

8<sup>e</sup> édition

12-13 JANVIER 2015  
AGROCAMBUS 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)

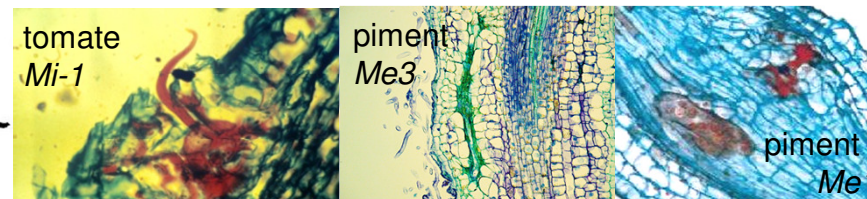
Session thématique: *"Innovation variétale pour  
les filières du végétal spécialisé"* . 12/01/2014

**C. Djian-Caporalino<sup>1</sup>, M. Navarrete<sup>2</sup>, A. Dufils<sup>2</sup>, P. Castagnone-  
Serenio<sup>1</sup>, A. Palloix<sup>3</sup>, M. Tchamitchian<sup>2</sup>, A. Fazari<sup>1</sup>, N. Marteu<sup>1</sup>, C.  
Furnion<sup>2</sup>, A-M. Sage-Palloix<sup>3</sup>, A. Lefevre<sup>4</sup>, L. Pares<sup>4</sup>, T. Mateille<sup>5</sup>,  
J. Tavoillot<sup>5</sup>, H. Védie<sup>6</sup>, C. Goillon<sup>7</sup>, I. Forest<sup>8</sup>**

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



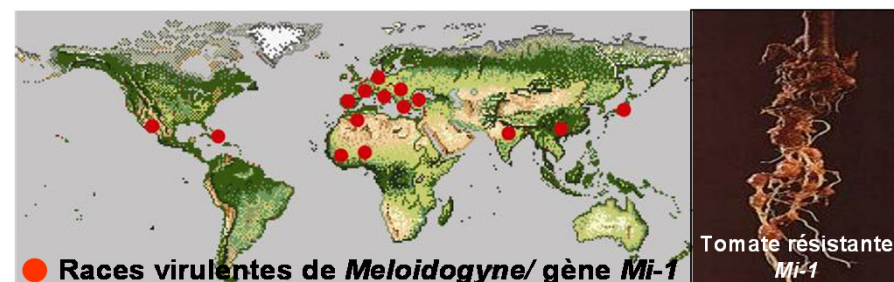
- extrêmement polyphages et capacité d'adaptation

### 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°

- 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)



## 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

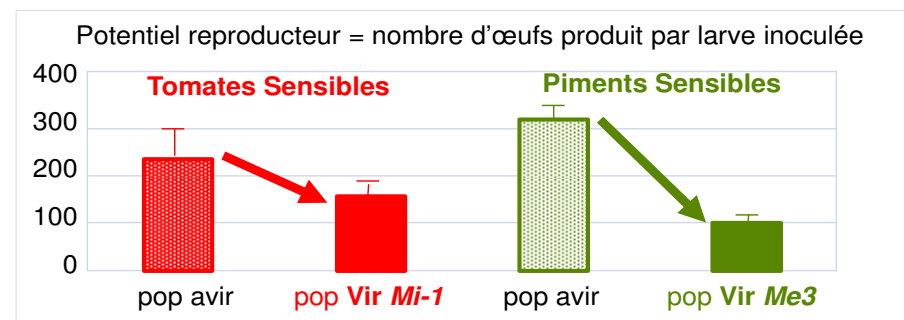
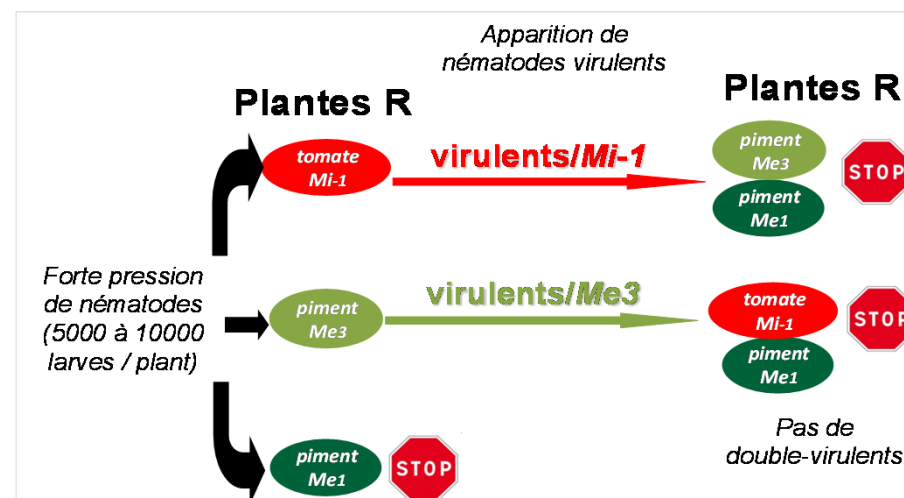
**Alternance de plantes R et plantes S pour limiter le développement de populations virulentes**



Conditions contrôlées



Station expérimentale CA06



## LE CONTEXTE (2/2)

### 3 projets de recherche :

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



## 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

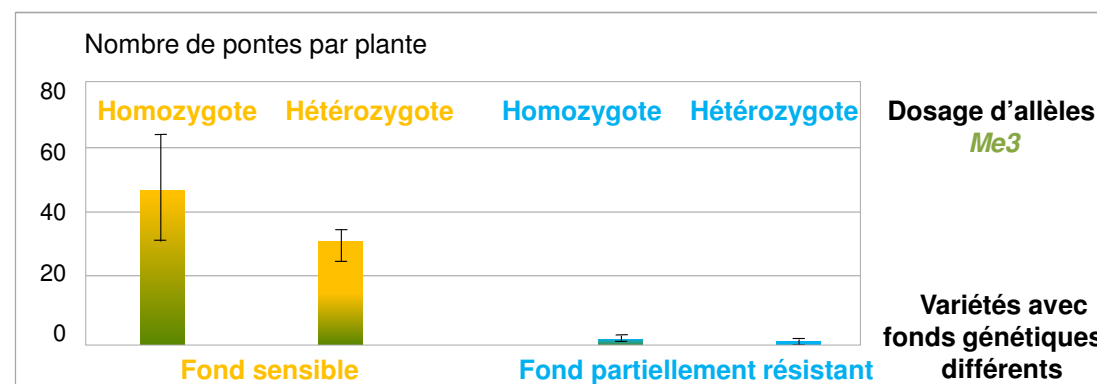
Gedunem



Conditions contrôlées



Station expérimentale CA06





## LE CONTEXTE (2/2)

### 3 projets de recherche :

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



## 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**

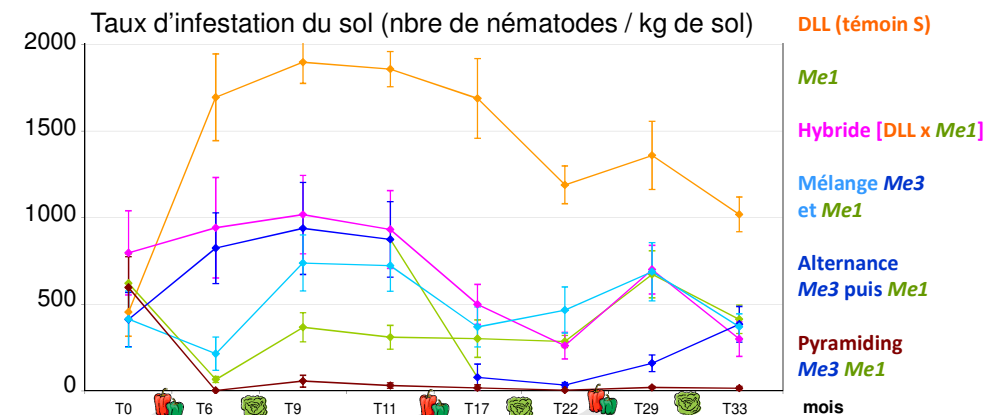
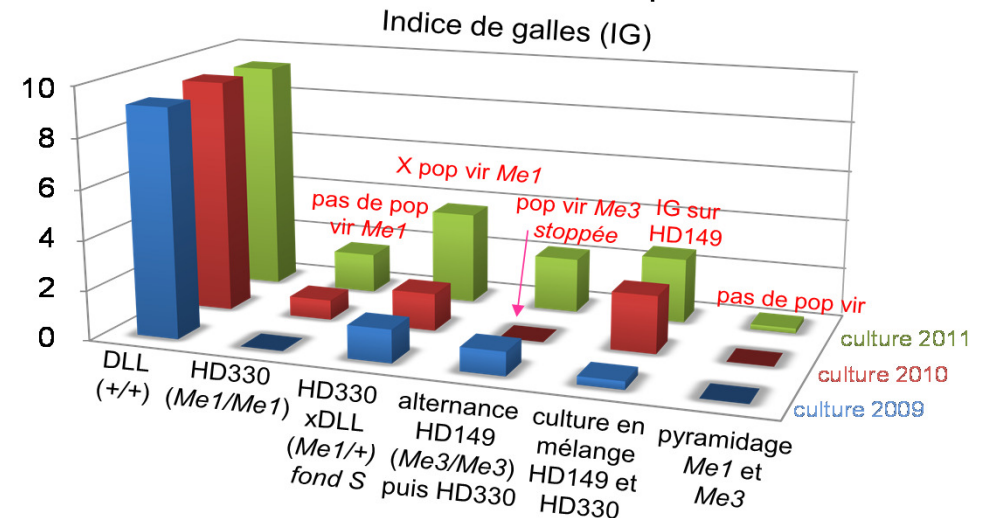
**Lignées R pyramidées à exploiter**

Gedunem



Conditions contrôlées

Station expérimentale CA06



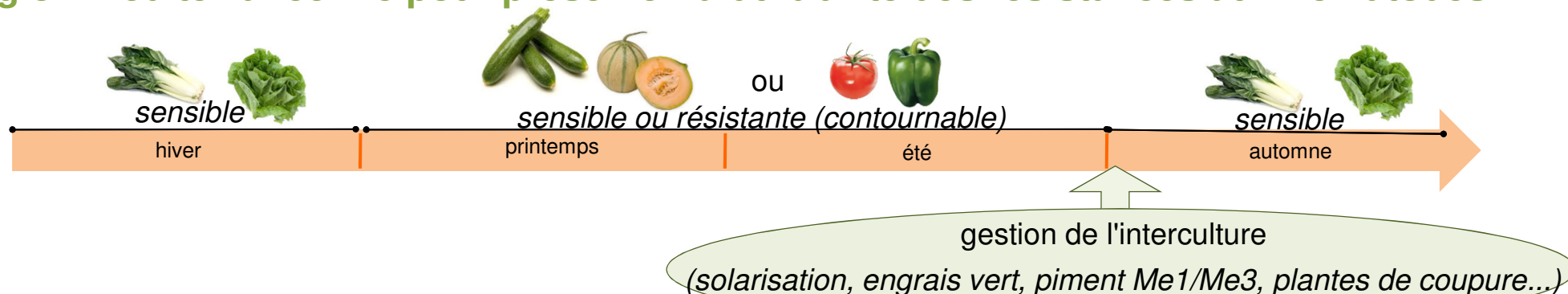
- **1** Quels **systèmes de culture** combinant résistance et techniques alternatives (solarisation, gestion de l'interculture, rotation, etc.) pour **prolonger la durabilité** de la résistance **et augmenter l'efficacité du contrôle** ?
- **2** Quel impact **agronomique** (productivité, fertilité du 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

Gedunem



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





- 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)



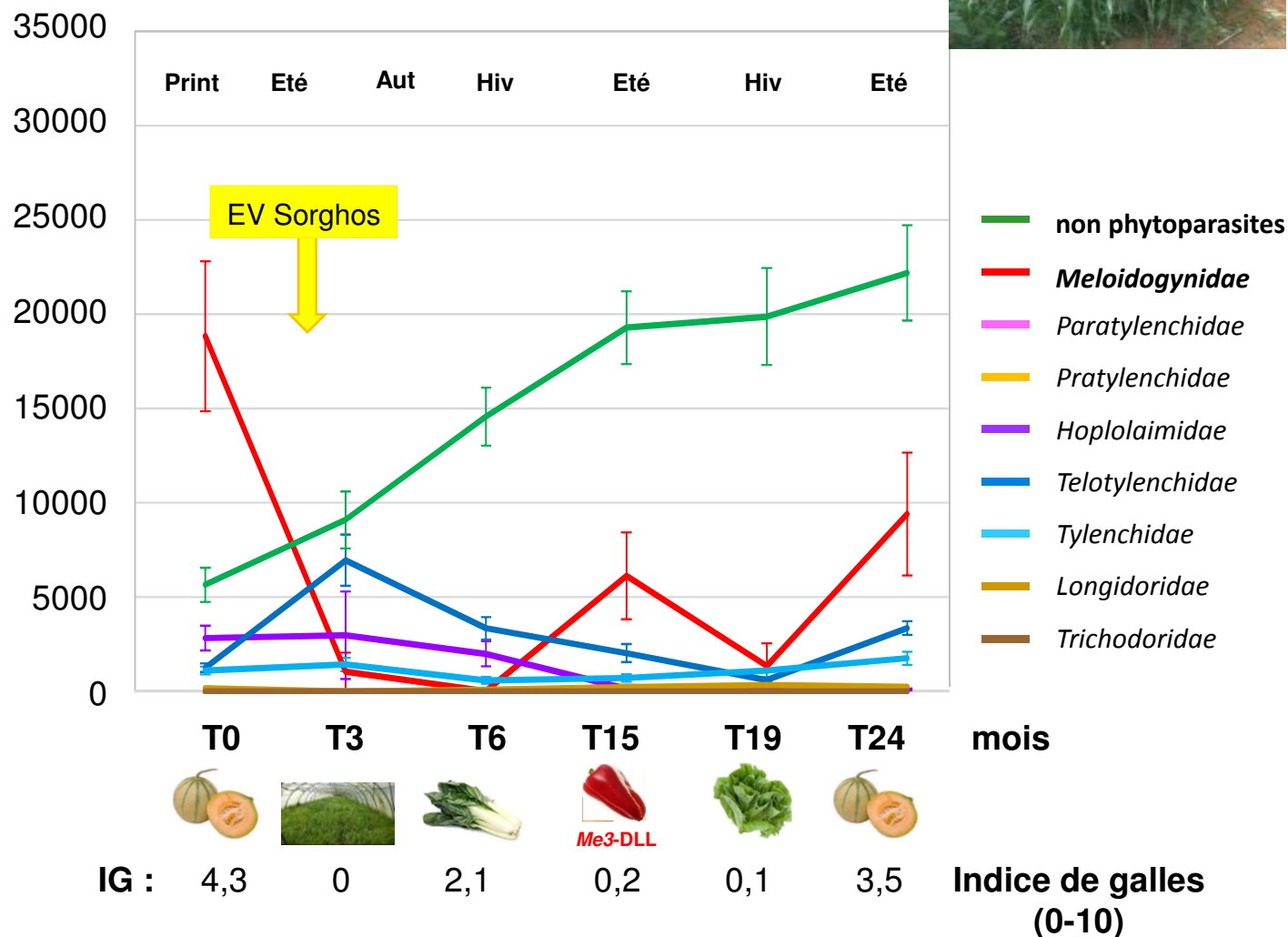
- **S3** = solarisation + plante de coupure (pdt l'activité des nématodes)





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

Nombre de nématodes par dm<sup>3</sup> 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*

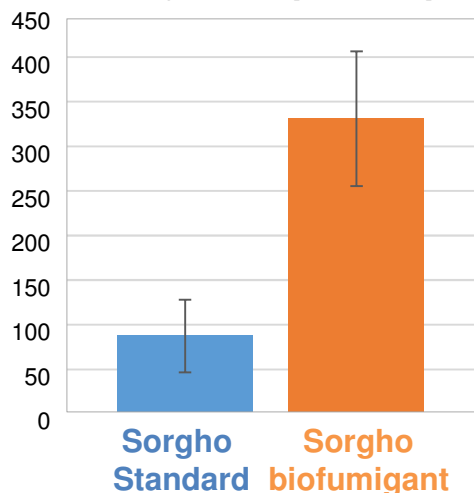
➤ Une culture sensible d'été (melon) après la culture résistante remultiplie les *Meloidogyne*

➤ 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)

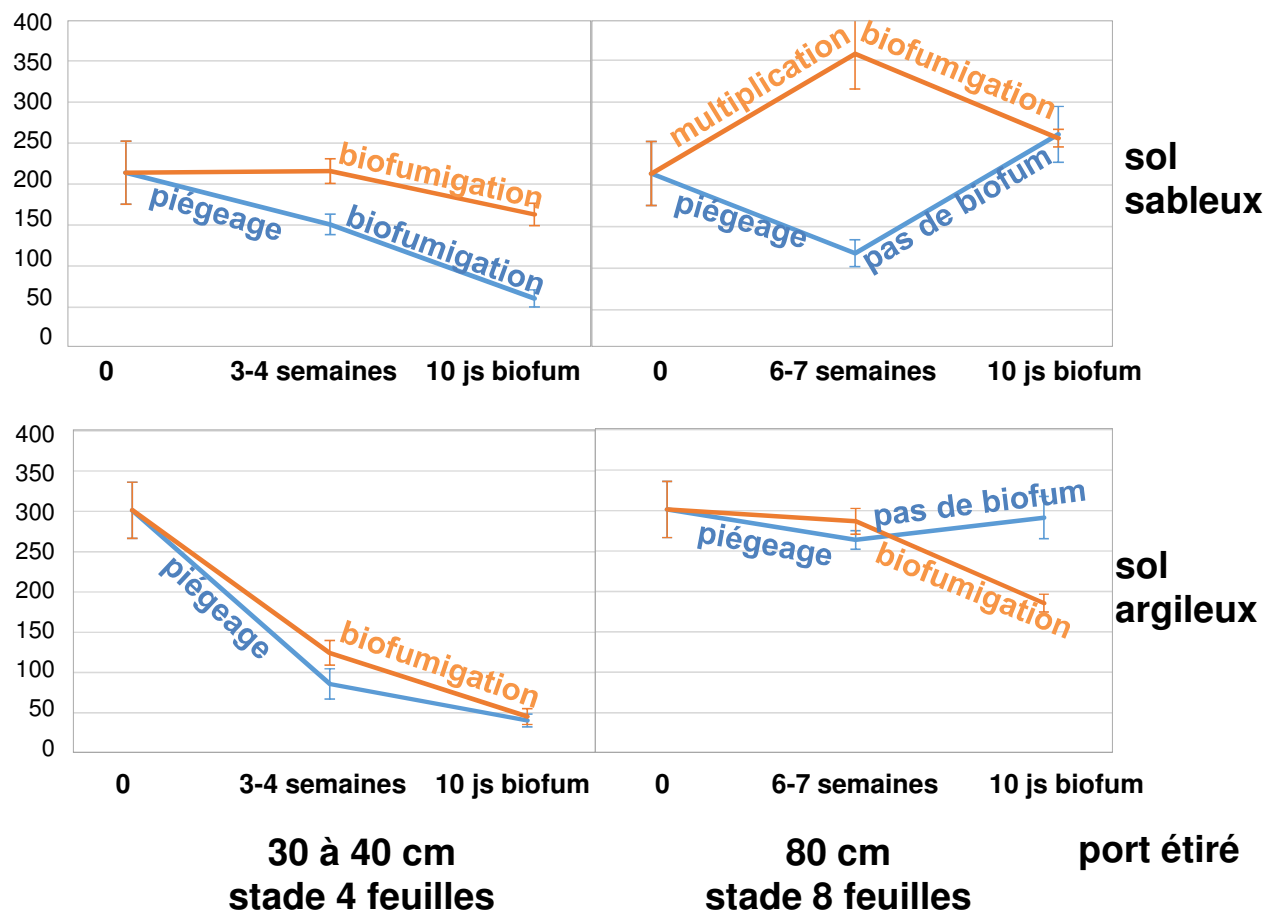
Nombre moyen de pontes par plant



➤ 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

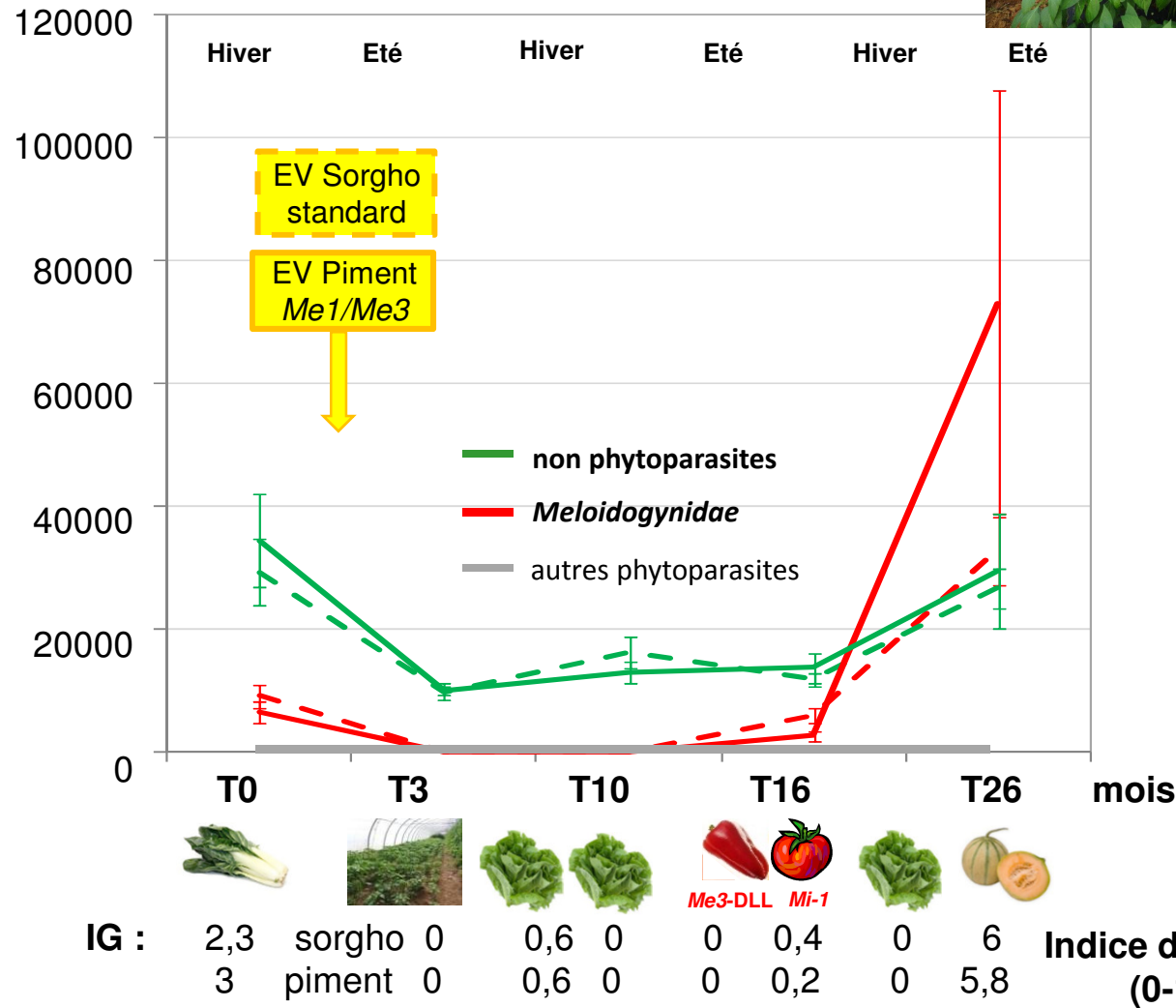
Nombres moyens de nématodes infestants par kg de sol



➤ 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 dm<sup>3</sup> de sol



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

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

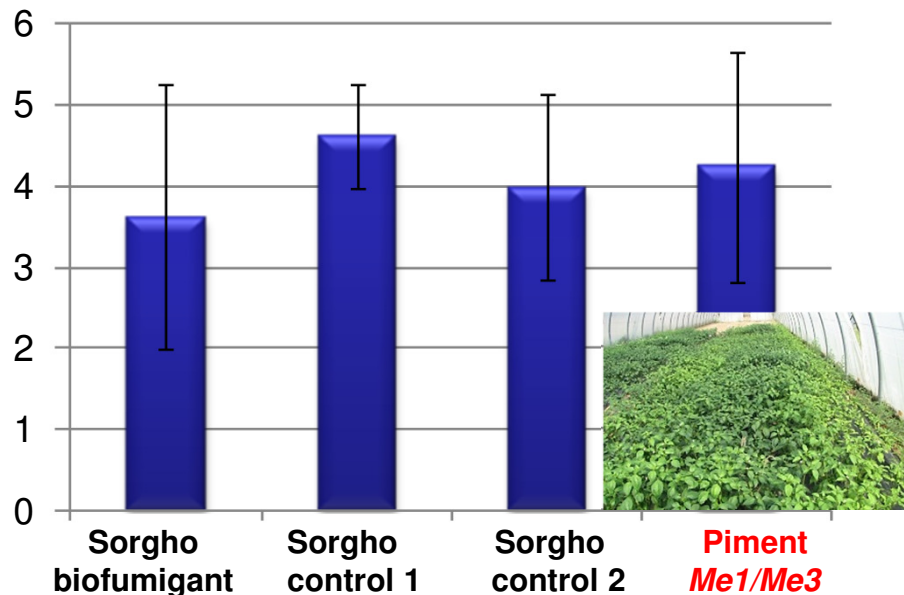
➤ Bonne protection des piments commerciaux et tomates résistants

➤ 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

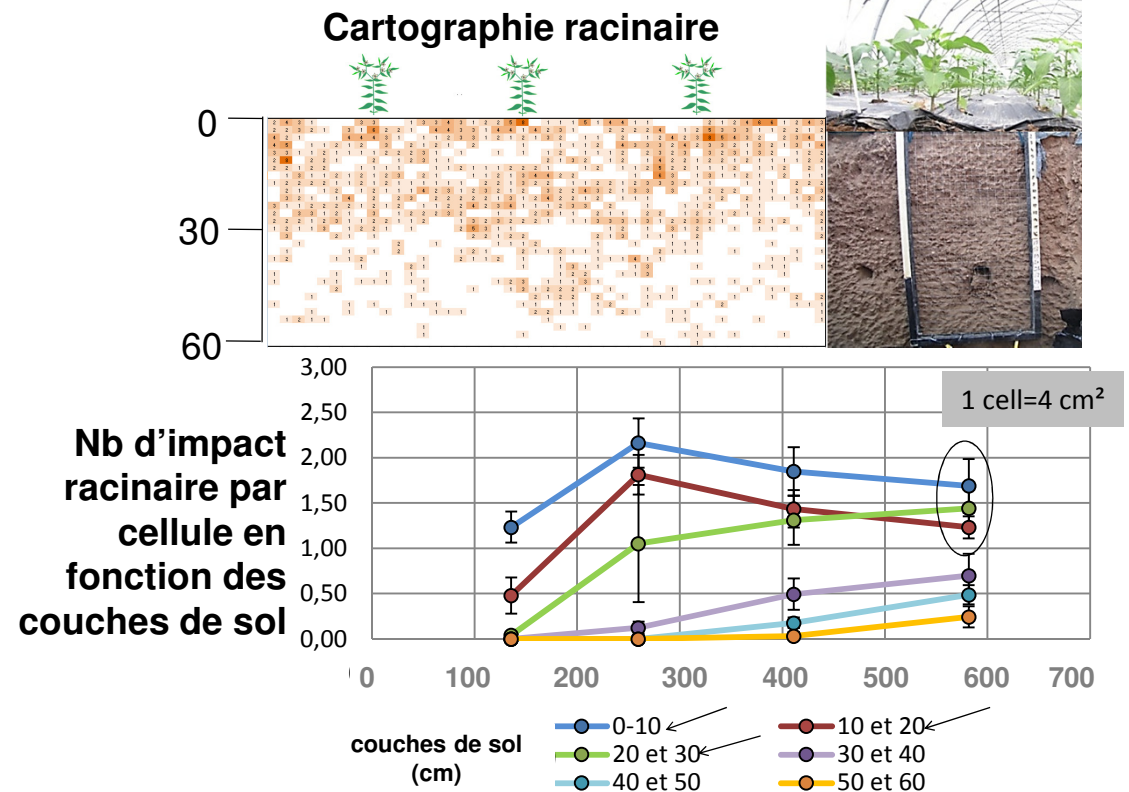
- Bonne valeur agronomique des piments pyramidés comme EV

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



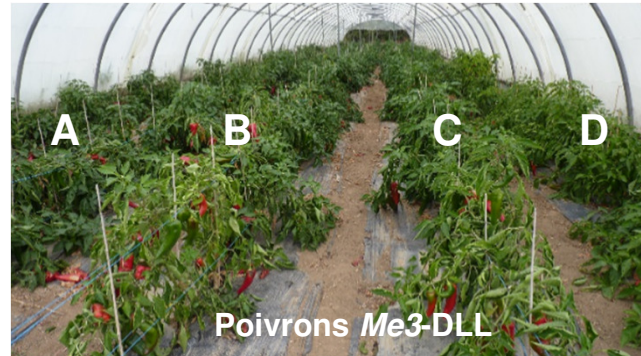
- la matière sèche de piment enfouie est équivalente à celle des sorghos utilisés traditionnellement

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



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

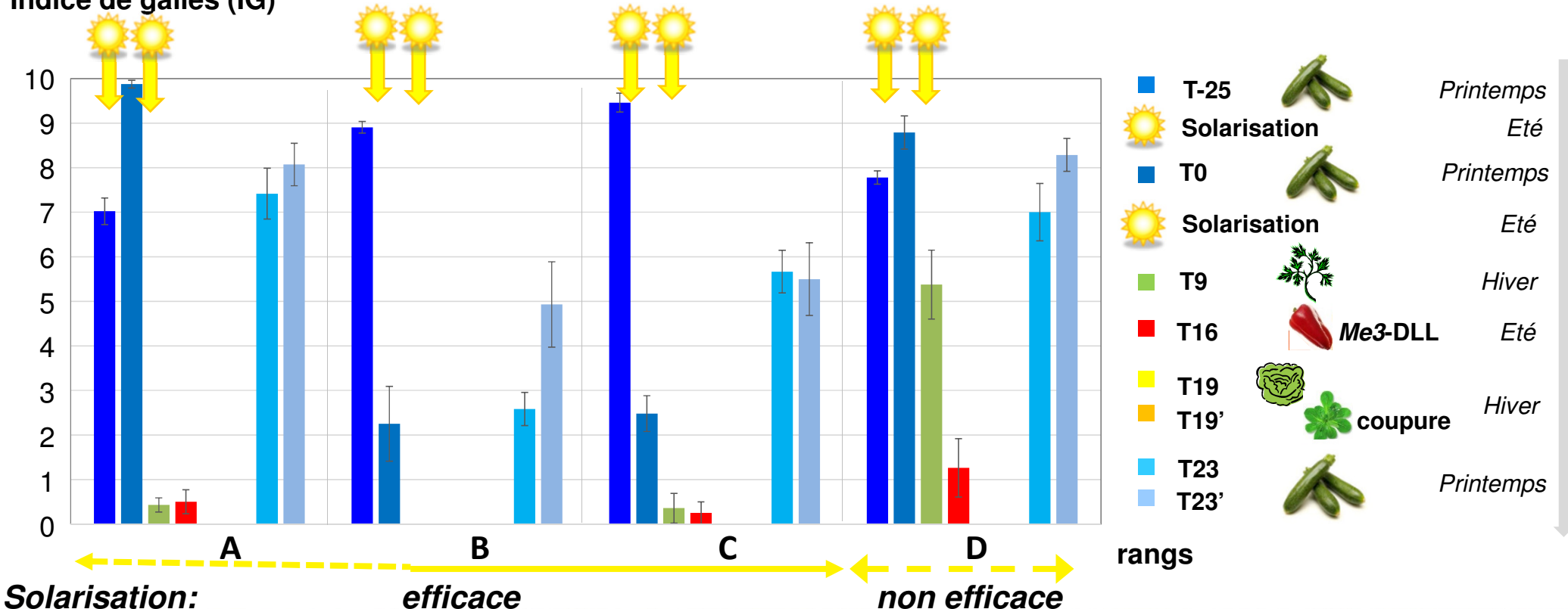




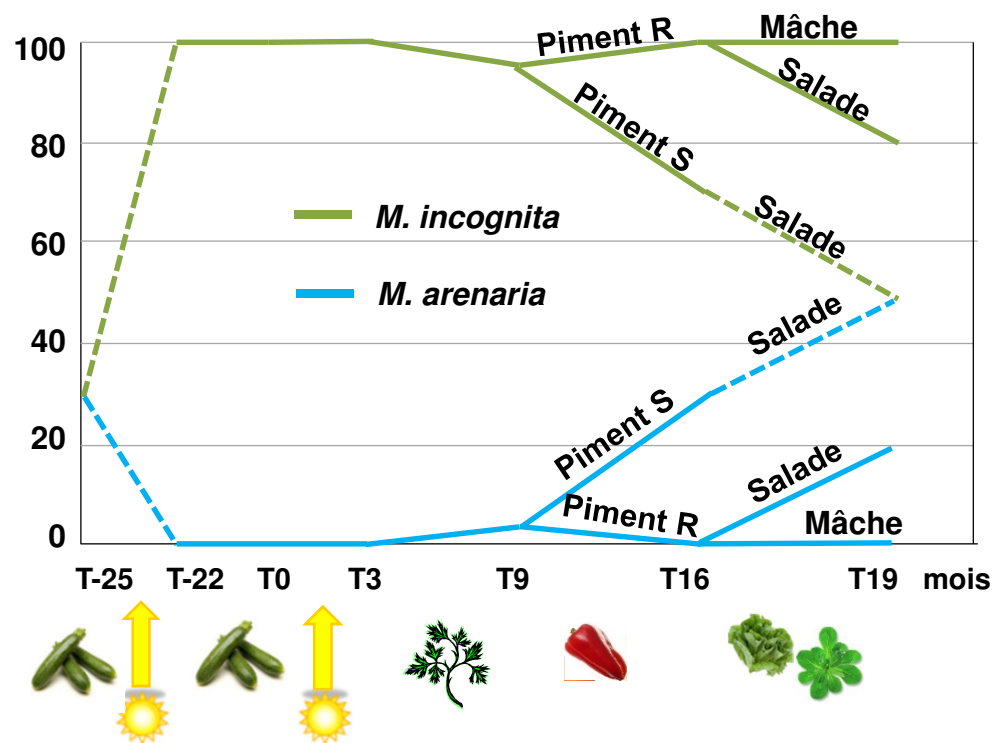
➤ **Protection des piments résistants :**  
la solarisation peut être efficace

➤ **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)**

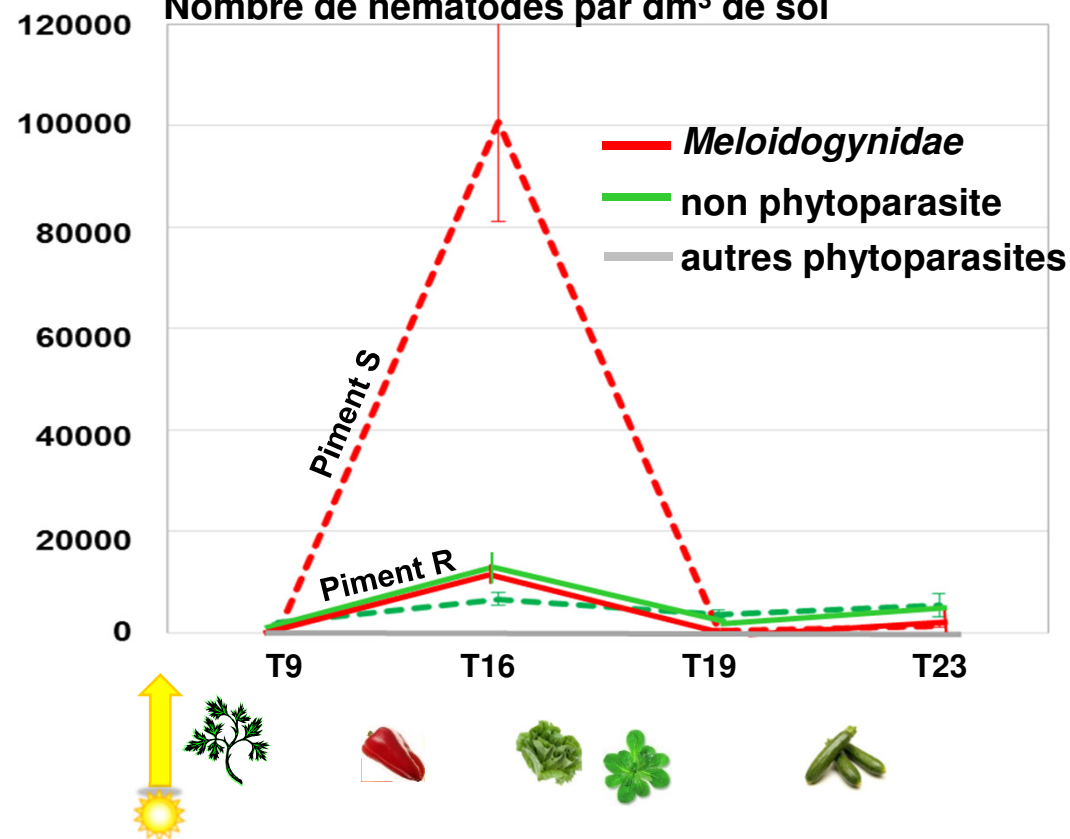


% de chaque espèce de *Meloidogyne*



- 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 dm<sup>3</sup> de sol



- Pas de diversité des communautés de nématodes après solarisation
- quantités de *Meloidogyne* après culture d'été (surtout piment *S*)
- espèces non phytoparasites (saprophytes 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



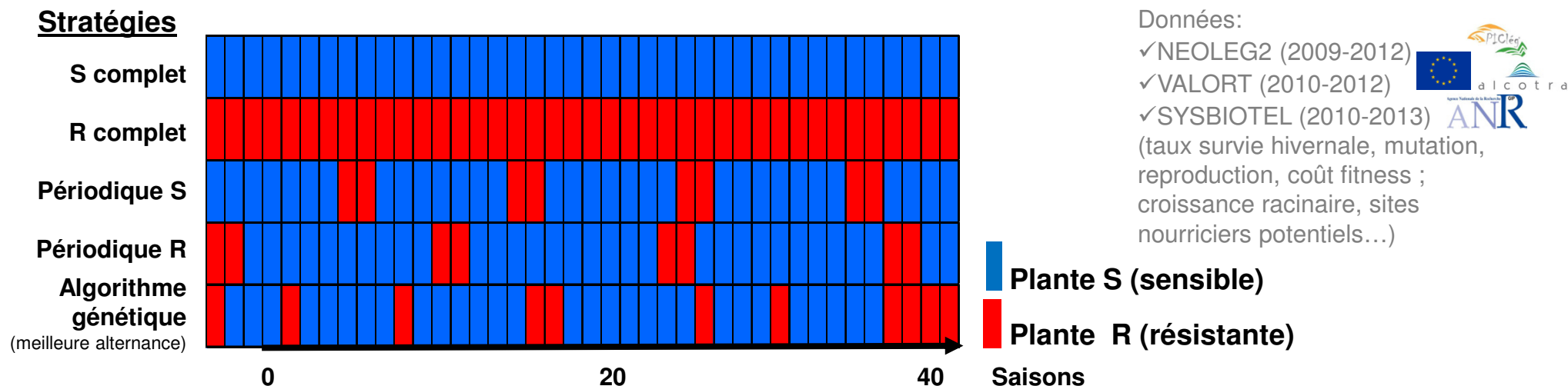
**Contacts : Caroline Djian-Caporalino, Philippe Castagnone-Sereno (INRA Sophia)  
Mireille Navarette (INRA Avignon)**

**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)