



# GEDUNEM: Innovations techniques et variétales pour une gestion durable et intégrée des nématodes à galles dans les systèmes maraichers sous abris

2012-2016

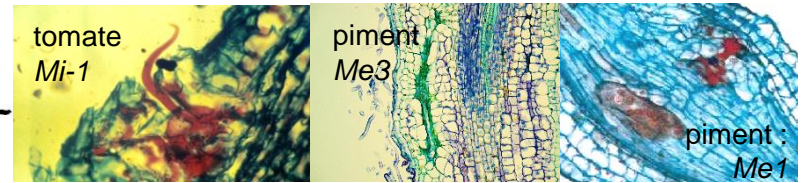
*Métaprogramme INRA SMaCH (Gestion durable de la santé des cultures)*



PACA

Sophia Antipolis: ISA-IPN *Caroline Djian-Caporalino*  
Avignon: Ecodéveloppement *Mireille Navarrete*

# Le contexte



## 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 (*liste EPPO, 2008*) ⇒ lutte obligatoire ou jachère noire !

➤ toxicité des nématicides chimiques



⇒ **restrictions d'usage**

(*MBTOC 2006; EC Directive 1107/2009*)

➤ des techniques alternatives, mais peu efficaces individuellement



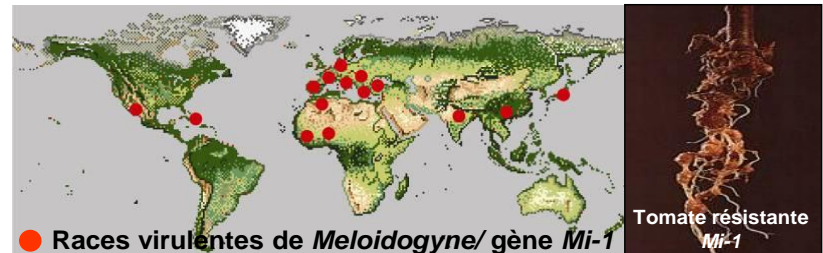
➤ extrêmement polyphages et capacité d'adaptation

## 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



➤ les gènes de *R* peuvent (parfois) être contournés



➤ développement de stratégies de gestion des gènes de *R* limitant les risques de contournement

✓ **Alternance des gènes de *R* dans les rotations**

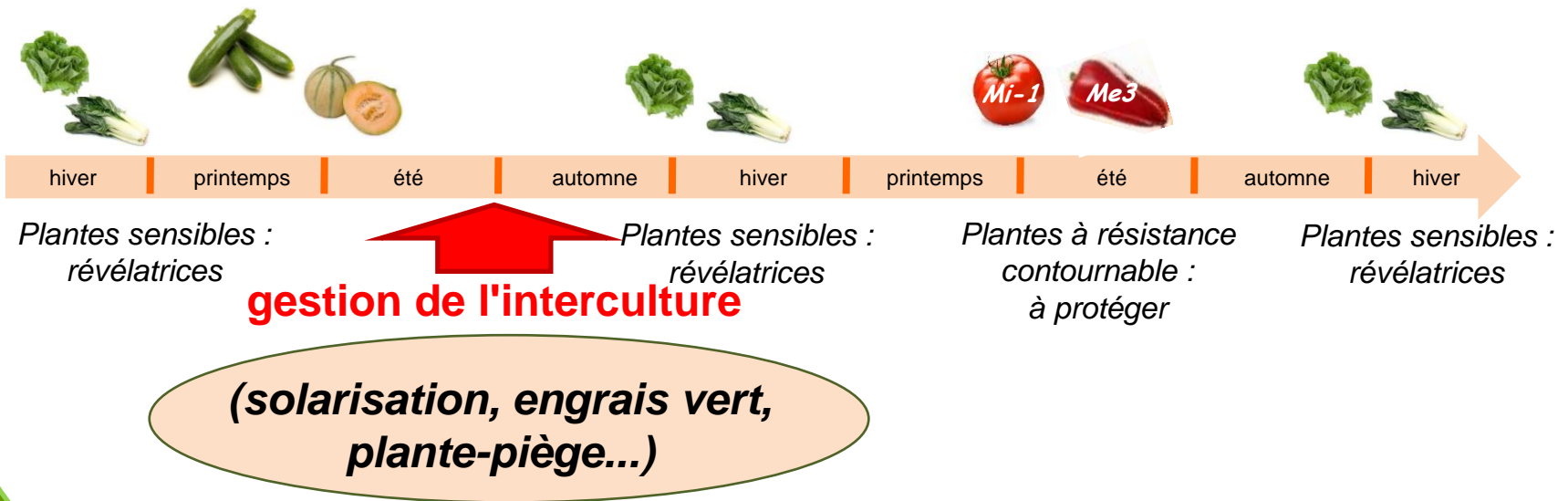
✓ **Pyramiding de 2 gènes de *R* dans un génotype**

(*Djian-Caporlino et al. BMC Plant Biology 2014*)

mais risque toujours présent si pression forte 2/24

# Objectifs GEDUNEM

Proposer et tester sur 4 ans des prototypes de systèmes de culture maraîchers sous abri, co-conçus avec les acteurs RED



augmenter l'efficacité du contrôle et ainsi préserver la durabilité des résistances aux nématodes à galles en minimisant les impacts agronomiques, environnementaux et socio-économiques



# Partenaires et sites GEDUNEM

## 12 Partenaires : approche multidisciplinaire



## 4 sites expérimentaux, suivis sur 4 ans



Alenya (66)

Station  
expérimentale  
INRA



Marguerittes (30)



Lambesc (13)



Six Fours (83)

Sites producteurs suivis par GRAB,  
APREL, Chambre d'agriculture Var



# Principe de construction des systèmes de culture GEDUNEM (INRA Avignon)

Diminuer les nématodes par des techniques alternatives

3 déclinaisons adaptées aux différentes contraintes des exploitations de la zone d'étude :

- **S1** = engrais vert sorgho biofumigant
- **S2** = engrais vert piment résistant (plante-piège)
- **S3** = solarisation + plante mauvais-hôte



# Expérimentation Système S1: engrais vert sorgho biofumigant

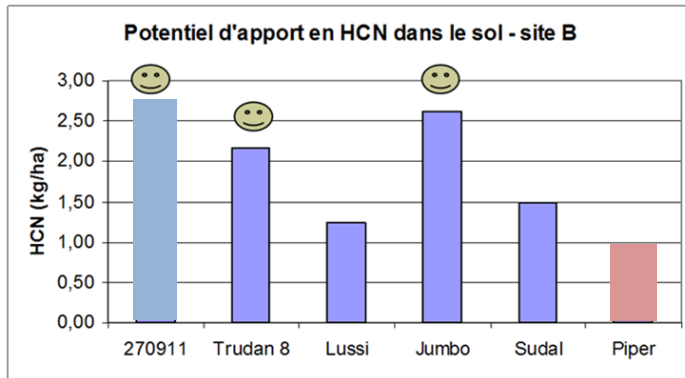


# Potentiel de biofumigation des sorghos (APREL)

Dhurrine = glucoside → HCN (acide cyanhydrique)

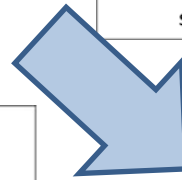
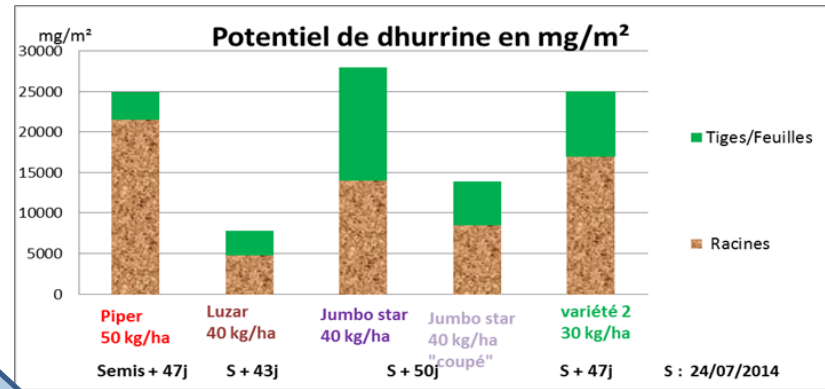
## Richesse en Dhurrine

- variable selon les variétés

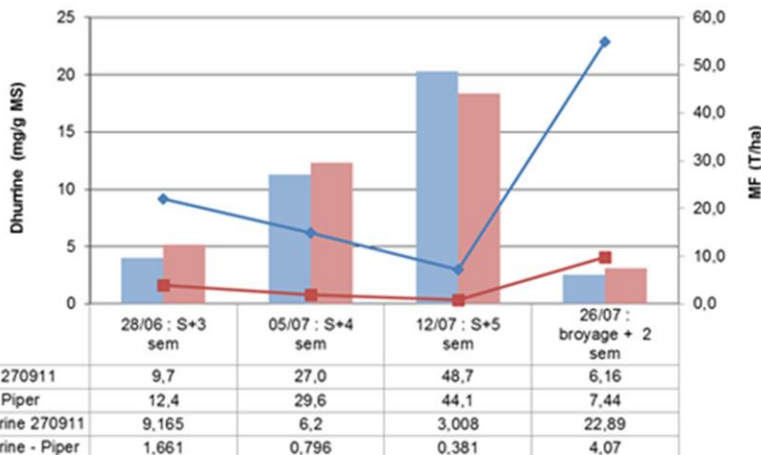


- Variable dans le temps

- Proportions différentes parties aériennes / racines *Ctifl 2015*



Evolution de la MF et des teneurs en dhurrine dans le sorgho (parties aériennes)



## Adaptations techniques à faire pour optimiser l'effet biofumigant du sorgho

- Choix variétal
- Coupe à 3-4 semaines
- Bâchage ?
- Doubles semis



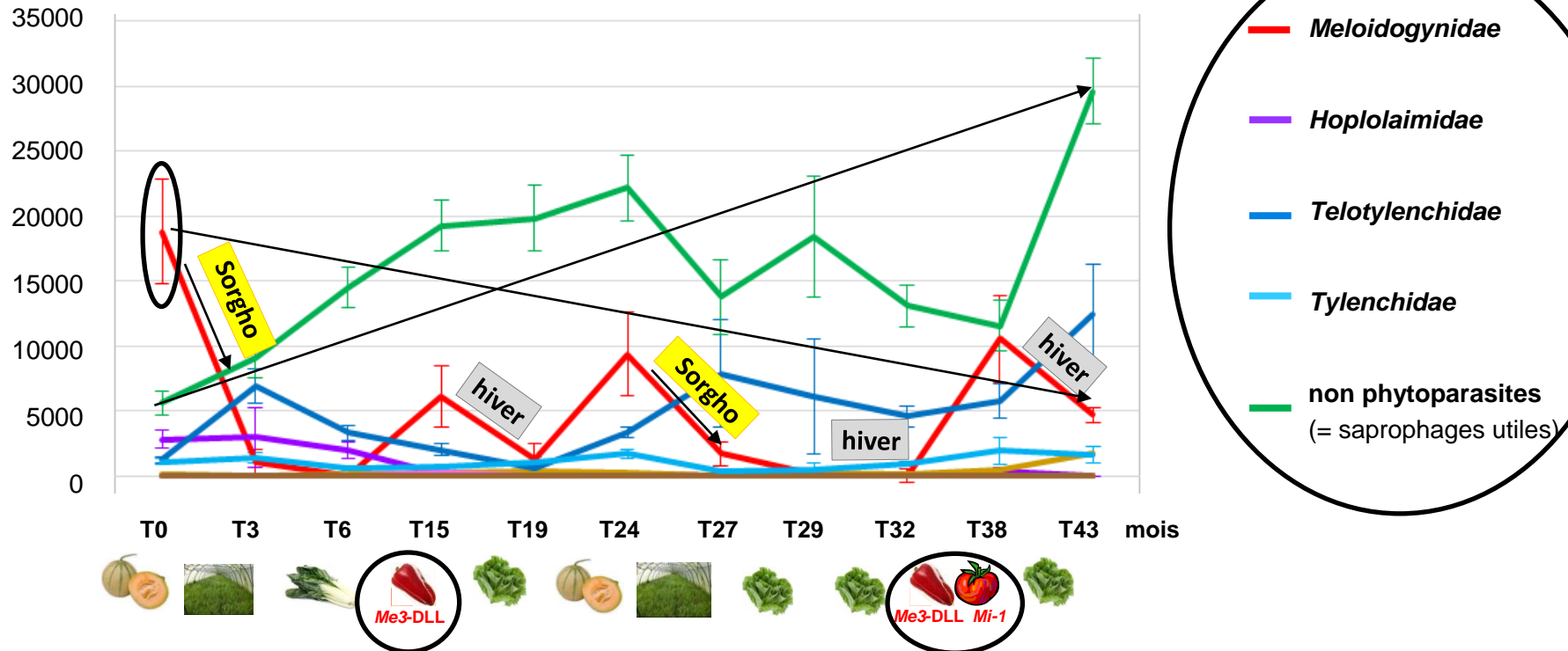




# Systeme S1: engrais vert sorgho biofumigant

## Nombre de nématodes/ dm3 de sol

Parcelle "sorgho Biofumigant"

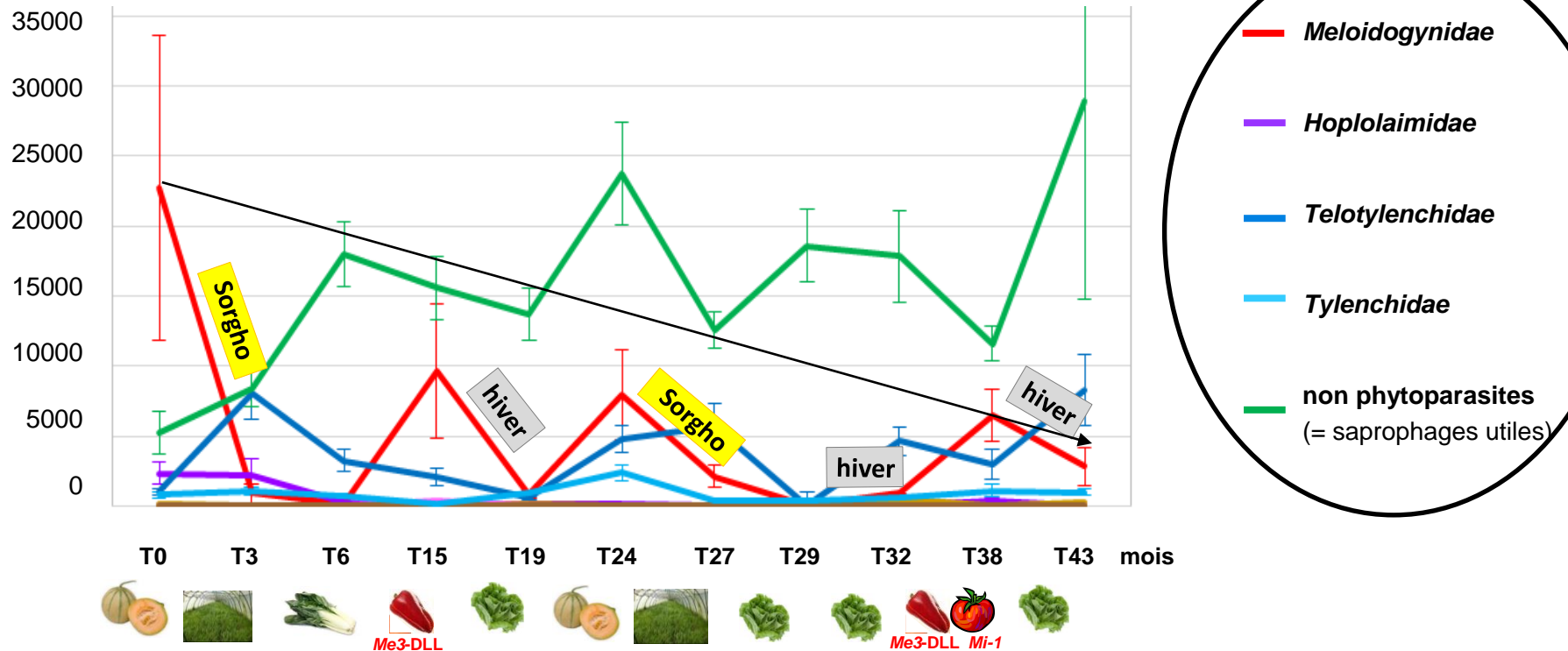


- ~ Forte diminution des *Meloidogyne* avec le sorgho 'biofumigant' broyé après 30 js (>90%)
- ~ Protection des résistances contournables (en été, indice de galle <1 sur échelle 0-10)
- ~ Augmentation notable des espèces non phytoparasites (saprophages utiles)
- ~ Effet durable du système S1 (communauté de nématodes variée et importante)

# Systeme S1: engrais vert sorgho biofumigant

## Nombre de nématodes/ dm3 de sol

Parcelle "sorgho classique Piper"



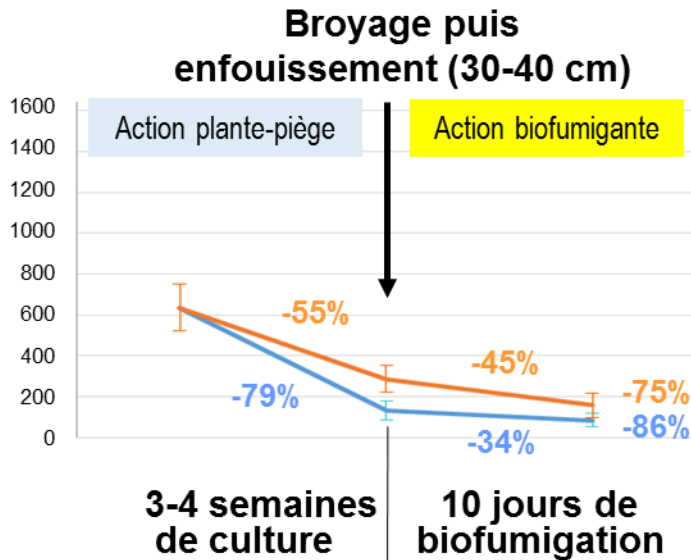
Même évolution avec l'engrais vert 'sorgho classique Piper' broyé à 30 js:  
efficace et durable

# Etude des mécanismes d'action des sorghos (INRA)

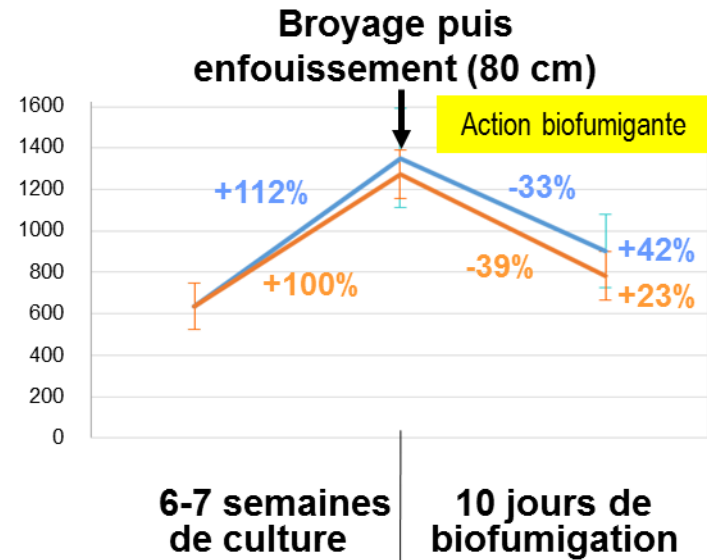
## Variabilité de l'efficacité des sorghos: pourquoi?



### Nombre moyen de nématodes par kg de sol



Sorghos  
Biofumigant  
Piper (classique)



Sorghos mauvais-hôtes => réduction intéressante du nombre de nématodes dans le sol avec les 2 sorghos **uniquement s'ils sont enfouis avant la fin du cycle des nématodes ~ 4 semaines en été** ➡ **Mode d'emploi important !**

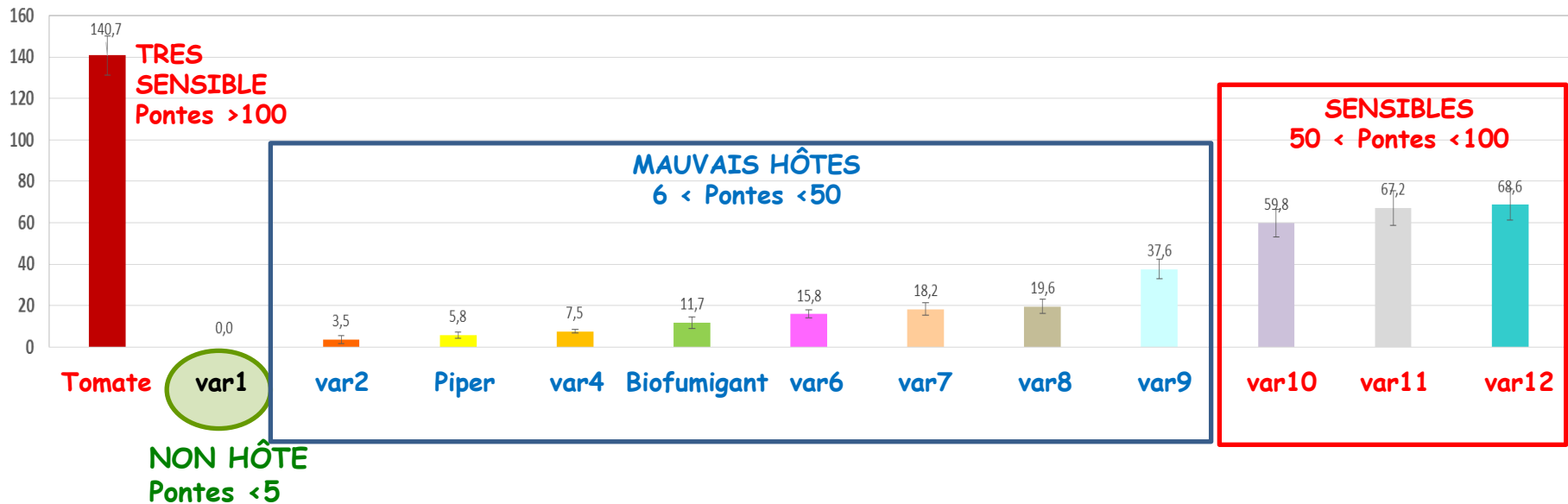


# Etude des mécanismes d'action des sorghos (INRA)



## Qualités d'hôte des Sorghos : tous mauvais-hôtes?

Nbre moyen de pontes/plant (inoculation 600 larves *M. incognita*/plant)



1 seule variété de sorgho véritablement **non hôte** (0 galle et ponte)  
peut être cultivé plus de 4 semaines sans multiplier les nématodes

➔ Effet variétal fort

# Bilan Système S1: engrais verts sorghos

## Intérêt réel du sorgho si bien utilisé:

- ✓ Agronomique
- ✓ Effet assainissant
- ✓ Forte réduction des *Meloidogyne* (semble durable)
- ✓ Protection des piments et tomates à résistance contournable
- ✓ Augmentation des nématodes non phytoparasites (utiles)

(Phytoma La défense des végétaux, n° 698, Novembre 2016, 39-44 )

## Résultats à approfondir :

- ✓ choix variétal,
- ✓ succession de sorghos,
- ✓ intérêt d'autres cultures intermédiaires...



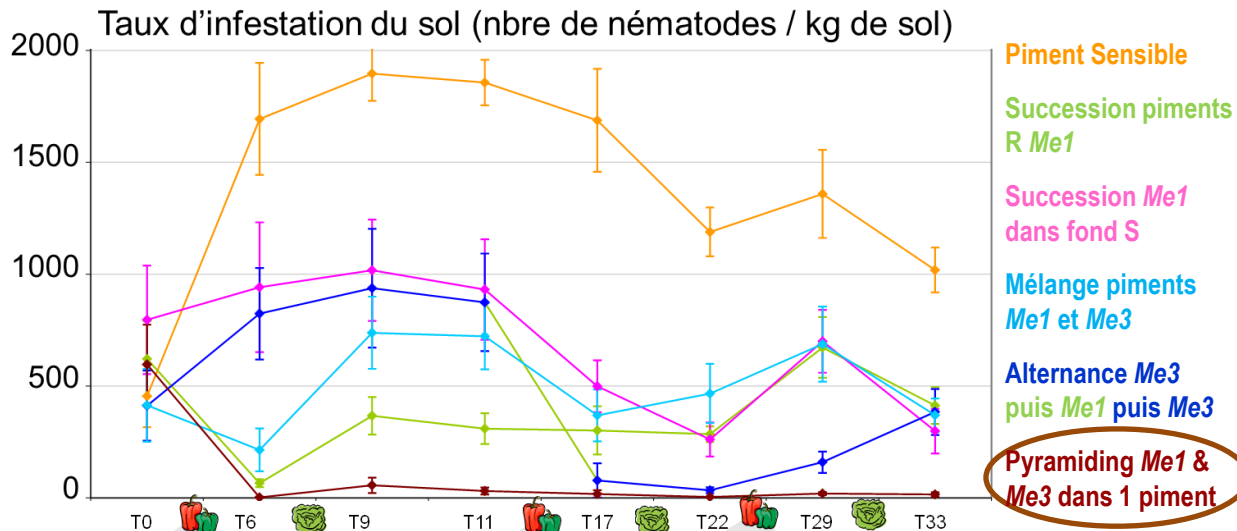
# Expérimentation Système S2: engrais vert piment résistant *Me1/Me3* (innovation plante-piège)





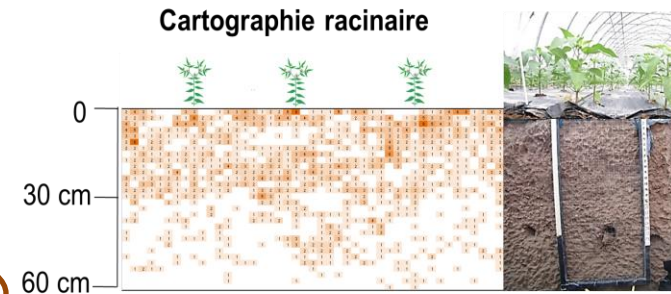
# Potentiel de piégeage des piments résistants (INRA Sophia & Alenya)

## Modalités de gestion des résistances aux nématodes (site expérimental CREAT CA06)



(BMC Plant Biology 14: 53-66, 2014)

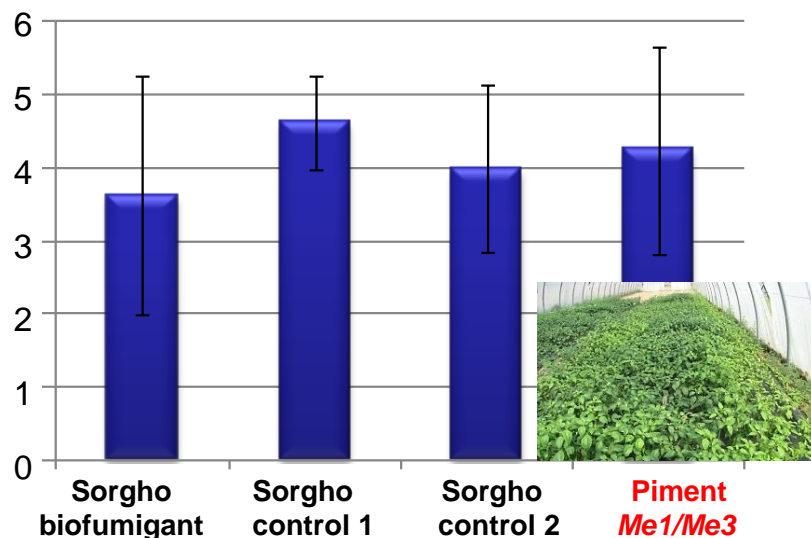
## Potentiel d'enracinement du piment-piège Me1Me3



- ~ Forte diminution des *Meloidogyne* dans le sol avec les piments résistants, en particulier **Me1Me3**
- ~ Bon potentiel de **colonisation du sol par les racines** des piments résistants **Me1Me3** pour piéger les nématodes, jusqu'à 30 cm de profondeur

# Comportement agronomique des piments résistants *Me1Me3* (INRA Alénya)

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*

**2 fois plus d'azote disponible derrière l'EV piment (400 unités) que derrière l'EV sorgho (170 unités)**

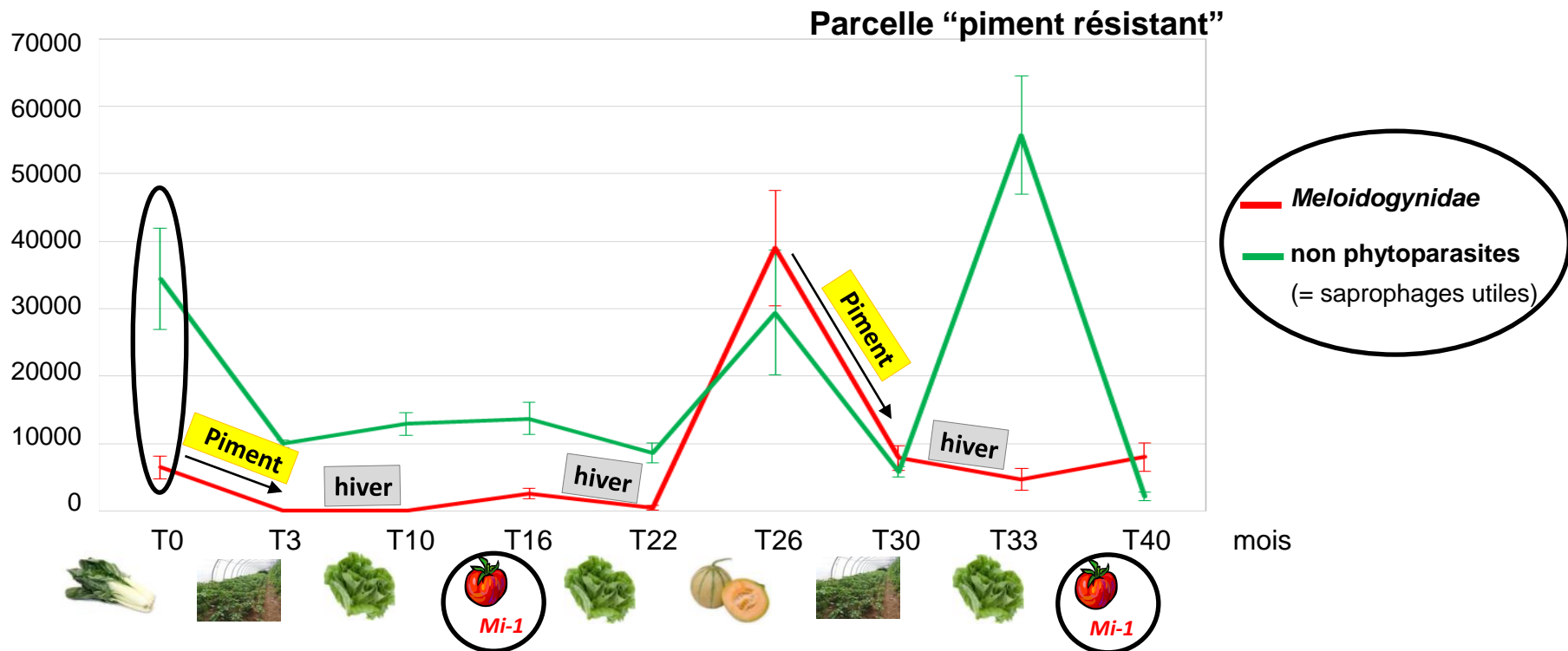
~ Bonne valeur agronomique des piments résistants comme engrais verts





# Systeme S2: engrais vert piment resistant

## Nombre de nématodes/ dm3 de sol



~ Forte reduction des *Meloidogyne* (90%) avec l'engrais vert piment résistant (enfoui après 3 ou 1,5 mois)

~ Réduction des dégâts sur salades et blettes sensibles

~ Protection des résistances contournables (en été, indice de galle <1 sur échelle 0-10)

~ Evolution plus ou moins identique des espèces non phytoparasites et *Meloidogyne*

~ Pas d'action durable quand la diversité des communautés de nématodes est très faible (que des *Meloidogyne* et des saprophages)



# Bilan Système S2: engrais vert piment résistant

## Intérêt réel du piment résistant:

- ✓ **Agronomique** : équivalent à celle du sorgho pour la biomasse
- ✓ **Effet assainissant** : plantes pièges avec un bon potentiel de colonisation du sol par les racines
- ✓ **Forte réduction des *Meloidogyne*** (Agronomy and Sustainable Development, 36:68, Online 2016)
- ✓ **Bonne protection des piments et tomates à résistance contournable**

**Attention: durabilité des systèmes (sorgho et piment)  
seulement si communauté de nématodes variée et importante**



## Résultats à approfondir :

- ✓ Améliorer la culture du piment en engrais vert (densité, paillage....)
- ✓ Coût des semences (piment en engrais vert)





# Expérimentation Système S3: solarisation en été 1 an/2 et plante mauvais-hôtes (MH) en hiver



# Systeme S3: solarisation et plante mauvais-hôte

## Marguerittes (Nîmes)

|           | 2012       |              |   |   |   |   |   |        |   |   |   |   | 2013 |                    |   |   |   |   |   |                 |           |   |   |   | 2014 |   |              |                     |   |   |   |   |   |                    |   |   | 2015 |   |   |                 |   |   |   |   |   |   |   |  | 2016 |  |
|-----------|------------|--------------|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|------|--------------------|---|---|---|---|---|-----------------|-----------|---|---|---|------|---|--------------|---------------------|---|---|---|---|---|--------------------|---|---|------|---|---|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|--|------|--|
|           | A          | M            | J | J | A | S | O | N      | D | J | F | M | A    | M                  | J | J | A | S | O | N               | D         | J | F | M | A    | M | J            | J                   | A | S | O | N | D | J                  | F | M | A    | M | J | J               | A | S | O | N | D | J | F |  |      |  |
| S3-Temoïn | Courgette  | Solarisation |   |   |   |   |   | Persil |   |   |   |   |      | Piment R (Me3 DLL) |   |   |   |   |   | Salade sensible | Courgette |   |   |   |      |   | Solarisation | Salade sensible (2) |   |   |   |   |   | Piment R (Me3 DLL) |   |   |      |   |   | Salade sensible |   |   |   |   |   |   |   |  |      |  |
| S3-T3     | Courgettes | Solarisation |   |   |   |   |   | Persil |   |   |   |   |      | Piment R (Me3 DLL) |   |   |   |   |   | Mâche non hôte  | Courgette |   |   |   |      |   | Solarisation | Mâche non hôte (2)  |   |   |   |   |   | Piment R (Me3 DLL) |   |   |      |   |   | Salade sensible |   |   |   |   |   |   |   |  |      |  |

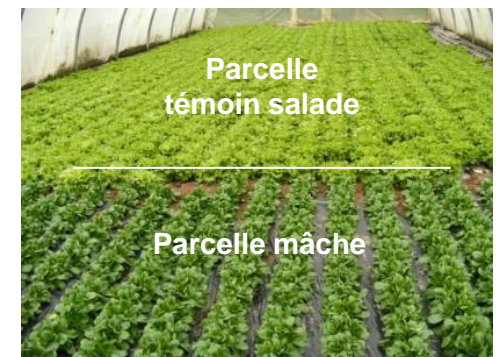


1 tunnel x 480 m<sup>2</sup>

Salade

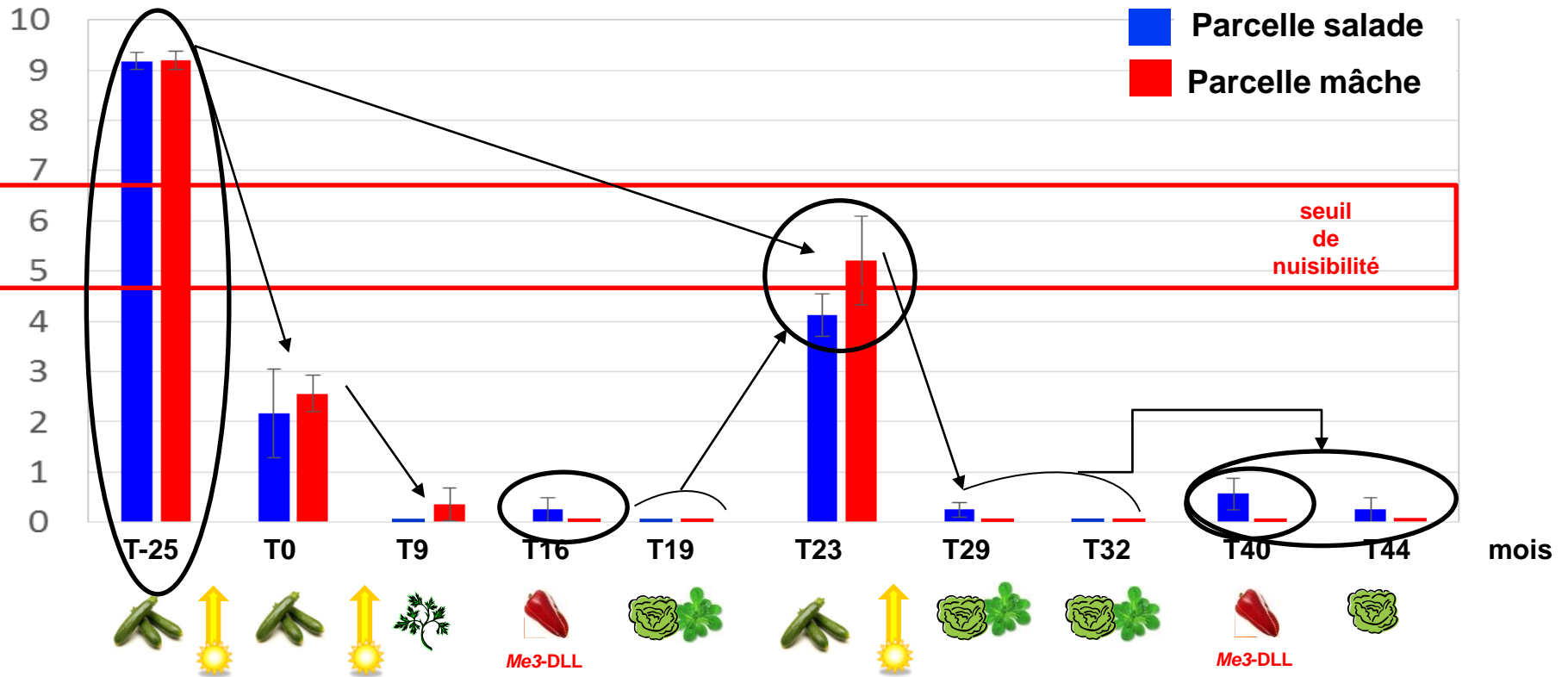
Mâche

- Sol: 15% sable, 21% argile, 40% limon. pH=8,4. C/N=11,2 . MO=2,5%
- ***Meloidogyne incognita* + *M. arenaria***
- **Solarisation** 2 mois août 2010, 2012, 2014 (tous les 2 ans au lieu de tous les ans)
- **Mâches (Trophy)** plantées le 25/11/2013 (trop tardif pour piéger les nématodes)
- **Mâches (Gala et Trophy)** plantées le 08/10/2014



# Systeme S3: solarisation et plante mauvais hôte

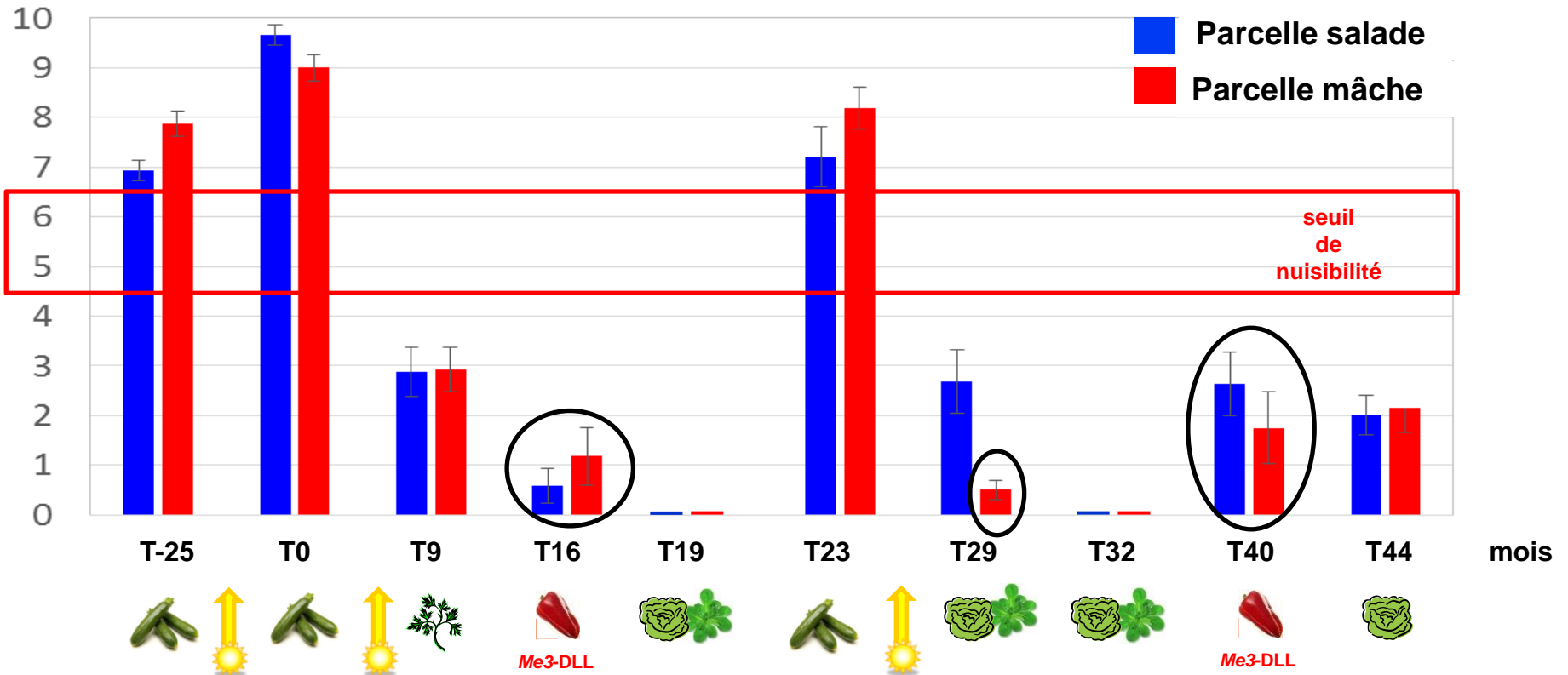
## Indice de galle (échelle 0 à 10) sur rangs centraux



- ~ Courgettes très attaquées au départ (> seuil de nuisibilité)
- ~ Solarisation efficace : réduction de 50% des dégâts sur courgettes / T-25
- ~ Protection des résistances contournables si inoculum réduit par solarisation (IG<1)
- ~ Peu d'effet de la plante mauvais-hôte (mâche) en hiver mais efficace si plantée tôt

# Systeme S3: solarisation et plante mauvais hôte

## Indice de galle (échelle 0 à 10) sur rangs de bordure



- ~ Solarisation non efficace sur rangs de bordure
- ~ Mâche mauvais-hôte et pas non hôte (attaquée) sur rangs de bordure
- ~ Résistance des poivrons contournée si inoculum trop important (mauvaise désinfection)



# Systeme S3: solarisation et plante mauvais hôte

## Intérêt réel de la solarisation:

- ✓ Effet assainissant (rangs centraux)
- ✓ Forte réduction sur *Meloidogyne* (rangs centraux)
- ✓ Bonne protection des piments à résistance contournable et des cultures suivantes si bonne désinfection
- ✓ Pas d'effet très fort sur nématodes non phytoparasites (utiles)
- ✓ Peu de diversité de la nématofaune sur ce site: solarisation?



## Plante non hôte ou mauvais hôte en hiver:

- ✓ Peu intéressant si le cycle est stoppé (plantation tardive en hiver)
- ✓ Réduction des *Meloidogyne* avec mâche (mauvais-hôte)



## Résultats à approfondir :

- ✓ Durabilité de l'effet solarisation
- ✓ Recherche d'autres plantes mauvais-hôtes

# Perspectives GEDUNEM

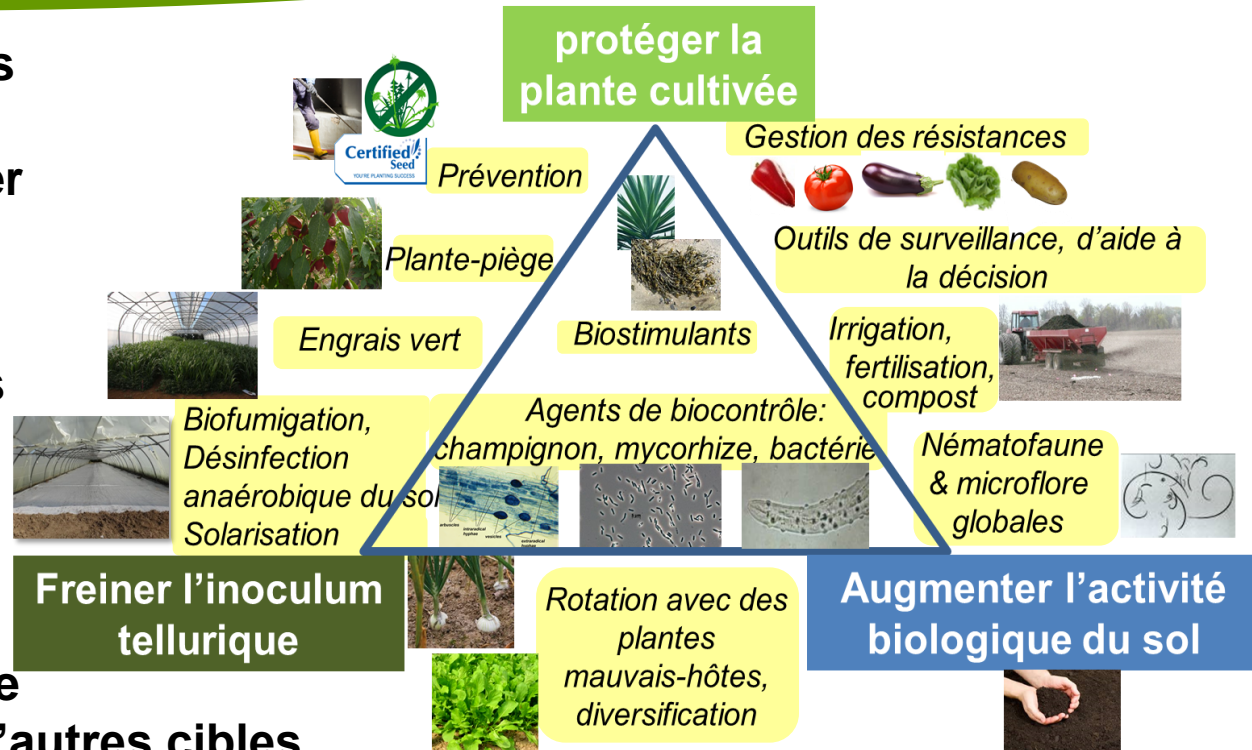
➤ Améliorer ces systèmes sous abris, les tester à nouveau, les disséminer plus largement

➤ Les comparer avec des systèmes plein champs

➤ Introduire de nouveaux leviers agroécologiques

➤ Elargir la problématique nématodes à galles à d'autres cibles

➤ Développer des solutions intégrées innovantes pouvant être adoptées largement en Europe



## Moyens envisagés:

- ✓ Un projet pour monter un **Groupe Opérationnel en PACA** (porté par le GRAB, demande financement européen PEI)
- ✓ Un projet européen en cours de montage (porté par l'INRA, financements européens dépôt C-IPM 2016 et H2020 2017)

# Partenaires GEDUNEM (remerciements)



**Sophia Antipolis**

Caroline Djian-Caporalino, Philippe Castagnone-Sereno,  
Ariane Fazari, Nathalie Marteu

**PACA**

**Avignon**

Mireille Navarrete, Marc Tchamitchian, Arnaud Dufils, Mathilde Chapuis, Claudine Furnion  
Alain Palloix, Anne-Marie Sage-Palloix, Ghislaine Nemouchi, Marion Szadkowski

**Alénya Roussillon** Amélie Lefevre,  
Laure Pares



**Montpellier**

Thierry Mateille,  
Johannes Tavoillot



**St Rémy de Provence**

Claire Goillon, Catherine Taussig



**Avignon**

Hélène Védie

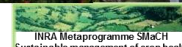


**CA83**

Marie Torres, Jean-Pierre  
Mesguen, Isabelle Forest

**Producteurs**

Robert Priolio (**Six-Fours**),  
Olivier Arnaud (**Lambesc**),  
Xavier Hevin (**Marguerittes**)



**Pour plus d'info:**

caroline.caporalino@inra.fr,  
mireille.navarrete@inra.fr

<http://www.picleg.fr/Les-Projets-en-cours/Gedunem>





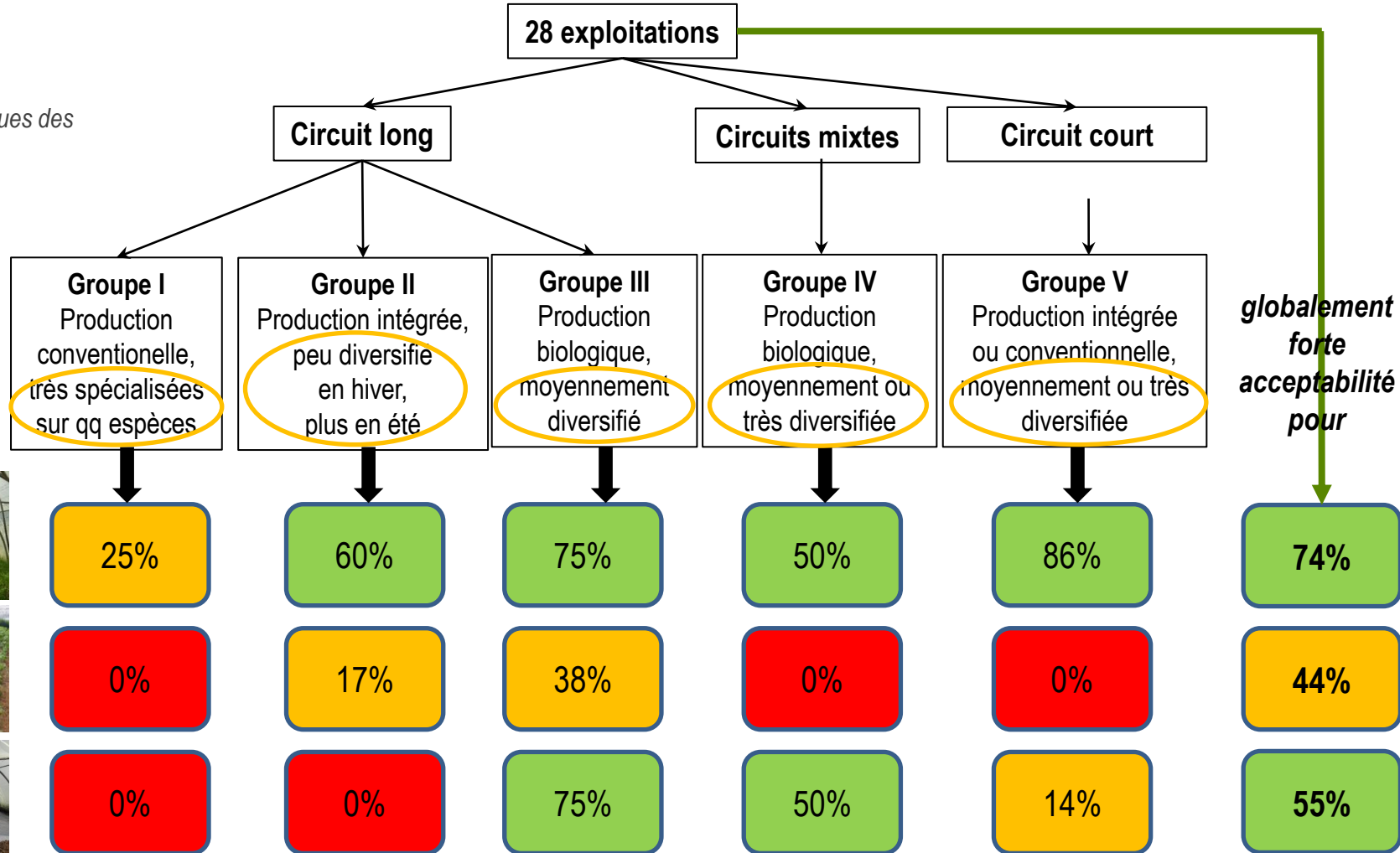
# Résultats de faisabilité des systèmes en exploitation



# Résultats de faisabilité des systèmes en exploitation

% d'agriculteurs jugeant les prototypes acceptables

Caractéristiques des exploitations



(Furnion 2014)

# Résultats de faisabilité des systèmes en exploitation

## Perspectives d'adaptation :

- ✓ **S1: Augmenter l'efficacité**
- ✓ **S2: Réduire le coût tout en gardant une bonne efficacité de piégeage**
  - ✓ **Baisser le coût de la graine + élevage en pépinière**
  - ✓ **Baisser la densité de plantation** : *jusqu'à quel seuil: 8-10 plants/m<sup>2</sup> ?*
  - ✓ **Baisser la fréquence**: *jusqu'à quel seuil: 1 année sur 2 ou 3 ?*
- ✓ **S3: Elargir le panel d'exploitations pouvant le mettre en œuvre**
  - ✓ **Evaluer les risques** en fonction de la sensibilité des espèces/variétés aux nématodes, de la période de culture et du niveau d'inoculum du sol
  - ✓ **Commercialisation**: créer/augmenter les débouchés pour des cultures mineures non hôtes

**Stage** Louise Moulin en 2016 pour avancer sur quelques pistes

# Bilan Système S2: engrais vert piment résistant

## Un itinéraire technique à construire:

### ✓ Semis en **pépinière**

Condition d'élevage :

Levée t° mini 25 °C

Durée 40 jours en avril / 30 jours en juin

240 degrés jours suffisent

### ✓ Plantation à **forte densité** (x 6 / cultures commerciales)

12 plts/m<sup>2</sup> = densité OK. Possible de réduire si durée de culture plus longue?

### ✓ Plantation sur **paillage plastique** (enherbement !)

### ✓ Conduite pour faciliter l'enracinement dense (**irrigation...**)

### ✓ **Enfouissement** au bout de 2 mois



Elevage



Plantation 6-8F



Arrachage 1<sup>er</sup> fruits

## Modalités d'élevage à bas coût: Enquêtes pépiniéristes (2016)

## Coût des semences (piment en engrais vert):

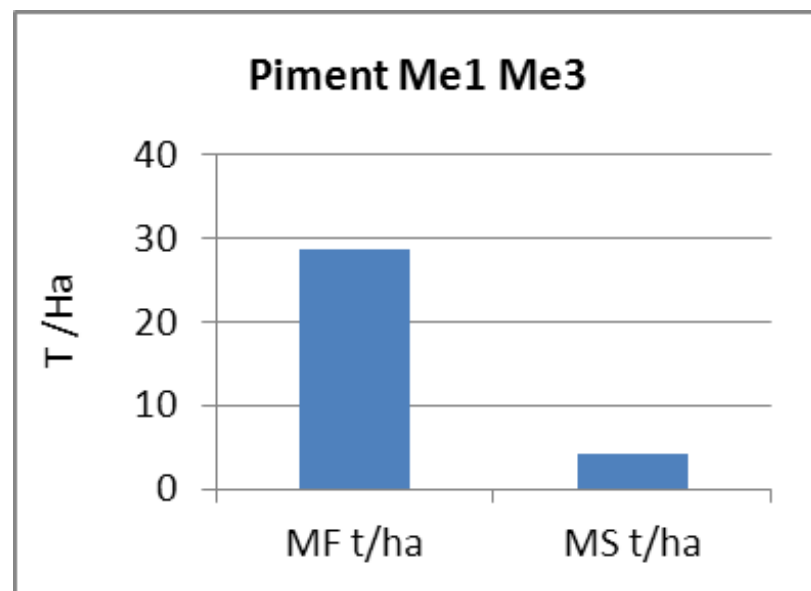
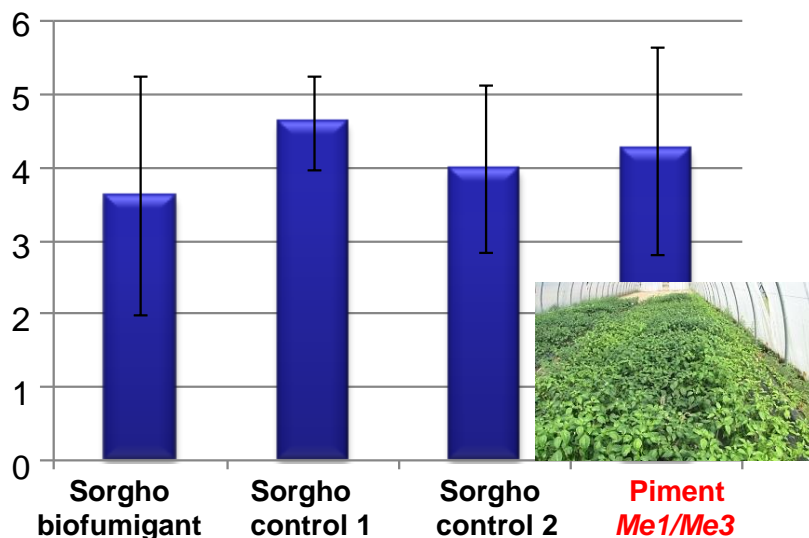
- ✓ **Travail en cours** avec des sélectionneurs pour une semence à moindre coût





# Comportement agronomique des piments résistants *Me1Me3* (INRA Alénya)

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*