

8^e édition

12-13 JANVIER 2015
AGROCAMPUS OUEST
ANGERS, FRANCE

RECHERCHE
EXPÉRIMENTATION
INNOVATION

Fruits

Légumes

Ornement

Plantes aromatiques
et médicinales

Semences

Cidriculture

Viticulture

Paysage



Conception et évaluation d'innovations variétales et agronomiques pour maîtriser les nématodes à galles en maraîchage sous abri (le projet GEDUNEM)

Session thématique: *"Innovation variétale pour
les filières du végétal spécialisé"* . 12/01/2014

C. Djian-Caporalino¹, M. Navarrete², A. Dufils², P. Castagnone-Sereno¹, A. Palloix³, M. Tchamitchian², A. Fazari¹, N. Marteu¹, C. Furnion², A-M. Sage-Palloix³, A. Lefevre⁴, L. Pares⁴, T. Mateille⁵, J. Tavoillot⁵, H. Védie⁶, C. Goillon⁷, I. Forest⁸

1 INRA UMR ISA; 2 INRA Unité Ecodéveloppement; 3 INRA Unité GAFL; 4 INRA Alénya; 5 IRD UMR CBGP ; 6 GRAB ; 7 APREL; 8 Chambre d'agriculture du Var

LE CONTEXTE (1/2)

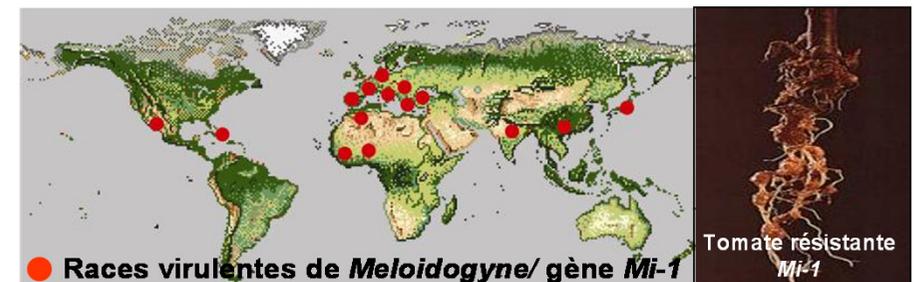


Les nématodes à galles *Meloidogyne* spp.

- un problème majeur et en croissance en maraîchage bio et conventionnel surtout dans les zones chaudes et sous abris
 - ✓ pertes mondiales : ~ **10% de la production & 100 milliards € / an**, mais + en local
 - ✓ SE France > **40% des exploitations touchées**
 - ✓ des **espèces de quarantaine** en Europe => lutte obligatoire ou jachère noire !
- interdiction du bromure de méthyle ☠ et 50% de réduction des pesticides pour 2018
- des techniques alternatives, mais peu efficaces individuellement
 -  solarisation
 -  engrais vert ném
 -  rotation avec plantes non hôtes
- extrêmement polyphages et capacité d'adaptation

Les plantes maraîchères résistantes

- la plupart des espèces maraîchères hôtes (pb rotations), peu de gènes de *R* disponibles et très peu de cultivars *R* commercialisés
 - ✓ **Mi-1** chez la tomate (variétés et porte-greffes) actif à T° < 30°C
 - ✓ **Me(s) et N** chez le piment (porte-greffes) stables à haute T°C
- les gènes de *R* peuvent (parfois) être contournés



LE CONTEXTE (2/2)

3 projets de recherche :

- ✓ NEOLEG2 (2009-2012) 
- ✓ VALORT (2010-2012)  
- ✓ SYSBIOTEL (2010-2013) 



Conditions contrôlées



Station expérimentale CA06

RESULTATS

• Spécificité de la virulence

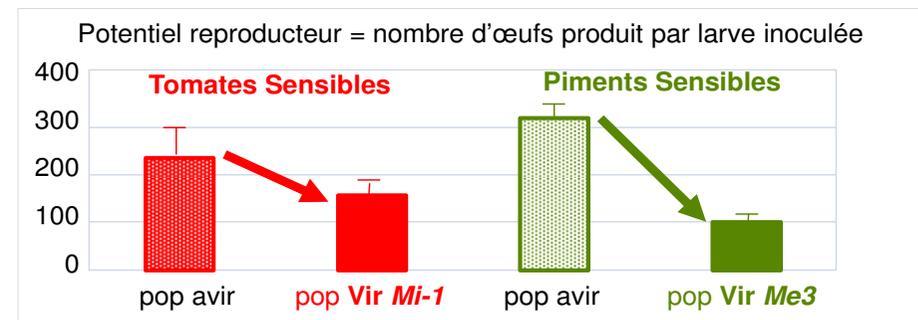
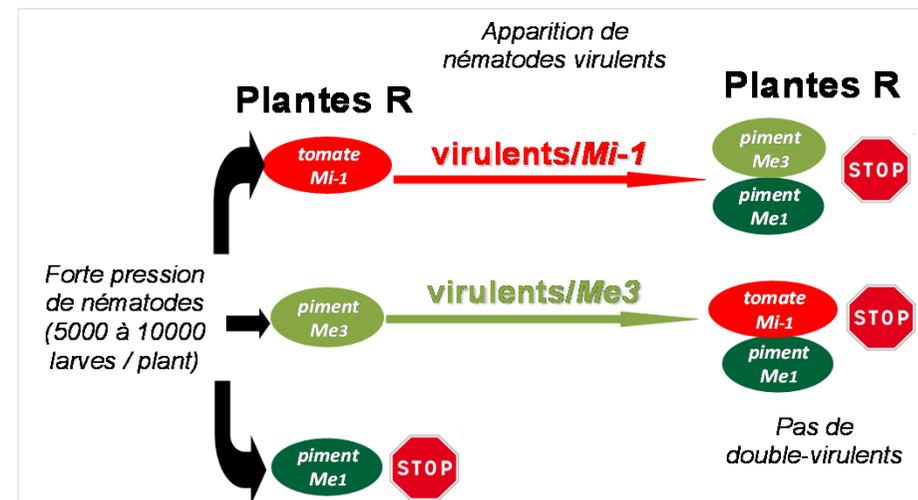
Djian-Caporalino *et al.*, EJPP 2011

Alternance (rotation) des gènes de R pour stopper le développement de populations virulentes

• Coût de la virulence

Djian-Caporalino *et al.*, EJPP 2011

Alternance de plantes R et plantes S pour limiter le développement de populations virulentes



LE CONTEXTE (2/2)

3 projets de recherche :

- ✓ NEOLEG2 (2009-2012) 
- ✓ VALORT (2010-2012)  
- ✓ SYSBIOTEL (2010-2013) 



Conditions contrôlées



Station expérimentale CA06

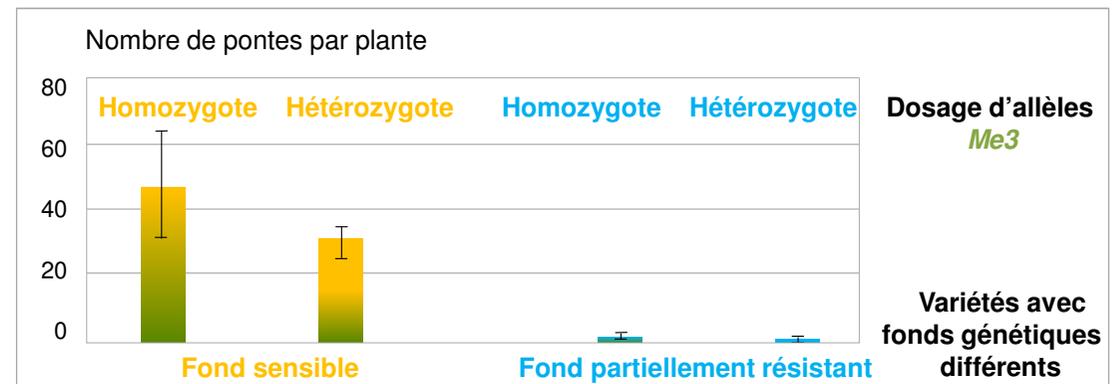
RESULTATS

• Spécificité et coût de la virulence

Djian-Caporalino *et al.*, *EJPP* 2011

• L'efficacité des gènes de R dépend du fond génétique mais pas du dosage d'allèles

Barbary *et al.*, *Theor Appl Genet* 2014



➡ **Choix des variétés à améliorer : important**

➡ **Développement de nouveaux hybrides F1 avec un niveau élevé de résistance possible**

LE CONTEXTE (2/2)

3 projets de recherche :

- ✓ NEOLEG2 (2009-2012) 
- ✓ VALORT (2010-2012)  
- ✓ SYSBIOTEL (2010-2013) 



Conditions contrôlées

Station expérimentale CA06

RESULTATS

• Spécificité et coût de la virulence

Djian-Caporalino *et al.*, *EJPP* 2011

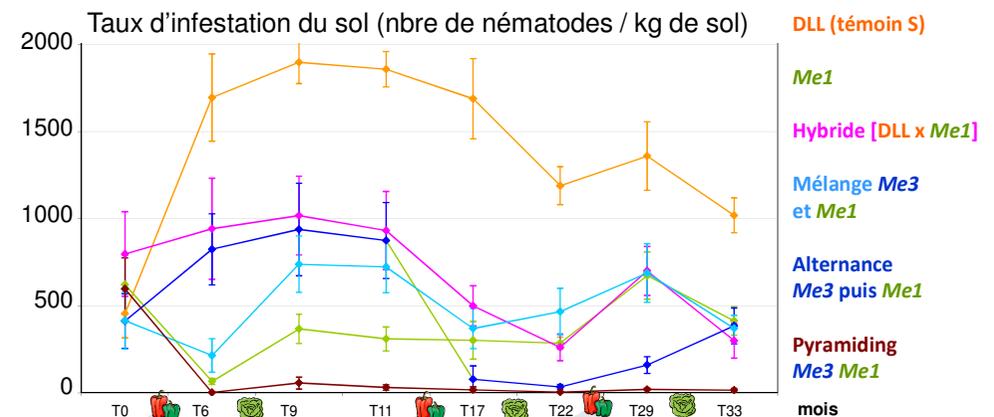
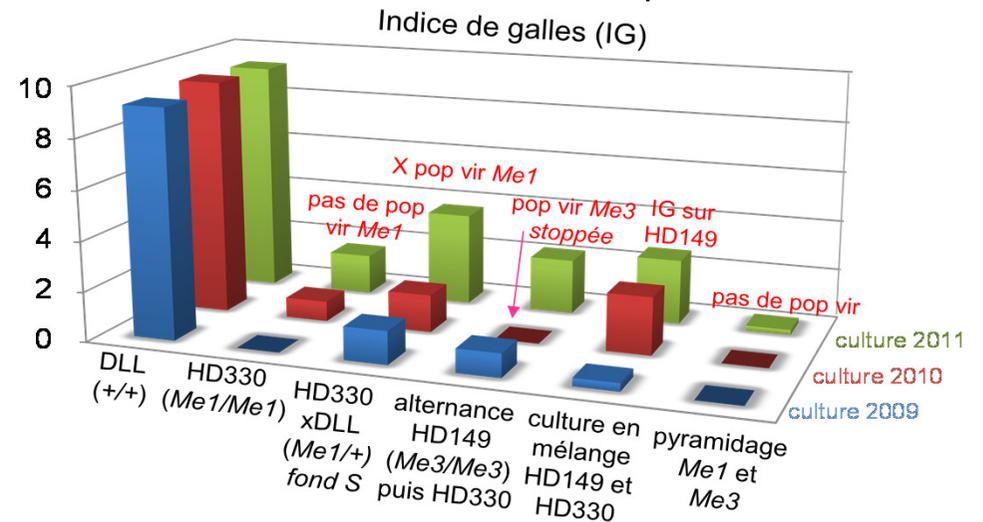
• L'efficacité des gènes de R dépend du fond génétique mais pas du dosage d'allèles

Barbary *et al.*, *Theor Appl Genet* 2014

- pyramidage > alternance > mélange de gènes de R > succession du même gène de R
- le **pyramidage Me1 + Me3** est durable
- les piments R conduisent à l'assainissement du sol

Djian-Caporalino *et al.*, *BMC Plant Biology* 2014

- ➡ **Gestion des gènes de R : important**
- ➡ **Lignées R pyramidées à exploiter**

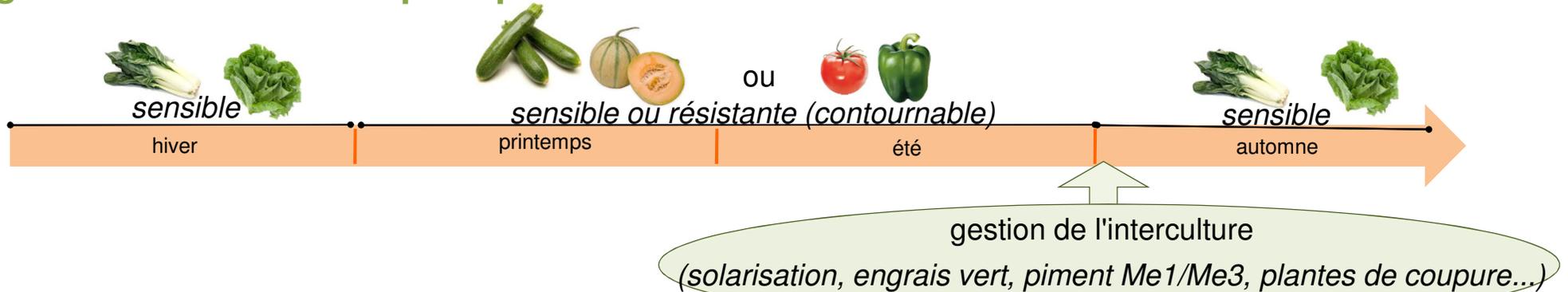


LE QUESTIONNEMENT

- **1** Quels **systemes de culture** combinant résistance et techniques alternatives (solarisation, gestion de l'interculture, rotation, etc.) pour **prolonger la durabilité** de la résistance **et augmenter l'efficacité du contrôle** ?
- **2** Quel impact **agronomique** (productivité, fertilité du sol) ?
- **3** Quel impact sur l'**écologie** du sol (autres nématodes et autres agents pathogènes) ?
- **4** Les solutions proposées sont-elles **acceptables** par les producteurs (rendement, travail, coût, risque, etc.) ?

UNE ETUDE DE CAS PLURI-ANNUELLE, MULTI-SITE ET MULTI-DISCIPLINAIRE

Proposer et évaluer sur 4 ans des systèmes maraîchers sous abri innovants en région méditerranéenne pour préserver la durabilité des résistances aux nématodes



5 sites géographiques



12 partenaires R E D PA multidisciplines



PRINCIPE DE CONSTRUCTION DES SYSTEMES DE CULTURE

- Diminuer l'inoculum par des TK alternatives pour augmenter l'efficacité et la durabilité de la résistance
- 3 déclinaisons adaptées aux différentes contraintes des exploitations de la zone d'étude :

- **S1** = engrais vert (EV) sorgho biofumigant (riche en dhurrine, précurseur d'HCN, pour effet biofumigation)



- **S2** = engrais vert (EV) piment résistant *Me1/Me3* (plante piège)

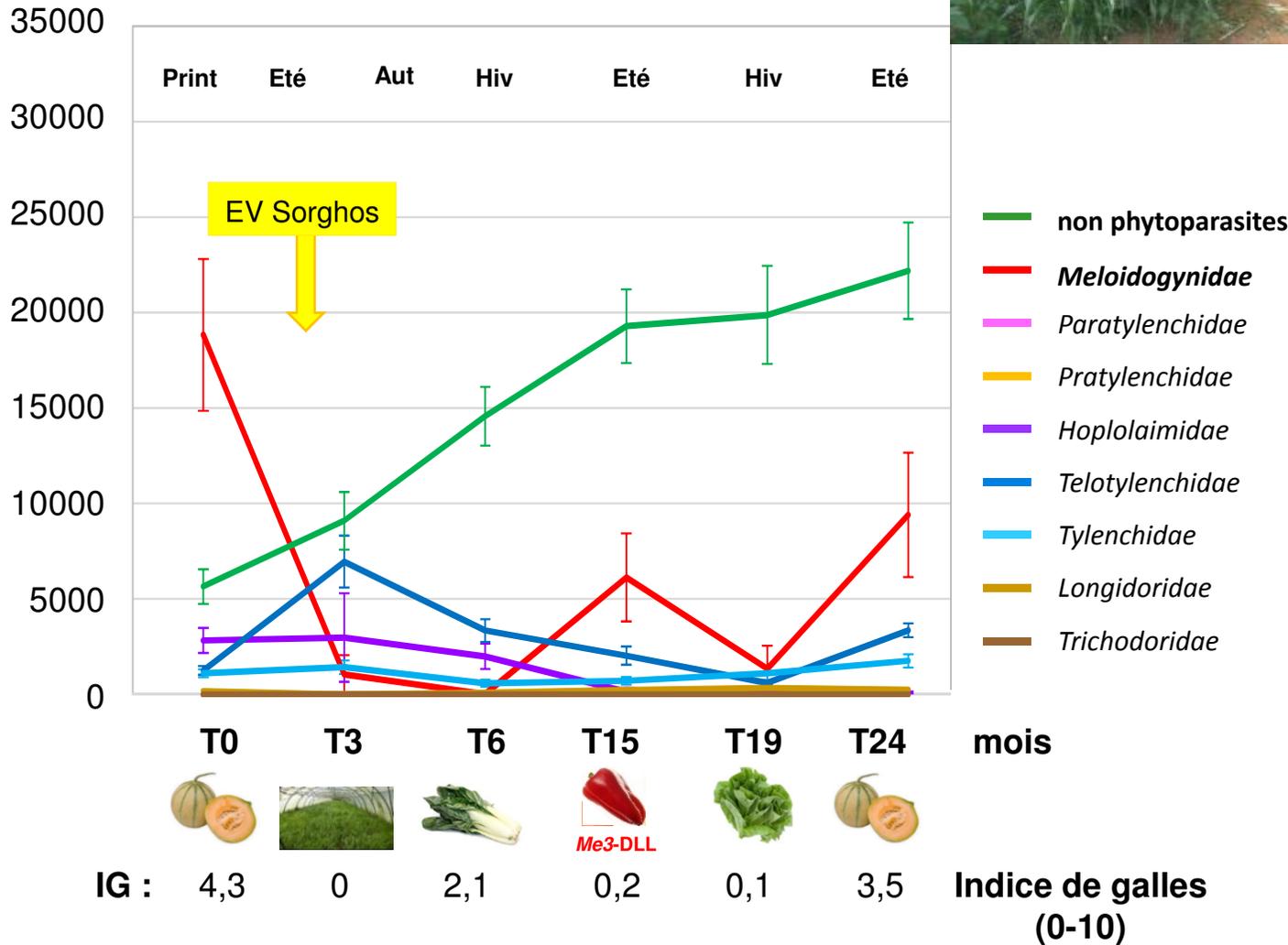


- **S3** = solarisation + plante de coupure (pdt l'activité des nématodes)



« ENGRAIS VERT D'ÉTÉ : LES SORGHOS, standard ou biofumigant » (1/2)

Nombre de nématodes par dm³ de sol



➤ > 95% de réduction des populations de *Meloidogyne* avec les EV Sorghos (1 mois de culture, enfouis stade 8 feuilles pendant 1 mois)

➤ Bonne protection des piments résistants *Me3-DLL*

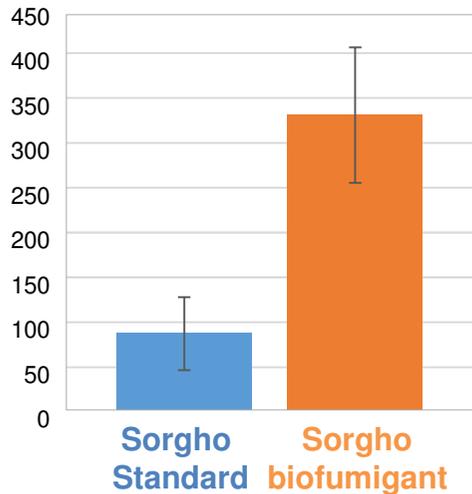
➤ Une culture sensible d'été (melon) après la culture résistante remultiplie les *Meloidogyne*

➤ Augmentation notable des espèces non phytoparasites (= saprophages utiles) avec le système proposé

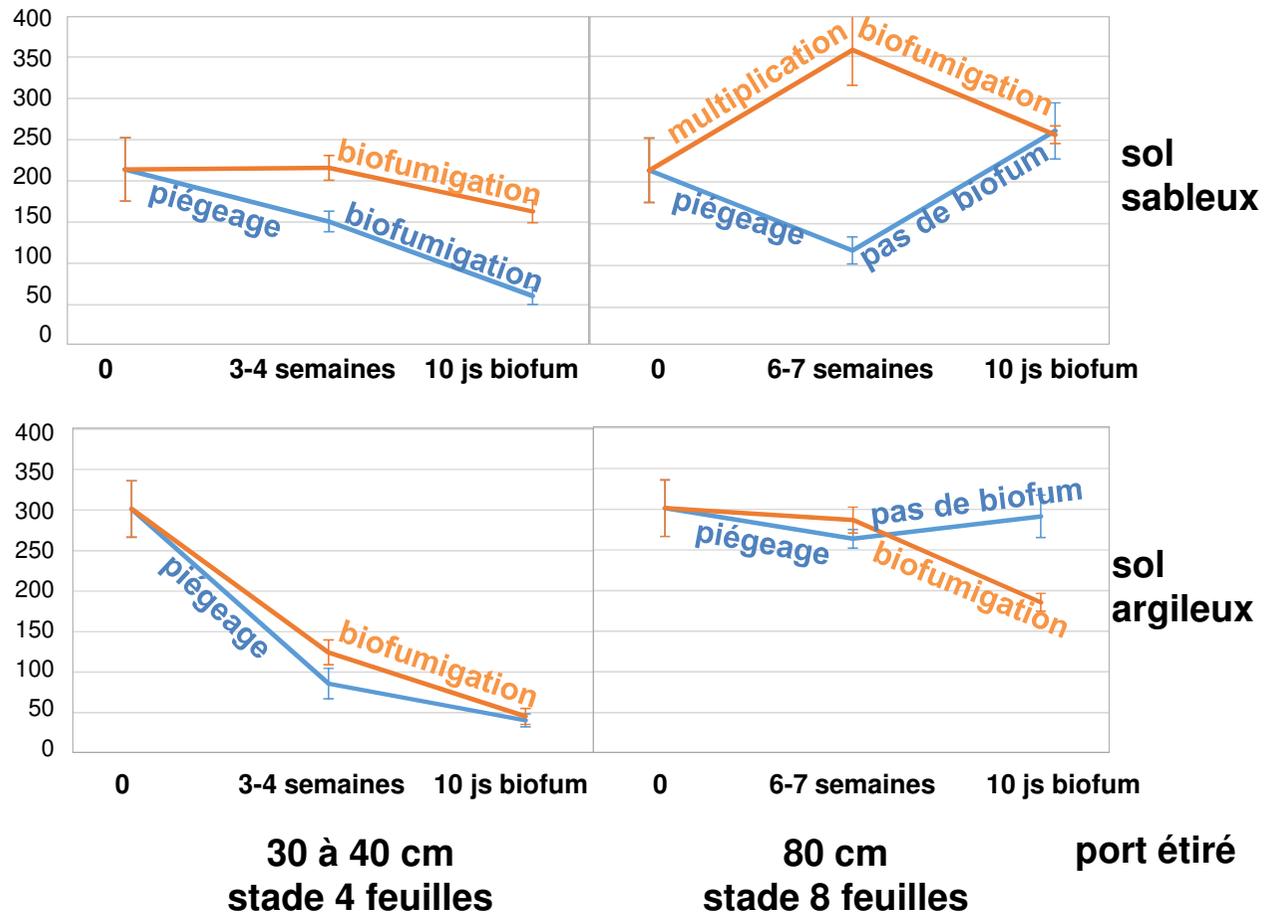
« ENGRAIS VERT D'ÉTÉ : LES SORGHOS, standard ou biofumigant » (2/2)

➤ mode d'action et efficacité des EV Sorghos (en conditions contrôlées)

Nombre moyen de pontes par plant



Nombres moyens de nématodes infestants par kg de sol



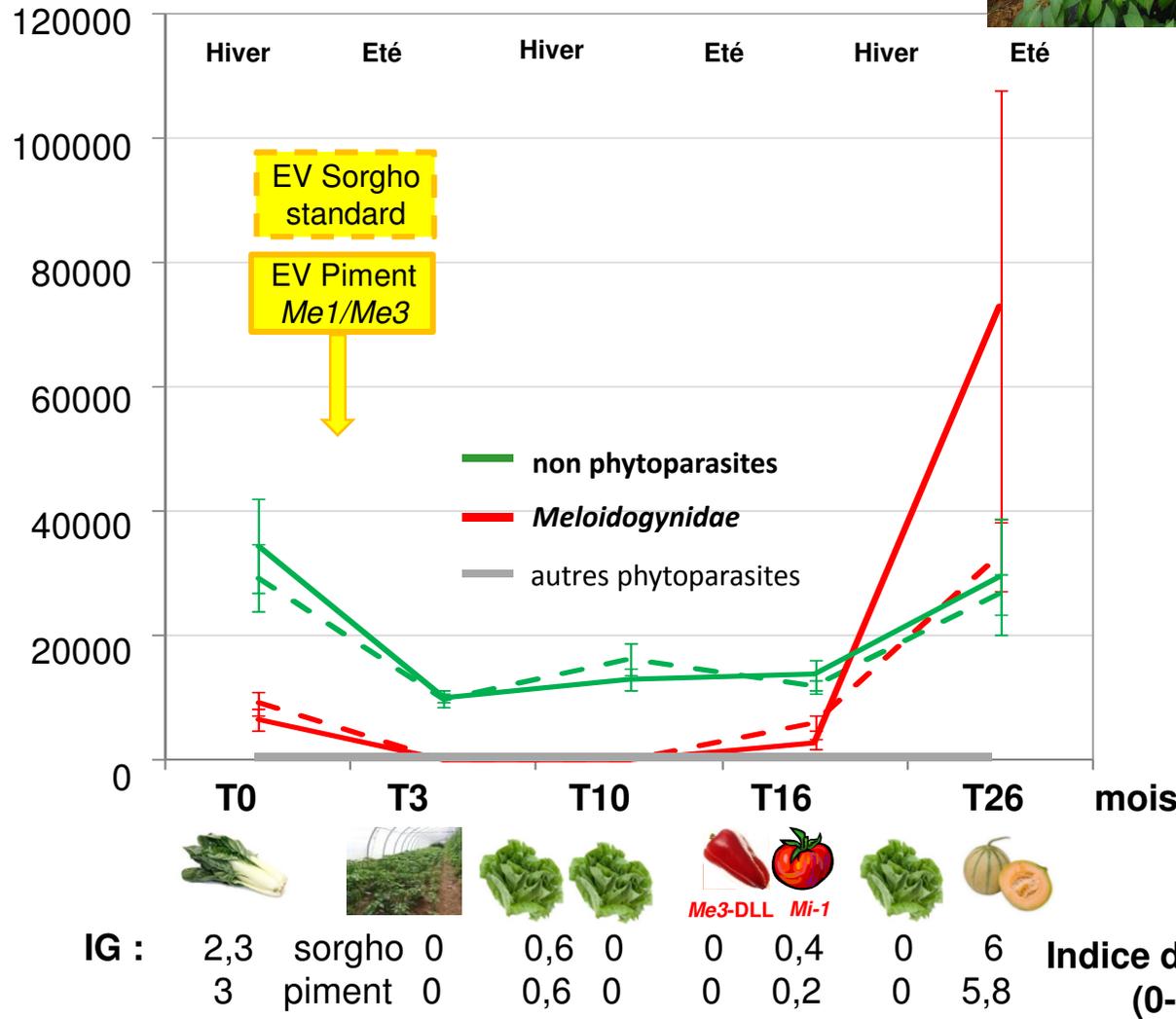
➤ beaucoup de nécroses autour des nématodes dans les racines du sorgho « standard » et peu se développent (piégeage efficace) ; multiplication des nématodes dans le sorgho « biofumigant »

➤ réduction intéressante du nombre de nématodes dans le sol avec les 2 sorghos s'ils sont enfouis au stade 4 feuilles

➤ Sorgho « biofumigant » globalement aussi efficace que sorgho « standard » même si son effet biofumigation est plus important, car piégeage des nématodes plus important dans racines sorgho « standard »



Nombre de nématodes par dm³ de sol



➤ Piments pyramidés *Me1/Me3* en EV non attaqués

➤ > 99% de réduction des populations de *Meloidogyne* avec les EV : sorgho et piment pyramidé

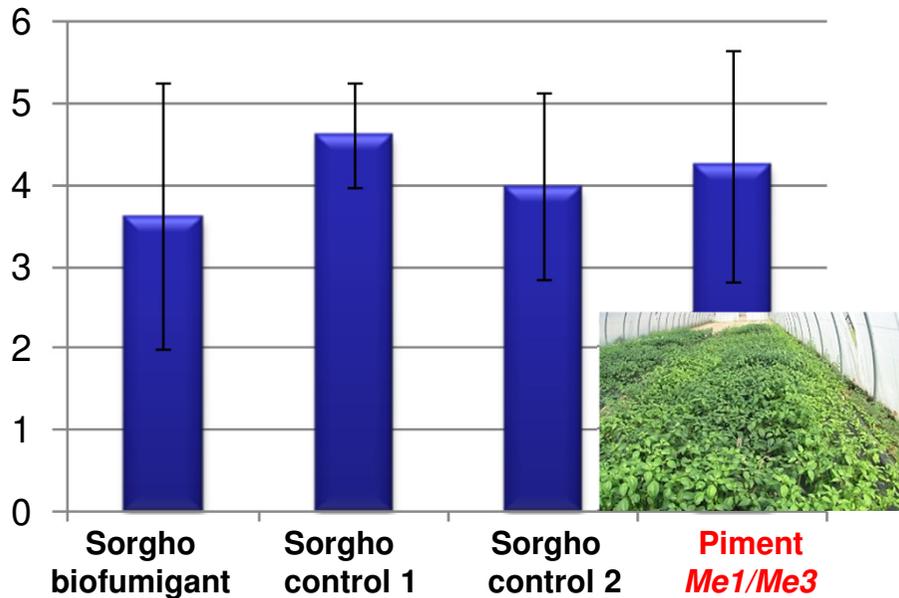
➤ Bonne protection des piments commerciaux et tomates résistants

➤ Une culture sensible d'été (melon) après la culture résistante remultiplie rapidement les *Meloidogyne*

➤ Pas d'évolution notable des espèces non phytoparasites (= saprophages utiles) avec le système proposé

- Bonne valeur agronomique des piments pyramidés comme EV

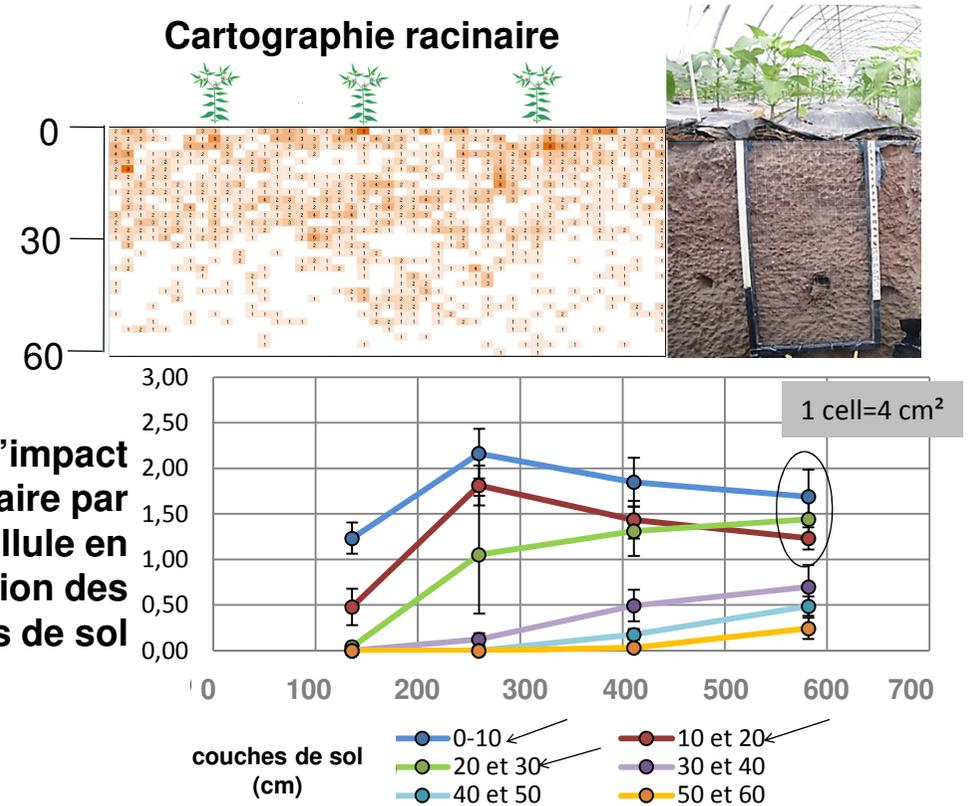
Comparaison des quantités de matière sèche enfouie (tonnes par hectare) pour chaque EV (8-10 semaines de culture)



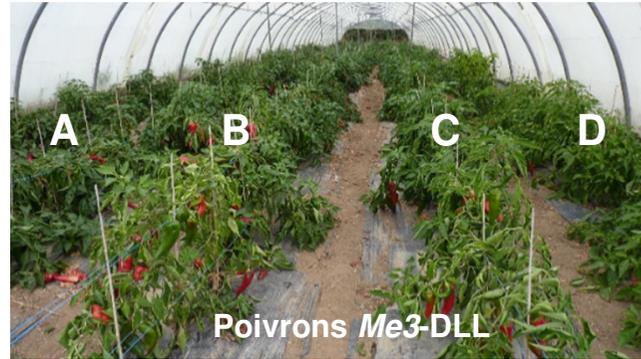
- *la matière sèche de piment enfouie est équivalente à celle des sorghos utilisés traditionnellement*

- Bon potentiel de colonisation du sol par les racines des piments pyramidés pour piéger les nématodes

Cartographie racinaire



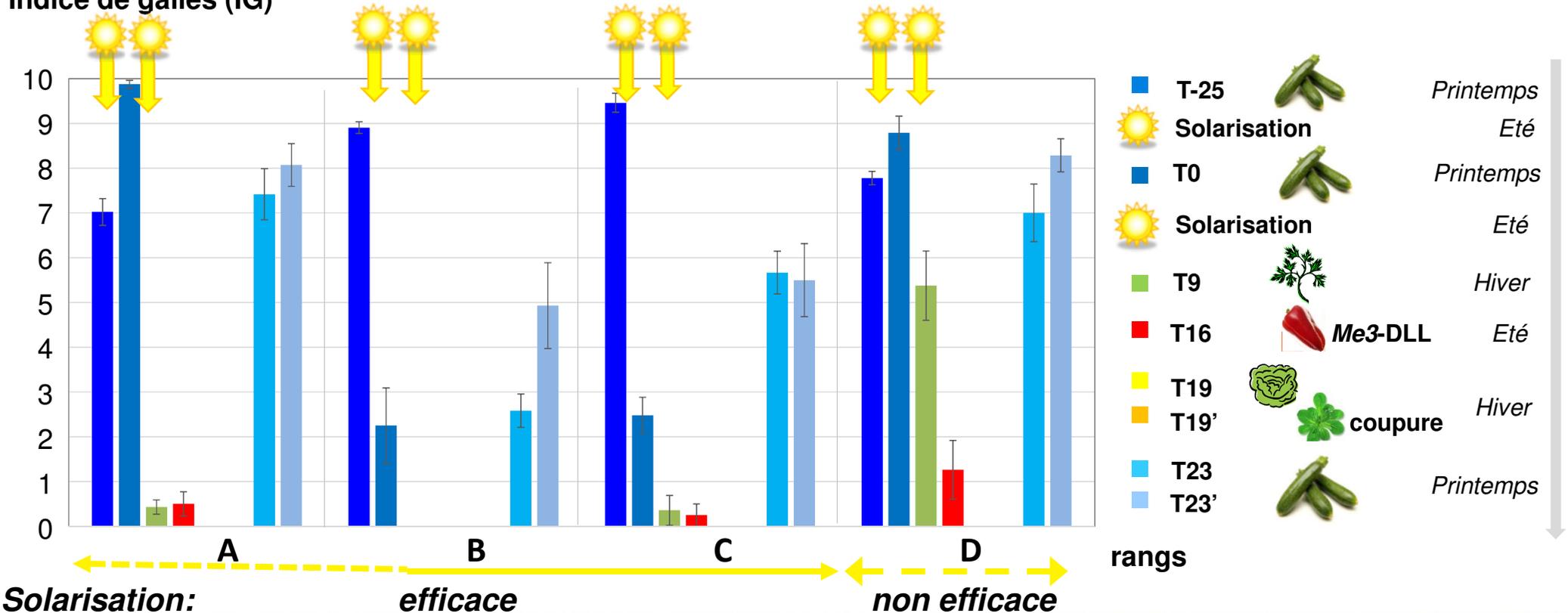
- *Forte colonisation racinaire jusqu'à 30 cm de profondeur => permettrait de réduire la culture de 10 à 6 semaines*



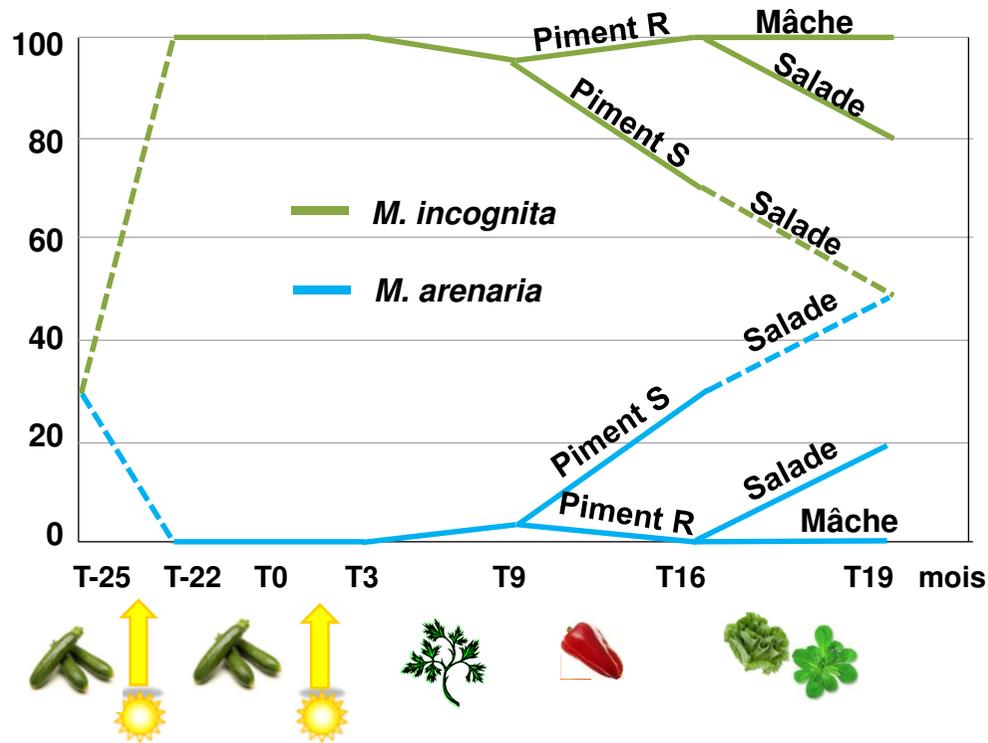
➤ **Protection des piments résistants :**
la solarisation peut être efficace

➤ **Gestion des nématodes à galles:**
plante non-hôte d'hiver inutile si plantée trop tard (cycle des nématodes stoppé à T°C basse) ; culture sensible de printemps /été remultiplie les nématodes

Indice de galles (IG)

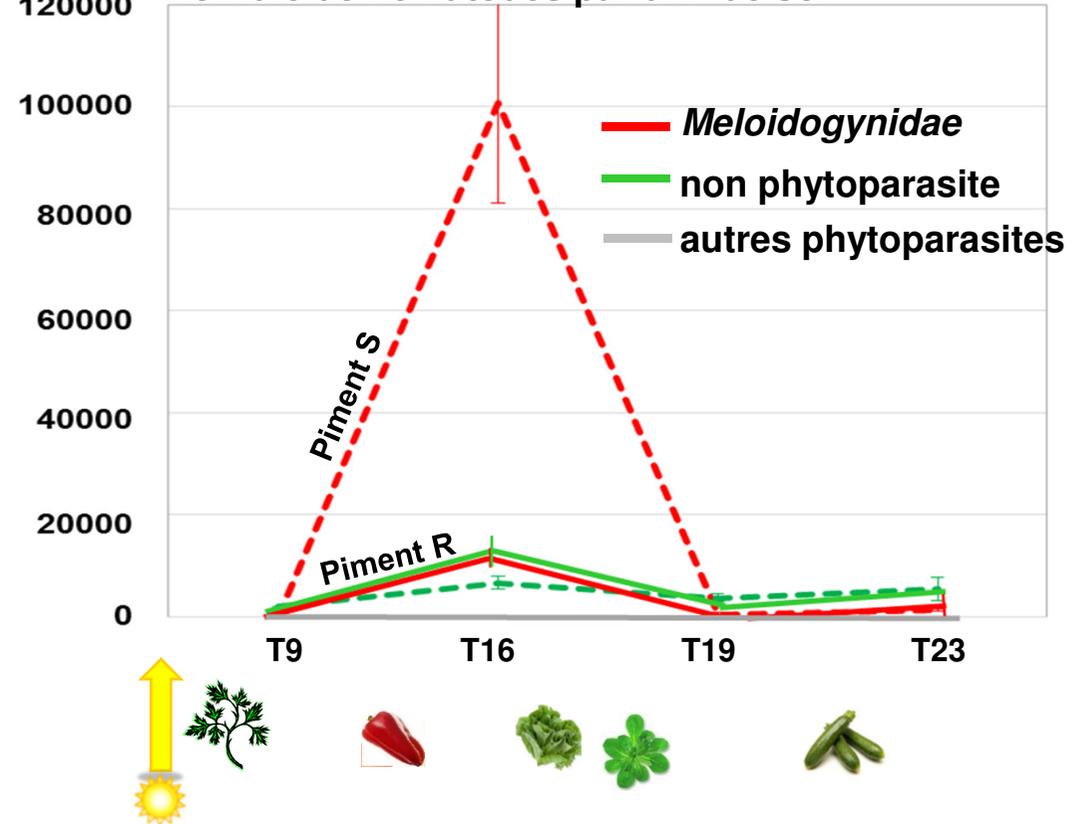


% de chaque espèce de *Meloidogyne*



- **Sélection des espèces de *Meloidogyne* par les techniques et rotations culturales:** solarisation, piment *R* et mâche sélectionnent *M. incognita* ; piment *S*, salade (et persil?) multiplient *M. arenaria*

Nombre de nématodes par dm³ de sol



- Pas de diversité des **communautés de nématodes** après solarisation
- **quantités de *Meloidogyne*** après culture d'été (surtout piment *S*)
- **espèces non phytoparasites** (saprophages utiles) avec piments *R* et *S* et courgette

EVALUATION PAR ENQUÊTE DE L'ACCEPTABILITÉ DES SYSTÈMES DE CULTURE

➤ **Objectif** : les systèmes de culture issus de la coconception entre chercheurs et conseillers techniques sont-ils acceptables par les agriculteurs ?

➤ **Démarche** :

- ✓ Comparaison des **calendriers de culture** des systèmes S1, S2 et S3 avec ceux des agriculteurs
- ✓ Quels **points de vue des agriculteurs** sur S1, S2 et S3 en fonction de deux ensembles de facteurs :
 - la stratégie de production des exploitations
 - la motivation des agriculteurs pour le changement

Stage C. Furnion 2014 : 28 agriculteurs enquêtés,

- ✓ avec des pratiques bio (AB), "écologiques" (E) ou conventionnelles (AC)
- ✓ commercialisant en circuits court ou long
- ✓ avec des degrés de diversification des successions de cultures +/- élevés

cf **Navarrete et al.**, communication dans session « Techniques et Systèmes de culture dans les filières du végétal spécialisé »

DISCUSSION

Evaluation agronomique des systèmes de culture : au bout de deux ans, constat d'une baisse des populations de *Meloidogyne* après solarisation, EV piment R, EV sorgho biofumigant et même EV sorgho standard. Mais ...

- ❖ effet nématocide du sorgho standard plutôt **controversé dans littérature**
- ❖ forte fluctuation des dégâts suivant les cultures et spatialement
 - ⇒ **attendre la fin des essais pour conclure**
- ❖ si manque d'effet immédiat des TK alternatives sur les cultures, elles agissent qd même au **niveau microbiologique dans le sol** (évolution des populations invisible par le producteur)

Perspectives :

✓ Améliorer l'efficacité et l'acceptabilité des SdC

- ❖ Les rendre **compatibles avec les contraintes des agriculteurs** (cas des exploitations en circuit long intensives en AC)
- ❖ **Améliorer l'itinéraire technique de l'EV Piment *Me1/Me3*** si bonne efficacité biologique (densité, durée de culture...)

✓ Modélisation sur le long terme des stratégies de déploiement

- ❖ **pyramidage et alternances saisonnières de différents génotypes**

POUR PLUS D'INFORMATIONS



GEDUNEM



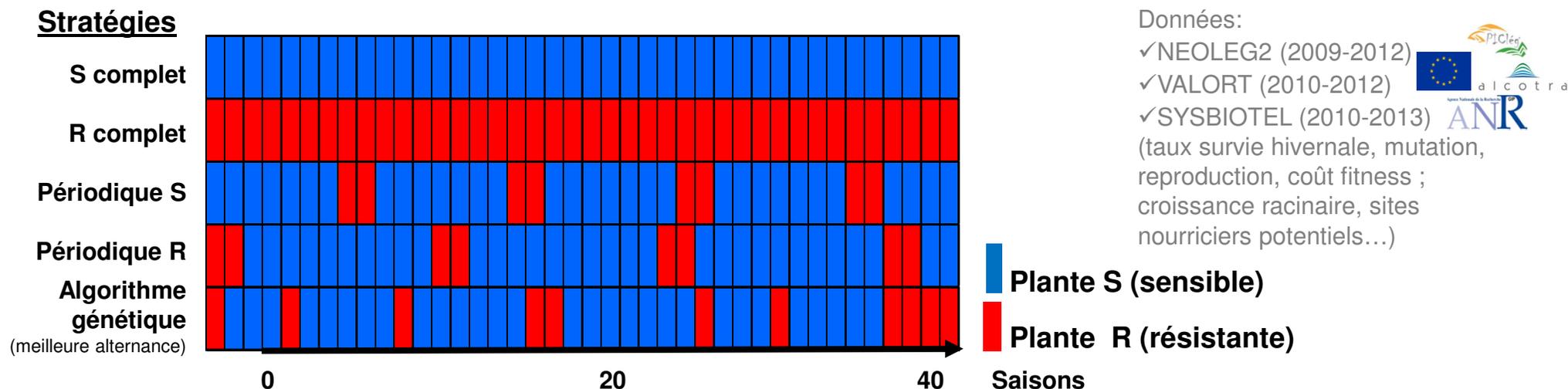
**Contacts : Caroline Djian-Caporalino, Philippe Castagnone-Sereno (INRA Sophia)
Mireille Navarrete (INRA Avignon)**

**Mails : caroline.caporalino@sophia.inra.fr, pca@sophia.inra.fr,
mireille.navarrete@avignon.inra.fr**

**Sites Web : <http://www.smach.inra.fr/>
<http://www.picleg.fr/Les-Projets-en-cours/Gedunem>**

Exemple de MODÉLISATION: Déterminer l'efficacité (sur la perte de rendt) des alternances temporelles de plantes S et R

Stage Master 2014 'Biologie Évolutive & Écologie' de l'Université de Montpellier ,
co-encadrement avec V. Calcagno et L. Mailleret (équipe TEAPEA UMR ISA, INRA Sophia Antipolis)



❖ **Stratégies mixtes (alternant R et S) > stratégie « R complet » > stratégie « S complet »**

❖ **Si taux de mortalité hivernale faible : les stratégies les plus efficaces toujours celles qui alternent plantes R et S (freinent développement des nématodes virulents: coûts de fitness)**

❖ **Si taux de mortalité hivernale fort : moins important d'alternier mais continuer à mettre des plantes R (permettent de contrôler populations de nématodes avirulents restantes).**

Intégrer les résultats Gedunem sur les taux de mortalité suite aux pratiques agricoles (solarisation, EV nématicides...) et sur les coûts des variétés R/S (qui peuvent fortement modifier le choix optimal de déploiement pour un agriculteur)