

DOSSIER SPECIAL

Des systèmes de culture pour maîtriser les populations de nématodes à galles : résultats de l'essai du GRAB dans le projet GEDUBAT

Hélène VEDIE

Le projet GEDUBAT (Gestion Durable des BioAgresseurs Telluriques), coordonné par le Ctifl et financé par Ecophyto, visait à tester, sur 6 ans (2012-2017), des techniques alternatives permettant la réduction des pathogènes telluriques sur les cultures sous abri. La lutte contre les nématodes est une des priorités du projet compte tenu de l'importance de ce problème en maraîchage.

Dans le cadre de GEDUBAT, le GRAB a mis en place un essai « système » pour comparer différentes stratégies de combinaisons de leviers visant à maîtriser les problèmes telluriques.

Les stratégies étudiées pour limiter les populations de nématodes à galles

L'essai, implanté depuis 2012 chez un maraîcher en AB confronté depuis de nombreuses années aux problèmes de nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.), étudie l'évolution de 2 systèmes principaux (tableau 1)¹ conduits chacun dans 1 tunnel froid de 480 m². Le sol est limono-argilo-sableux calcaire, et les 2 espèces de *Meloidogyne* présentes sont celles couramment rencontrées dans la région : *M. arenaria* et *M. incognita*.

- **Système 1** : Ce système vise une rentabilité maximale et la meilleure adéquation possible avec le système commercial de l'exploitation : de ce fait, les cultures de ventes principales sont cultivées en priorité. La prise de risque nématodes liée aux successions culturales est moyenne : les cultures d'été sont plutôt sensibles, et on s'efforce de faire une rupture sur le créneau d'automne². Pour réguler les populations de nématodes, la solarisation est privilégiée comme traitement d'été. Ce système est proche de la référence producteur.

- **Système 2** : Ce système vise à diminuer la prise de risque nématodes liée aux successions culturales en adoptant une stratégie d'évitement : les plantes hôtes² sont limitées, et plutôt positionnées en automne, période moins favorable à la multiplication des nématodes. De ce fait, la solarisation n'est utilisée qu'en cas de forte attaque, et remplacée par des engrais verts d'été, de préférence non hôtes, voire nématicides. Des apports de matière organique (MO) sont réalisés à partir de 2014 pour stimuler l'activité biologique du sol (5 t/ha d'amendement organique apporté à l'automne [Orgaveg/Angibaud, à base de tourteaux végétaux et fumier mouton]).

Tableau 1 : Stratégies agronomiques et pratiques mises en œuvre

Intitulé du système		T3-Système 1	T2- Système 2
Système et contraintes		Été sensible-automne régulé	Plantes sensibles limitées
Objectifs visés		Freiner les pathogènes Baisser de l'inoculum	Stimuler l'activité biologique Freiner les pathogènes (plantes non hôtes)
Prise de risque		Moyenne	Faible
Leviers utilisés	Augmenter l'activité biologique du sol	Diversification des cultures Engrais verts (1an/3) pas d'apport de MO	Diversification des cultures Engrais verts (> 2ans/3) Apport de MO
	Freiner l'infestation et le développement de l'inoculum tellurique	Cultures d'automne peu hôtes Solarisation (2ans/3 max)	Cultures d'été peu hôtes Solarisation (< 1an/2)
	Stimuler le développement de la plante cultivée		Apport de MO

❖ Succession culturale 2012-2017

Une des caractéristiques des systèmes étudiés est leur niveau de diversification important en comparaison à des systèmes « classiques » : 5 espèces appartenant à 4 familles ont été cultivées dans le système 1 et 10 espèces appartenant à 7 familles dans le système 2. Les cultures sont essentiellement des légumes feuilles et de la courgette (figure 1). En été, le tunnel était soit solarisé, soit en engrais vert, sauf en 2015 où il est resté nu. L'engrais vert utilisé était le sorgho fourrager « Piper », cultivé pendant 6 semaines avec 2 coupes, et notamment 2 « cultures » successives de 6 semaines en 2016 (système 2), ou bien maintien de la roquette après la fin des récoltes pendant tout l'été (1/2 tunnel dans le système 2 en 2013, et tunnel 3 en 2016). La courgette, sensible aux nématodes, a été cultivée en 2012 et 2017 dans les 2 tunnels de façon à pouvoir évaluer l'état initial et juger des effets des pratiques réalisées sur la même culture à la fin de l'essai.

¹ Un système 3, équivalent au système 1 mais avec arrachage des systèmes racinaires en fin de culture d'été faisait également partie du dispositif. Les résultats étant équivalents à ceux du système 1, ils ne sont pas présentés ici.

² Les plantes moins sensibles introduites sont choisies d'après de précédents essais conduits au GRAB en 2009 et 2011 (voir MBI n°73, 1^{er} trimestre 2013)

		2012					2013					2014					2015					2016					2017										
		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
T3	Système 1	Solarisation	Mâche				Persil	Solarisation	Mâche			Courgette	Solar		Chou R		Persil	Sol Nu														Mâche	Courgette				
T2	Système 2	Solarisation											EV (S)		Chou R	Fenouil		EV		Persil	Oignon	Sol Nu	Mâche	Salade							Coriandre	Courgette					



 Cultures **non hôtes** de *Meloidogyne spp.* (mâche, roquette, oignon)
 Culture **sensible** (persil, courgette, coriandre ?)
 Culture **moyennement sensible** (chou rave, fenouil printemps)

Figure 1 : Succession culturale des systèmes expérimentés

❖ Mesures réalisées :

Meloidogyne spp. : Niveaux de dégâts sur cultures et suivi des populations :

- **Cartographie des Indices de Galles** : à la fin de chaque culture, observation des racines sur 4 rangs (rangs de la culture de courgette) tous les 2 arceaux (4m), soit 56 plantes par système. Une note de 0 (pas de galles) à 10 (racines couvertes de galles, plant dépérissant) est attribuée à chaque système racinaire selon l'échelle de Zeck (1971). Cette cartographie permet de disposer à la fois de la répartition des dégâts dans l'espace et de l'évolution du degré d'infestation dans le temps.
- **Populations** : dénombrement des populations larvaires dans le sol à la fin de chaque culture d'été.

Suivi des communautés de nématodes phytoparasites, et d'indicateurs biologiques de fertilité des sols :

- **Population de nématodes phytoparasites** : dénombrements des populations de nématodes phytoparasites au niveau du genre à la fin de chaque culture d'été
- **Indicateurs Biologiques** mesurés à la fin de chaque culture d'été : dénombrements des **populations de nématodes libres** (non phytoparasites) et **biomasse microbienne**.

Bilan technico - économique sur les deux tunnels de l'essai :

- **Enregistrement des rendements commerciaux –**
- **Rentabilité (chiffre d'affaires – charges brutes)**
- **Coût des techniques mises en œuvre (EV & solarisation).**

Impacts des systèmes sur les populations de nématodes phytophages

❖ Nématodes à galles (*Meloidogyne spp.*)

Au début du projet en 2012, les 2 tunnels, avec une culture de courgette, étaient assez fortement contaminés par les nématodes : près de 80% des plantes portaient des galles et l'IG moyen était de 2,5 dans le T3 (système 1) et 3,3 dans le T2 (système 2), voir figure 2. Une solarisation a donc été réalisée pour avoir un effet rapide sur la réduction de l'inoculum. Par la suite, le suivi des indicateurs nématologiques et le comportement des cultures ont dicté la décision de recourir à une nouvelle solarisation en cas de niveau d'attaque important, ou de réaliser un engrais vert. En pratique, la solarisation a été renouvelée 2 fois, en 2013 et 2014, dans le système 1 alors qu'elle ne l'a pas été dans le système 2, où des engrais verts de sorgho (6 semaines à chaque fois, avec 2 semis l'été 2016) ont été réalisés.

Dans le système 2, on constate que le niveau d'infestation sur les cultures est resté très faible de l'automne 2012 à l'été 2016. L'indice de galles racinaires (IG) moyen est resté inférieur à 1 pendant la quasi-totalité de l'essai, confirmant l'efficacité de la stratégie d'évitement : peu de galles sur les cultures moins sensibles cultivées en période à risque, et sur les cultures sensibles cultivées en période froide. Le dénombrement des nématodes à galles dans le sol confirme cette évolution, avec des populations quasi nulles entre 2013 et 2015 (figure 3). La coupure réalisée pendant 4 ans n'est cependant pas suffisante pour réguler durablement les populations, qui augmentent rapidement à partir de l'été 2016, avec la réintroduction de cultures sensibles. Ainsi, la courgette révélatrice sensible est très fortement attaquée en 2017 par rapport à l'état initial, avec 98% de plantes touchées, et un IG moyen de 5,7.

Dans le système 1, à l'inverse, le niveau d'infestation moyen est plus élevé pendant la durée de l'essai, notamment sur les cultures sensibles de printemps-été (persil, courgette) malgré les solarisations annuelles des trois 1ères années. Néanmoins, en 2017, alors que la dernière solarisation remonte à 3 ans, le niveau d'IG est inférieur à 3 sur la courgette, et proche des indices de 2012 et 2014 sur la même culture.

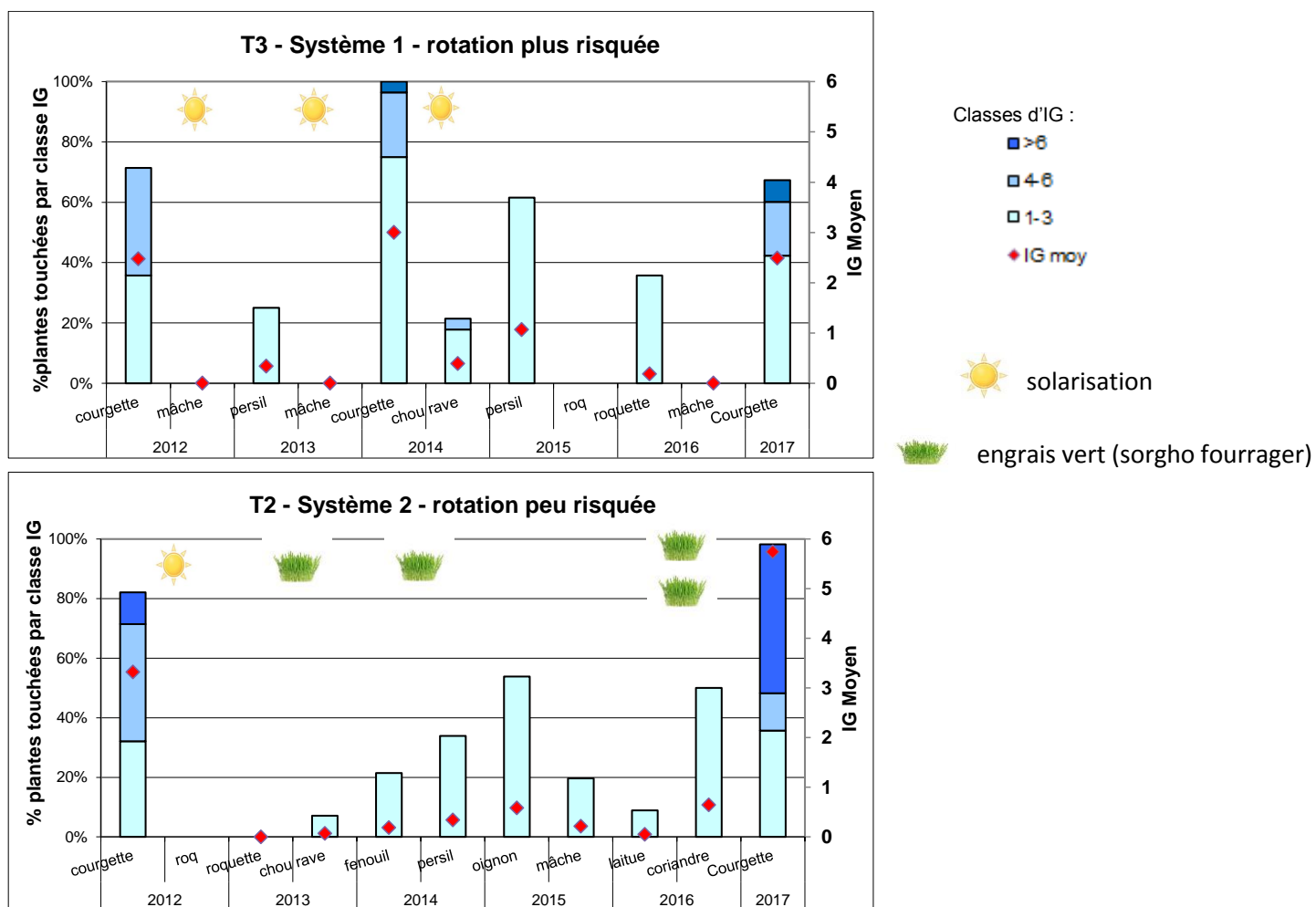


Figure 2 : IG moyen et % de plantes touchées par classe d'IG sur la succession culturale

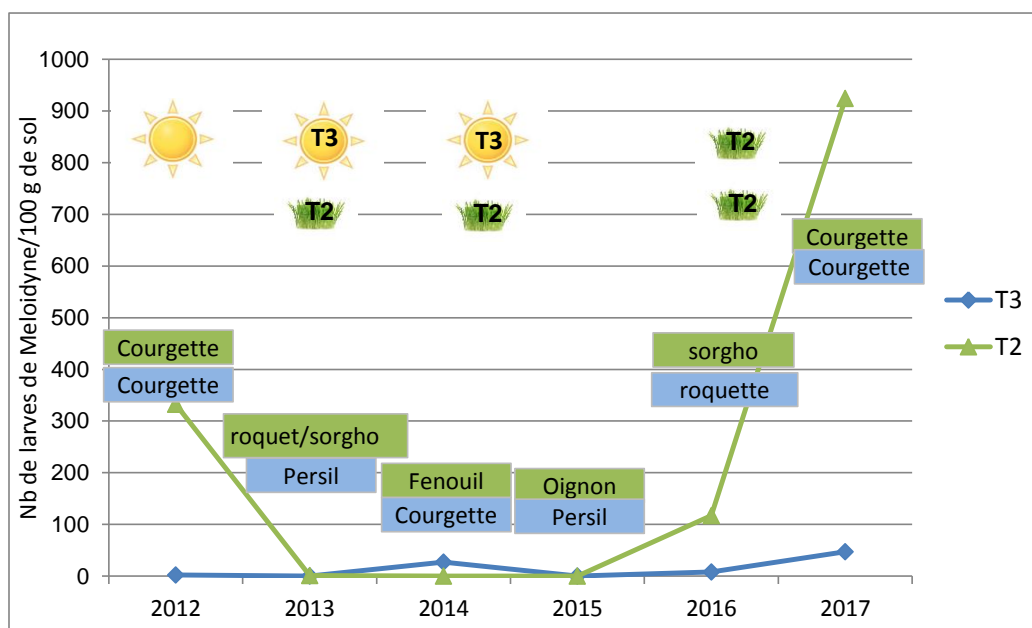


Figure 3 : Evolution des populations d'été de Meloidogyne sp. au cours de l'essai (en encadrés, cultures à la fin desquelles les dénombrements ont été réalisés)

L'évolution des populations de nématodes à galles (figure 3) montre que depuis le début de l'essai, les populations avaient largement diminué que ce soit dans le système 1 (T3) ou le système 2 (T2), même lorsque les indices de galles mesurés au même moment étaient élevés, comme par exemple sur courgette dans le T3 en été 2014. L'augmentation nette observée dans le système 2 après 2 sorghos est sans doute lié à une culture trop longue de chacun des sorghos, qui a pu favoriser la multiplication des nématodes, d'autant plus que le semis a été réalisé à une densité insuffisante et que la présence de pourpier, avec des galles visibles, était importante à chaque fois. La coriandre, sensible, a sans doute contribué à faire perdurer cette population de nématodes dans le T2 (pas de dénombrement de populations, mais galles présentes), alors que la mâche, moins hôte, n'a probablement pas multiplié les nématodes dans le T3 (aucune galle). Cette évolution des IG est confirmée par les dénombrements de nématodes à la fin de la culture de courgette en 2017 : la population dans le T2 atteint 3 fois la population de début d'essai, alors qu'on retrouve dans le T3 des populations semblables à celles mesurées à T0 en 2012.

❖ Autres nématodes phytophages

Les dénombrements des autres nématodes phytophages montrent qu'il n'y avait quasiment que des *Meloidogyne* spp. sur courgette en 2012, mais on assiste à une augmentation du nombre d'autres nématodes phytophages, qui s'accroît notamment à partir de 2015 (T2) et 2016 (T3). Il semble donc que la solarisation permette de limiter l'ensemble des nématodes phytophages, et que ceux-ci réapparaissent plus ou moins rapidement à l'arrêt de cette pratique.

Si les populations de *Pratylenchus* sp. et *Helicotylenchus* sp. restent limitées (une dizaine de larves pour 100 g de sol), les populations de nématodes du genre *Tylenchorhynchus* sont beaucoup plus importantes depuis l'été 2015 (figure 4). L'augmentation est visible et constante dans le T3 depuis la fin de la courgette 2014, et également dans le T2 où la population très forte en 2015 après oignon, est redescendue après les sorghos pour remonter fortement à la fin des courgettes en 2017. L'augmentation des *Tylenchorhynchus* peut être liée à un effet de la culture elle-même (roquette, oignon), ou à celui des engrais verts de sorgho, réalisés en 2013, 2014 et 2016 (T2) qui favoriseraient ce genre de nématodes (résultats du projet Gedunem).

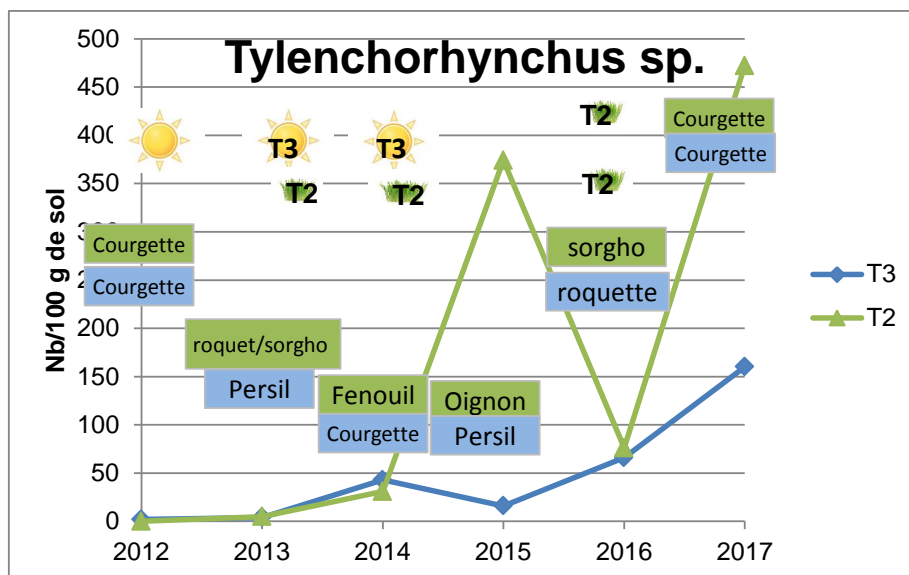


Figure 4 : Evolution du nombre de nématodes du genre *Tylenchorhynchus* (nb de larves/100 g sol)

Evolution des indicateurs biologiques de fertilité des sols

❖ Nématodes non phytophages

Les nématodes libres, non phytophages, sont des indicateurs de biodiversité et de fertilité biologique des sols. Il apparaît que les populations sont globalement à la hausse dans les 2 tunnels (figure 5). Dans le système 1 (T3), la solarisation semble avoir un impact limité sur cet indicateur, ou bien le recouvrement des populations est rapide. Néanmoins en fin d'essai, les populations de nématodes libres deviennent supérieures dans le système 2 (T2), qui n'a pas été solarisé depuis 2012, et où les apports réguliers d'amendement organique et la pratique des engrais verts peuvent également les avoir favorisés.

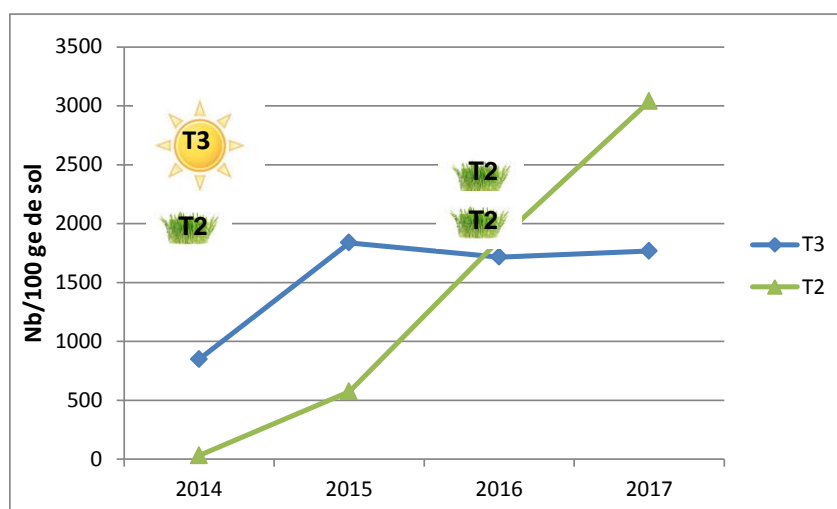


Figure 5 : Evolution des populations de nématodes libres dans le sol

❖ Biomasse microbienne du sol

L'analyse de la biomasse microbienne est un autre indicateur de la fertilité biologique des sols sur les différents systèmes. On observe en tendance un impact positif du système 2 sur la biomasse microbienne (tableau 2), stimulée par les apports de MO, la pratique des engrais verts et de l'absence de solarisation l'évolution suivante. Dans le système 1 (T3), la biomasse microbienne semble augmenter après l'arrêt des solarisations. On observe par ailleurs peu d'impact des pratiques sur le taux de MO du sol.

Tableau 2 : Analyse de la biomasse microbienne des deux systèmes en 2015

		Carbone (g/kg terre)	% MO	Biomasse microbienne			
				mgC/kg terre	appréciation	% C	appréciation
T2	Eté 2015	20,3	3,5	237	un peu fort	1,2	faible
	Eté 2016		3,5	310	un peu fort	1,5	faible
	Eté 2017	19,9	3,4	319	fort	1,6	satisfaisant
T3	Eté 2015	21	3,6	152	un peu faible	0,7	très faible
	Eté 2016	17,6	3	272	satisfaisant	1,5	faible
	Eté 2017	21,6	3,7	287	fort	1,3	un peu faible

Performance économique comparée des 2 systèmes

Pour comparer les systèmes nous avons calculé une marge brute des différentes cultures. Cette marge intègre :

- le chiffre d'affaire brut : rendement commercial x prix de vente (du producteur, en AB)
- les charges brutes (hors charges de structure) : Main d'œuvre : Temps passé (préparation du tunnel, plantation, entretien de la culture, récolte, débarrassage) x coût horaire (distinction coût heure manuelle et heure tractorisée) + coût des intrants (paillage, engrais) + coût des plants + coût des pratiques assainissantes d'été.

Au début de l'essai, les résultats étaient en défaveur du système 2 (figure 6), notamment parce qu'en 2013-2014, de lourdes pertes (50%) avaient été subies sur la culture de fenouil, alors que la courgette cultivée dans le système 1 est un produit rémunérateur (marge de 8,1 euros/m²). En 2014-2015, les résultats étaient à l'inverse bien meilleurs dans le système 2 avec un chiffre d'affaires élevé pour le persil et l'oignon bottes, alors que la rentabilité de la culture de chou rave était limitée dans le système 1 (attaques de campagnols et de pucerons).

Après 5 années de distinction des systèmes, il apparaît donc que les résultats économiques sont assez proches, avec une moyenne de 11,6 et 12,9 euros/m²/an de marge brute pour les systèmes 1 et 2 respectivement. Ce suivi dans la durée montre l'importance de n'évaluer la performance économique des systèmes que sur une longue durée pour lisser l'effet, parfois très fort, de l'année.

Ces résultats n'ont de valeur que dans le système de l'exploitation suivie, qui a réussi à bien commercialiser les cultures de « diversification » avec un prix de vente satisfaisant, mais ils illustrent néanmoins le potentiel de la diversification si le système commercial est adapté.

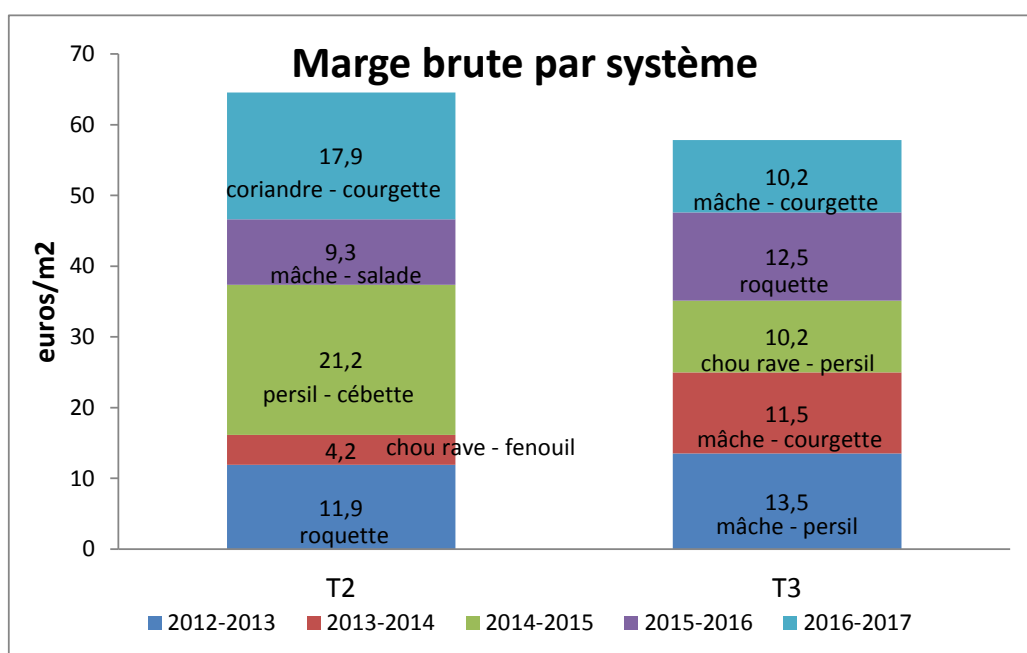


Figure 6 : Marge brute par système sur les 5 années d'essai Gedubat

Bilan et perspectives

Les résultats obtenus au cours de cet essai ont permis de conforter les règles de décision prises à priori sur les 2 systèmes expérimentés, et de contenir la pression des nématodes à un niveau modéré.

On a ainsi pu réduire l'usage de la solarisation et faire des engrais verts d'été dans les 2 systèmes à partir de 2015. Cependant, les résultats obtenus à l'issue de la dernière culture révélatrice de courgette sensible en 2017 montrent que la « rupture » réussie pendant 4 ans dans le système 2 ne permet pas de limiter durablement l'inoculum des *Meloidogyne* qui réaugmente très vite après 1 année « à risque » (double sorgho long pendant l'été 2016 puis coriandre d'automne et courgette 2017).

La question de l'efficacité réelle de la rupture se pose : l'inoculum a-t-il pu se maintenir pendant 4 ans en assurant une multiplication limitée mais effective des nématodes, même sans développement de galles racinaires (à l'image de ce qui a été mis en évidence sur le sorgho) ?

Dans le système 1, la solarisation a permis de contrôler les nématodes qui se maintiennent à des niveaux stables sur une culture identique (courgette en 2012, 2014 et 2016), malgré des solarisations à efficacité variable : efficacité +++ 2012, - 2013, + 2014. De plus, l'effet d'1 an de roquette, en 2016, semble offrir une régulation très intéressante.

La solarisation limite l'ensemble des nématodes phytophages qui réapparaissent après l'arrêt de cette pratique, et sont sans doute plus ou moins favorisés selon les cultures. L'effet dépressif de la solarisation est moins net (ou de courte durée) sur les nématodes libres ; sur la biomasse microbienne il semble s'estomper 2 (T3) ou 3 (T2) ans après l'arrêt de la pratique.

La gestion des nématodes est donc un travail de longue haleine, qui nécessite de mettre en place un maximum de mesures de régulation : il faut conjuguer les mesures prophylactiques, la gestion des rotations et la pratique de techniques comme la solarisation en cas de forte infestation.

Nous tenons à remercier Xavier Hévin pour avoir accueilli cette expérimentation sur son exploitation. Nous remercions également l'ensemble des partenaires du projet Gedubat (Ctifl, INRA, Aprel, Invenio) et les partenaires des réseaux Dephy-Fermes associés.

Pour en savoir plus sur le projet Gedubat, et les différents essais conduits par les partenaires, des fiches projet, fiches sites et fiches systèmes sont disponibles sur le portail EcoPhyto PIC : <http://ecophytopic.fr/tr/innovation-en-marche/r%C3%A9seau-dephy/gedubat-innovations-techniques-et-vari%C3%A9tales-pour-une-gestion>