



## Gestion Durable des Bioagresseurs Telluriques

### GEDUBAT

### 2013



Claire GOILLON, APREL.

Essai rattaché à l'action n°04.2009.01 : Maîtrise des bio-agresseurs telluriques par la gestion des systèmes de culture.



## Compte rendu des observations réalisées dans le cadre de la deuxième année du projet d'Expérimentation DEPHY ÉCOPHYTO « Gestion Durable Des Bioagresseurs Telluriques »

### 1. But de l'essai

Le projet GEDUBAT (GESTion Durable des BioAgresseurs Telluriques) coordonné par le Ctifl fait partie intégrante du programme ÉCOPHYTO DEPHY Expé financé par l'Onema. Il vise à tester, sur 6 ans, des techniques alternatives permettant la réduction des pathogènes sur les cultures tout en réduisant l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. La lutte contre les nématodes fait l'objet d'une priorité dans ce projet compte tenu de l'importance de ce problème en cultures maraîchères et du manque de solutions chimiques. L'APREL prend part à ce projet en conduisant des expérimentations sur un site de production.

La thématique de ce projet fait appel à des expérimentations « système ». Sur l'exploitation suivie, différents systèmes sont étudiés. Ils font chacun appel à plusieurs méthodes alternatives aux désinfections de sol, qui peuvent permettre de réduire la pression en nématodes sur les principales cultures produites. L'exploitation se caractérise par une spécialisation des cultures : melon en été, salade en hiver. Les techniques alternatives qui sont mises en œuvre dans cette exploitation sont centrées sur l'interculture (solarisation, engrais vert...) ou sur des applications en culture d'agents biologiques.

En 2012, la solarisation et l'utilisation de sorghos nématicides ont été essayés. En 2013, ces techniques ont été renouvelées sur l'interculture avec des variantes selon les 3 systèmes étudiés. Un agent biologique a également été testé sur culture de melon.

### 2. Protocole expérimental

#### 2.1 Parcelle

Lieu : Cheval blanc (84)

Abri : Serre verre de 4500 m<sup>2</sup> orientée N/S

Rotations : Été : melon / Hiver : salade

Type de sol : Limon argilo sableux (Argile 19.8%, Limon 57.2 %, sable 23 %) - 2% de MO

Problématique : Nématodes *M.arenaria* + *M.incognita* (analyses ANSES du 20/06/12 ; 21/02/13 ; 24/02/14)

Pratiques d'entretien du sol en interculture 2010 : désinfection chimique

2011 : sorgho fourrager

2012 : solarisation

## 2.2 Systèmes étudiés

Le dispositif expérimental est mis en place sur 3 chapelles de 352 m<sup>2</sup> (6.40m x 55m) dans la serre. Chaque chapelle représentant un système différent caractérisé comme suit par les interventions en interculture :

- **C3 « sorgho nématocide »** : ce système mise sur l'utilisation d'un sorgho nématocide en interculture après le melon. La solarisation a été pratiquée en 2012 comme moyen fort pour baisser le niveau de population des nématodes et le sorgho a pour objectif d'entretenir un niveau acceptable pour les cultures en misant sur un bon fonctionnement du sol au niveau de l'équilibre biologique. Le sorgho utilisé est le N° 270911 proposé par la société Cerexagri et riche en dhurrine.
- **C4 « engrais vert diversifié »** : ce système est très proche de C3. La nuance se fait au niveau du choix de l'engrais vert : l'entretien du sol se fait sur la base d'une diversification des espèces d'engrais vert, biofumigant ou non. Le principe étant de jouer sur les différents intérêts de chaque engrais vert : structure du sol, production de biomasse, rupture de cycles des bioagresseurs, capacités biofumigantes, intérêt nutritionnel... La solarisation est un outil utilisé en cas de forte progression de nématodes.
- **C5 « solarisation »** : ce système privilégie la solarisation comme moyen d'éradication des nématodes. Cette technique est pratiquée systématiquement après le melon.

Figure 1 : Représentation des systèmes étudiés de 2012 à 2015 (EV = Engrais Vert)

	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																													
C3	Melon			EV	Sol°				Salade					Melon							EV						Salade								Melon										EV										Salade									
C4	Melon			EV	Sol°				Salade					Melon							EV						Salade								Melon										EV										Salade									
C5	Melon				Sol°				Salade					Melon													Salade								Melon																		Sol°		Salade									

## 2.3 Dispositif 2013

Figure 2 : Calendrier de cultures pour chaque système en 2013 (EV = Engrais Vert)

	J		F		M		A		M		J		J		A		S		O		N		D	
	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin
C3	salade				Melon + agent biologique		EV sorgho				Salade + biostimulant													
C4	salade				Melon + agent biologique		EV radis fourrager				Salade + biostimulant													
C5	salade				Melon		Solarisation				Salade + biostimulant													

Sur la culture de melon, un agent biologique à base de *Bacillus firmus* destiné au contrôle des nématodes dans le sol a été essayé dans les systèmes C3 et C4. *Bacillus firmus* agissant principalement sur les œufs et les jeunes larves de nématodes, l'application précoce est déterminante. Cependant, pour des problèmes de disponibilité du matériel, l'application n'a pas pu être réalisée conformément au protocole dès la plantation et a été retardée de 1 mois.

Sur la salade, dans un objectif de réduction des applications phytosanitaires, un biostimulant a été positionné à la place de certains traitements contre *Botrytis* et *Sclerotinia*.

## 2.4 Observations réalisées

### ➤ Analyses de sol

Des extraits à l'eau sont réalisés avant chaque culture (salade et melon) par le laboratoire LARB (13), puis des contrôles d'azote par nitrates sont effectués ponctuellement à différents stades.

### ➤ Suivi des engrais verts

- % de germination : 10 à 15 jours après semis, le nombre de plantes levées est observé sur 3 placettes de 0.25 m<sup>2</sup> (0.5 x 0.5) puis lors de la mesure de biomasse.
- Biomasse fraîche et sèche : mesure de la matière fraîche produite sur 3 ou 4 placettes de 0.5 m<sup>2</sup> (1x0.5) juste avant le broyage. Seules les parties aériennes sont prises en compte. Un échantillon est prélevé pour évaluer le pourcentage de matière sèche.
- Observations sanitaires : les ravageurs et maladies présents dans les parcelles d'engrais verts sont notés ainsi que la présence et l'espèce d'adventices. Une observation des racines est effectuée pour détecter éventuellement la présence de galles de nématodes.
- Analyse de dhurrine : dans le cas du sorgho seulement, cette analyse est réalisée pour évaluer le potentiel d'apport d'acide cyanhydrique au sol. Un échantillon de 10 à 20 plantes est prélevé au hasard sur l'ensemble de la parcelle (200 à 300 g de parties aériennes) aux environs de 12h. L'échantillon est congelé à -80°C, lyophilisé puis broyé finement au laboratoire de l'INRA de Montfavet. Les échantillons de sorgho sont envoyés au laboratoire VEGEPOLYS à Angers pour être analysés par Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC) selon la méthode décrite dans la bibliographie (De Nicola et al, Journal of Agricultural and food chemistry, 2011).

### ➤ Suivi des cultures

- Observations sanitaires : les ravageurs et maladies présents dans les parcelles sont notés.
- Enregistrement des interventions de protection phytosanitaire : un cahier de traitements est tenu par le producteur.
- Rendement : le rendement est estimé sur l'ensemble de chaque chapelle (système). En melon, le producteur comptabilise à chaque récolte le nombre de caisses qui sont récoltées par chapelle. En salade, une estimation des salades fondues ou non récoltées par manque de poids permet d'extrapoler le pourcentage de salades commercialisées.

### ➤ Solarisation

- Les pratiques de mise en œuvre de la solarisation sont notées : volume d'eau apporté, type de plastique, durée de solarisation, présence d'adventices sous le paillage...
- Un enregistreur climatique Hobo avec des sondes externes est utilisé pour mesurer les températures effectives dans le sol à 10 et 25 cm de profondeur.

### ➤ Suivi des nématodes

Cartographie : Une cartographie des indices de galles racinaires (IGR) de nématodes est réalisée au moment de l'arrachage de chaque culture. L'échelle de Zeck est prise comme référence (annexe 1).

#### Analyses nématologiques :

- Quantification des *Meloidogyne* au stade larvaire dans le sol : un échantillonnage de sol est réalisé à la fin de chaque cycle cultural (melon, interculture, salade) avec 20 prélèvements à 25 cm de profondeur à la tarière pris en zigzag dans la parcelle. Les analyses sont effectuées par le laboratoire ELISOL de Montpellier.
- Un bilan complet de la nématofaune (nématodes non phytoparasites et principaux nématodes phytoparasites) est prévu pour observer l'évolution des équilibres de nématodes dans le sol à la fin de la culture de melon. Cette analyse n'ayant pas été faite auparavant, elle sera initiée en 2014.

### ➤ Enregistrement climatique

Pour chaque épisode cultural, un enregistrement automatique des températures (air et sol à 15 cm) et de l'hygrométrie sous abri est mis en place avec des enregistreurs hobos.

### 3. Resultats

#### 3.1 Déroulement des cultures

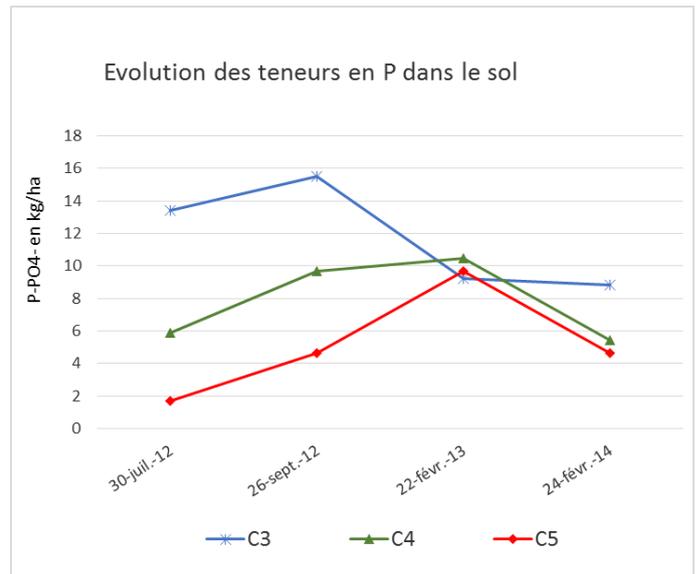
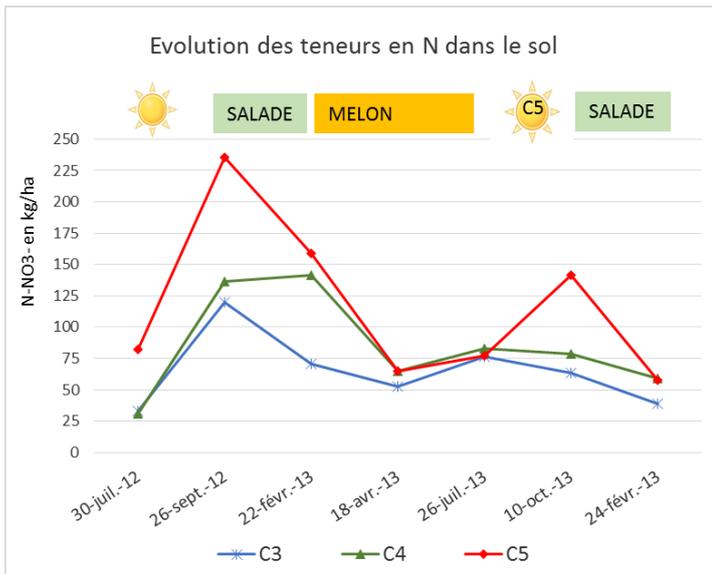
Tableau 1 : Déroulement des cultures et itinéraires techniques

	Chapelle	C3	C4	C5
	Modalités	Sorgho nématocide	Engrais vert diversifié	Solarisation
MELON	Date de plantation	16/03/13		
	Densité	1 plant/m <sup>2</sup> 3 rangs simples par chapelle avec espacement de 0.5 m entre plants		
	Variété	Stello greffé, pépiniériste Centroseia Résistance génétique aux pucerons IR Ag		
	Fumure de fond	Amendement organique Humiflor Biomazor (3 T/ha) Engrais organo-minéral 4-6-10 (1.5 T/ha)		
	Fertilisation en culture	Aucune		
	Début récolte	01/06/13		
	Fin de récolte	15/07/13		
ENGRAIS VERT	Préparation du sol	Griffon avant semis		-
	Fertilisation	aucune		-
	Semis	26/07/13 à la volée Griffon léger pour enfouir les graines		-
	Variété	Sorgho fourrager N°270911 (Cerexagri)	Radis fourrager variété Contra	
	Dose de semis	50 kg/ha	28 kg/ha	-
	Arrosage	Aspersion : environ 30 min tous les 2 jours au début puis une fois par semaine		
	Broyage Enfouissement	Broyeur à marteaux le 23/08/13 Rotavator et sous soleuse		-
	Durée de culture	28 jours	28 jours	-
SOLARISATION	Préparation du sol	-		Sous soleuse
	Plein en eau	-		3.5 h (35 mm)
	Type de plastique	-		Non microperforé Spécial solarisation
	Date de pose	-		1/08/13
	Retrait du plastique	-		10/10/13
	Durée de solarisation	-		70 jours
SALADE	Fumure de fond	Amendement organique : Humiflor Biomazor (3T/ha) Engrais complet 4-6-10 (2.5 T/ha)		
	Plantation de salades	25/10/13		18/10/13
	Variété	Feuille de chêne blonde KIBER (RZ)		Batavia FUNSONG (SG) + Laitue ARMONICA (RZ)
	Récolte des salades	24 février		10 février

#### 3.2 Analyses de sol

Les analyses de sol effectuées dans les 3 chapelles confirment le pH de 7.4 à 7.5 mesuré en 2012 et le taux de matière organique à 2%. Le sol est particulièrement bien pourvu en magnésie et soufre. Les trois systèmes sont fertilisés de la même manière.

Au niveau des éléments nutritifs, les résultats des analyses N et P sont représentés sur les graphiques ci-dessous en tenant compte de l'évolution depuis le début du suivi de la parcelle.



Solarisation

L'évolution de l'azote dans le sol montre surtout l'effet des solarisations successives dans le système C5 qui augmente les teneurs avant la salade grâce à une minéralisation accélérée. Dans C3 et C4, la solarisation de 2012 faisait suite à un sorgho qui avait prélevé une partie de l'azote : les réserves étaient donc moins importantes à la suite de l'interculture dans ces systèmes. Les niveaux se rééquilibrent après la culture de salade entre les 3 systèmes. Hors solarisation, les cultures bénéficient d'un niveau d'azote compris généralement entre 50 et 100 unités disponibles.

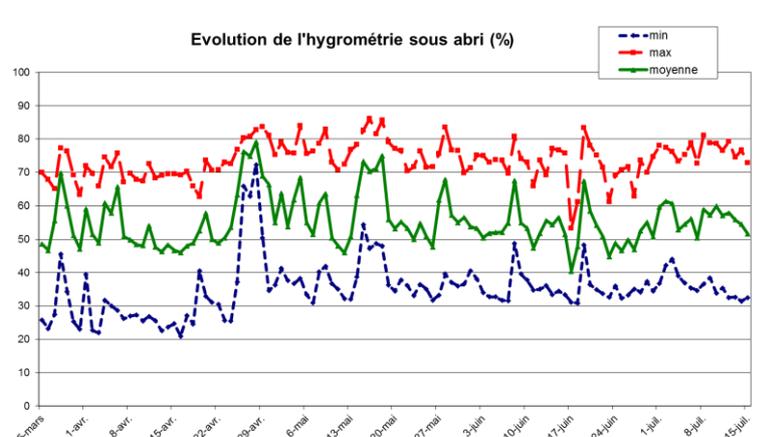
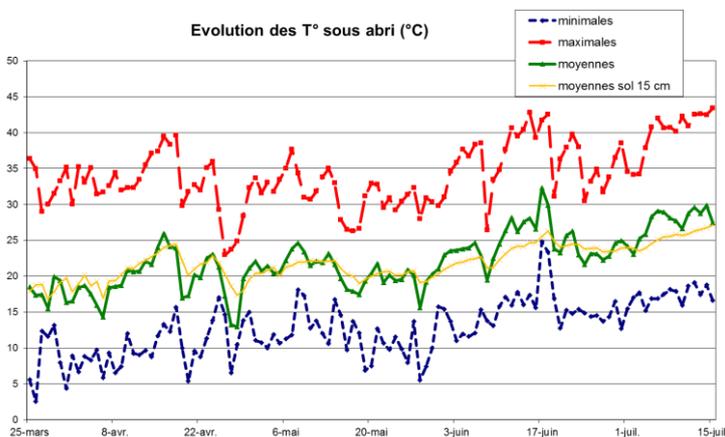
Pour le phosphore, avec un niveau initialement différent entre les 3 systèmes en 2012, les valeurs obtenues en 2013 sont sensiblement identiques.

Les réserves en potasse disponibles avant les cultures sont faibles et se situent autour de 100 unités. Par contre le sol est très bien pourvu en magnésie avec environ 350 unités. Les niveaux de ces éléments sont globalement identiques entre les 3 systèmes.

### 3.3 Suivi des cultures

#### ➤ Melon

##### - Conditions climatiques



Le début de culture souffre de températures minimales assez basses qui ralentissent la croissance du melon. A partir de mi-avril, les conditions deviennent plus favorables à la culture. On note un pic d'hygrométrie fin avril sans conséquence particulière. Au niveau des températures de sol, la moyenne se situe à 20°C dès la plantation, ce qui est favorable au développement des nématodes.

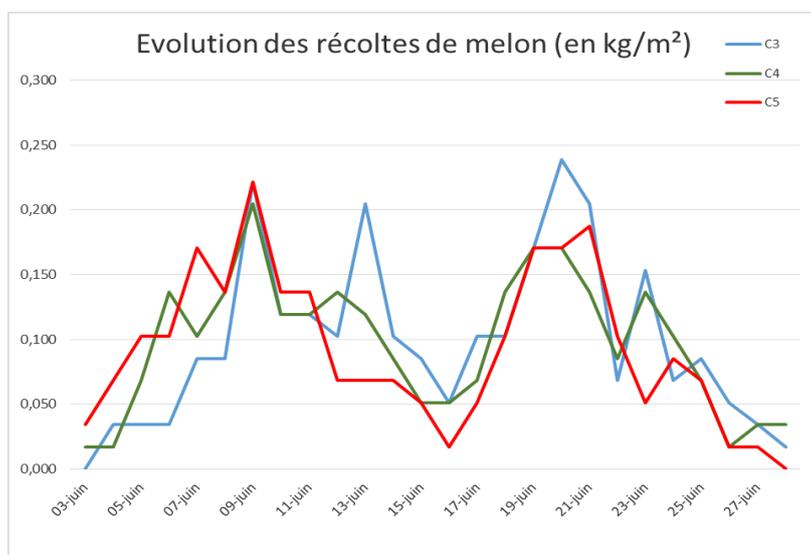
- Développement de la culture

Les plantes se sont bien développées. Un mois après plantation, les plantes sont au stade 10 feuilles, les 1<sup>ers</sup> époinçages sont effectués et l'arrosage est augmenté. Des contrôles de suc pétioles au 11 et 18 avril montrent des plantes en confort azoté (3490 et 4630 ppm d'azote) d'après la grille PILazo®. Aucune fertilisation n'est apportée. La culture maintient une bonne vigueur jusqu'à la fin des récoltes, contrairement à 2012 où on observait des mortalités importantes liées aux nématodes.



Photo 1 : Culture de melon le 14/05/13 (C4 Nord)

Les rendements sont représentés ci-dessous :



	Rendement commercial au 30/06/13
C3	2.61 kg/m <sup>2</sup>
C4	2.56 kg/m <sup>2</sup>
C5	2.44 kg/m <sup>2</sup>

On observe une évolution similaire des récoltes dans les 3 chapelles. Malgré un retard sensible dans C3 au début des récoltes, le rendement final est comparable aux autres avec des volumes plus importants mi-juin et fin juin.

- Protection sanitaire :

L'oïdium est présent dans la culture et a nécessité 3 traitements en mai avant la récolte (6, 22 et 30 mai) essentiellement à base de soufre. Malgré cela, en fin de culture, l'oïdium s'est bien développé.

Des insecticides sont également appliqués sur la culture contre pucerons (6, 22 et 30 mai) et contre acariens (22 et 30 mai). Ils sont suffisants pour contrôler les ravageurs qui n'ont pas causé de dégâts importants sur la culture. Plus aucun traitement n'est effectué à partir de la récolte.

Les chapelles C3 et C4 ont reçu deux traitements avec *Bacillus firmus* contre nématodes en application au goutte à goutte le 23 avril et le 30 mai.

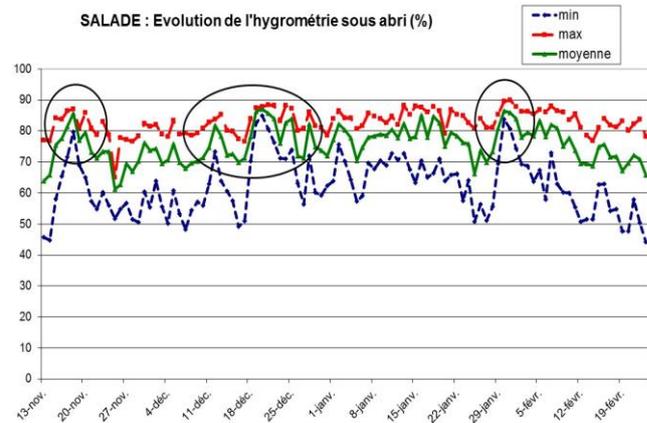
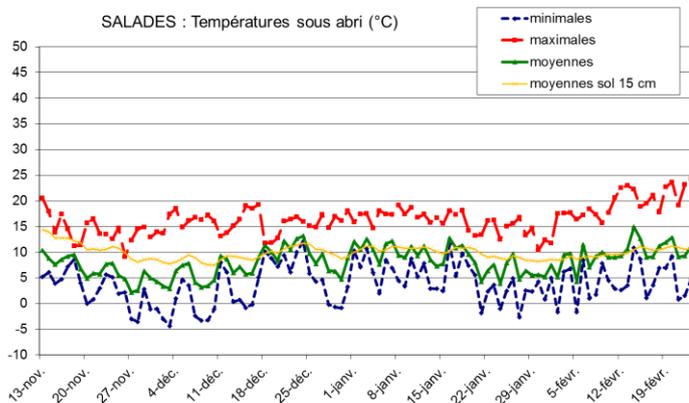
Tableau 2 : Traitements effectués sur la culture de melon 2013

Systèmes	Insecticides	Fongicides	IFT vert	TOTAL IFT
C3 – C4	5	4	1.5	9
C5	5	4	0	9

En fin de culture, la tenue des plantes est bonne en comparaison de 2012 où les attaques de nématodes étaient fortement visibles.

➤ **Salade 2013-2014**

- Conditions climatiques



Le climat hivernal a été relativement doux cette année. Seul un épisode de froid est à signaler en décembre avec quelques gelées dans les serres le matin (-5°C). Pendant toute la saison, les maximales atteignent 15-20°C, voire 25°C en février au moment de la récolte. Le sol se trouve à 15°C au moment de la plantation et ne descend guère en dessous de 10°C, ce qui permet aux nématodes de se maintenir.

Trois épisodes avec de fortes hygrométries sont à noter au cours de la culture, notamment mi-décembre et début février, qui ont pu créer des conditions favorables au développement de maladies comme le Botrytis.

- Développement de la culture

Rapidement après la plantation, des zones d'hétérogénéité sont visibles dans presque toutes les chapelles. Les nématodes sont présents sur les racines dès le début de la culture et se sont développés.

A la récolte, la culture a été fortement pénalisée cette année du fait de l'hétérogénéité de croissance et des attaques de Botrytis.



Photo 2 : culture de salade le 29/11/13 (C5 Sud)

- Protection sanitaire :

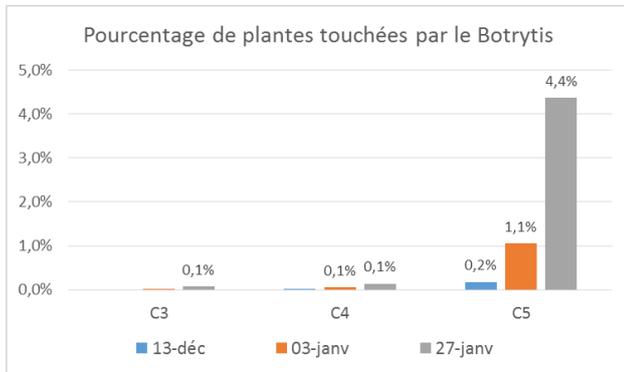
Un traitement contre noctuelles est effectué en début de culture le 7 novembre.

Des pucerons sont visibles sur la culture en paroi Sud de la serre à partir du 13 Novembre, au stade 10 feuilles. Deux traitements sont positionnés les 19 novembre et 12 décembre. La culture n'a pas été endommagée par ce ravageur.

La protection contre *Bremia* a été effectuée avec 3 fongicides (7 et 19/11 puis 12/12) et il n'y a pas eu de présence de cette maladie.

Le Botrytis a été traité une fois le 7/11 puis les salades ont reçu ensuite des biostimulants proposés par la société Samabiol (Kendal et Megafol) à raison d'une application le 12 décembre. La présence de Botrytis a été observée début décembre sur batavia dans la chapelle C5. Il n'a cessé d'augmenter dans

cette chapelle, causant des pertes directes. Il est également observé de façon importante à la récolte (fin février), dans les chapelles C3 et C4, sur les feuilles basses des feuilles de chêne blonde. Le parage était nécessaire mais les feuilles de chêne n'ont pas dépéri aussi rapidement que les batavias. La sensibilité variétale semble donc prédominante dans cette observation. La protection s'avère insuffisante, surtout pour la batavia Funsong qui aurait nécessité des traitements supplémentaires pour contrôler la maladie.



La notation des salades fondues, touchées par le botrytis, montre une évolution rapide des pertes sur batavia dans la chapelle C5 à un stade proche de la récolte. Ces pertes sont de l'ordre de 5% fin janvier. Elles ne prennent pas en compte les salades qui sont touchées mais ne sont pas mortes au moment de la notation, notamment les feuilles de chêne dans C3 et C4. Ce pourcentage est donc sous-estimé.



Photos 3 et 4 : Attaque de botrytis dans C5

Du big vein a également été observé sur les feuilles de chêne dans la partie Nord de la serre. La chapelle C3 est plus touchée que C5.

Tableau 3 : Traitements effectués sur la culture de salade 2013

Système	Insecticides	Fongicides	IFT vert	TOTAL IFT
C3 – C4 – C5	3	4	1	7

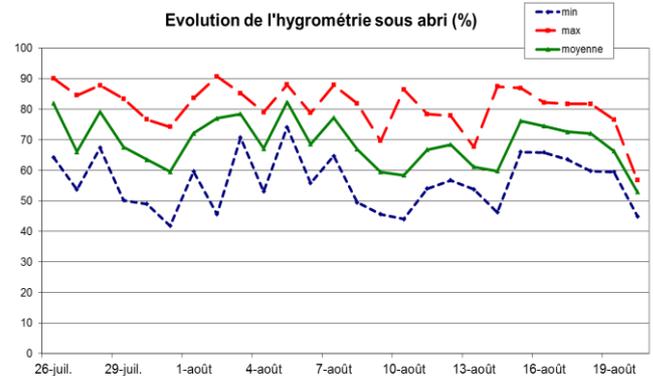
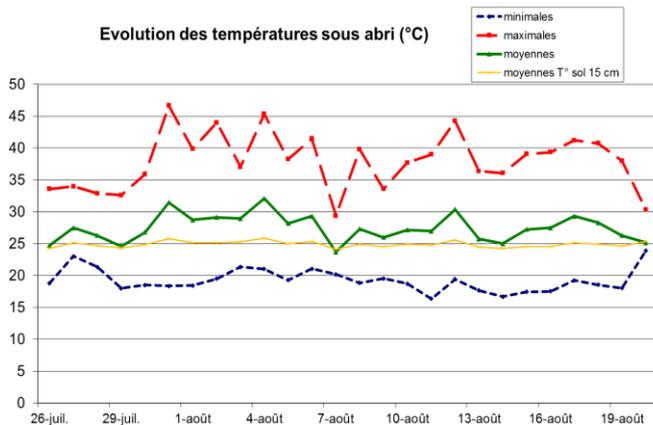
Deux fongicides ont pu être supprimés sur la culture de salade cette année amenant à une réduction des IFT de 2 par rapport à l'an passé. Cependant, les conditions climatiques de l'hiver 2013-2014 n'étaient pas favorables à la suppression de traitements fongiques et le risque est important sur certaines variétés de salade particulièrement sensibles.

## 4.4 Suivi des intercultures

### ➤ Engrais verts

Les semis ont été réalisés dans les chapelles C3 et C4 le 26/07/13 (voir tableau 1).

#### - Conditions climatiques



Les engrais verts ont eu des conditions particulièrement chaudes sous abri en août. Les températures maximales atteignent plus de 35°C. Le sol se maintient en moyenne à 25 °C et les hygrométries entre 60 et 80 %.

#### - Développement des engrais verts



Photo 5 : Interculture 2013. C3 = sorgho ; C4 = radis fourrager ; C5 = solarisation



Photo 6 : Radis fourrager (C4) envahi par les adventices

**Le radis fourrager** a été mis en place pour créer de la diversité sur l'interculture avec des espèces résistantes aux nématodes. Il s'est très mal développé dans C4 : mauvaise germination, croissance faible et adventices prédominantes (melon, pourpier, amarante). A cela plusieurs raisons : des exigences en eau plus importantes que le sorgho et la proximité avec la chapelle solarisée C5 créent une chaleur particulièrement forte aux abords. Au vu de ce résultat, il n'y a pas eu de mesures réalisées sur cet engrais vert qui est détruit en même temps que le sorgho, 28 jours après semis.

**Le sorgho nématicide** est destiné à une culture courte pour être enfouie à un stade où la libération d'acide cyanhydrique est plus importante. Il a été broyé au bout de 28 jours après semis, au stade 9 feuilles. Il atteignait une hauteur de 80 cm. Les étapes de broyage et d'enfouissement ont été le plus rapprochées possible pour essayer d'obtenir l'effet de biofumigation attendu.

Au 20/08, le contrôle sur 3 placettes de 0.5 m<sup>2</sup> (0.5 x 1 m) donne :

- Une densité de levée de 82% en moyenne
- Une matière fraîche produite de 19.2 T/ha
- Une estimation de la matière sèche de 15% soit 2.9 T/ha

L'analyse de dhurrine au laboratoire VEGEPOLYS donne pour cet échantillon une teneur de 7.23 mg/g de matière sèche soit un potentiel d'apport au sol de 2.08 g/m<sup>2</sup> après incorporation compte tenu de la biomasse produite. Ces résultats sont du même ordre de grandeur qu'en 2012 pour la même variété de sorgho et des conditions de culture similaires.

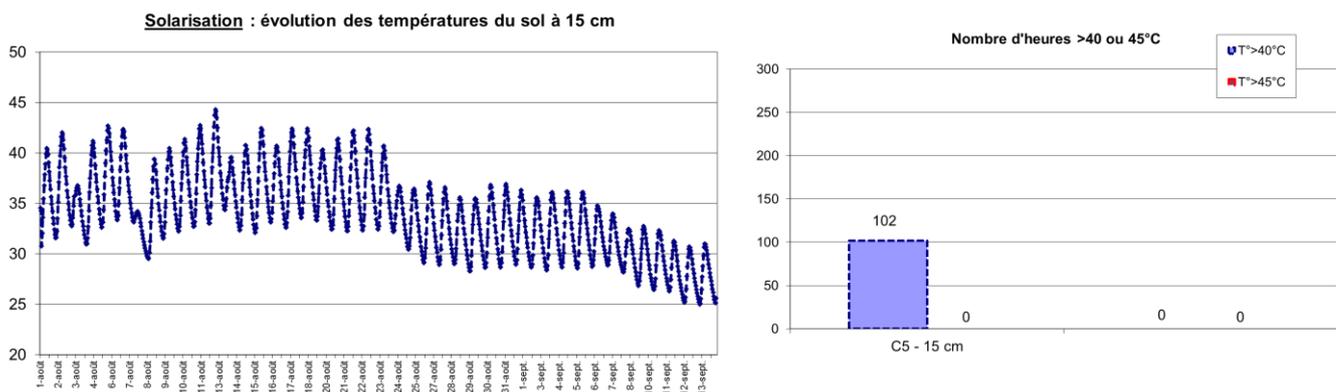
- Adventices et observations sanitaires :

Le sorgho a bien contrôlé les adventices. Dans certaines zones moins denses, on a pu constater la présence de pourpier et des repousses de melon. Aucune maladie et ravageur ont été observés.

### ➤ Solarisation

La solarisation a été mise en place tardivement le 1<sup>er</sup> août et prolongé jusqu'au 10 octobre juste avant les salades (voir tableau 1).

Figures 6a et 6b : Relevés de températures pendant la solarisation 2013



La solarisation mise en place le 1<sup>er</sup> août après le melon est laissée jusqu'au 10 octobre, soit une durée effective de 70 jours. Le contrôle des températures n'a pu se faire qu'à 15 cm de profondeur au lieu de 10 et 25 cm. Mais le résultat montre qu'à cette profondeur, les températures n'ont pas réussi à monter au-dessus de 45°C. Le cumul des heures supérieures à 40°C n'atteint qu'une centaine d'heures, ce qui est très faible comparativement à l'an dernier.

Au vu de ces résultats, on peut supposer que la solarisation a été peu efficace sur les pathogènes du sol, et en particulier les nématodes. Cela est dû essentiellement à un mois d'août 2013 au climat peu favorable à la solarisation, ce qui est un risque avec la mise en place tardive. Par ailleurs, l'apport d'eau effectué avant solarisation a été réduit de moitié par rapport à l'an dernier. Afin de faciliter la pose du plastique, le producteur a choisi de moins arroser : il a apporté l'équivalent de 35 mm d'eau (3.5 heures d'aspersion) sur un sol dont la réserve utile est de 110 mm sur 50 cm de profondeur (type limon argilo-sableux).



Photo 7 : Pourpier développé sous la bâche de solarisation

Adventices : A plusieurs endroits, du pourpier est observé sous le paillage de solarisation, témoignant de la moindre efficacité.

## 4.5 Effet sur les nématodes

## ➤ Cartographie des indices de galles

Deux cartographies des indices de galles sur racine ont été réalisées sur la parcelle d'expérimentation : la première, sur les racines de melon et la deuxième ensuite sur les racines de salade. Les deux cartographies sont basées sur l'échelle de Zeck (annexe 1). Un code couleur a été attribué à chaque indice pour donner un résultat visuel de la parcelle, les indices les plus forts étant représentés en couleur foncée.

Sur racines de melon le 16 juillet :

C5				C4				C3			
Poteau	rang 1	rang 2	rang 3	Poteau	rang 3	rang 2	rang 1	Poteau	rang 3	rang 2	rang 1
1	2	1	0	1	2	0	0	1	1	0	0
2	3	0	0	2	1	0	0	2	0	0	1
3	1	1	2	3	2	0	0	3	1	0	1
4	1	1	0	4	4	0	0	4	2	0	1
5	1	0	2	5	3	0	0	5	1	0	1
6	2	0	1	6	3	1	0	6	2	0	2
7	1	0	2	7	4	0	3	7	3	0	2
8	2	0	1	8	7	1	0	8	2	0	2
9	0	0	1	9	2	0	2	9	7	3	2
10	0	0	3	10	0	0	2	10	4	1	3
11	1	1	0	11	2	0	0	11	4	0	2
12	1	0	1	12	1	0	0	12	1	0	2
13	0	0	0	13	1	0	1	13	1	0	3
14	1	0	1	14	1	0	1	14	1	0	0
15	0	1	1	15	1	0	0	15	1	1	1
16	1	0	0	16	1	2	1	16	3	3	2
17	1	0	1	17	3	0	3	17	1	0	1
18	1	0	1	18	4	0	5	18	6	0	3
19	2	0	1	19	2	0	3	19	4	2	3
20	2	0	7	20	0	0	1	20	1	0	4
	1,36	0,33	1,08		2,2	0,2	1,1		2,3	0,5	1,8



Photo 8 : Melonnière C4 vue du Sud le 16/07



Photo 9 : Galles sur racines de melon

Sur cette culture, 50 à 70% des plantes observées présentent des galles sur les racines avec des IGR de 0 à 7. On retrouve dans les 3 chapelles les deux rangs de bordure majoritairement touchés. On ne constate pas de différence importante entre les systèmes sur l'attaque globale de nématodes. Les applications de *Bacillus firmus* dans C3 et C4 n'ont a priori pas eu d'effet, dans les conditions d'application.

Sur laitue le 24 Février :

C5			C4			C3						
Poteau	rang 1	rang 2	rang 3	Poteau	rang 3	rang 2	rang 1	Poteau	rang 3	rang 2	rang 1	
1	1	1		1	4	3	2	1	4	1	0	
2	2	0	2	2	5	3	7	2		1		
3	1	2	6	3	6	5	6	3	5	1	6	
4	5	1	3	4	4	4	8	4	3	2	4	
5	5	1	6	5	4	5	3	5	5	1	5	
6	3	2	5	6	5	4	5	6	6	5	5	
7	6	1	6	7	2	5	5	7	7	4	5	
8	4	1	3	8	5	6	3	8	7	1	5	
9	7	1	6	9	6	4	6	9	5	1	7	
10	1	1	3	10	8	3	6	10	5	2	5	
11	3	5	3	11	5	5	7	11	5	3	4	
12	1	0	4	12	7	5	4	12	6	2	6	
13	2	3	3	13	6	3	2	13	8	3	4	
14	2	2	5	14	8	2	3	14	7	3	5	
15	4	4	3	15	1	2	3	15	4	2	4	
16	7	3	4	16	4	3	6	16	5	4	3	
17	7	1	1	17	7	3	2	17	5	4	7	
18	8	2	2	18	7	4	4	18	6	4	5	
19	6	1	6	19	6	3	3	19	4	3	7	
20	7	1	7	20	7	3	1	20	8	1	6	
	3,73	1,60	4,50		5,35	3,75	4,3		5,5	#	2,4	4,9



Photo 10 : chapelle C4 vu du Nord le 24/02/14



Photo 11 : Galles sur racines de salade

Sur la salade, près de 100% des plantes observées présentent des galles avec des IGR de 0 à 8. Les lignes de bordure sont toujours plus touchées que la ligne centrale. La parcelle C5 ayant subi une 2<sup>e</sup> solarisation est moins touchée que les deux autres. A ce niveau d'attaque, l'impact sur la production est bien visible.

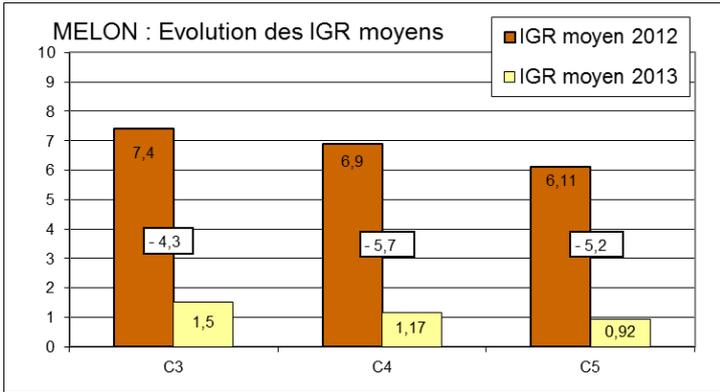
➤ **Evolution des nématodes :**

On cherche à évaluer l'évolution de la pression des nématodes sur les cultures, en considérant l'évolution des indices de galle sur les racines et en quantifiant, par analyse en laboratoire, la présence des nématodes dans les parcelles.

- Evolution des indices de galles (IG) :

Une moyenne globale des indices de galles est calculée sur chaque chapelle. La comparaison la plus juste doit se faire sur les mêmes cultures pour tenir compte des conditions de développement des nématodes.

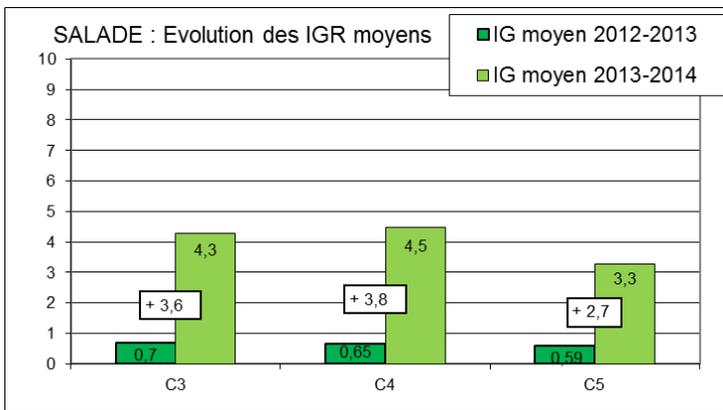
Sur melon :



On constate une forte réduction des IGR entre 2012 et 2013 sur melon, témoignant d'une bonne efficacité de l'interculture, en 2012 : solarisation pour C5 et sorgho + solarisation pour C3 et C4.

Les IGR moyens de 6-7 baissent à un niveau de 1, ce qui est faible pour une culture sensible d'été. Le développement moins important des nématodes sur les racines de melon est cohérent avec le bon comportement de la culture observé en 2013.

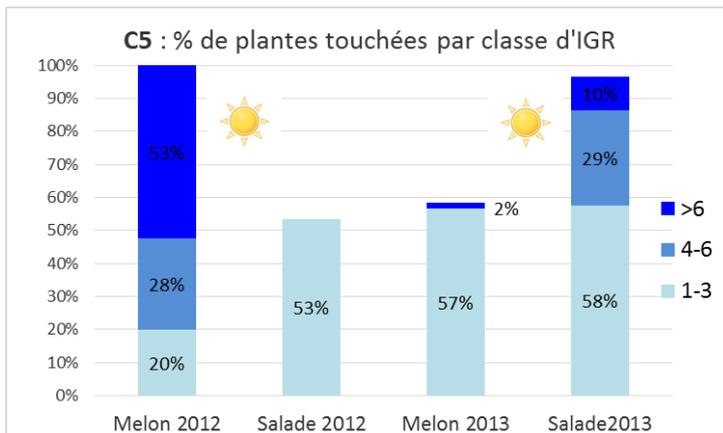
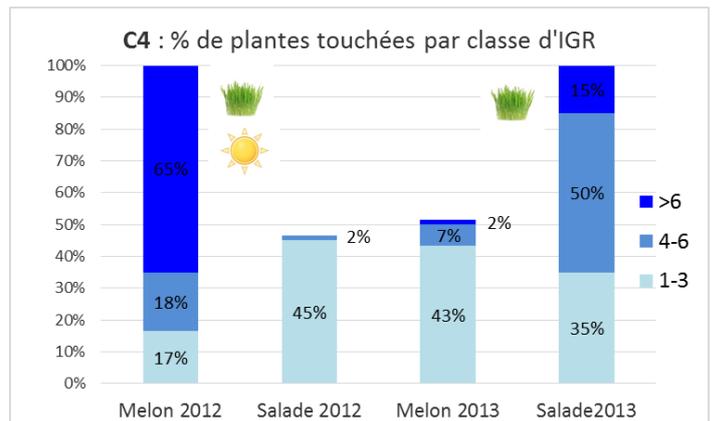
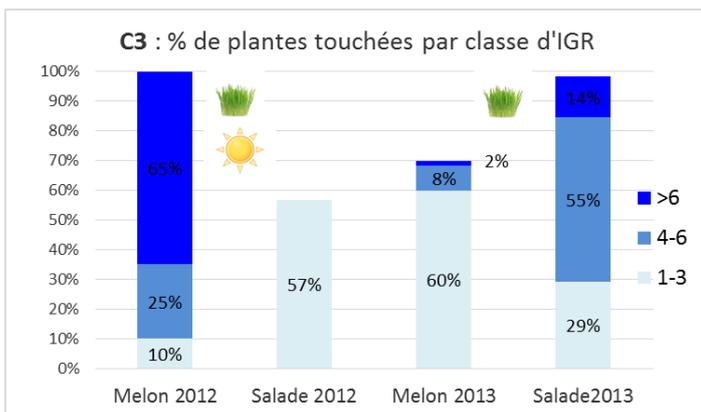
Sur salade :



Sur la culture d'hiver, on constate une forte augmentation des IGR de 2012 à 2013. Les salades suivant la solarisation de 2012 n'étaient que très peu touchées par les nématodes (IGR <1) et l'interculture 2013 n'a pas permis de maintenir ce niveau. Il y a eu multiplication des nématodes dans le sol malgré l'interculture 2013. Les IGR observés sont même plus importants que ceux du melon sur l'été précédent.

- Evolution du pourcentage de plantes touchées :

Il est également intéressant de juger plus précisément de la situation de chaque système, vis-à-vis des nématodes, en considérant l'importance des attaques. Les graphiques ci-dessous représentent le pourcentage de plantes touchées par grande classe d'IGR.



Engrais vert

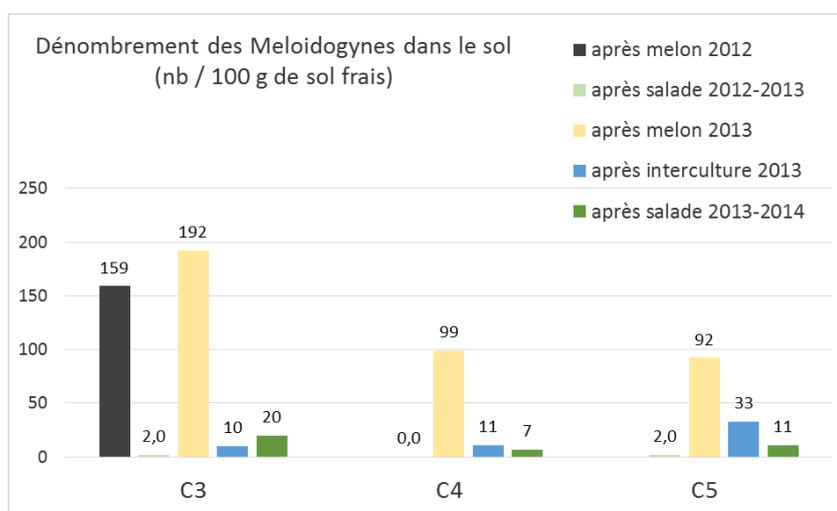


Solarisation

A partir d'un niveau initial très touché sur melon (100% des plantes touchées avec une majorité d'IGR supérieurs à 6), la baisse de la pression de nématodes est évidente après l'interculture de 2012 (solarisation). Non seulement, l'intensité des IGR diminue mais aussi le nombre de plantes touchées. On voit apparaître quelques plantes très touchées sur melon en 2013. Malgré la 2<sup>e</sup> interculture (solarisation ou engrais vert), la contamination progresse en salade 2013-2014. On retrouve près de 100% des plantes contaminées et le niveau des IGR augmente aussi. Les 3 systèmes présentent la même évolution. On observe cependant dans C5 après une 2<sup>e</sup> solarisation une moindre importance de la classe 4-6 au profit de la classe inférieure.

#### - Quantification des *Meloidogyne* (analyses du laboratoire ELISOL)

Les analyses quantitatives permettent d'évaluer les populations larvaires de *Meloidogyne* sur des échantillons de sol. Les évaluations en période hivernale sont considérées comme moins représentatives dans la mesure où une partie des nématodes peut se trouver sous forme d'œufs et ne sont pas détectés.



Sur melon, le dénombrement initial de *Meloidogyne* avait été réalisé dans la chapelle C3 en 2012 et se situait à 159 larves/100 g de sol frais. Malgré les améliorations observées sur la culture de melon en 2013, on dénombre encore 192 nématodes/100 g sol sur cette parcelle. Les deux autres chapelles sont à un niveau de 99 et 92 larves/100g de sol.

Après l'interculture 2013, les nématodes semblent avoir été impactés par la présence d'un engrais vert résistant aux nématodes (radis fourrager ou sorgho). La solarisation, avec une efficacité relative en 2013, laisse encore des nématodes présents dans le sol dans la chapelle C5.

Sur salade, malgré une forte contamination des racines observées à la récolte et des indices de galles élevés, le dénombrement en fin de culture est faible. Les nématodes ont pu contaminer les salades en début de culture dans des conditions de température de sol élevées (15 °C). Ensuite, à 10°C, ils sont dans une phase de développement ralenti et se trouvent sous forme d'œufs non décelables dans le sol au moment du prélèvement, fin février.

## 5. Evolution des IFT

Les données d'IFT sont indiquées dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4 : Traitements réalisés sur les cultures de melon et salade

Cycle 120 j	Insecticides	Fongicides	Total IFT
Melon 2012	NC	NC	NC
Melon 2013	5	4	9

Cycle 110 j	Insecticides	Fongicides	Total IFT
salade 2012	3	6	9
salade 2013	3	4	7

Cycle 120 j	Insecticides	Fongicides	Total IFT
Melon 2012	NC	NC	NC
Melon 2013	5	4	9

La succession culturale 2012-2013 met en évidence une réduction de 2 sur l'IFT en salade lié à l'allègement des traitements contre le *Botrytis* et le *Sclerotinia* mais cela a eu comme conséquence de fortes attaques de *Botrytis* au moment des récoltes.

## 6. Conclusion

Dans les 3 systèmes étudiés, l'interculture 2012 a permis une forte réduction des attaques de nématodes sur melon avec une baisse de 30 à 40 % des plantes touchées et des indices de galle racinaire moyens autour de 1, sur l'échelle de Zeck. Les résultats sur la culture sont positifs. La solarisation effectuée en 2012 a été efficace, qu'elle soit précédée ou non du sorgho.

Cependant, les quantifications de nématodes dans le sol montrent que les populations de *Meloidogyne* restent importantes. Les méthodes de lutte mises en place en 2012 ont été favorables à la réduction des attaques de nématodes mais pas à la réduction des populations.

Les intercultures effectuées en 2013 n'ont pas permis de contrôler cette population réduite de nématodes. Que ce soit derrière les engrais verts (sorgho en C3 et radis fourrager en C4) ou une 2<sup>e</sup> solarisation (C5), la culture de salade a développé les nématodes. Les parcelles sont de nouveau contaminées à 100% avec des indices de galle plus élevés, malgré les conditions hivernales. Les méthodes de lutte mises en place en 2013 ont été inefficaces, voir aggravantes pour l'état du sol.

A cela plusieurs explications :

Pour C3, la méthode du sorgho nématocide se heurte aux difficultés de la biofumigation. La dhurrine se décompose en acide cyanhydrique par de nombreux processus chimiques méconnus et elle est très volatile. Même si le sorgho N° 270911 a montré un bon développement et un bon taux de dhurrine au moment du broyage, son efficacité nématocide n'est toujours pas mise en évidence dans ces essais. Les facteurs de libération d'HCN et de nuisibilité vis-à-vis des nématodes paraissent encore difficiles à comprendre et à maîtriser. Par ailleurs, le broyage du sorgho à 28 jours a laissé le sol nu jusqu'à la plantation de salade, ce qui n'a eu aucun effet sur les nématodes. En 2014, il est prévu de laisser le sorgho en place après broyage puisque les repousses sont aussi riches en dhurrine et que le sorgho permet au moins de ne pas développer les nématodes.

Pour C4, le radis fourrager ne s'étant pas développé, ce sont les adventices et les repousses de melon qui ont colonisé le sol et ont pu maintenir les nématodes. Face aux limites de développement du radis fourrager, cette parcelle recevra de la moutarde en 2014.

Pour C5, la mise en place de la solarisation n'a pas été optimale. Le plein en eau était sans doute insuffisant pour maintenir une bonne température dans le sol et en profondeur, mais le climat a été un des facteurs les plus limitants puisqu'à 15 cm, les températures n'ont pas dépassé 45°C. Cela n'est pas surprenant compte tenu de l'installation tardive de la solarisation (début août).

Au vu de ces résultats, il apparaît qu'une solarisation efficace peut avoir de bons résultats sur les nématodes pour les cultures d'hiver et d'été de l'année suivante. Mais il reste une population résiduelle dans le sol qui est capable de recontaminer très rapidement les parcelles si de nouvelles mesures ne sont pas prises. La solarisation confirme ainsi une limite importante : n'étant pas sélective, elle détruit l'ensemble des micro-organismes présents dans le sol et les nématodes restants colonisent plus vite la parcelle en présence d'une culture sensible.

## ANNEXES

## ANNEXE 1 : échelle de Zeck (1971)

Encadré 2 : Echelle de Zeck indexant les attaques de nématodes *Meloidogyne* sur les racines de plantes