



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

2012-2016

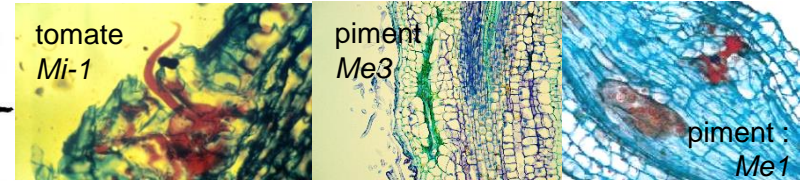
Métaprogramme INRA SMaCH (Gestion durable de la santé des cultures)



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



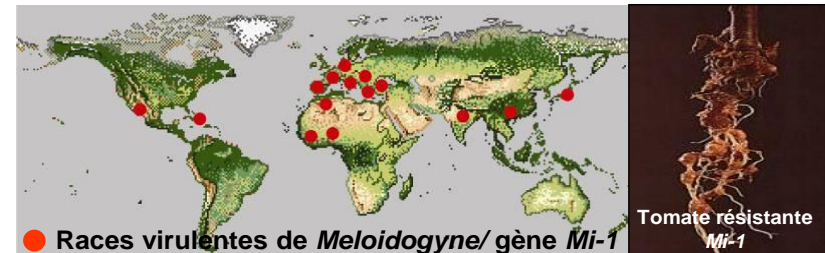
➤ extrêmement polyphages et capacité d'adaptation

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**

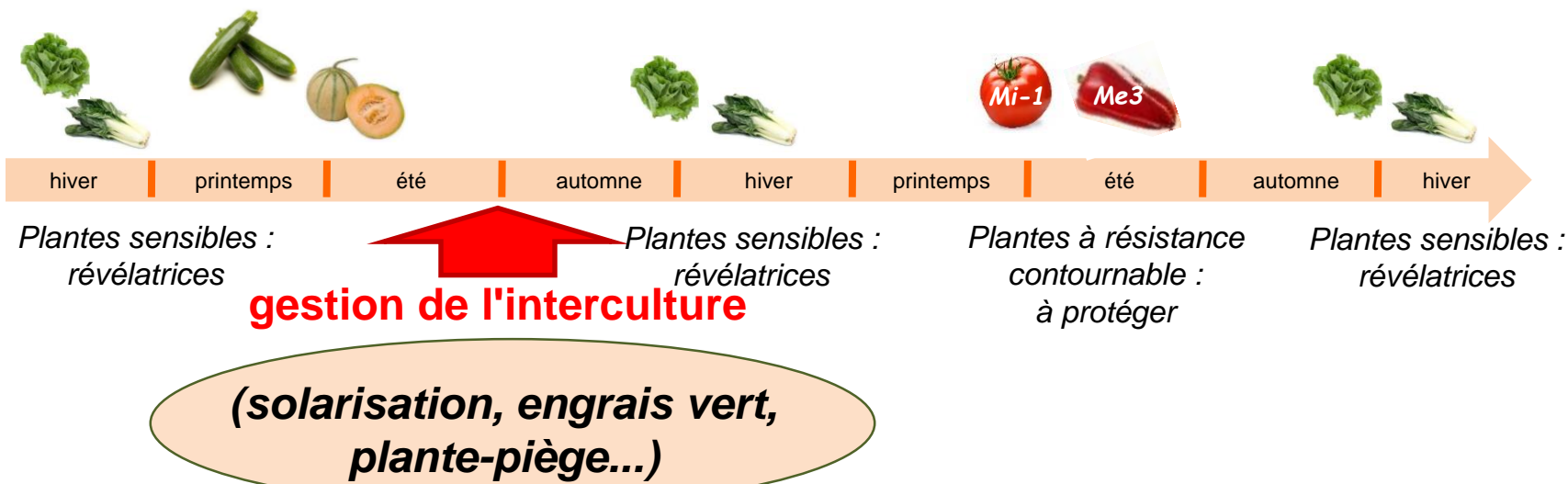
✓ **Pyramiding de 2 gènes de *R* dans un génotype**

(*Djian-Caporalino 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

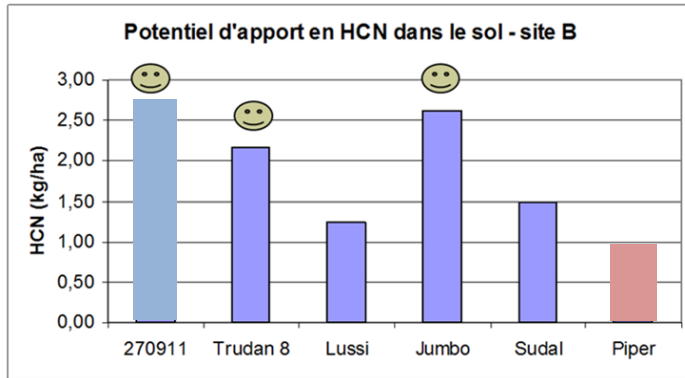


Potentiel de biofumigation des sorghos (APREL)

Dhurrine = glucoside → HCN (acide cyanhydrique)

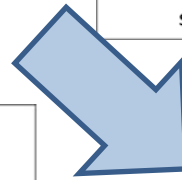
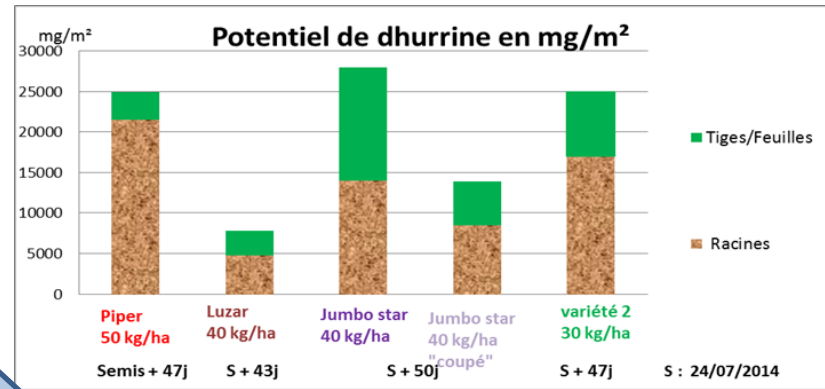
Richesse en Dhurrine

- variable selon les variétés



- Variable dans le temps

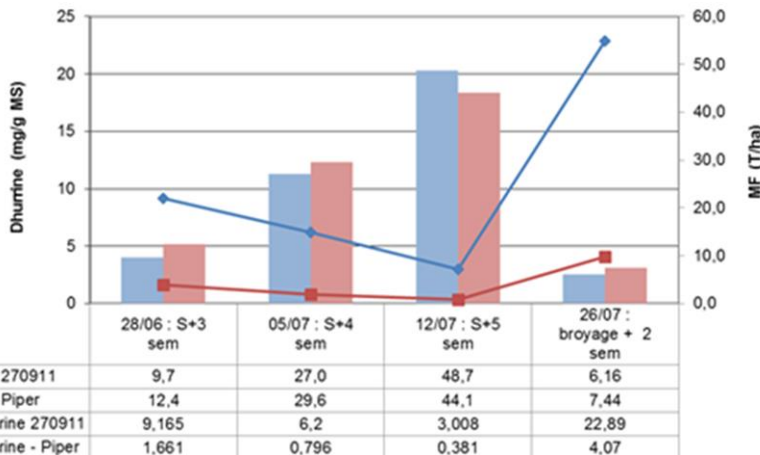
- Proportions différentes parties aériennes / racines *Ctifl 2015*



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

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

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



Systeme S1: engrais vert sorgho biofumigant

Lambesc	2012												2013												2014												2015																																																																																																																																																																																															
	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																																																																																																																																																																																							
S1-Temoïn	Melon				EV				Blettes												Piment R (Me3 DLL)																						Salades																							Melon																			EV Sor																									Piper																									Salades x 2																			Tomate R Mi-1																									Piment R Me3 DLL																									Scaroles																								
S1-T1	Melon				EV				Blettes												Piment R (Me3 DLL)																						Salades																		Melon																		EV Sor																								Nem																									Salades x 2																			Tomate R Mi-1																									Piment R Me3 DLL																									Scaroles																															



1 tunnel 640 m²

- Sol: 37% sable, 11% argile, 22% limon. pH=8,4. C/N=10,2. MO=3,5%
- *Meloidogyne incognita* + *M. arenaria*

Sorgho
biofumi-
gant

2 modalités d'interculture sorgho après culture de melon

2012 : semis fin juillet

2014 : semis mi août

Broyage et enfouissement 30 j après semis (hauteur 1,20 m)
Pas de bâchage

Sorgho
Piper

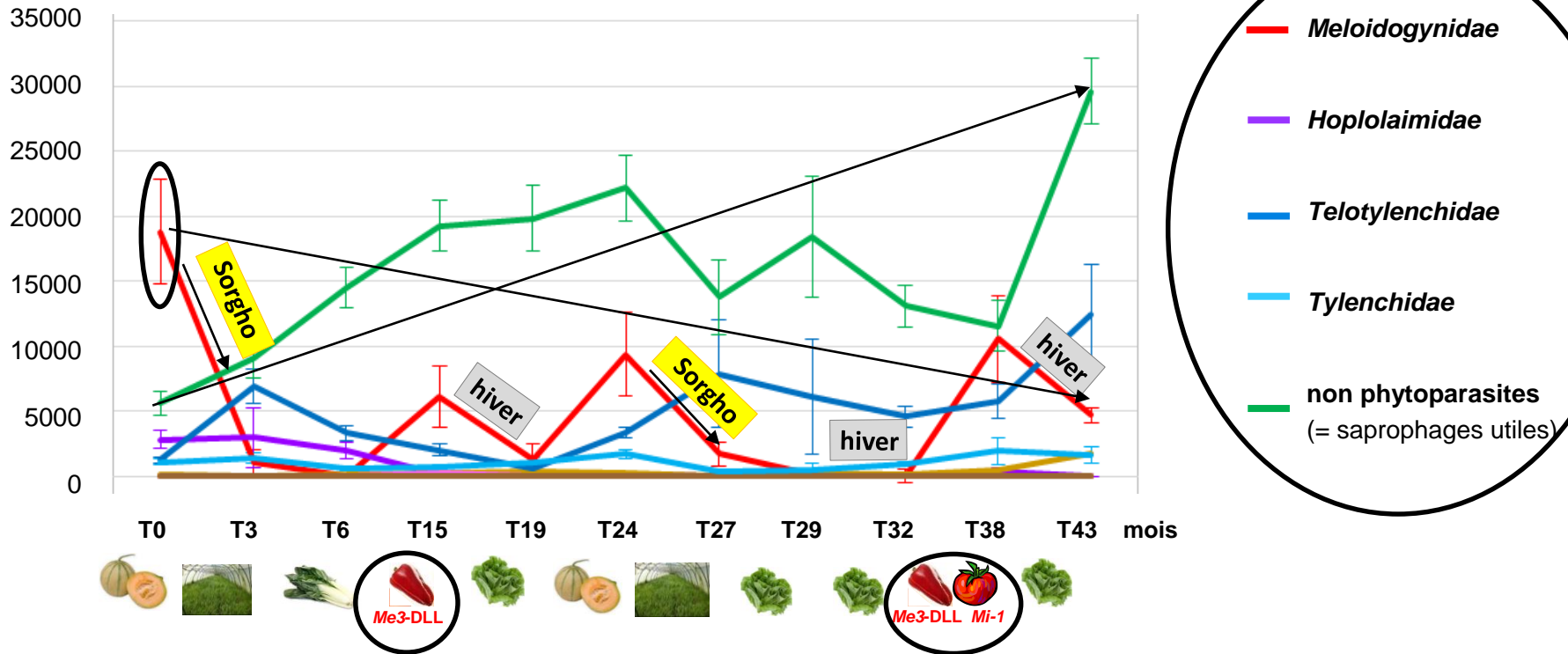
Matière fraîche évaluée entre 25 et 30 t/ha
Aucune galle visible sur les racines de sorgho



Systeme S1: engrais vert sorgho biofumigant

Nombre de nématodes/ dm3 de sol

Parcelle "sorgho Biofumigant"

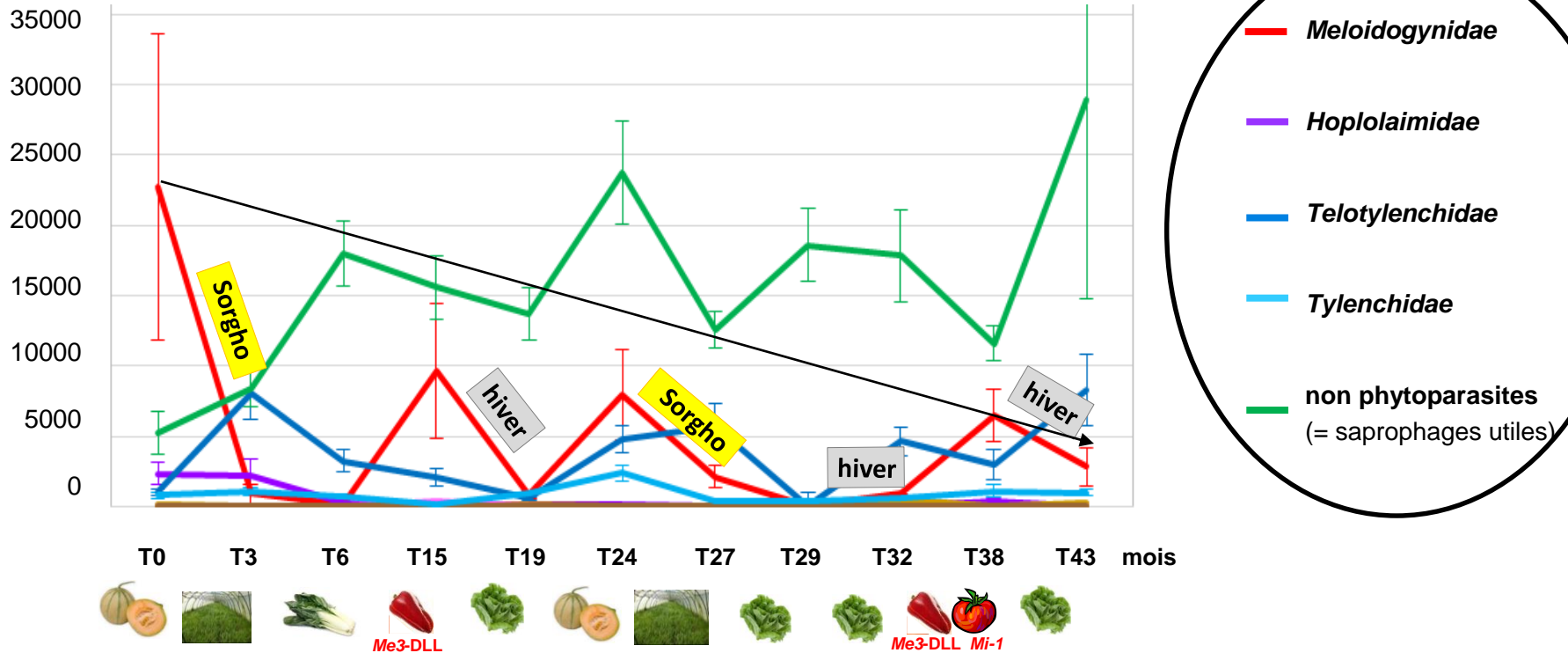


- ~ Forte diminution des *Meloidogyne* avec le sorgho 'biofumigant' broyé après 30 js (>90%)
- ~ Protection des résistances contournables (en été, indice de galle <1 sur échelle 0-10)
- ~ Augmentation notable des espèces non phytoparasites (saprophages utiles)
- ~ Effet durable du système S1 (communauté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

Systeme S1: engrais vert sorgho biofumigant

Nombre de nématodes/ dm3 de sol

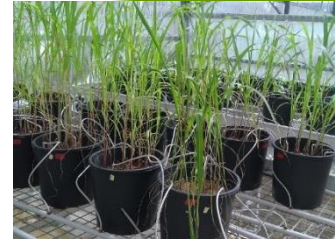
Parcelle "sorgho classique Piper"



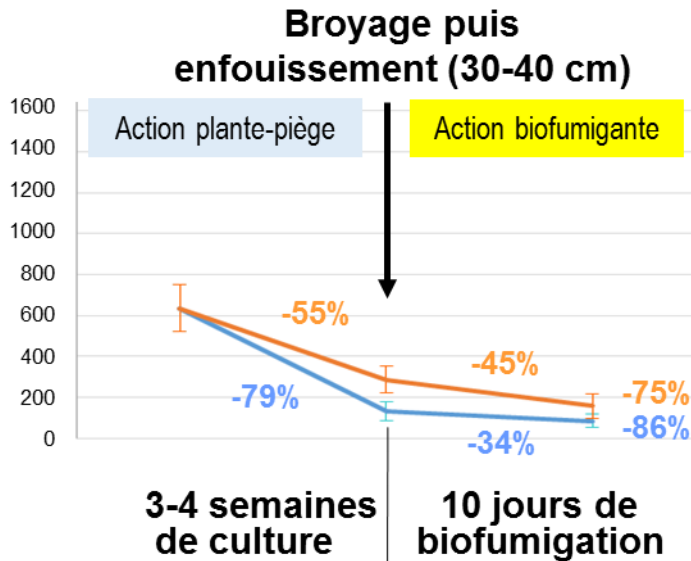
Même évolution avec l'engrais vert 'sorgho classique Piper' broyé à 30 js:
efficace et durable

Etude des mécanismes d'action des sorghos (INRA)

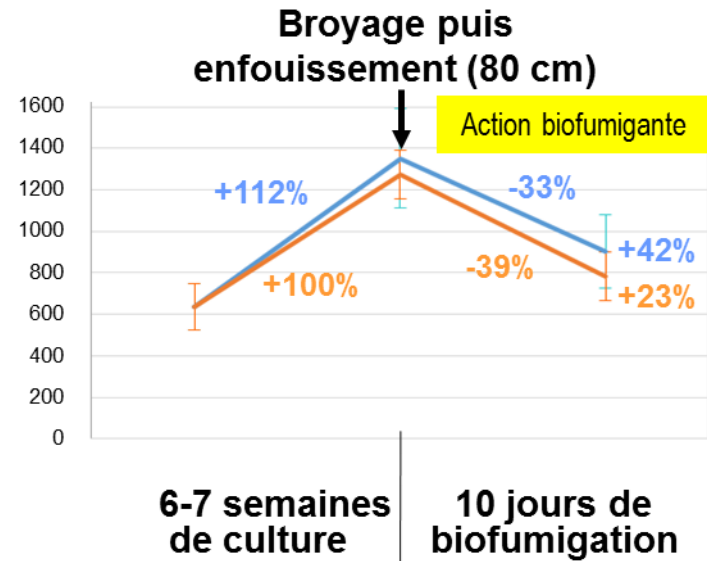
Variabilité de l'efficacité des sorghos: pourquoi?



Nombre moyen de nématodes par kg de sol



Sorghos
Biofumigant
Piper (classique)



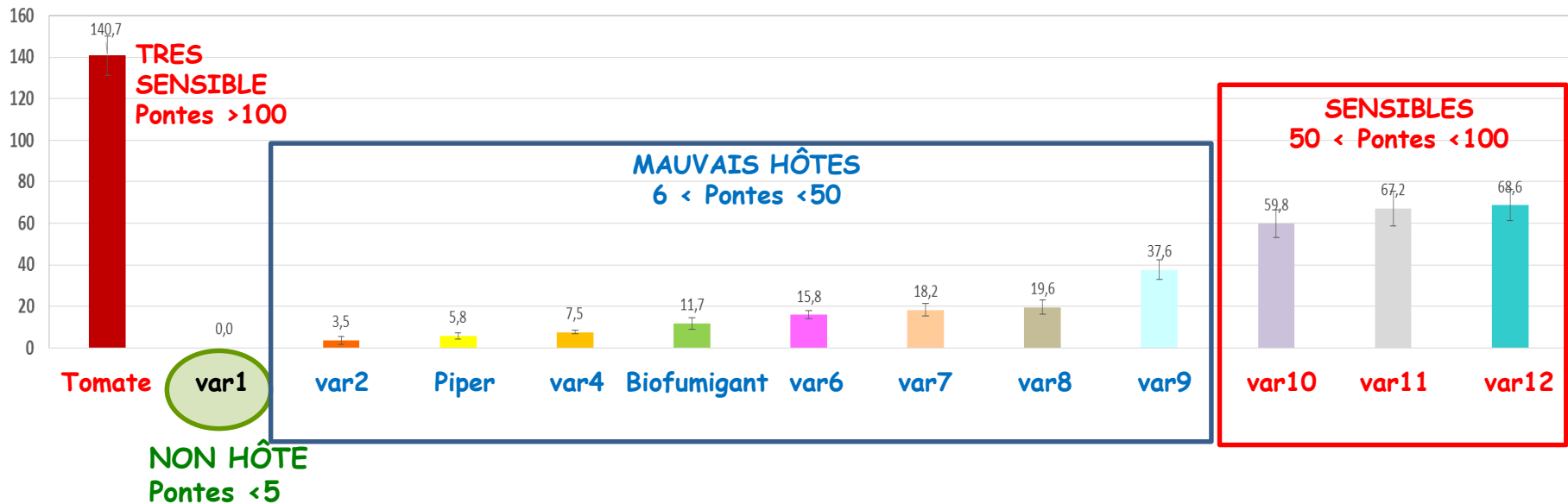
Sorghos mauvais-hôtes => réduction intéressante du nombre de nématodes dans le sol avec les 2 sorghos **uniquement s'ils sont enfouis avant la fin du cycle des nématodes ~ 4 semaines en été** ➡ **Mode d'emploi important !**

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 :

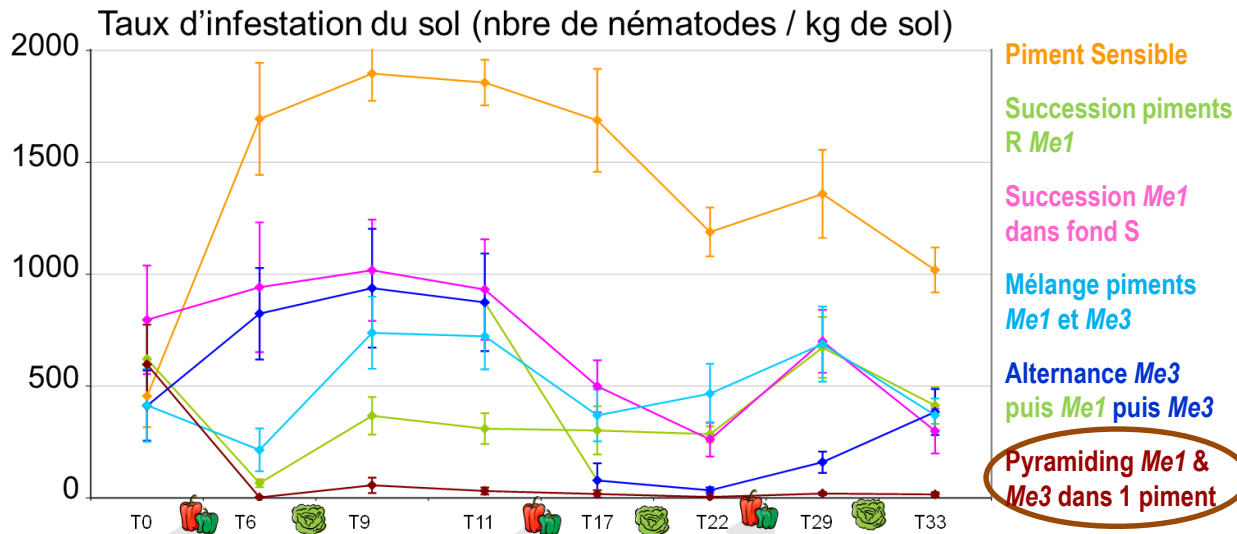
- ✓ choix variétal,
- ✓ succession de sorghos,
- ✓ intérêt d'autres cultures intermédiaires...

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



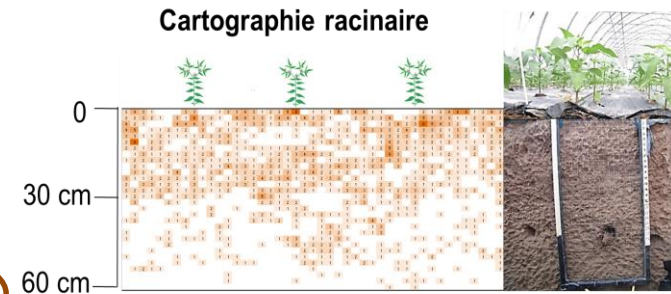
Potentiel de piégeage des piments résistants (INRA Sophia & Alenya)

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*

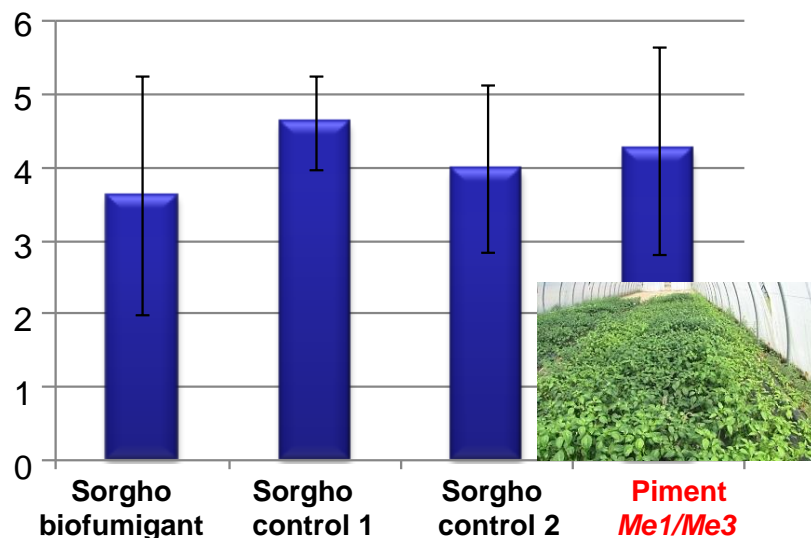


Fort diminution des *Meloidogyne* dans le sol avec les piments résistants, en particulier *Me1Me3*

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

Six-Fours	2012												2013												2014												2015											
	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			
S2-Temoin	Blettes		EV Sor Lussi			Sal1		Sal2							Tomate R Mi-1												Melon		EV Sor Piper		Salades										Tomate R Mi-1		Blettes					
S2-T2	Blettes		EV Piment Me1Me3			Sal1		Sal2							Piment R Me3 DLL													Melon		EV Piment Me1Me3		Salades										Tomate R Mi-1		Blettes				



1 tunnel x 250 m²

- Sol: 44% sable, 20% argile, 22% limon. pH=8,1. C/N=10,5. MO=1,8%

- *Meloidogyne arenaria*

- Semis **sorghos** fin mai en 2012 & mi sept en 2014: 25 kg/ha, enfouis au rotavator après 2 mois en 2012 et 1 mois en 2014 (pas de bâchage)
- Semis **piments résistants F1 [Me1 Me3]** le 27/04/2012, repiquage après 1 mois: 12 plants /m², enfouis après 3 mois (rotavator)
- Semis **piments résistants F1 [Me1 Me3]** le 24/06/2014, repiquage après 2 mois: 12 plants /m² avec paillage plastique, enfouis après 1,5 mois

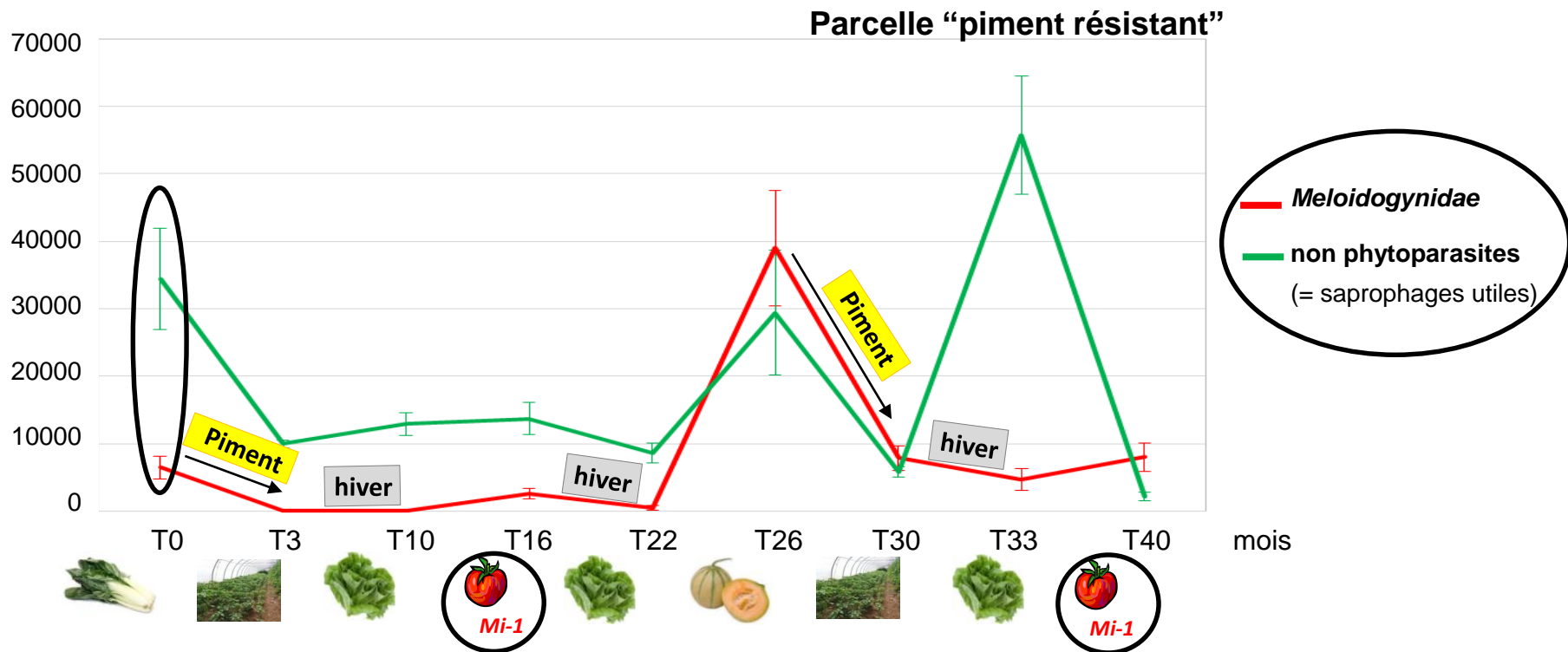


Piment
résistant

Sorgho
Piper

Systeme S2: engrais vert piment résistant

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

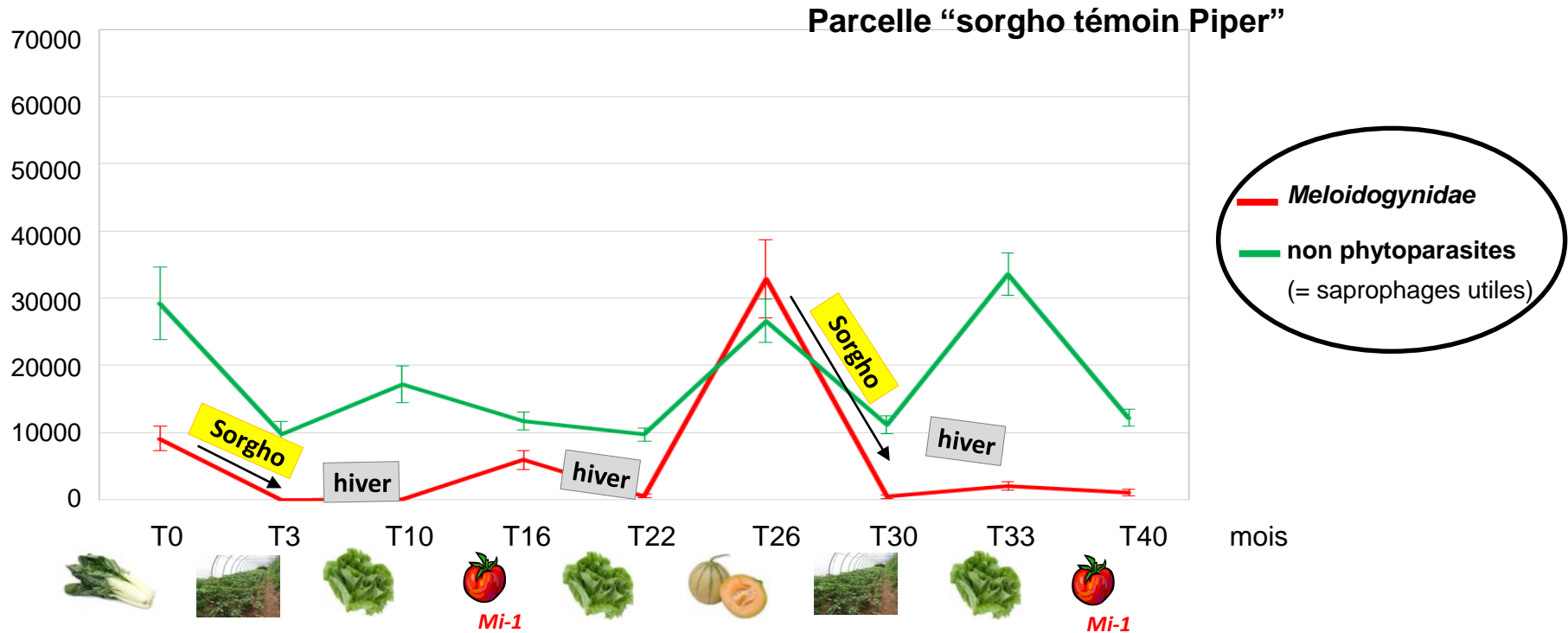
~ Protection des résistances contournables (en été, indice de galle <1 sur échelle 0-10)

~ 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)

Systeme S2: engrais vert piment résistant

Nombre de nématodes/ dm³ de sol



- ~ Même évolution avec l'engrais vert 'sorgho classique Piper' : efficace mais non durable
- ~ Evolution différente par rapport à la parcelle 'sorgho classique Piper' de Lambesc où la diversité des communautés de nématodes variée et importante

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																				

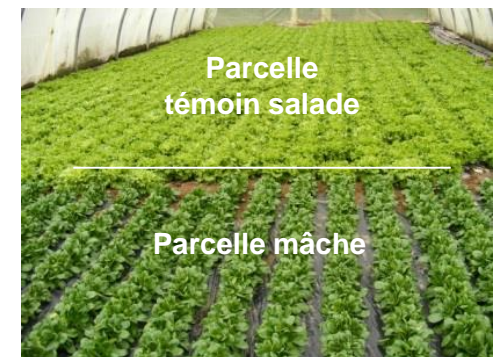


1 tunnel x 480 m²

- 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

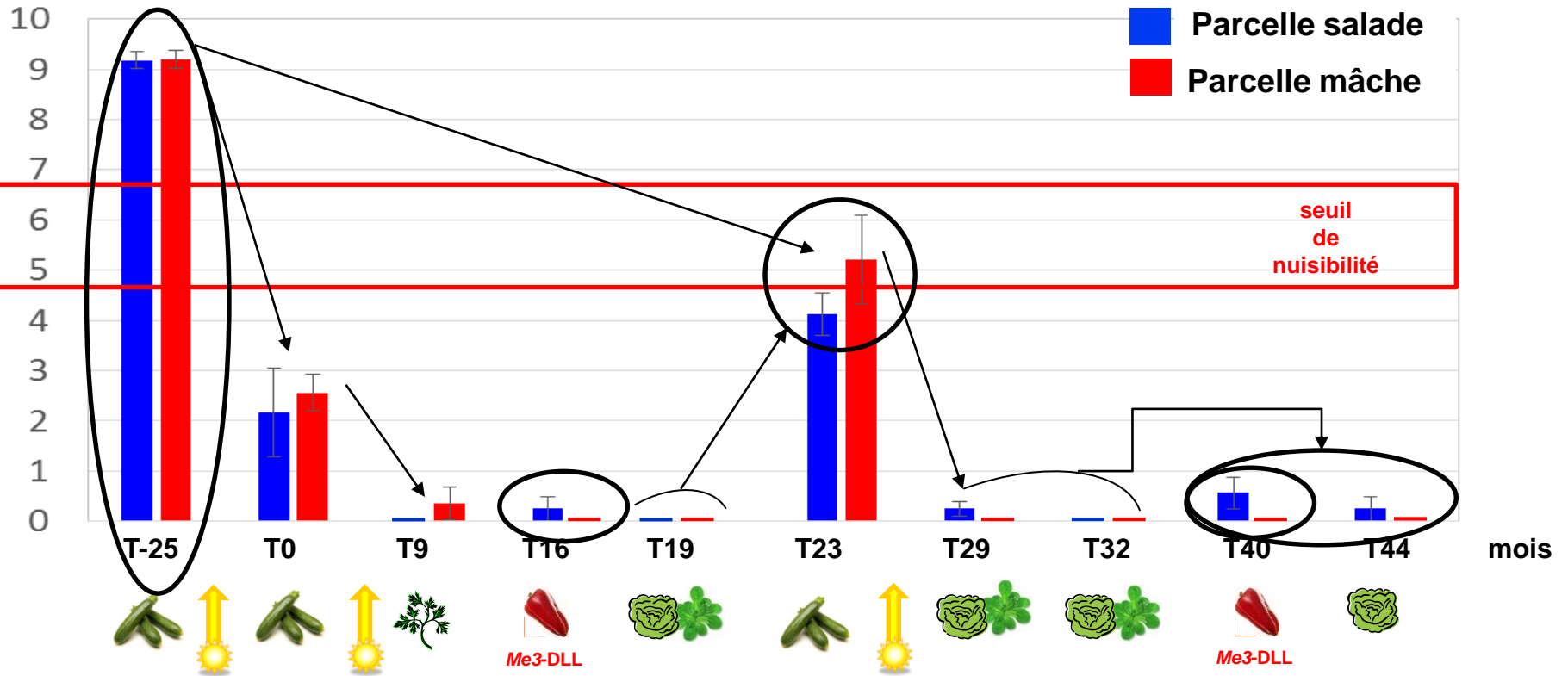
Salade

Mâche



Systeme S3: solarisation et plante mauvais hôte

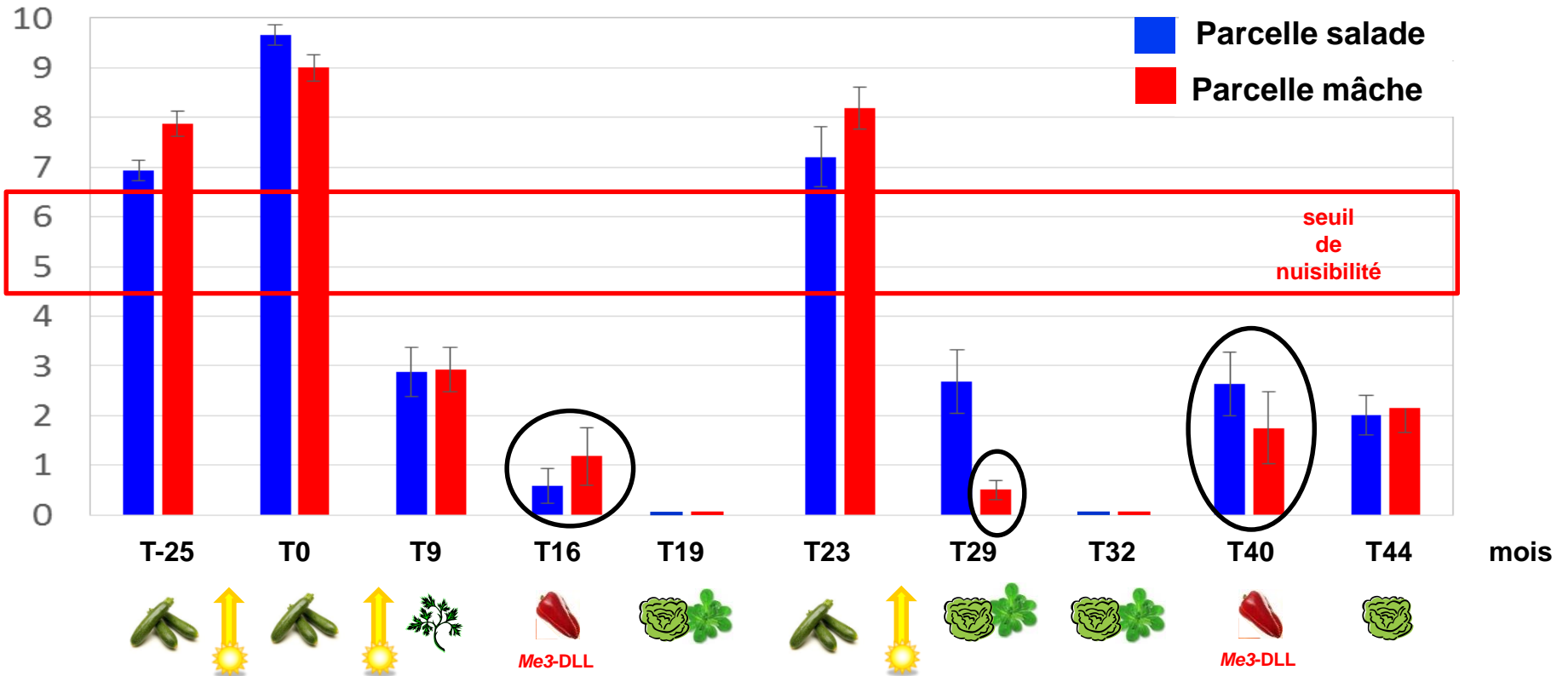
Indice de galle (échelle 0 à 10) sur rangs centraux



- ~ 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

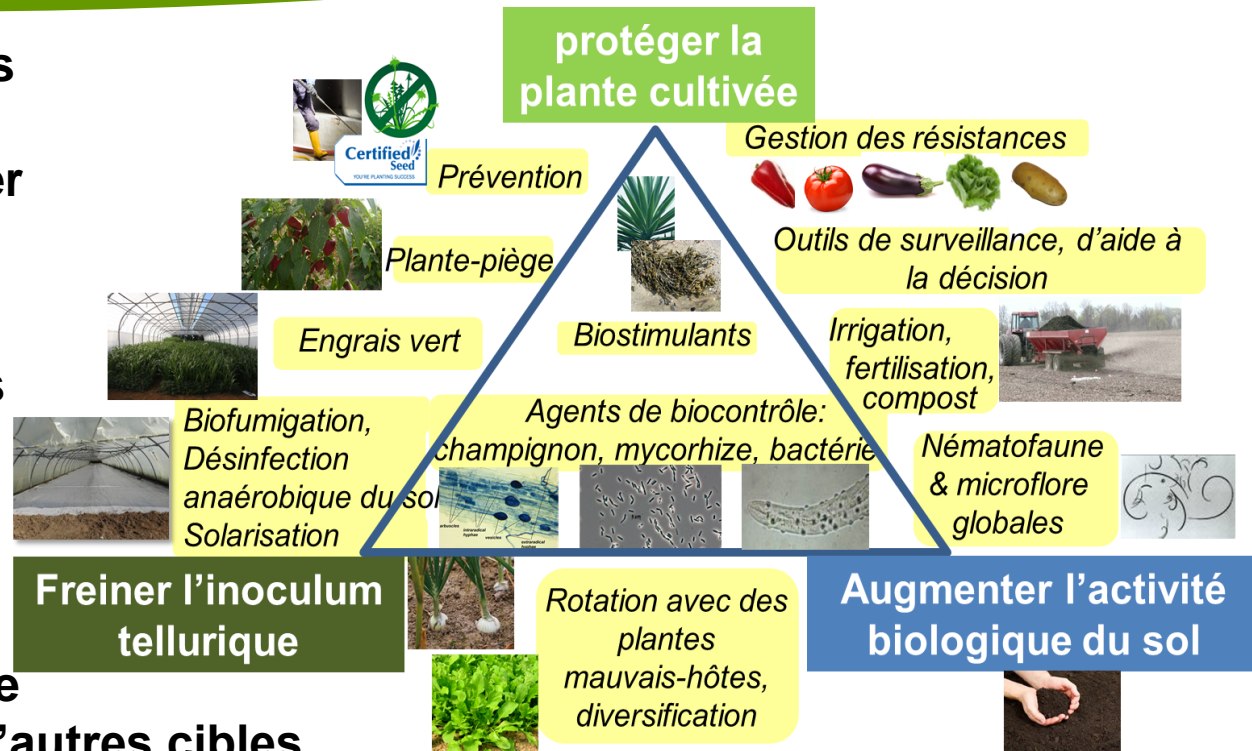
➤ Améliorer ces systèmes sous abris, les tester à nouveau, les disséminer plus largement

➤ 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

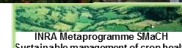


CA83

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>