



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

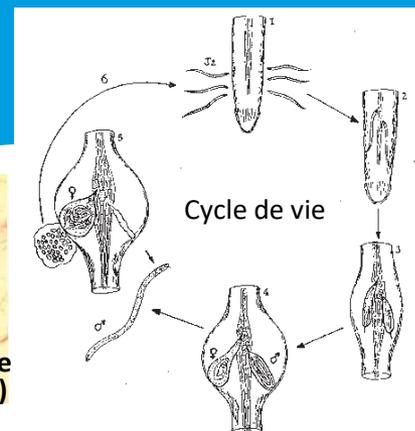
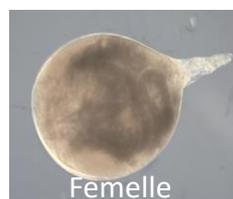


**AGRICULTURES
PRODUISONS
AUTREMENT**

ÉCOPHYTO
RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

**gis RELANCE
AGRONOMIQUE**

Contexte



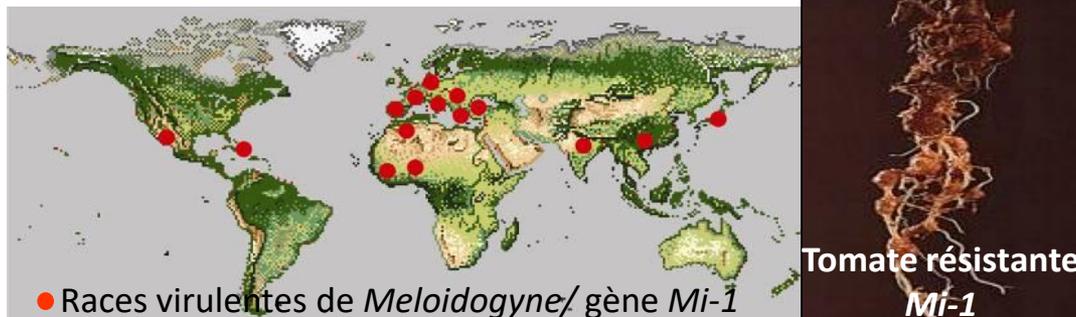
Les nématodes à galles : un problème en croissance sur cultures maraîchères en Europe (*Wesemael et al., Nematology 2011*) et dans tous les pays Méditerranéens, en particulier sous abris en France



- **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



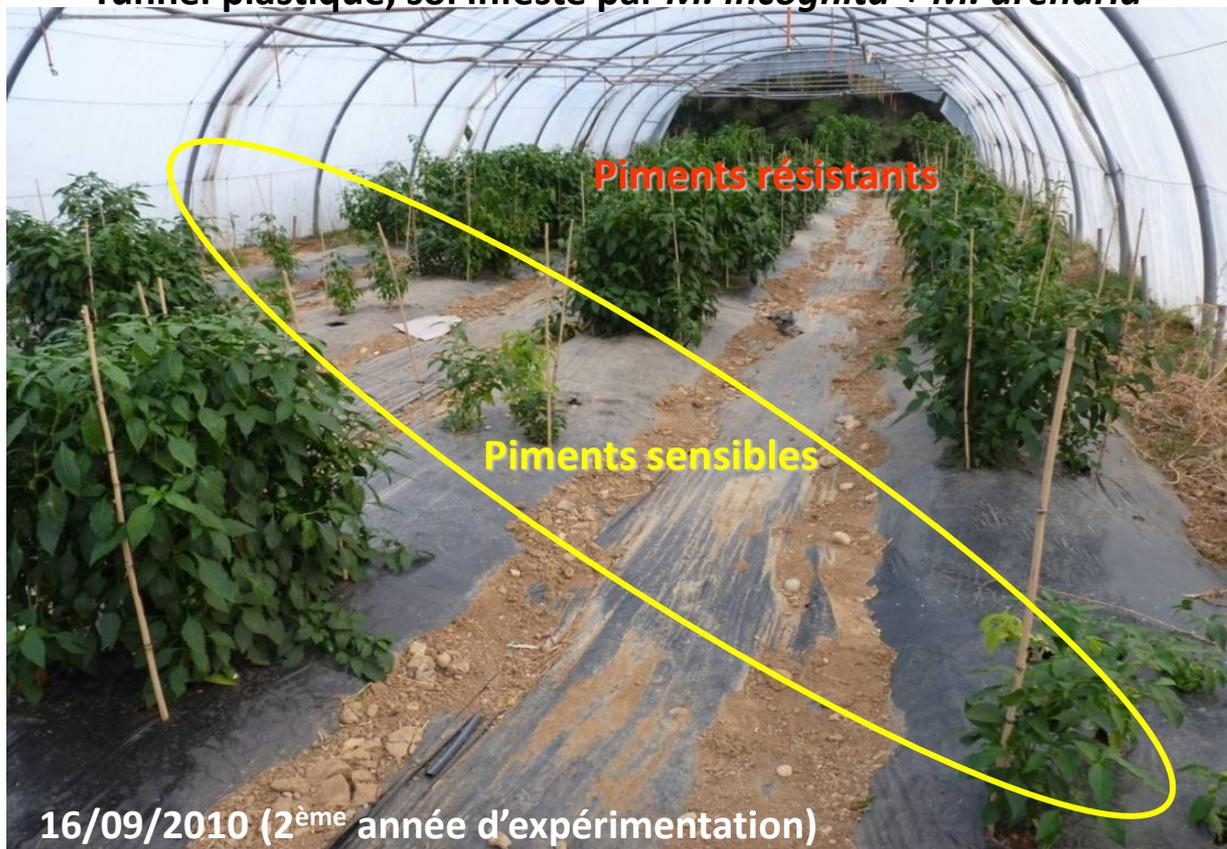
Elaborer des stratégies de gestion des gènes disponibles dans un objectif de R durable

- 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 m², 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^{ème} année d'expérimentation)

Méthodes

6 MODALITES

8 à 9 μ parcelles/modalité
x 5 plants/ μ parcelle
= 40 à 45 plants/modalité

Cultivar sensible DLL (témoin)

Lignée fixée R *Me1*

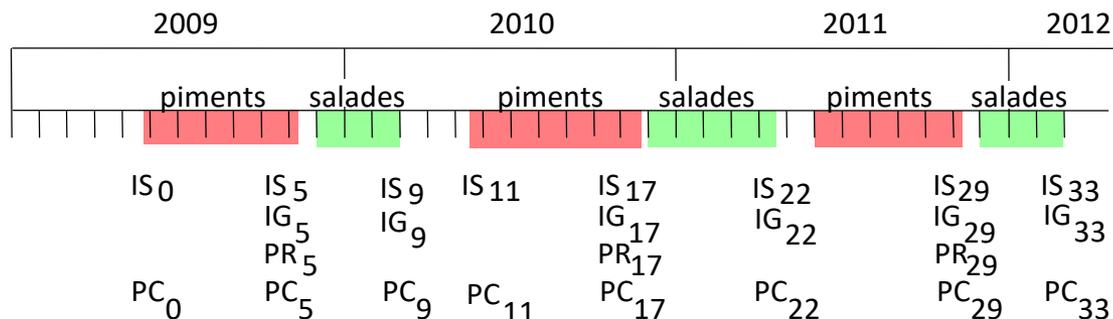
Hybride R [DLL x *Me1*]

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

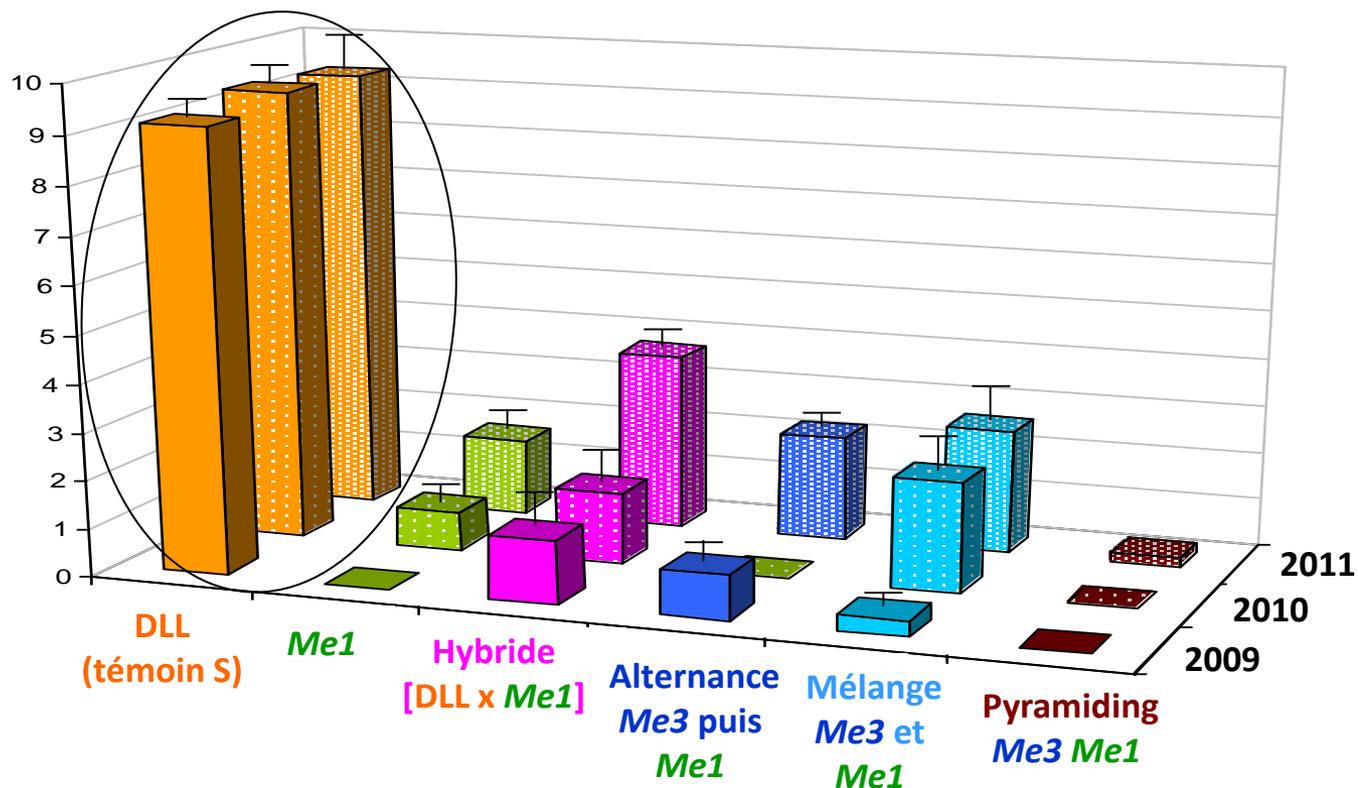
si des masses d'œufs sont détectées sur piments R (*nombre d'œufs produits /larve inoculée sur piment R en conditions contrôlées*)

PC = patrons de communautés (nématofaune globale) (*identification des espèces et dénombrement / dm³ 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 ($IC_{5\%}$)

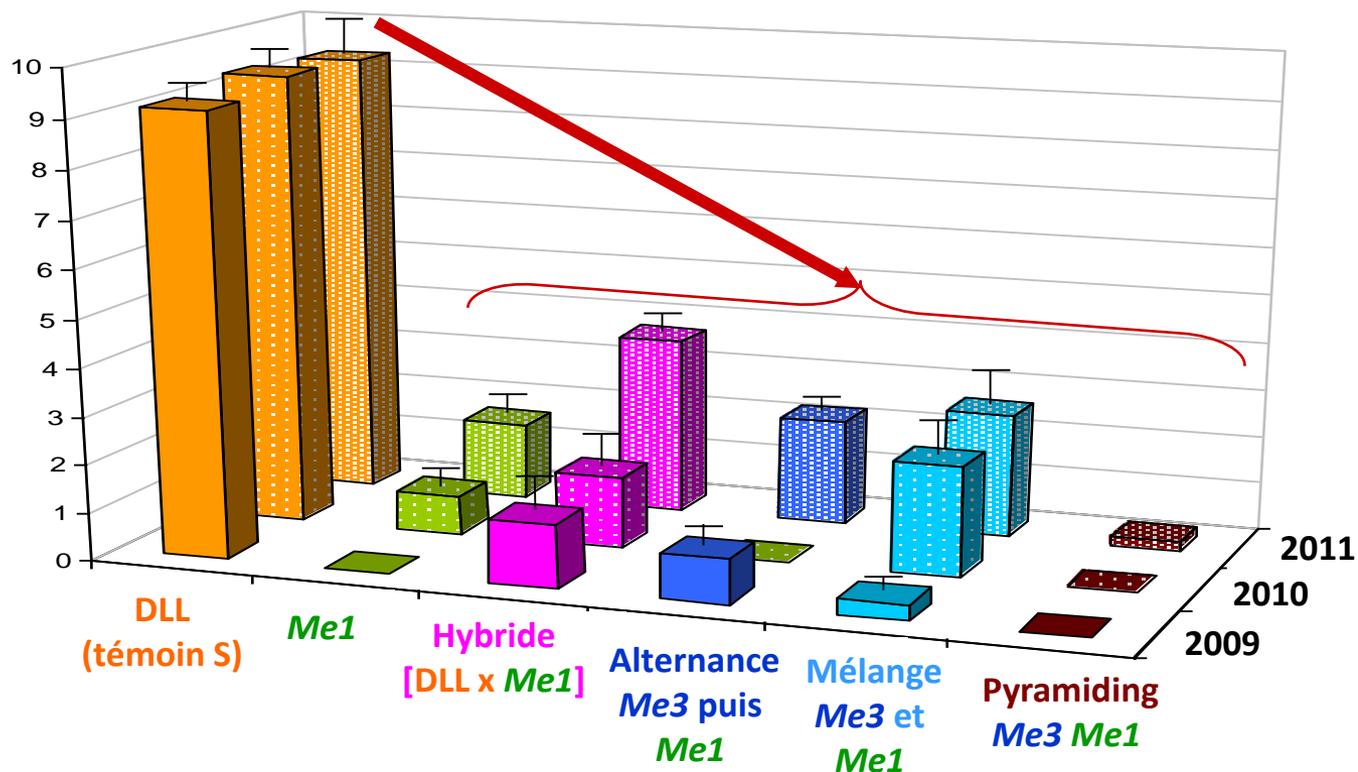


 IG sur piments S quasi maximum

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%})

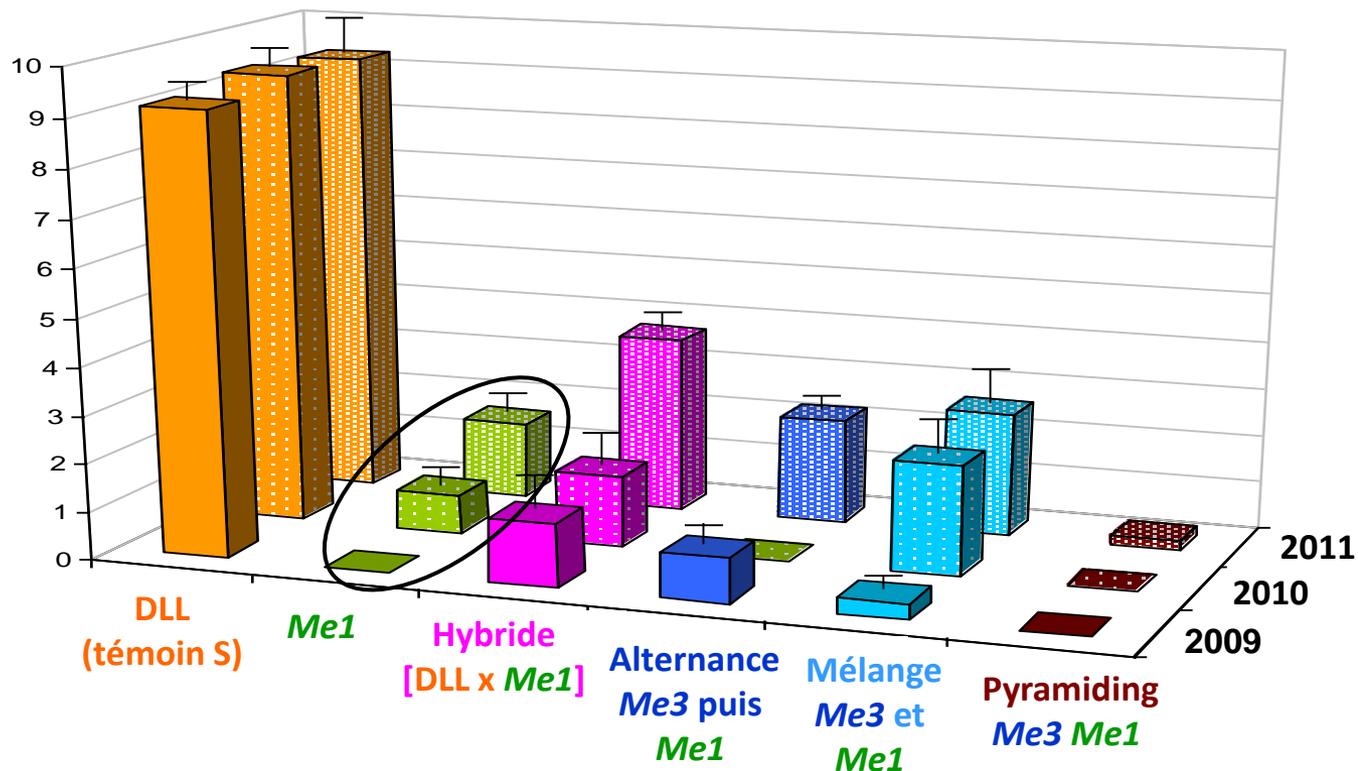


 IG sur piments S quasi maximum et très élevés comparés aux piments R

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_{5%})

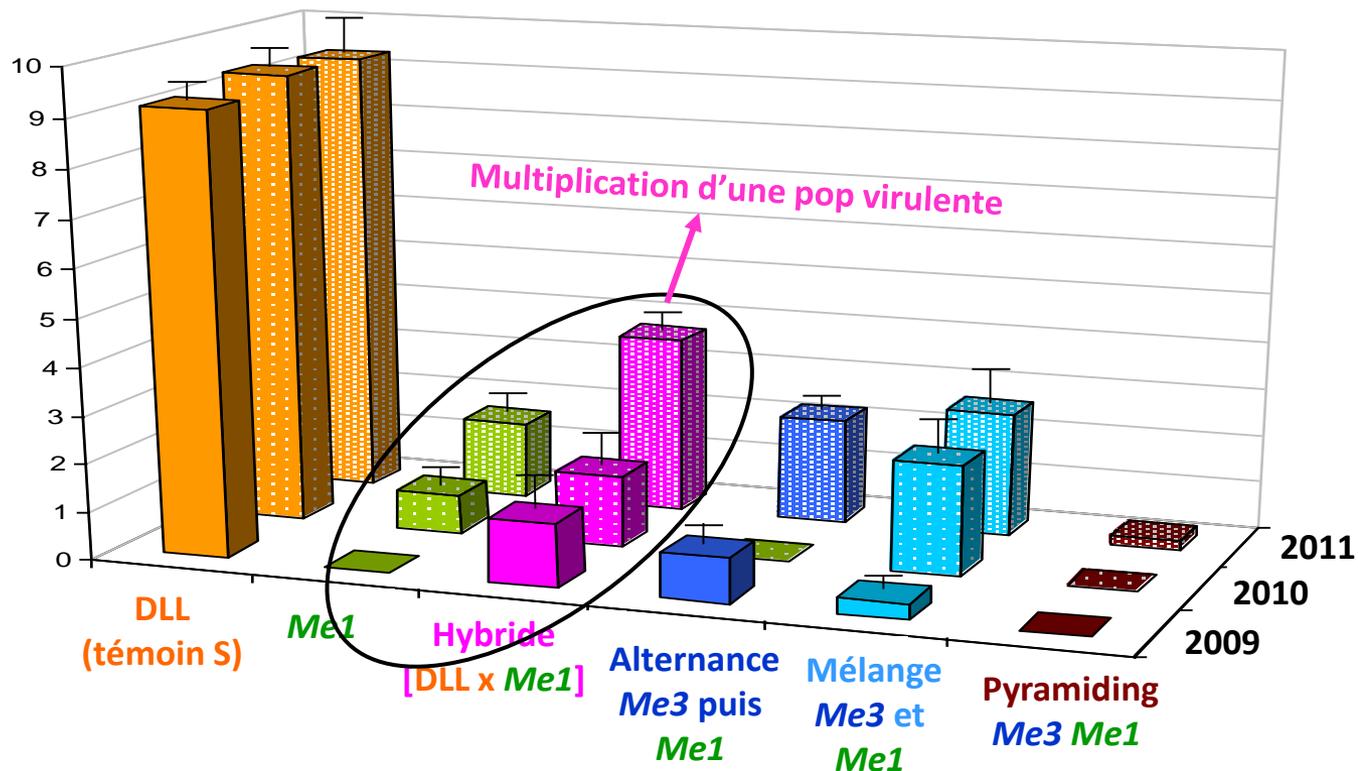


 **Me1 robuste : difficile à contourner**

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_{5%})

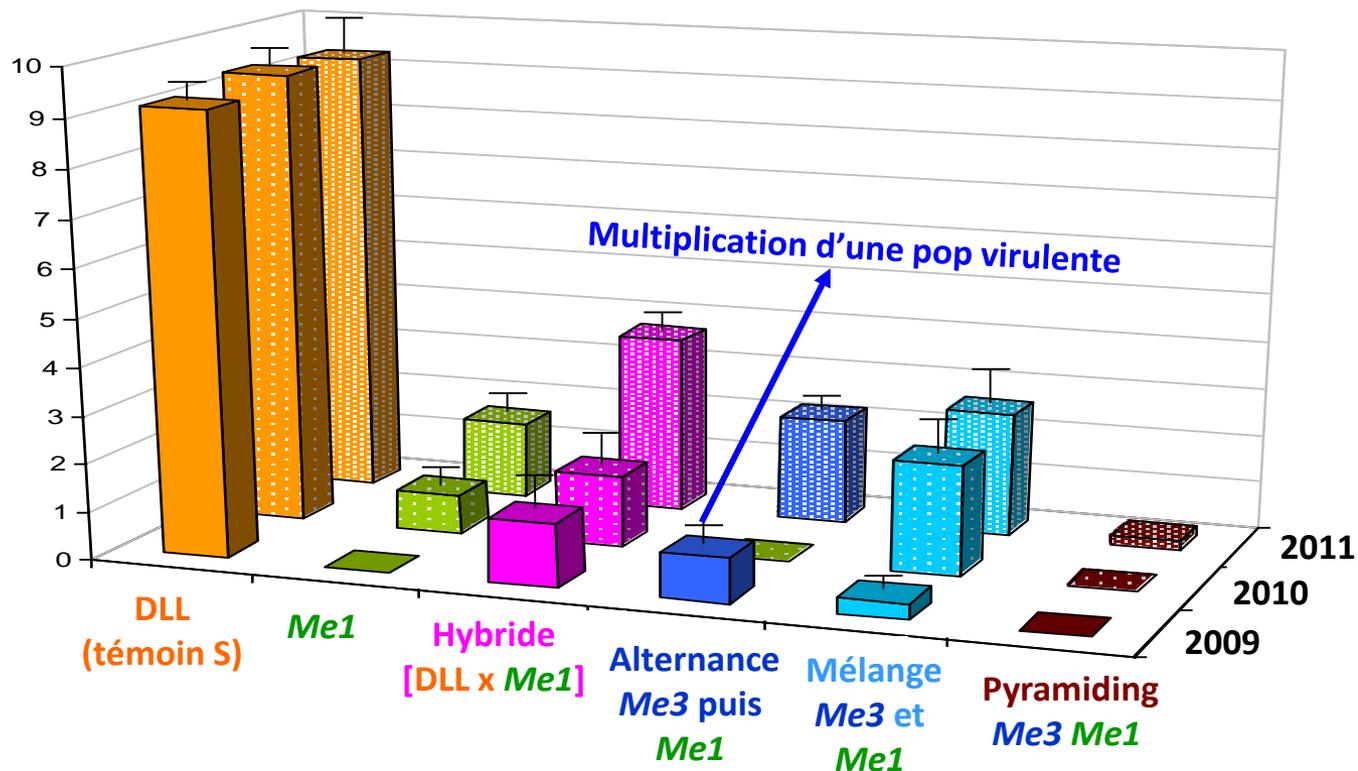


🌶️ Hybride F1 (*Me1* dans fond génétique S) moins R que parent *Me1*

Résultats

Robustesse et durabilité des résistances

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

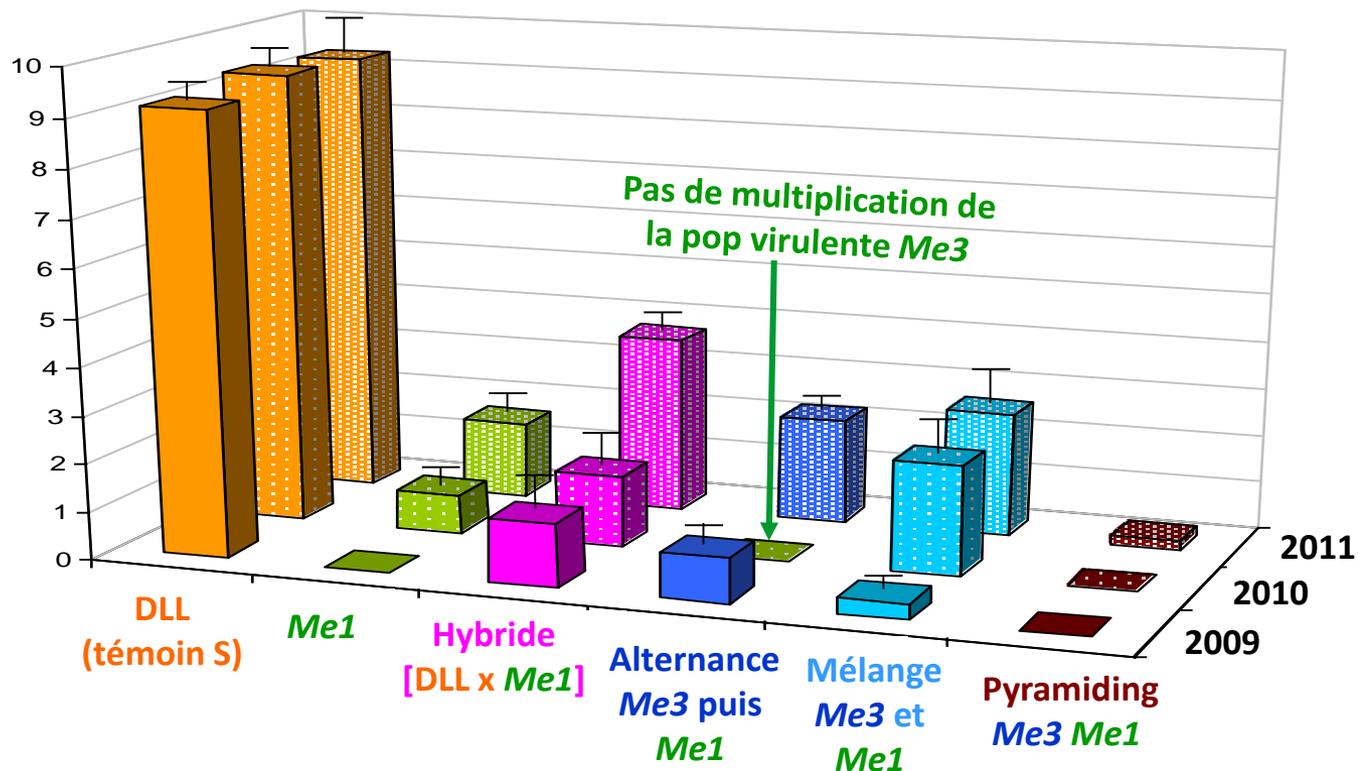


 **Me3 contourné dès la 1^{ère} année**

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_{5%})



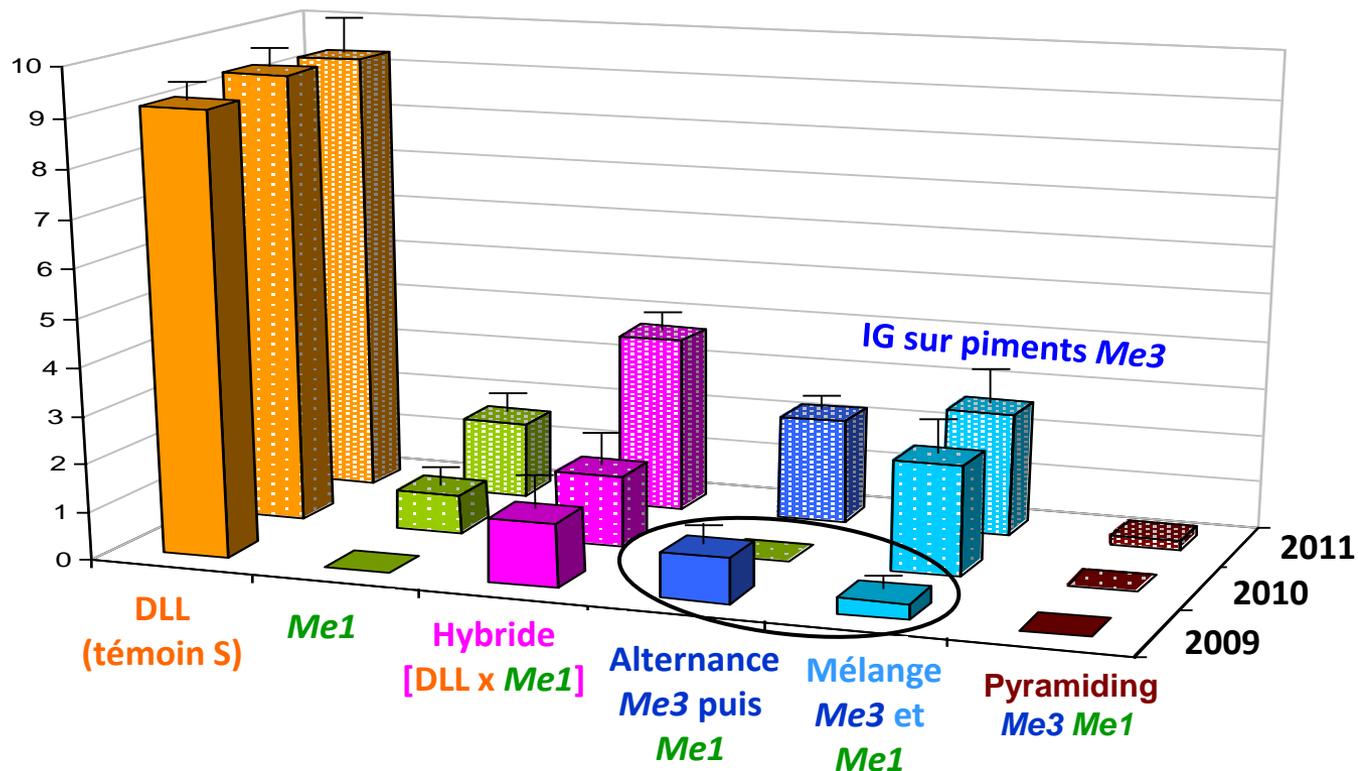
 **Me3 contourné dès la 1^{ère} année mais spécificité de la virulence confirmée :**

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_{5%})



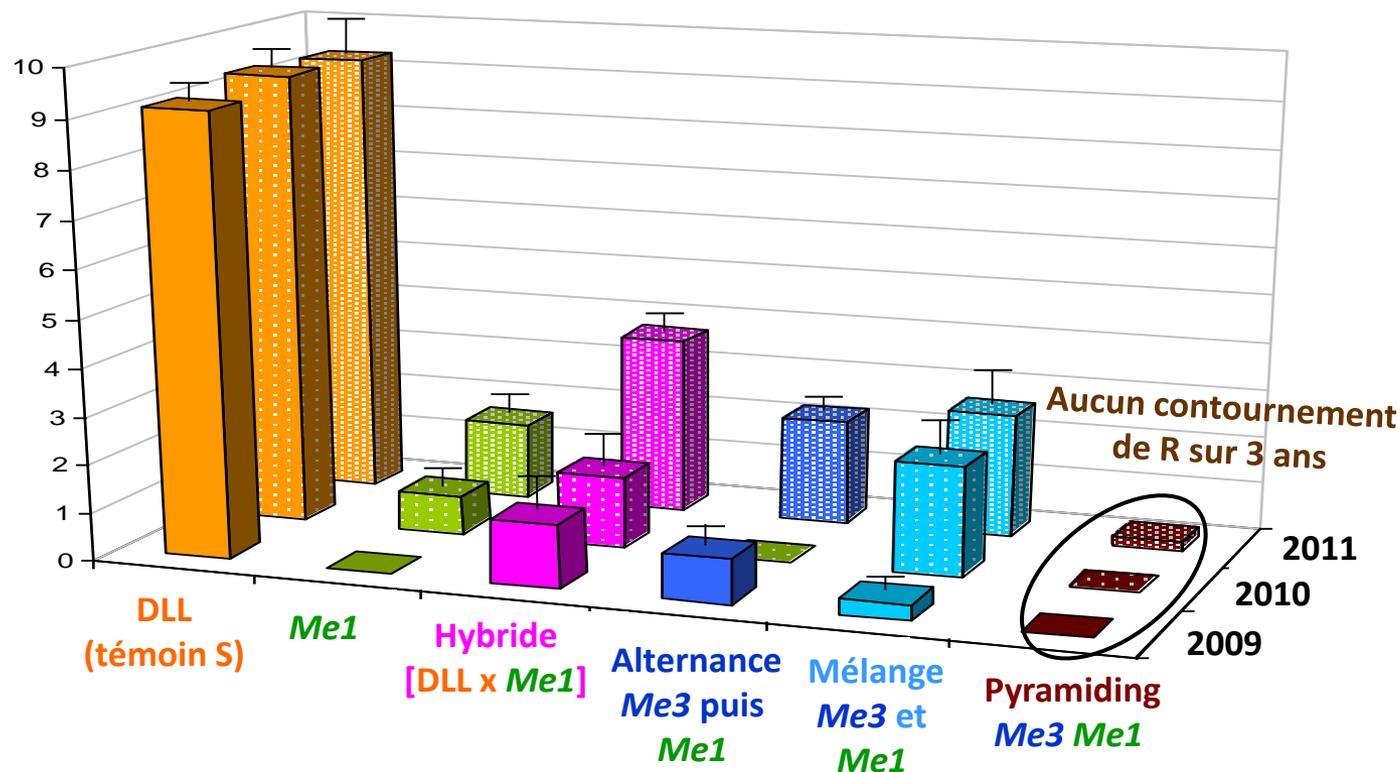
 **Piments Me3 semblent protégés par piments Me1 la 1^{ère} année**

Amendement organique + bonne fertirrigation la 1^{ère} année
=> bon développement racines (intercroisées entre plants Me1 et Me3)

Résultats

Robustesse et durabilité des résistances

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

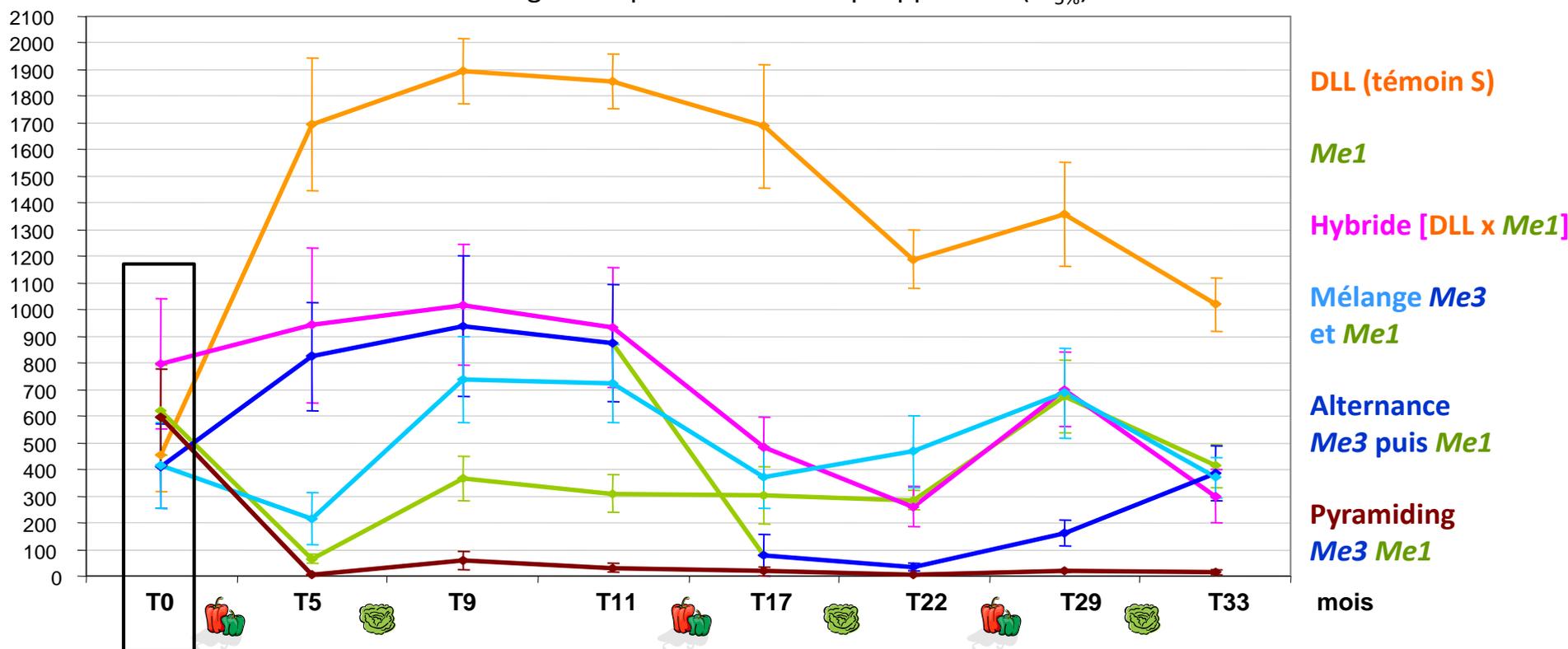


 **Piments Me3Me1 non infestés : meilleure modalité d'utilisation des gènes de R**

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_{5%})

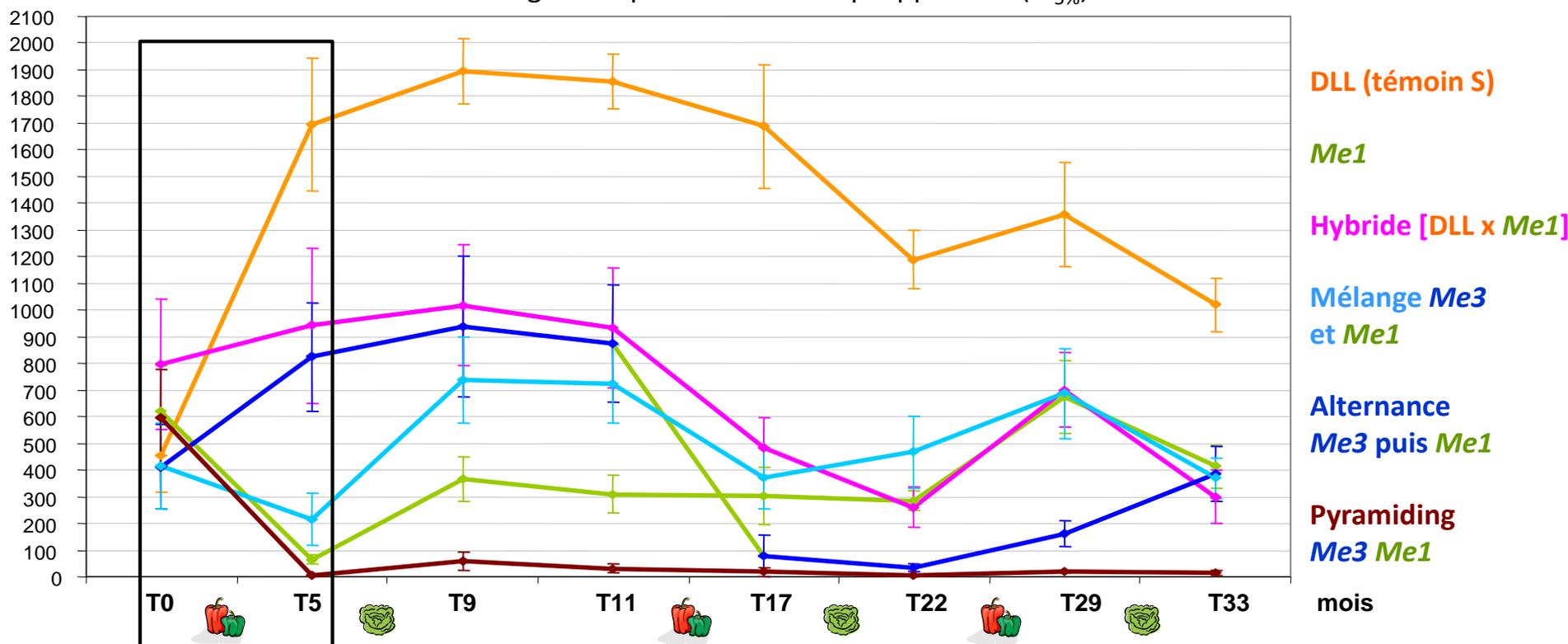


Avants piments : IS élevé dans chaque microparcelle (IG > 5)

Résultats

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

Moyennes des IS sur 8 à 9 μ parcelles : pontes produites sur tomates sensibles
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque μ parcelle (IC_{5%})

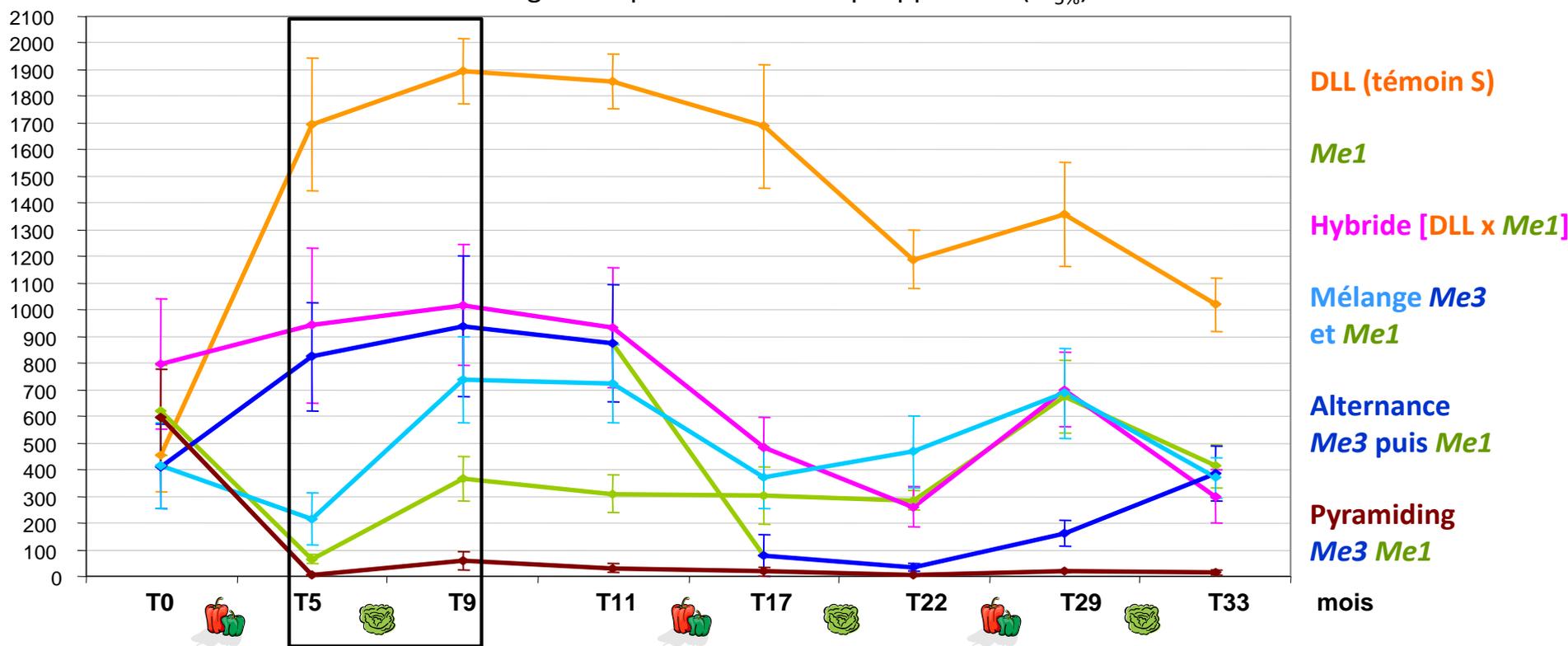


-  Les piments S DLL augmentent fortement l'IS
-  Les piments R en mélange Me3 et Me1 réduisent l'IS
-  Les piments R Me1 et combinant Me3Me1 réduisent très fortement l'IS

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_{5%})

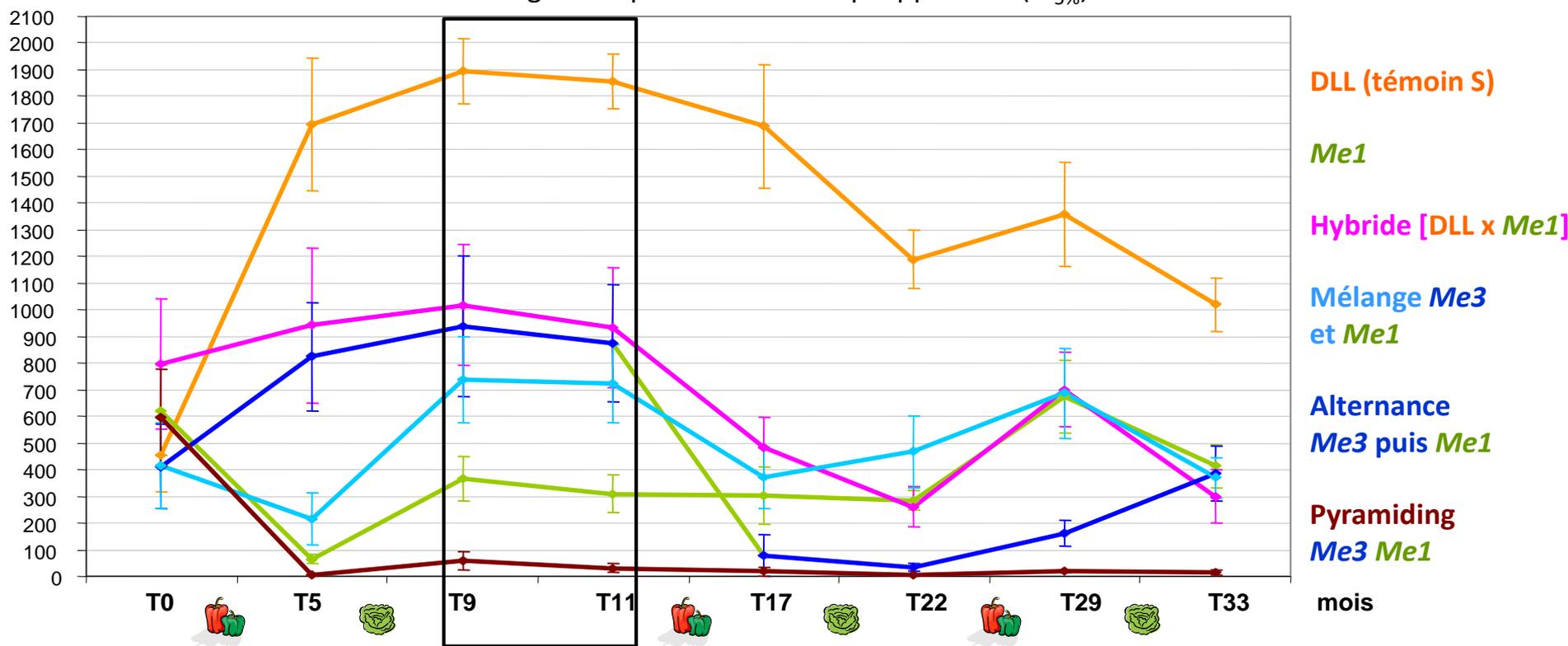


 Les salades S multiplient les nématodes dans toutes les microparcelles

Résultats

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

Moyennes des IS sur 8 à 9 μ parcelles : pontes produites sur tomates sensibles
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque μ parcelle (IC_{5%})

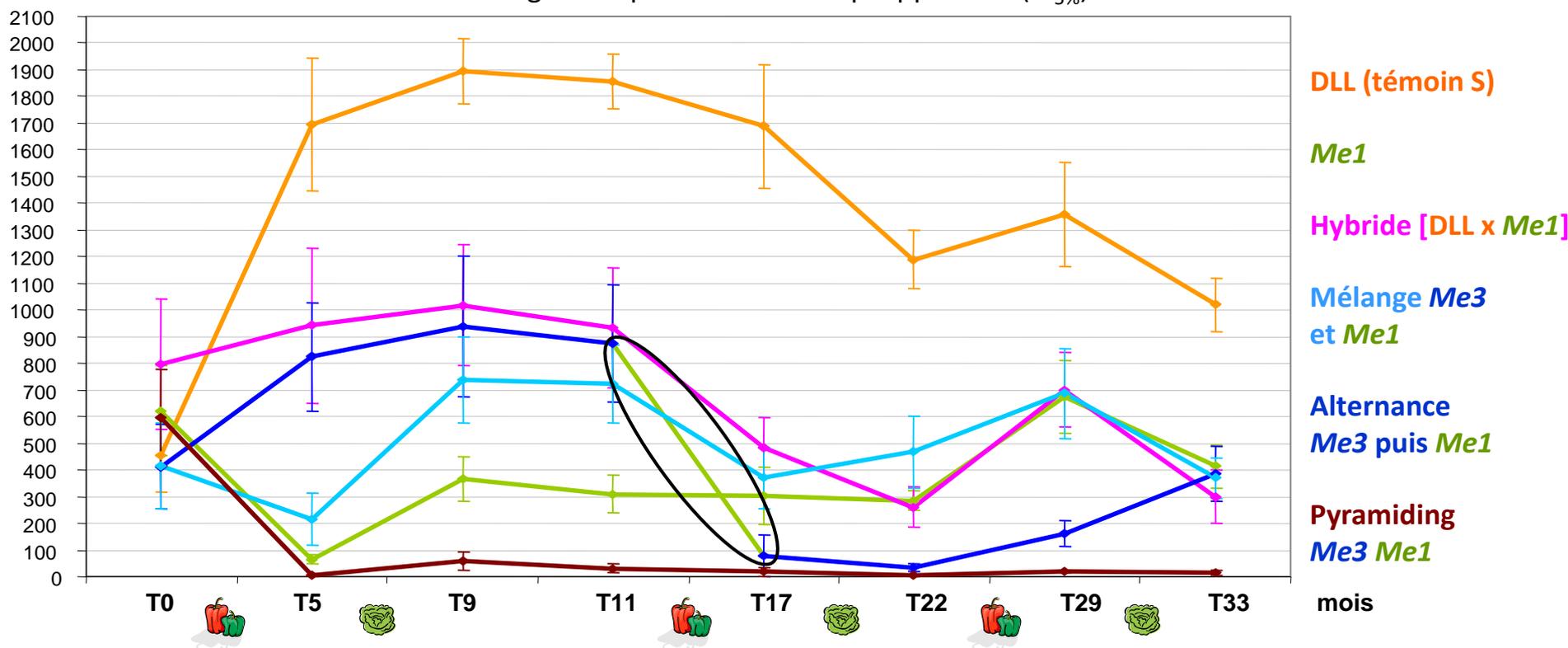


 Après 2 mois de sol nu, pas d'évolution significatives des IS

Résultats

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

Moyennes des IS sur 8 à 9 μ parcelles : pontes produites sur tomates sensibles
inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque μ parcelle (IC_{5%})

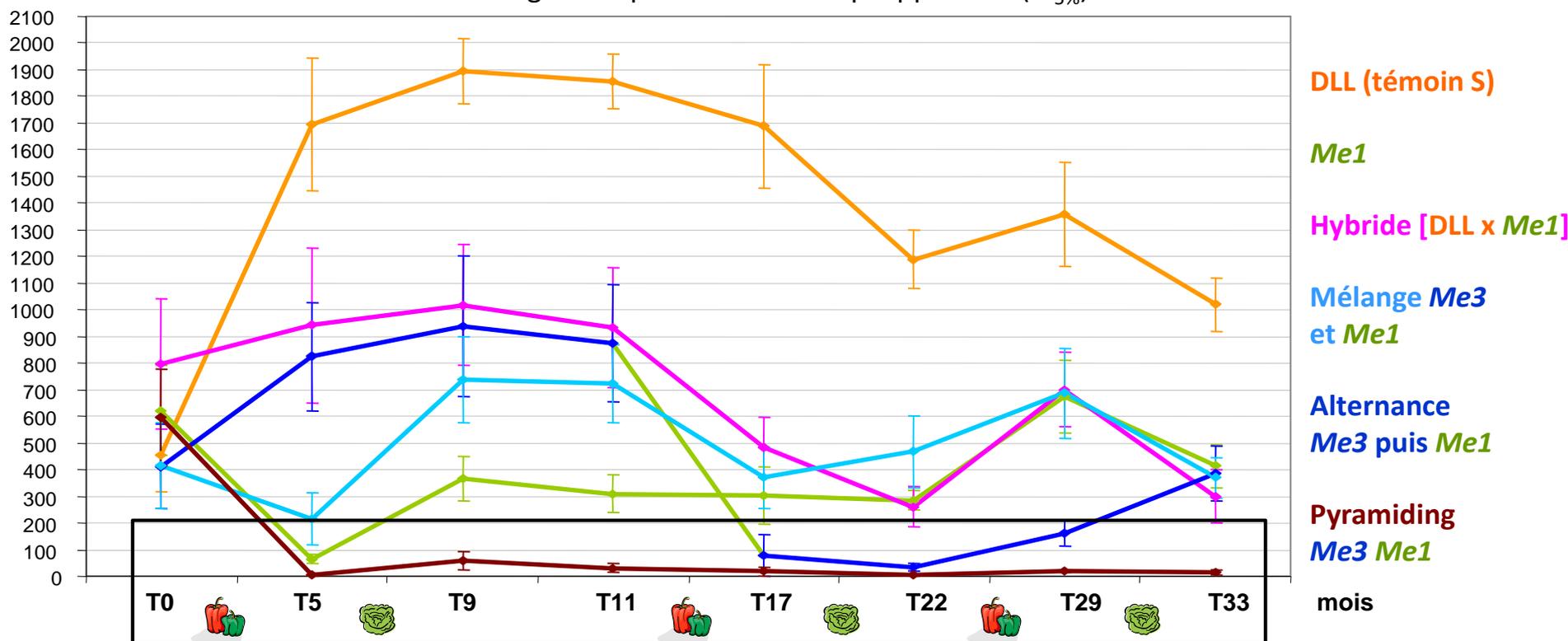


 **Alternance des gènes de R dans la rotation: efficace pour diminuer les populations virulentes** (spécificité de la virulence)

Résultats

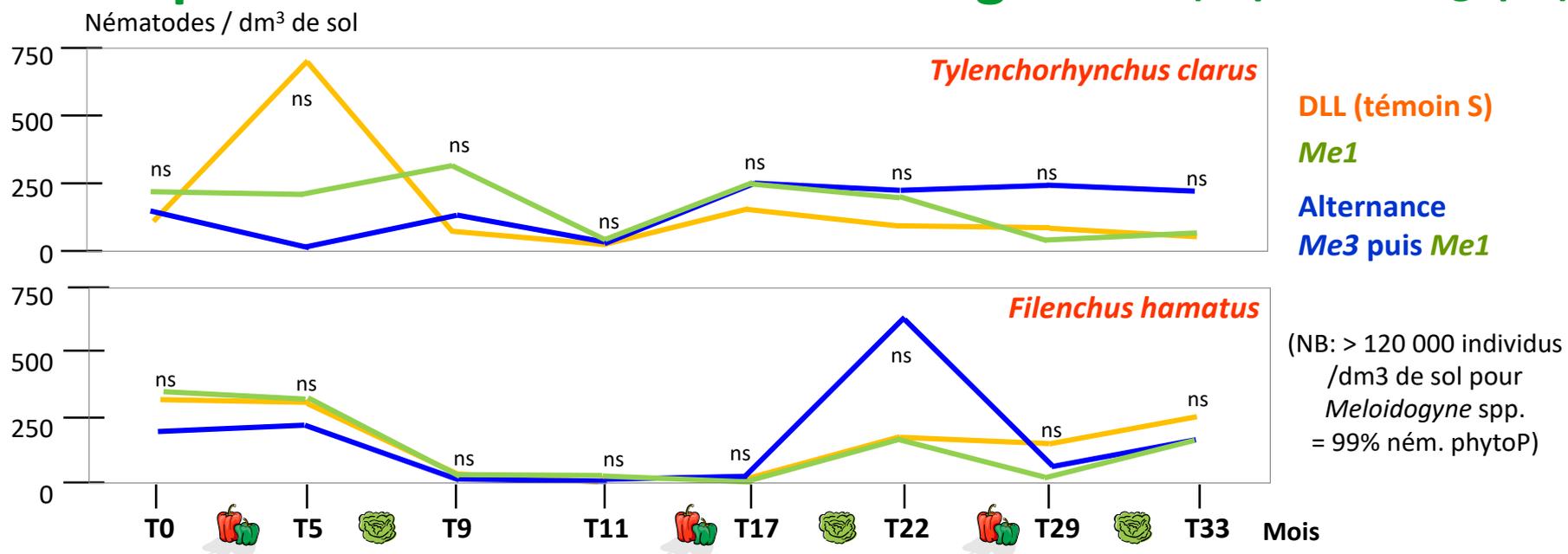
Réduction du potentiel infectieux du sol (action 'plante-piège')

Moyennes des IS sur 8 à 9 µparcelles : pontes produites sur tomates sensibles inoculées avec 1 kg de sol prélevé dans chaque µparcelle (IC_{5%})



 **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**

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) \Rightarrow *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) \Rightarrow *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 ») \Rightarrow *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



 **INRA** 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)



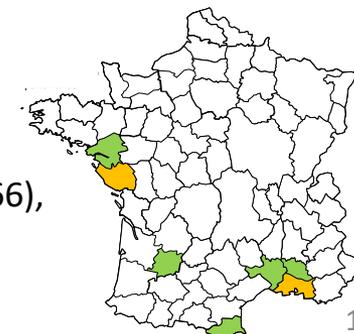
DEPHYécophyto

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

Plantes
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

