

GEDUNEM : Innovations techniques et variétales pour une **GE**stion **DU**rable des **NEM**atodes à galles

(03/2012 - 02/2016)

Caroline DJIAN-CAPORALINO¹, Philippe CASTAGNONE¹, et Mireille NAVARRETE²

INRA - ¹UMR1355, SophiaAntipolis - ²UR0767, Avignon



Innovations techniques et variétales pour une GEstion DURable des Nématodes à galles

❖ Coordinateurs du projets, chercheurs et équipes INRA impliqués :

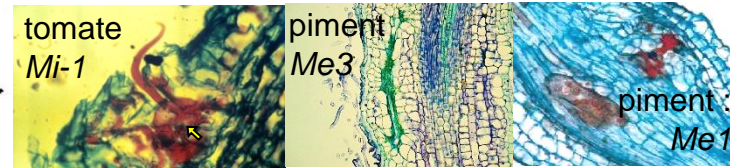
- **Philippe Castagnone & Caroline Djian-Caporalino, SPE_IPN Sophia Antipolis**
- Alain Palloix, BAP_GAFL Avignon
- Mireille Navarrete, Marc Tchamitchian & Arnaud Dufils, SAD_EcoDev Avignon
- Amélie Lefèvre, Laure Pares, SAD_UE Alenya Roussillon



❖ Réseau de partenaires Recherche – Expérimentation – Développement – Profession agricole :



- Thierry Mateille, IRD, CBGP_Ecologie Montpellier
- Claire Goillon & Catherine Taussig, APREL St Rémy de Provence
- Hélène Védie, GRAB Avignon
- Isabelle Forest, Chambre d'Agriculture du Var
- SaadiaTakkou, Nizar Marhoum, Mohamed Oukhouya, société Idyl (Maroc)
- Robert Priolio, Olivier Arnaud & Xavier Hévin, producteurs Sud France



Les nématodes à galles *Meloidogyne* spp.

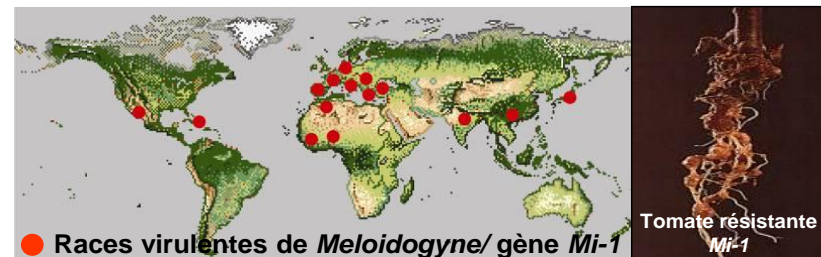
- un problème majeur et en croissance en maraîchage bio et conventionnel surtout dans les zones chaudes et sous abris
- ✓ pertes mondiales : ~ **10% de la production & 100 milliards € / an**, mais + en local
- ✓ SE France > **40% des exploitations touchées**
- ✓ des **espèces de quarantaine** en Europe => 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°C
- les gènes de *R* peuvent (parfois) être contournés



LE CONTEXTE (2/2)

Gedunem

3 projets de recherche :

✓ NEOLEG2 (2009-2012)

✓ VALORT (2010-2012)

✓ SYSBIOTEL (2010-2013)



Conditions contrôlées



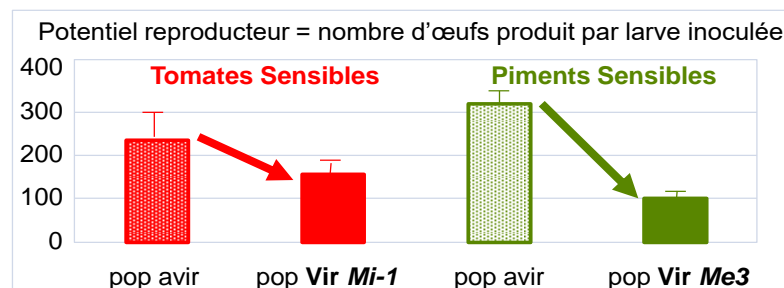
Station expérimentale CA06

RESULTATS



• Spécificité et coût de la virulence

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



• L'efficacité des gènes *Me1* et *Me3* dépend du fond génétique

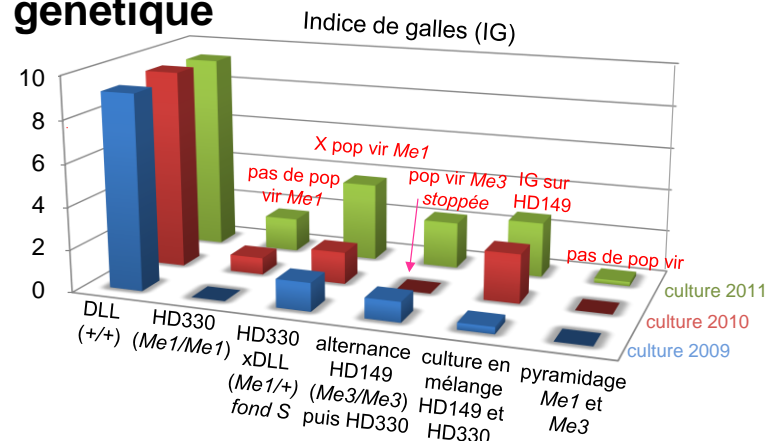
Barbary *et al.*, *Theor Appl Genet* 2014

• Le pyramidage *Me1* + *Me3* est durable

pyramidage > alternance > mélange de gènes de *R*
> succession du même gène de *R*

les piments *R* conduisent à l'assainissement du sol

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

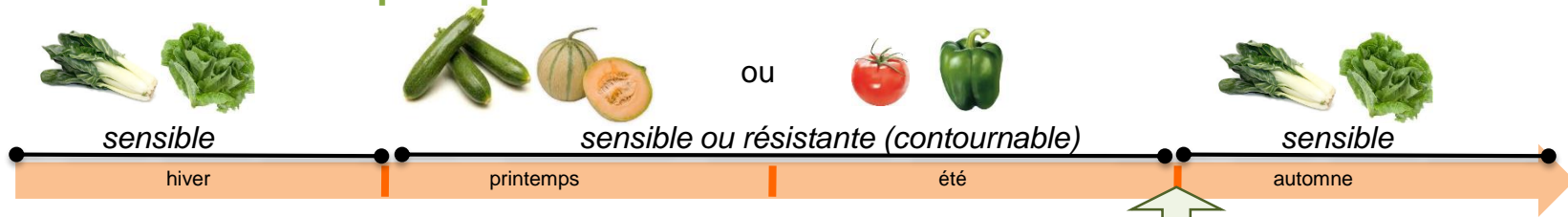


LE QUESTIONNEMENT

- **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

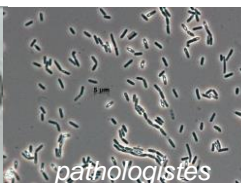
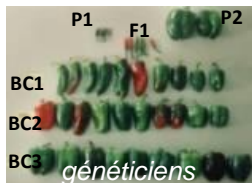
Proposer et évaluer sur 4 ans des systèmes maraîchers sous abri innovants en région méditerranéenne pour préserver la durabilité des résistances aux nématodes



5 sites géographiques



12 partenaires R E D PA: multidisciplines



PRINCIPE DE CONSTRUCTION DES SDC

- ➔ 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)



1ers RESULTATS : Système S1

« engrais vert d'été : les sorghos, standard ou biofumigant »

'Piper'

'270911'



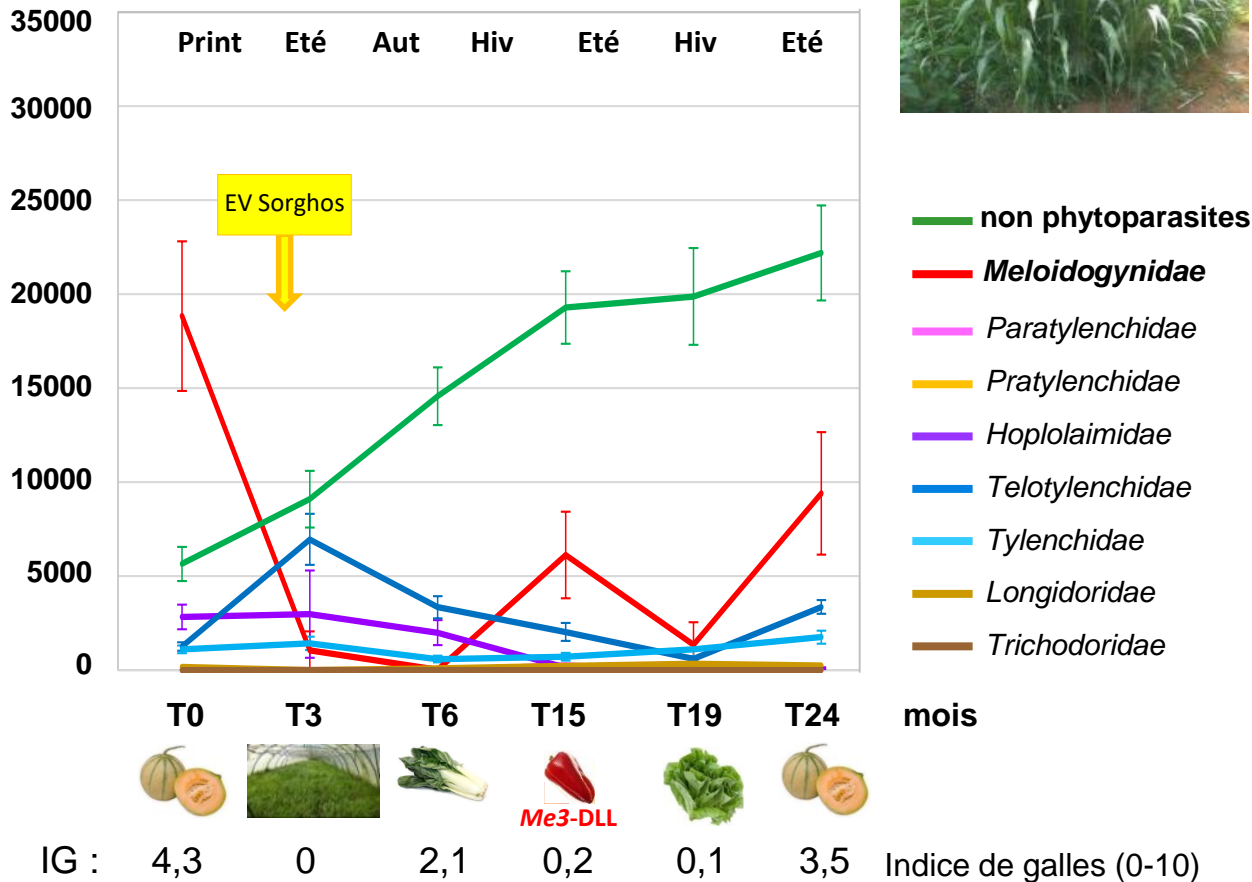
➤ > 95% de réduction des populations de *Meloidogyne* avec les EV Sorghos

➤ 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

Nombre de nématodes par dm³ de sol

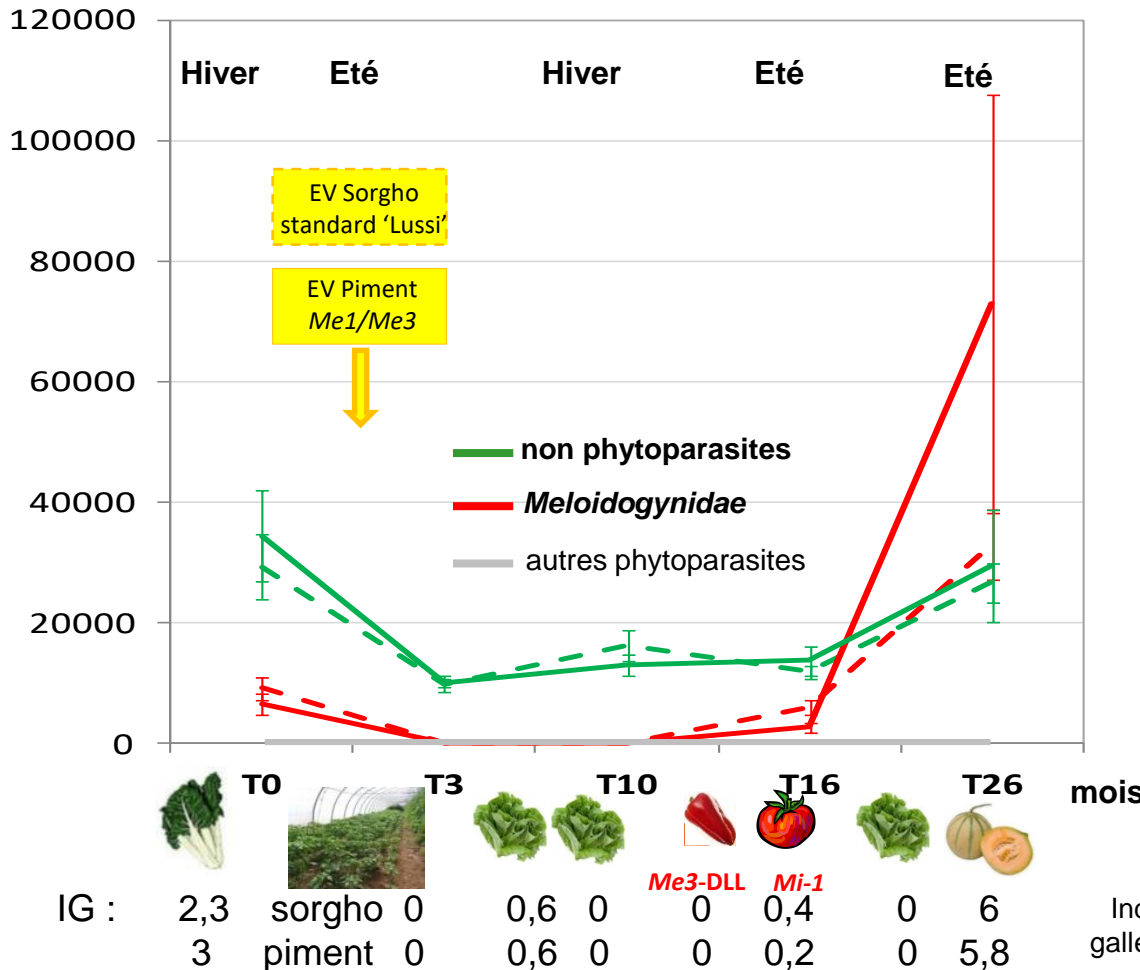




1ers RESULTATS : Système S2

« engrais vert d'été : les piments *Me1/Me3* » (1/2)

Nombre de nématodes/ 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 (= saprophytes utiles) avec le système proposé



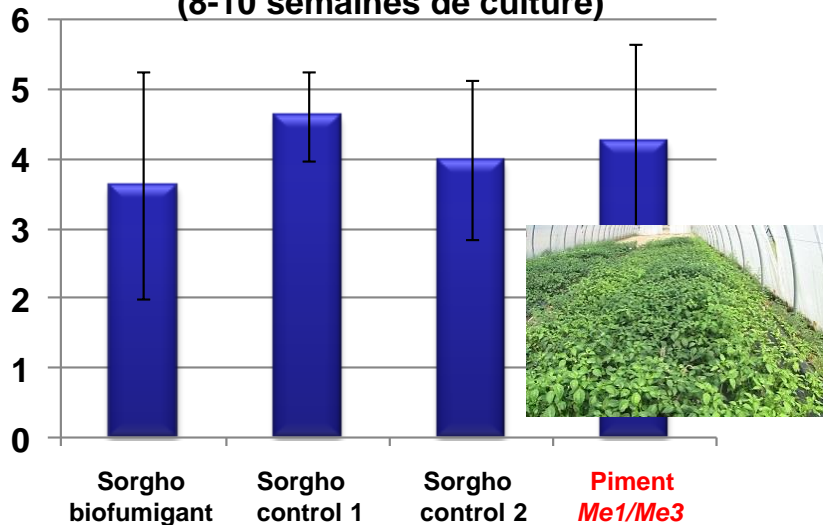
1ers RESULTATS : Système S2

« engrais vert d'été : les piments *Me1/Me3* » (2/2)

➤ Bonne valeur agronomique des piments pyramidés comme EV

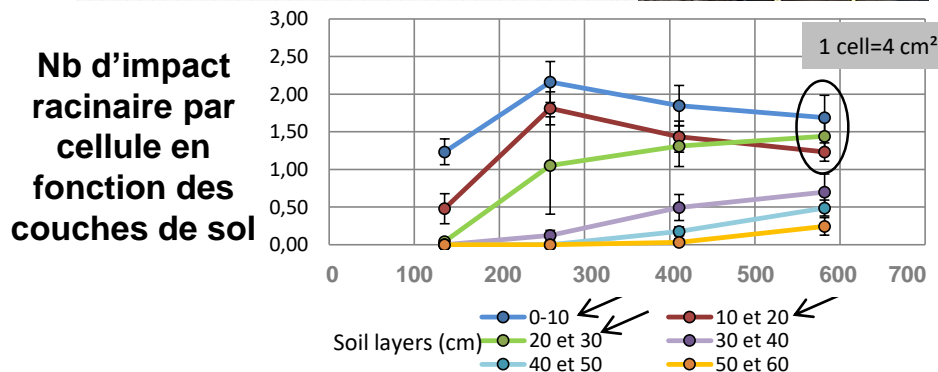
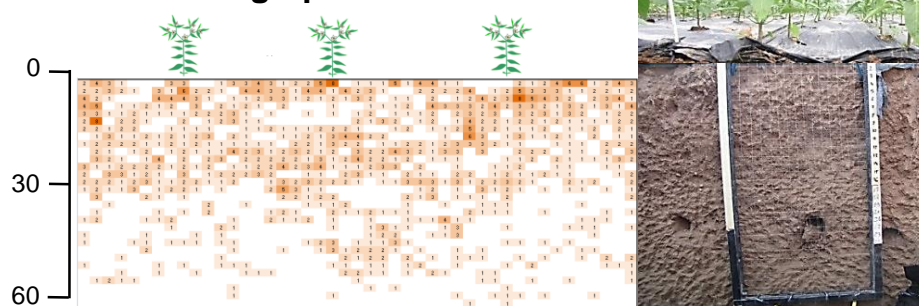
➤ Bon potentiel de colonisation du sol par les racines des piments pyramidés pour piéger les nématodes

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*

Cartographie racinaire

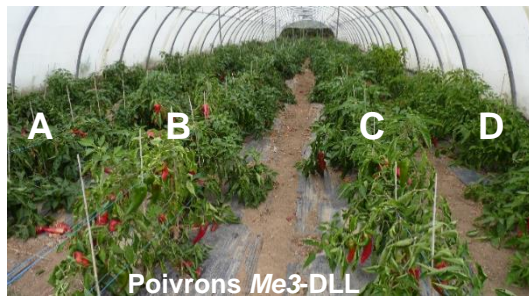
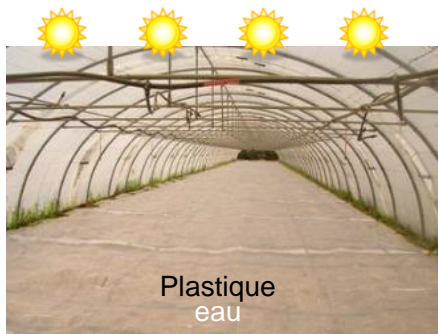


➤ *Forte colonisation racinaire jusqu'à 30 cm de profondeur => permettrait de réduire la culture de 10 à 6 semaines*

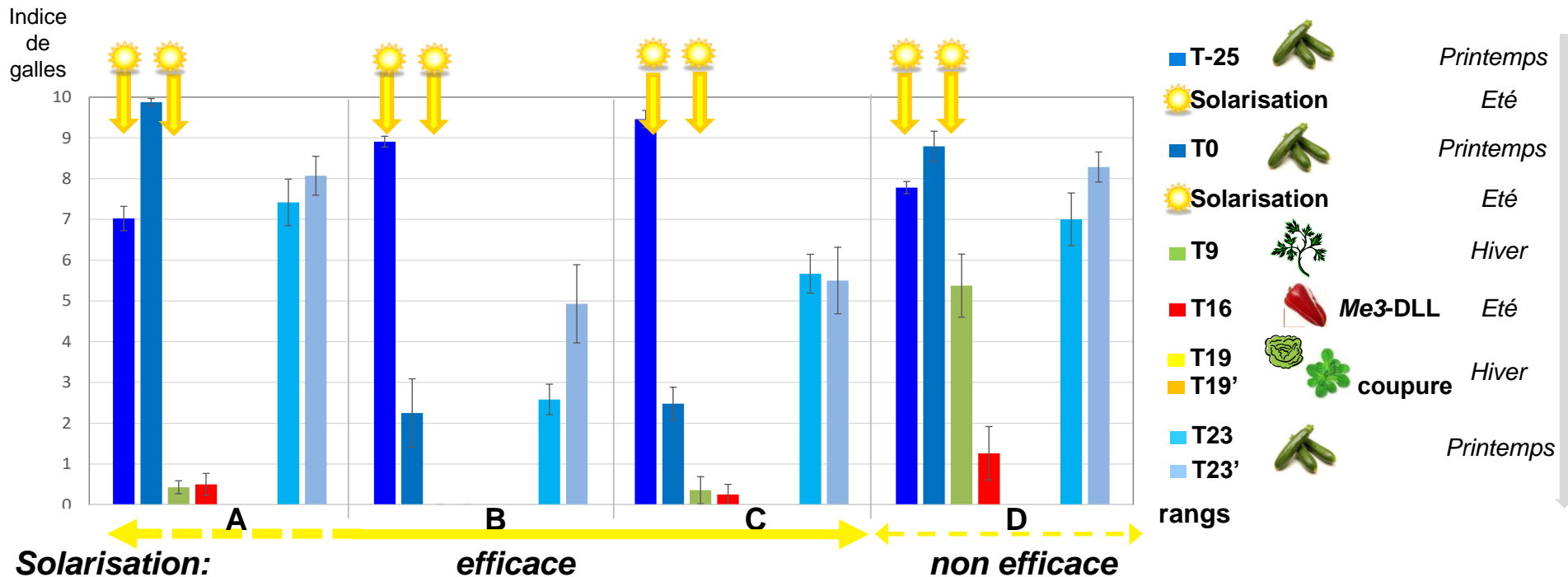


1ers RESULTATS : Système S3

« solarisation et plante de coupure » (1/2)



- **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

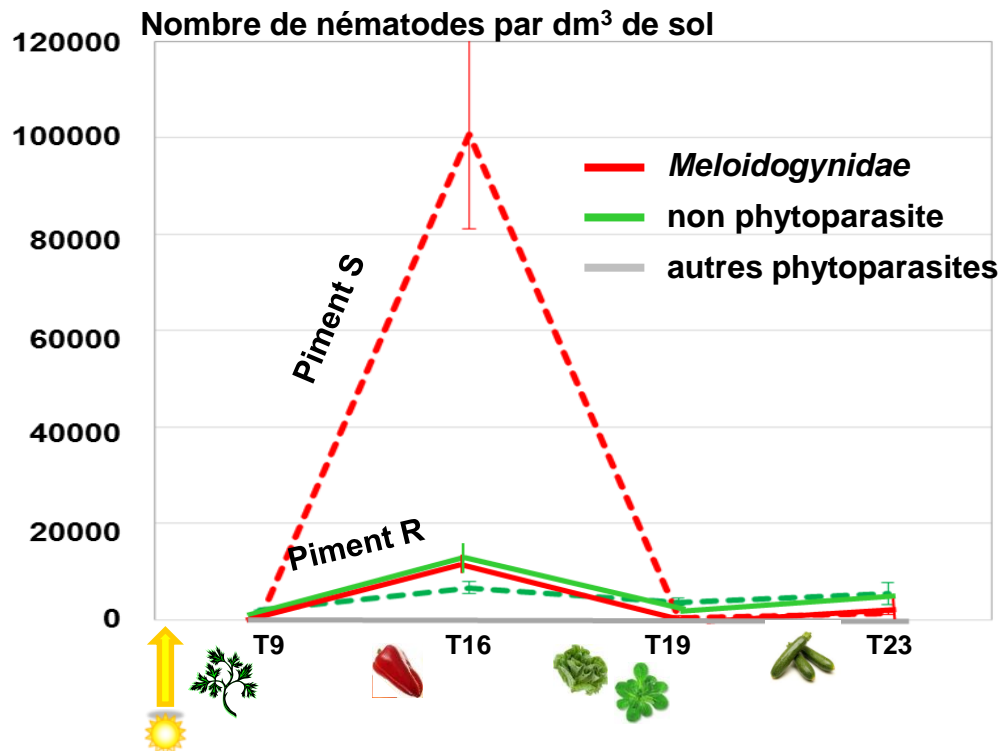
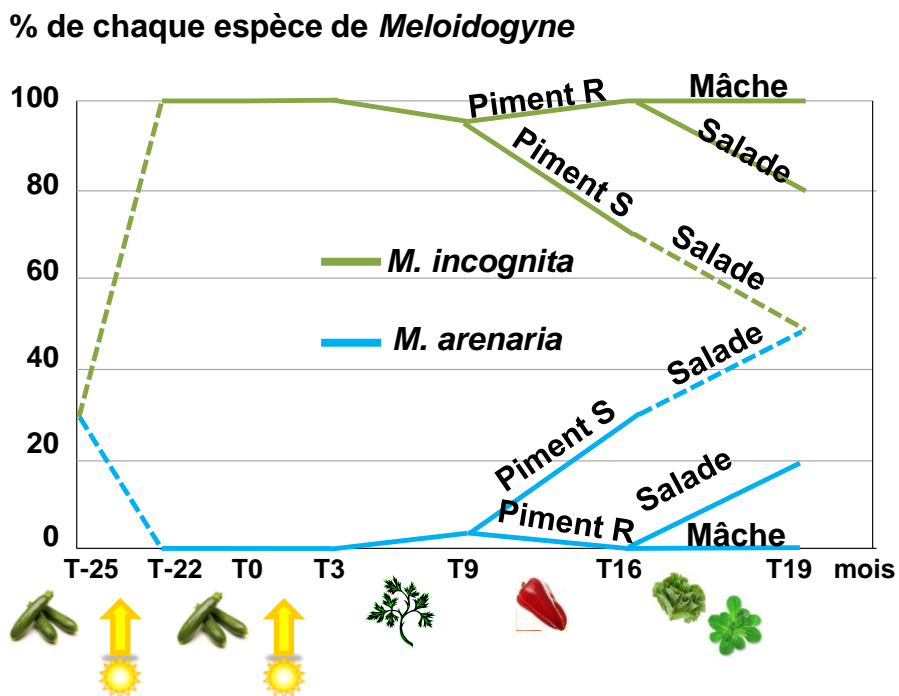




1ers RESULTATS : Système S3 « solarisation et plante de coupure » (2/2)

- **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*

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



EVALUATION PAR ENQUÊTE DE L'ACCEPTABILITÉ DES SYSTÈMES DE CULTURE (1/3)

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

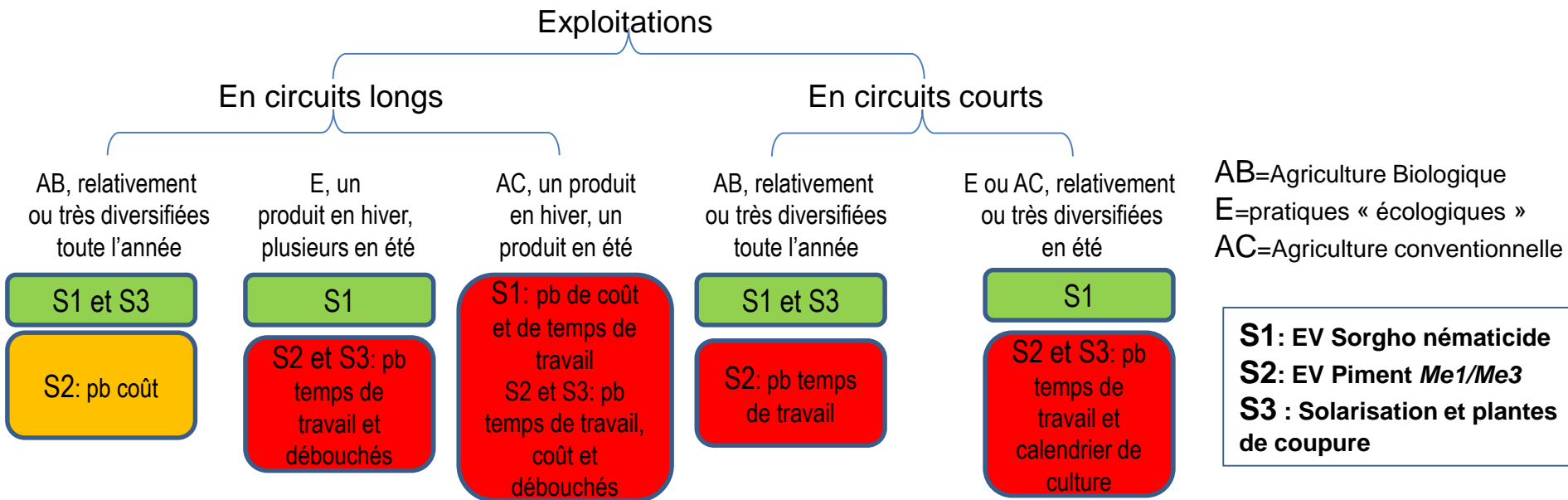
- **Démarche** :
 - ✓ Comparaison des **calendriers de culture** des systèmes S1, S2 et S3 avec ceux des agriculteurs
 - ✓ Quels **points de vue des agriculteurs** sur S1, S2 et S3 en fonction de deux ensembles de facteurs :
 - la stratégie de production des exploitations
 - la motivation des agriculteurs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

EVALUATION PAR ENQUÊTE DE L'ACCEPTABILITÉ DES SYSTÈMES DE CULTURE (2/3)

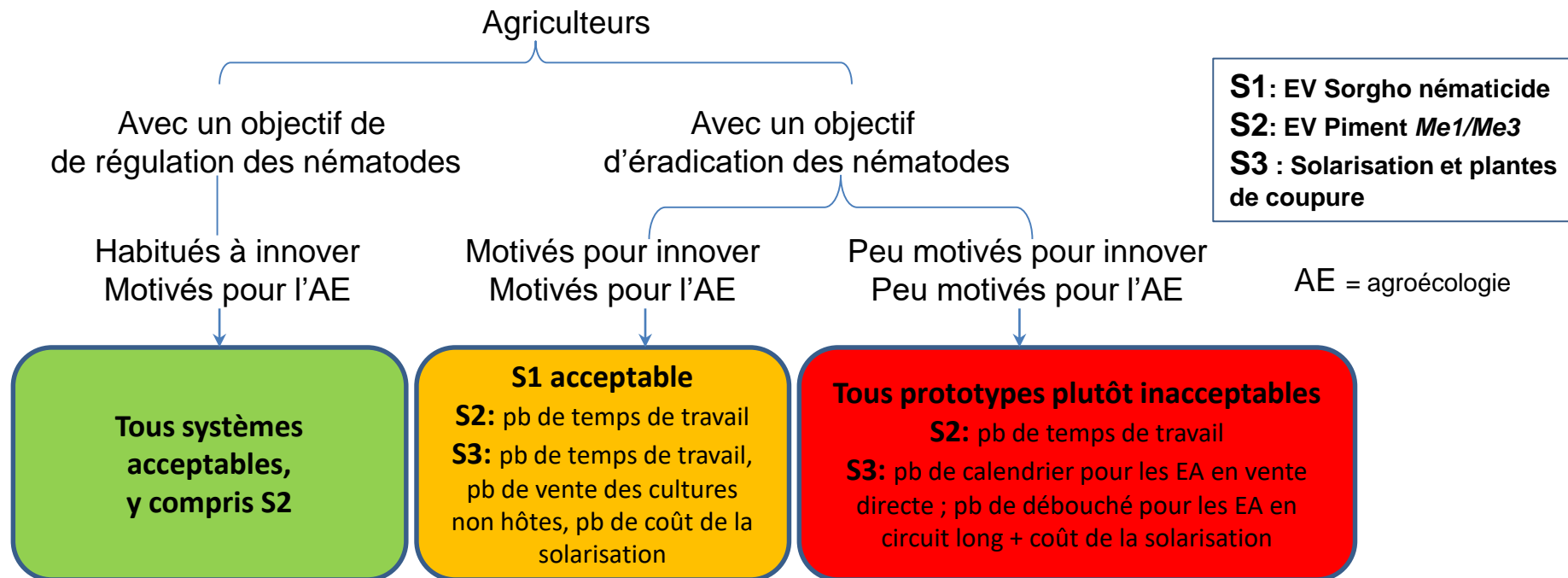
➤ Résultats : effet du type d'exploitation



- ✓ **S1 est bien accepté**, sauf pour les exploitations qui ont des cultures d'été longues et ne peuvent faire un EV
- ✓ **S2 est problématique** à cause du coût des plants de piment (hybrides actuellement, travail en cours pour lignées fixées) et du temps de plantation, par rapport à la référence des agriculteurs = sorgho semé
- ✓ **S3 est acceptable uniquement pour les exploitations diversifiées**
- ✓ Les agriculteurs dans les exploitations en circuits longs et en AC refusent majoritairement les 3 systèmes

EVALUATION PAR ENQUÊTE DE L'ACCEPTABILITÉ DES SYSTÈMES DE CULTURE (1/3)

➤ Résultats : effet de la motivation des agriculteurs



- ✓ Quel que soit le type d'exploitation, les agriculteurs acceptent d'autant plus les systèmes de culture proposés qu'ils sont motivés pour le changement en général et par les pratiques agroécologiques en particulier
- ✓ **Ceux qui sont motivés pour l'AE acceptent même le système S2** (EV piment *Me1/Me3*) pourtant coûteux actuellement en temps et en argent

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

- ❖ effet nématocide du sorgho standard plutôt **controversé dans la 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)

Acceptabilité des systèmes de culture : des premiers résultats, mais

- ❖ **refaire une analyse en fin d'essai-système**, une fois connues les performances agronomiques réelles et les possibilités de réduire les coûts (piment *Me1/Me3*)

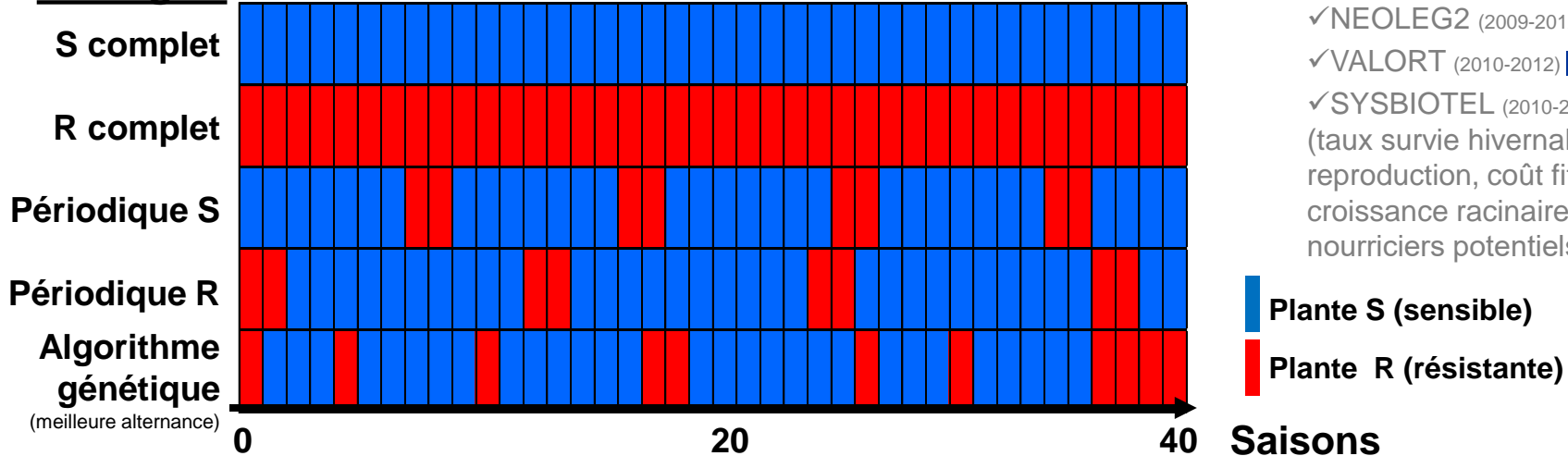
Perspectives :

- ✓ **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 géotypes**

Ex Modélisation: Déterminer l'efficacité (sur la perte de rend^t) des alternances temporelles de plantes S et R

Stage Thomas Perrot, 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



❖ **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)

Meetings Nationaux :

- ❖ Rencontres phytosanitaires SDQPV/CTIFL Légumes et fraises, 01/2013, Lanxade
- ❖ Colloque 'Ecophyto Recherche', 01/2013, Paris
- ❖ Colloque national DinABio 2013, 11/2013, Tours
- ❖ Rencontres du GIS PICLég, 12/2013, Paris
- ❖ Réunion d'information INRA-sélectionneurs privés de semences maraîchères, 01/2014, Avignon
- ❖ Cercle Innovations « Intrants alternatifs », Rencontres Qualimed, 10/2014, Montpellier
- ❖ 8e Rencontres du Végétal, 01/2015, Angers

Meetings Internationaux:

- ❖ 31st International Symposium of the European Society of Nematologists, 09/2012, Adana, Turquie
- ❖ International Conference "Plant Resistance Sustainability", 10/2012, La Colle-sur-Loup, France
- ❖ PURE 1st Congress " Future IPM in Europe", 03/2013, Riva del Garda, Italie
- ❖ XVth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant, 09/2013, Torino, Italie
- ❖ 2nd ISHS International Symposium on Organic Greenhouse Horticulture, 10/2013, Avignon
- ❖ 6th International Congress of Nematology, 05/2014, Cape Town (Afrique du Sud)
- ❖ 5th International Conference on Alternative Methods of Crop Protection, 03/2015, Lille, France

Articles de vulgarisation:

- ❖ Légumes Infos 2012
- ❖ Culture Légumière 2013
- ❖ Innovations Agronomiques 2013
- ❖ Maraîchage Bio Info n° 78, 4ème trimestre 2013. Ed. GRAB
- ❖ Actes de la 5e Conférence Internationale sur les Méthodes Alternatives de Protection des Plantes, 2015

Publication scientifiques prévues:

- ❖ Conception et évaluation d'innovations variétales et agronomiques pour maîtriser les nématodes à galles en maraîchage sous abri (le projet GEDUNEM) Auteurs: Djian-Caporalino, Navarrete, Dufils, Palloix, Tchamitchian, Fazari, Marteu, Furnion, Sage-Palloix, Lefevre, Pares, Mateille, Tavoillot, Védie, Goillon, Forest, Castagnone
- ❖ Evaluation de l'acceptabilité par les agriculteurs d'innovations variétales et agronomiques pour maîtriser les nématodes à galles en maraîchage sous abri (le projet GEDUNEM) Auteurs: Navarrete, Furnion, Djian-Caporalino, Dufils, Palloix, Tchamitchian, Fazari, Marteu, Sage-Palloix, Lefevre, Pares, Mateille, Tavoillot, Védie, Goillon, Forest, Castagnone



DIMENSION INTERNATIONALE DU PROJET

Partenaires étrangers potentiels :

- ❖ **Projet EU Horizon 2020 Biocontrôle 'IPANEMA'** : “A Novel IPM Approach to Manage Plant Parasitic Nematodes in EU-China Relevant Crops using Endophytic Biocontrol Agents, Chemical Ecology and Plant Resources” (soumis 27/06/2014, réponse 26/11/2014)
 - University of Alicante, **Espagne** ; University of Bonn, **Allemagne** ; INRA, **France** ; Institute of Sustainable Plant Protection (CNR-IPSPBA), **Italie** ; James Hutton Institute (JHI) of Dundee, Angleterre ; Institute of Microbiology, Institute of Plant Protection & Institute of vegetables and Flowers - Chinese Academy of Sciences & Agricultural Science (CAS & CAAS), **Chine** ; Sociétés privées (**Espagne, Italie, Hollande, Bulgarie**)

- ❖ **Projet EU (FP7) ARIMNet 2** Topic 1: Increase in resilience, rusticity and productivity of Mediterranean agricultural production systems : “Diversification of control strategies in Mediterranean vegetable production & impact on plant and climatic speciation and adaptation of root-knot nematodes” (soumission 01/12/2014) soutenu par Qualimed et Terralia (réunion Qualimed Oct 2014)
 - INRA & IRD, **France** ; IMIDA, Murcia, **Espagne** ; ENSA & Université Oran, **Algérie** ; société Azura, **Maroc** ; National Research Center, Giza, **Egypte** ; Volcani & Gilat Research Centers, **Israël** ; Biological Control Research Station, Adana, **Turquie**

- ❖ **Projet SMaCH action LOCKIN 'REACTION'** : “ Régulations naturelles et leviers d'action : Bioprotection préventive de la tomate par les symbioses mycorhiziennes ” (04/2014-04/2016)
 - INRA, Unité ASTRO, **Antilles** ; Université des **Antilles** et de la **Guyane** (UAG) ; Université Catholique de Louvain (UCL), **Belgique**

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.picleg.fr/Les-Projets-en-cours/Gedunem>
<http://www6.paca.inra.fr/institut-sophia-agrobiotech/Equipes-ISA/IPN>