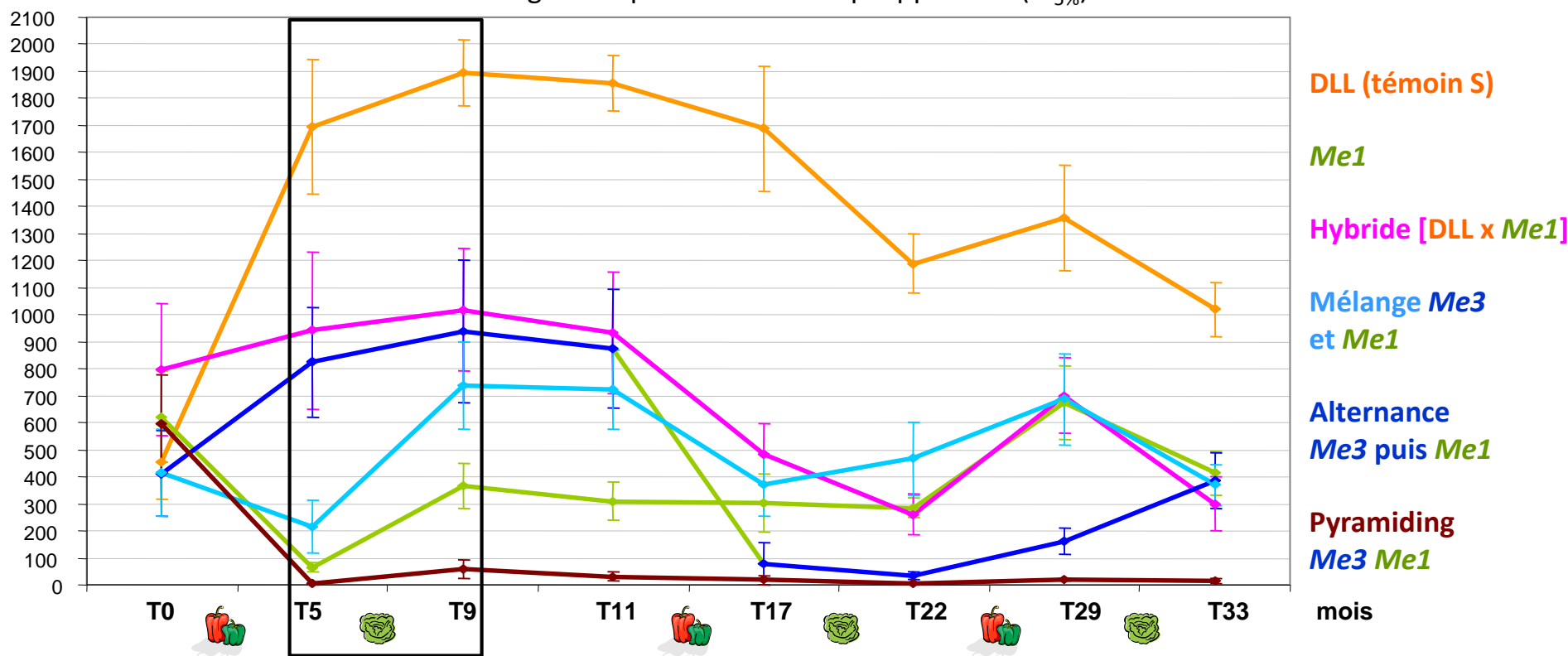


-  Les piments S DLL augmentent fortement l'IS
-  Les piments R en mélange Me3 et Me1 réduisent l'IS
-  Les piments R Me1 et combinant Me3Me1 réduisent très fortement l'IS

# Résultats

## Réduction du potentiel infectieux du sol (action 'plante-piège')

Moyennes des IS sur 8 à 9 µparcelles : pontes produites sur tomates sensibles  
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque µparcelle (IC<sub>5%</sub>)

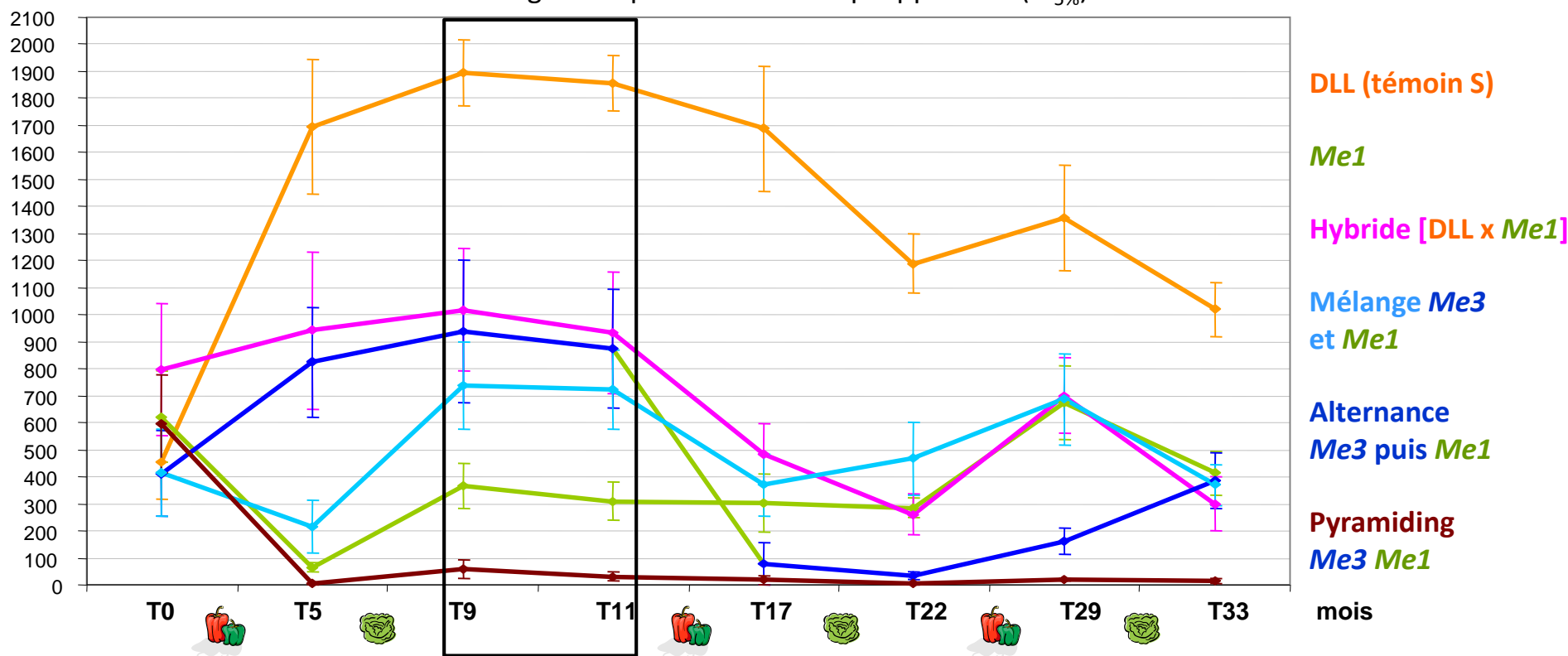


 Les salades S multiplient les nématodes dans toutes les microparcelles

# Résultats

## Réduction du potentiel infectieux du sol (action 'plante-piège')

Moyennes des IS sur 8 à 9  $\mu$ parcelles : pontes produites sur tomates sensibles  
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque  $\mu$ parcelle (IC<sub>5%</sub>)

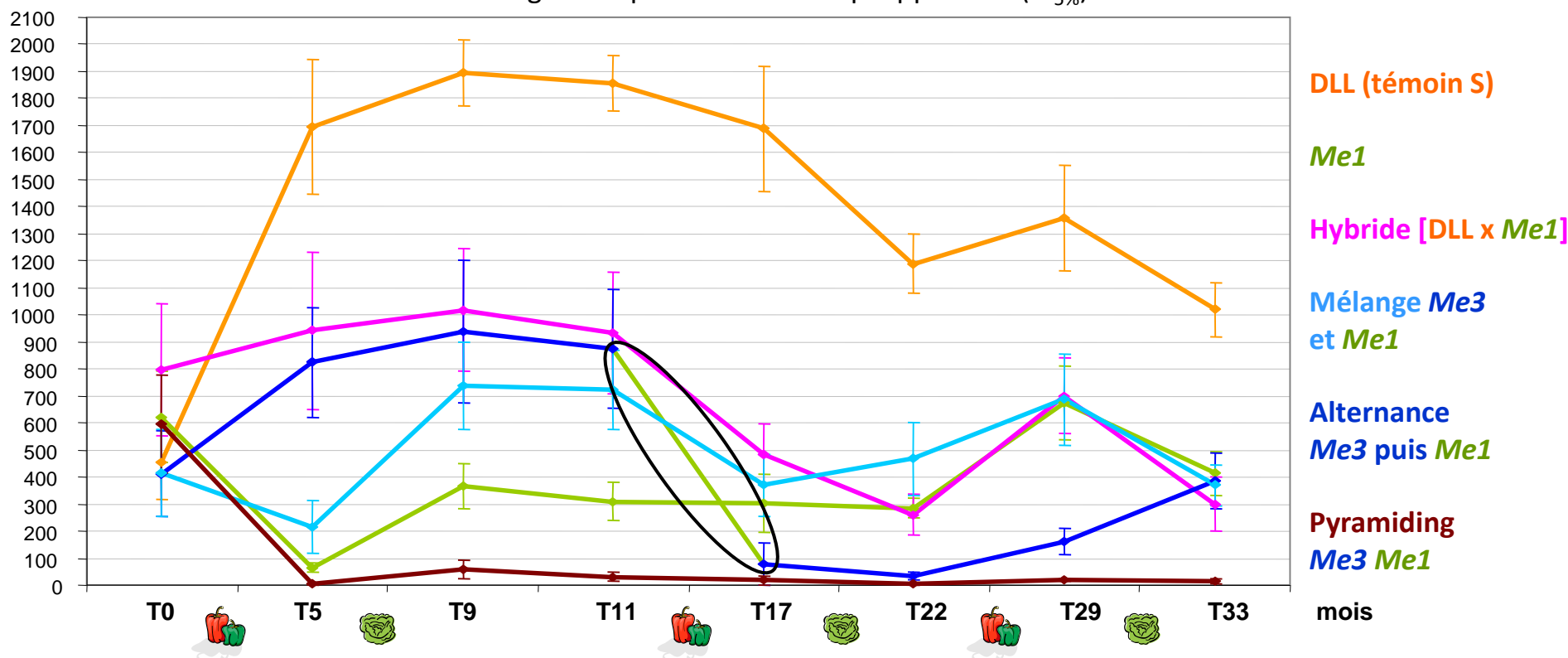


 Après 2 mois de sol nu, pas d'évolution significatives des IS

# Résultats

## Réduction du potentiel infectieux du sol (action 'plante-piège')

Moyennes des IS sur 8 à 9  $\mu$ parcelles : pontes produites sur tomates sensibles  
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque  $\mu$ parcelle (IC<sub>5%</sub>)

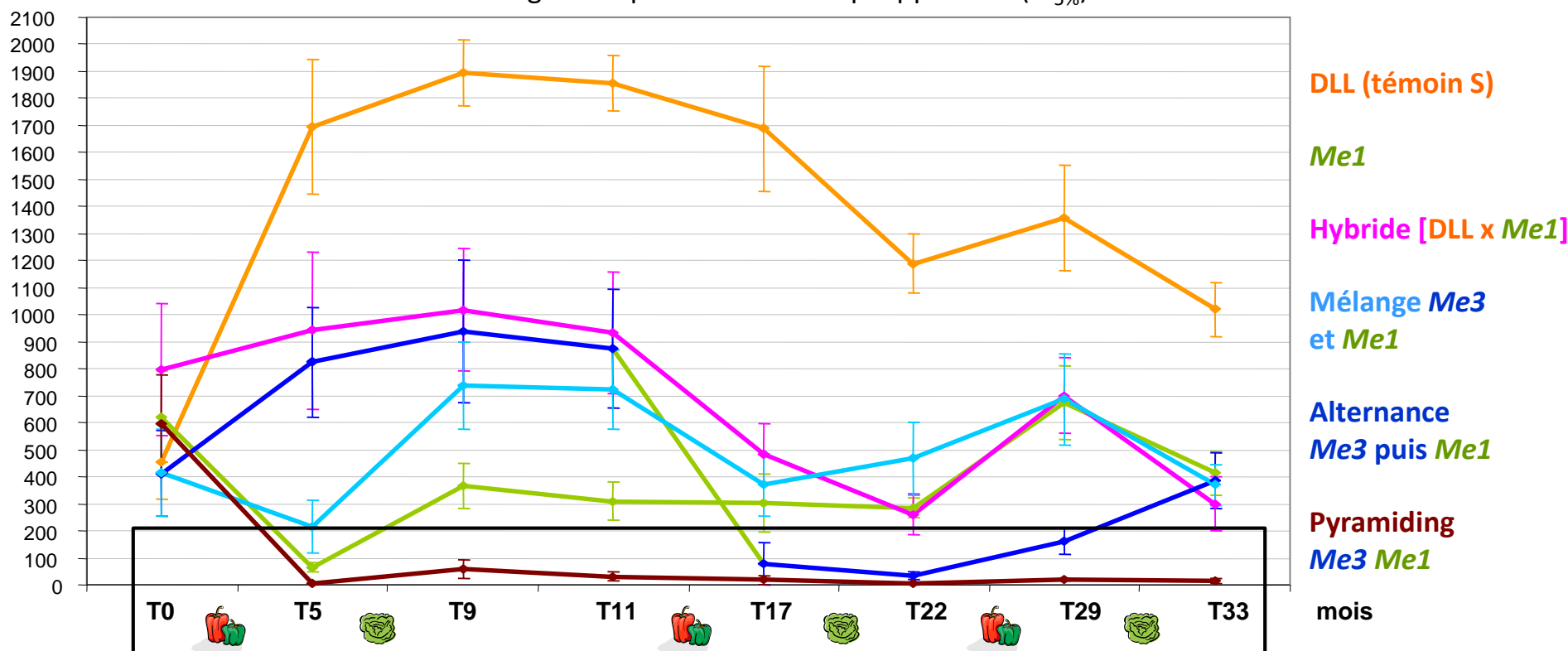


 **Alternance des gènes de R dans la rotation: efficace pour diminuer les populations virulentes** (spécificité de la virulence)

# Résultats

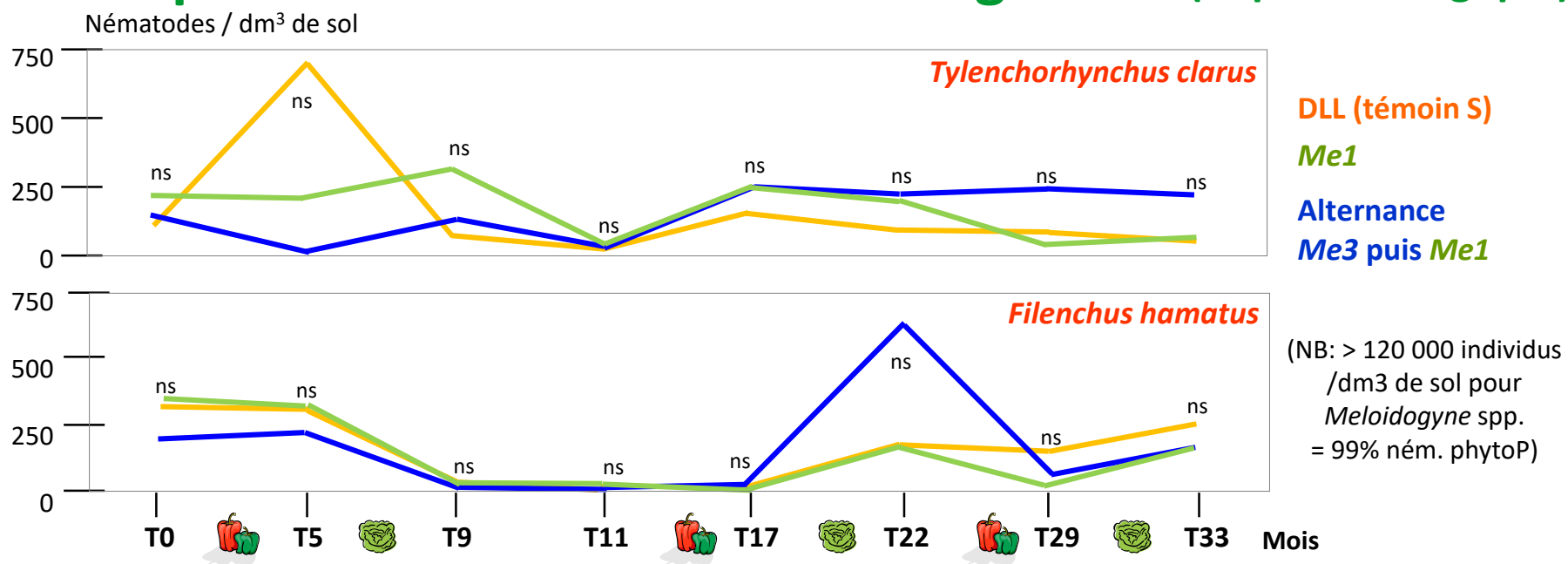
## Réduction du potentiel infectieux du sol (action 'plante-piège')

Moyennes des IS sur 8 à 9  $\mu$ parcelles : pontes produites sur tomates sensibles  
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque  $\mu$ parcelle (IC<sub>5%</sub>)



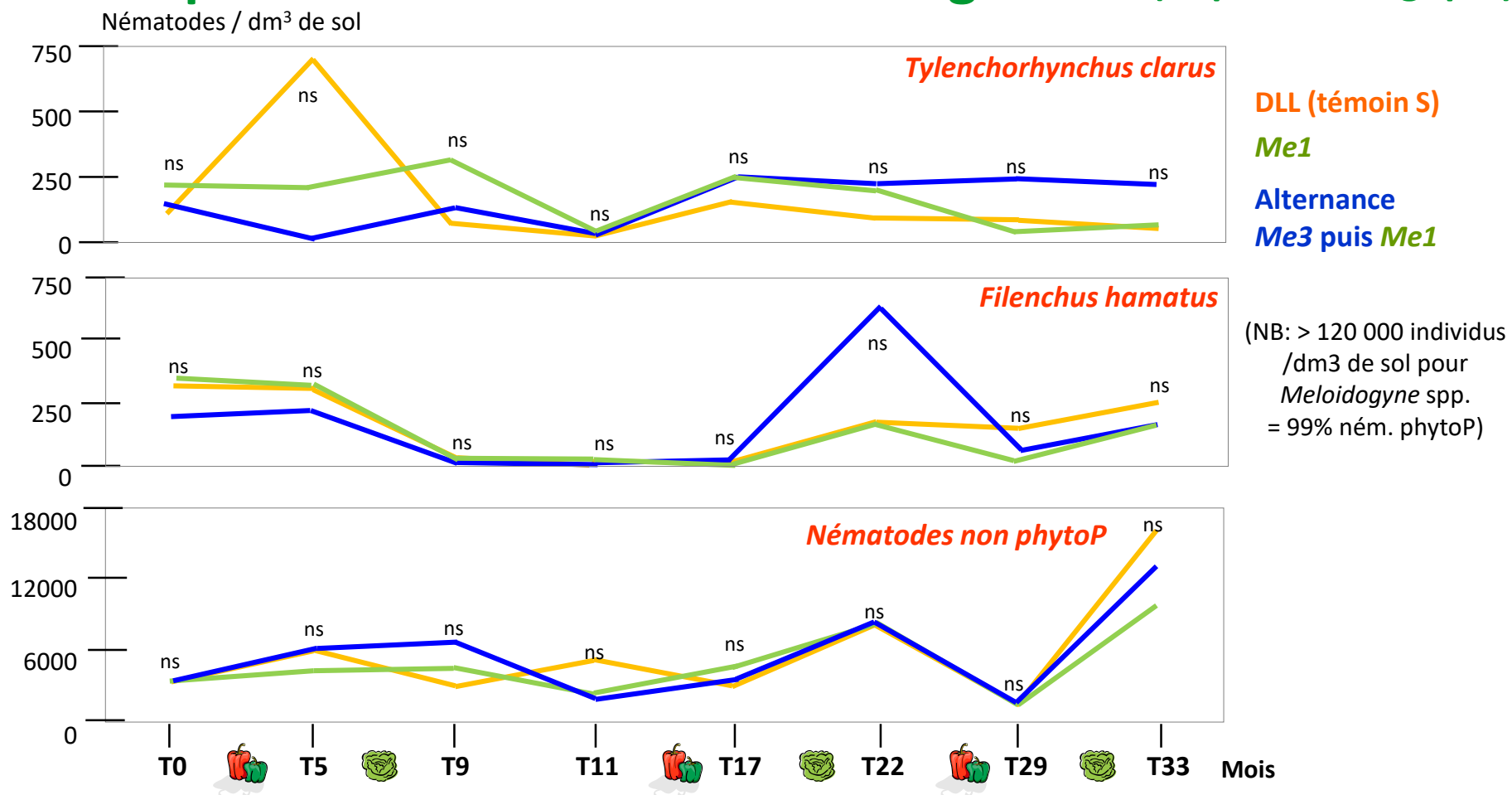
 **Pyramiding de gènes de R dans un même génotype : meilleur modalité comme 'plante-piège' et pour supprimer l'émergence de populations virulentes**

## Effet des plantes R sur la nématofaune globale (impact écologique)



 **Aucune modification significative des communautés de nématodes phytoP**

## Effet des plantes R sur la nématofaune globale (impact écologique)




 **Aucune modification significative des communautés de nématodes phytoP ou non phytoP**



# Applications, lien avec Ecophyto

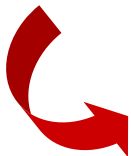
## Stratégies pour augmenter la durabilité des résistances et limiter l'utilisation de pesticides chimiques

### Niveau plante (*améliorateurs-sélectionneurs de semences*)

- **Choix des gènes** (le plus robuste)
- **Combinaison de gènes** (pyramiding)  *Diminuer les probabilités de mutation des pathogènes*
- **Choix variétal** (fond génétique dans lequel est introgressé le gène)

### Niveau champ et rotation (*producteurs*)

- **Diversification des plantes R** (alternance des R)  *Diminuer les pressions de sélection  
Recycler des gènes contournables*
- **Utilisation des plantes combinant des gènes de R avec une bonne fertirrigation**  
(augmenter l'effet « plante-piège »)  *Diminuer la quantité de pathogènes dans le sol*



**En accord avec des concepts récemment développés pour d'autres interactions: piment-virus, colza-champignon, riz-bactérie**

*Palloix et al. New Phytol 2009 ; Brun et al. New Phytol 2010 ; Yoshimura et al. Mol Breeding 1995 ; Hittalmani et al. Theor Appl Genet 2000 ; Singh et al. Theor Appl Genet 2001*



# Actions de diffusion et valorisation des résultats

## ➤ scientifiques

- **Rapports d'étape et rapport final des projets Neoleg2 et Sysbiotel**
- **Communications lors de Congrès, Meeting, Missions diverses**
  - **Colloque annuel** de la SNHF, Thème «Jardins : environnement et santé», **Nantes**, 15/05/2009
  - **2nd International Congress** of Tropical Nematology, Maceió (**Brésil**) 4-9/10/2009
  - Premières **journées scientifiques** INRA PACA, **Cogolin**, 27 & 28/04/2010
  - **30ième Symposium international** de l'ESN, Vienne (**Autriche**), 19-23/09/2010
  - **14ième Meeting international** EUCARPIA, Valencia (**Espagne**), 30/08 & 01/09/2010
  - **Endure-network International Conference**, **Paris**, 23-25/11/2010 (poster)
  - **Workshop** «Pepper Genetics and Breeding », IVF de Beijing (**Chine**), 10-15/10/2011
  - **Colloque annuel** « 6èmes Rencontres du Végétal », **Angers**, 10-11/01/2011
  - **Evaluation AERES** du Pôle Santé des Plantes de **Sophia Antipolis**, 30/01-02/02/2011 (poster)
  - **30ième Symposium international** de l'ESN, Adana (**Turquie**), 23-27/09/2012
  - **Plant Resistance Sustainability International Conference**, **La Colle-sur-Loup**, 16-19/10/2012

# Actions de diffusion et valorisation des résultats

## ➤ Scientifiques (suite)

### • Articles scientifiques

- Castagnone-Sereno & Djian-Caporalino (2011). Lutte contre les nématodes à galles en cultures maraîchères : des recherches pour promouvoir la durabilité des résistances variétales. ***Innovations Agronomiques*** 15, 55-64
- Djian-Caporalino (2012). Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), a growing problem in French vegetable crops. ***EPPO Bulletin (Bulletin OEPP- Revue des aspects réglementaires de la protection des végétaux - Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la protection des plantes)***, 42 (1): 127-137
- Barbary *et al.* The efficacy of plant major resistance genes to nematode depends on the genetic background : experimental evidence and consequences for breeding strategies. *Submit to **Theor Appl Genet***
- Djian-Caporalino *et al.* Pyramiding/alternating major pest resistance genes into crop genotypes to promote resistance efficiency and durability: a proof-of-concept under agronomic conditions. *In preparation to submit to **New Phytol***
- Djian-Caporalino *et al.* Evaluation expérimentale de stratégies de déploiement de gènes de résistance pour la gestion durable des nématodes à galles. *Submit to **Innov. Agro.***

# Actions de diffusion et valorisation des résultats

## ➤ Acteurs de la filière (conseillers agricoles, instituts techniques, producteurs)

### • Conférences

- **Rencontres Q@LI-MEDiterrannée 09** "Innover pour diminuer l'impact des intrants en viticulture, arboriculture et maraîchage", Montpellier, 6/11/2009
- **Conférence PICLeg au MIFFEL** (Salon de la filière fruits et légumes), Avignon, 18-20/10/2011
- **Groupe de Travail National « ravageurs du sol »** organisé par le CTIFL, Paris, 31/01/2012
- **Journée nationale "Gestion des bioagresseurs telluriques en cultures légumières sous abri et plein champs"**, CTIFL Balandran, 07/06/2012
- **Rencontres du GIS PICLég**, Présentation des projets PICLég aux professionnels. Bordeaux, 5-6/12/2012

- **Interview et communiqués de presse** (cf. revue de Presse INRA 2010) diffusé à environ 80 adresses de journalistes de la presse locale et régionale

- **Prise vidéo** le 21/11/2011 au CREAT pour explication expérimentation aux professionnels et prévue le 12/02/2013 au CTIFL de Balandran et à l'INRA de Sophia pour PICLeg

... / ...

# Actions de diffusion et valorisation des résultats

## ➤ Acteurs de la filière (conseillers agricoles, instituts techniques, producteurs) *(suite)*

### • Articles de vulgarisation

- Pays des AM, janvier 2009, n° 316, p.7
- Maraîchage Bio Infos, juillet 2009, n° 61
- PHM, Revue Horticole, juillet 2009, n° 515, 34-37
- Phytoma La défense des végétaux, septembre 2009, n° 624-625, 21-25
- Phytoma La défense des végétaux, novembre 2010, n° 638, 43-49
- Fiche INRA HPE « Vers une agriculture à hautes performances environnementales ». février 2012
- L'agriculteur provençal, février 2012
- Réussir Fruits et légumes, avril 2012, n° 316, 40-42
- Agriculture du Maghreb, juin 2012, n° 60, 88-91

## ➤ Améliorateurs-sélectionneurs de semences

### • Conférences

- Journée INRA/Sélectionneurs privés, INRA GAFL- Domaine St Maurice, 06/02/2009
- Meeting CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection), Sophia Antipolis, 05/02/2010

- **Encadrement d'une thèse CIFRE** financée par 7 sélectionneurs de semences, INRA Sophia Antipolis 01/04/2011-01/04/2014


# Suites données

## Projets GEDUNEM et GEDUBAT

= Innovations techniques et variétales pour une GEstion DURable des Nématodes / des Bio-Agresseurs Telluriques

labels



 GEDUNEM porté par l'INRA, soutenu par le **MétaProgramme INRA SMaCH** (Gestion durable de la santé des cultures) **action PRESUME** (Gestion durable de la résistance des plantes) (02/2012-02/2016)



Alénya



Nîmes



Lambesc

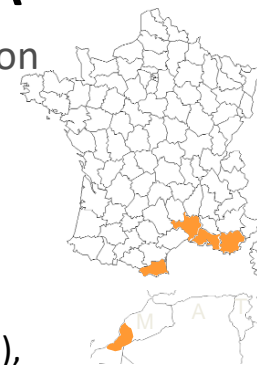


Six Fours



Agadir, Maroc


5 sites expérimentaux : INRA Alénya-Roussillon (66), GRAB producteur (30), APREL producteur (13), CA83 producteur (83), Société Azura du groupe Maraissa (Maroc)



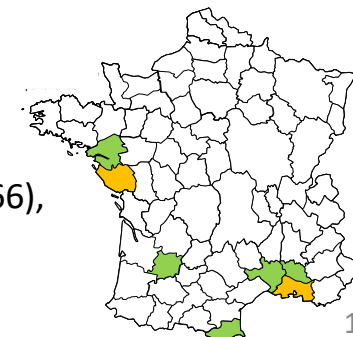
**DEPHYécophyto**

Réseau de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en phyto-sanitaires

GEDUBAT, porté par le **CTIFL** et soutenu par le **CASDAR** (01/2012-01/2018)

 6 sites expérimentaux : Ctifl Carquefou (44) et Balandran (30), INRA Alénya-Roussillon (66), Invenio lycée agricole (47), GRAB producteur (30), APREL producteur (84)

 2 réseaux FERME : Vendée (8 exploitations) et Bouches du Rhône (10 exploitations)



## Projets GEDUNEM et GEDUBAT

### • Objectifs

- **Combiner plantes R et techniques culturales** pour diminuer les pressions parasitaires => augmenter la durabilité des R et réduire les IFT de 50%
- **Valider des stratégies de gestion des R** (alternance de gènes, pyramiding) et tester les plantes R « non contournables » (hybrides pyramidés) en interculture comme « plantes pièges »
- Etudier l'effet de stratégies innovantes sur la diversité des nématodes du sol (approche santé des sols, **impact écologique**)
- Evaluer les systèmes de culture du **point de vue agronomique**
- Etudier la viabilité des systèmes de culture et l'acceptation des stratégies innovantes par les producteurs et coordonner les acteurs de la filière (**impact socio-économique**) -> **projets pilotes et démonstratifs**

# Suites données

## Projet GEDUNEM

- Exemples de système de culture testés (à partir données Sysbiotel, Neoleg2 & Prabiotel)



*Mi-1*



*Me3*



Témoins  
sensibles

résistantes  
contournables

année 1



année 2



Alternance  
des gènes de  
R : *Mi-1*, *Me3*  
(recyclage)

interculture



Engrais verts :  
sorgho nématocide  
ou piment pyramidé  
*Me1+Me3*  
« plante-piège »

hiver



Plantes non hôtes

Liliaceae (ail, oignon, poireau, asperge),  
Apiaceae (fenouil), Brassicaceae (navet,  
chou rave, roquette), Valerianaceae  
(mâche)

Techniques culturales pouvant diminuer  
les pressions parasitaires

# Partenaires des projets (Sysbiotel, Neoleg2, Gedunem)

## INRA

- **Centre PACA** { Sophia Antipolis : UMR ISA, équipe IPN  
Avignon : UR GAFL, UR EcoDev, UR PaVe
- **Centre Montpellier** Alénya Roussillon : UE DEAR
- **Centre Dijon** UMR MSE
- **Centre Rennes** UMR Bio3P

**IRD** Montpellier UMR CBGP

## Centres d'expérimentations

- **APREL** St Rémy de Provence
- **GRAB** Avignon
- **Chambres d'agriculture** CA 06 & CA83
- **Société Azura du Groupe Maraissa** Maroc
- **CTIFL** Balandran *Gedubat*

## Sociétés privées de semences

## Producteurs

La Baronne-Nice, Six-Fours, Lambesc, Marguerittes





# Remerciements



*Merci de votre attention*

