



**PROGRAMME CONCERNANT LA MISE EN PLACE ET LA CONDUITE DE  
PROTOTYPE DE PRODUCTION INTEGREE CHEZ DES AGRICULTEURS  
PRESERVANT LE REVENU DU PRODUCTEUR.**

## ***ECOPHYTOSYS LEGUMES BASSE-NORMANDIE***

**Rapport technique :**

**Etudes et Méthodes pour le contrôle des principaux pathogènes et insectes ravageurs des cultures de légumes de la Manche et construction de systèmes de cultures – essais en exploitations**

**Année 2011/2012**



FranceAgriMer

## Table des matières

Programme concernant la mise en place et la conduite de prototype de production intégrée chez des agriculteurs préservant le revenu du producteur.....	1
<i>EcoPhytoSys légumes Basse-Normandie</i> .....	1
1. Introduction .....	4
1.1. Contexte général .....	4
1.2. Le programme EcoPhytoSys légumes Basse-Normandie (rappels).....	4
2. Rappels des orientations générales et des travaux déjà engagés.....	6
2.1. Premiers résultats et orientations retenues .....	6
2.1.1. Analyses de sols des parcelles du réseau .....	6
2.1.2. Résultats des analyses des systèmes .....	6
2.1.3. Résultats des inventaires techniques et des connaissances biologiques .....	7
2.2. Orientation du projet pour 2010 - 2011 .....	7
2.3. Les actions menées en 2010 .....	8
3. Les objectifs et travaux de l'année 2011-2012 .....	9
4. Les résultats acquis en 2011-2012.....	9
4.1. Acquisition de connaissances sur les bio-agresseurs et des modes de gestion pour la constitution de boîte à outils pour la re-conception de SdC.....	9
4.1.1. Les facteurs déterminant l'installation et le développement des insectes ravageurs en cultures légumières, pour le référencement de moyens agronomiques de lutte.....	9
4.1.2. Les pathogènes.....	15
4.2. Les expérimentations .....	23
4.2.1. Les tests de nouvelles méthodes ou acquisition de connaissances bio-agresseurs .....	23
4.2.2. Les premières approches de modification des systèmes par intégration de nouvelles pratiques .....	28
4.3. Synthèses des résultats des travaux 2011-2012.....	32
5. Les communications réalisées.....	34
5.1. Les communications aux producteurs et aux partenaires du projet. ....	34
5.2. Les communications en dehors du réseau .....	35
6. Analyse des leviers mobilisables pour la construction de nouveaux systèmes de cultures en basse-normandie.....	35
6.1. Les leviers pour réduire les pesticides.....	35
6.2. Pratiques pour améliorer la qualité du sol et la gestion des bioagresseurs telluriques.....	36
6.3. Gestion des apports de PRO .....	37
6.3.1. Intérêt des apports des PRO sur la qualité des sols .....	37
6.4. La gestion des successions et le choix variétal .....	38
6.4.1. Intérêts des successions sur la qualité des sols. ....	38
6.5. Gestion des intercultures.....	40
6.6. Gestion des sources de contamination .....	42

6.6.1. Techniques culturales à considérer pour la gestion des sources de contamination .....	42
6.7. La gestion du travail du sol .....	43
6.8. La gestion technique des autres pratiques.....	44
6.8.1. Gestion des fertilisants minéraux.....	44
6.8.2. Gestion des techniques d'irrigation.....	46
6.9. Priorités des stratégies à proposer pour réduire les risques et le recours aux pesticides .....	47
7. Conclusions et perspectives .....	48
8. Annexes .....	52
8.1. Gestion de l'alimentation hydrominérale : .....	52
8.1.1. Stratégie de contrôle des BA : .....	52
8.1.2. Rappel des suivis pour l'année 2010 .....	52
8.1.3. Référencement et analyse des pratiques existantes –année 2011 .....	52
8.1.4. Proposition d'actions pour 2011 .....	54
8.1.5. Présentation des résultats concernant les suivis d'humidité de sol .....	56
8.1.6. Conclusions et perspectives.....	60
8.2. Substitution de solutions chimiques de gestion des bio agresseurs par une gestion biologique.....	61
8.3. Evaluation de la contribution des attaques primaires de Pythium sur carotte à la qualité générale à la récolte.....	69
8.3.1. Présentation de la parcelle et de l'itinéraire technique.....	69
8.3.2. Suivis racinaires et nématologiques, résultats.....	70
8.3.3. Conclusion .....	78
8.3.4. Les premières approches de modification des systèmes par intégration de nouvelles pratiques : plante d'interculture assainissante, cas de la moutarde .....	79

# 1. INTRODUCTION

## 1.1. Contexte général

La production légumière de plein champ est soumise aux mêmes exigences que l'ensemble des productions agricoles. Les producteurs se doivent de fournir des produits sains en quantité et en qualité suffisantes et ce au meilleur coût. C'est encore aujourd'hui, une conduite des cultures utilisant une quantité importante de produits phytosanitaires qui permet d'y parvenir. Il en résulte une dépendance technique et économique vis-à-vis des pesticides, variable selon les cultures mais plutôt prononcée en production légumière. En effet, cette dépendance est renforcée dans le cas de produits frais non transformés tels que certains légumes, par les exigences de la distribution et des consommateurs, de produits "zéro défaut" et se conservant longtemps.

Les nouveaux enjeux des cultures légumières, et de l'agriculture en général, nécessitent donc de produire mieux avec moins d'intrants pour des itinéraires de production durables sur les plans économique et environnemental tout en répondant aux exigences de l'aval.

Comme l'avait montré l'expertise scientifique collective conduite par l'INRA et le CEMAGREF en 2005, la réduction maximale de l'utilisation des pesticides passe par une recombinaison des systèmes afin d'y réduire structurellement les pressions de bioagresseurs. Dans le domaine des grandes cultures, de nombreux programmes ont été conduits depuis une dizaine d'années pour la construction à dire d'experts, la mise en application et l'évaluation de systèmes potentiellement innovants (Essais Systèmes de Culture Innovants INRA Dijon, RMT SdCI, ...). En revanche, en cultures légumières, très peu de programmes sont en cours. Seuls deux projets sont conduits dans ce domaine dans le cadre du GIS PIClég, un en production sous abris et un en production de plein champ (EcoPhytoSys-Lég en Basse-Normandie). De plus, la méthodologie établie dans le domaine des grandes cultures est certes une base de travail mais n'est pas directement transposable à ce type de productions du fait de ses spécificités (très grand nombre d'espèces légumières présentes, diversité des créneaux de production augmentant encore cette diversité, prépondérance des déterminants autres qu'agronomique pour les systèmes légumiers). Pour permettre cette construction de systèmes potentiellement innovants, il est donc nécessaire de bien caractériser les systèmes légumiers visés pour cerner les verrous techniques majeurs et identifier les marges de manœuvre possibles, avant d'engager la construction sensu stricto puis la mise en pratique et l'évaluation de systèmes candidats.

Pour répondre à cet enjeu important et à la nécessité d'apporter des propositions susceptibles d'être rapidement adoptées par les producteurs, l'INRA a proposé de fédérer et de faire travailler de concert l'ensemble de la filière Recherche – Développement – Production. Il s'agit d'élargir l'expertise pour mixer savoirs scientifiques, techniques et profanes et faciliter le transfert futur de ces systèmes. En effet, l'innovation ne peut pas venir simplement d'un de ces acteurs pris isolément. Des niveaux de rupture importants ne pourront être définis, expérimentés et adoptés dans des échelles de temps compatibles avec le plan Ecophyto 2018 que si l'ensemble des acteurs se fédère dès le départ.

## 1.2. Le programme EcoPhytoSys légumes Basse-Normandie (rappels)

La conception d'essais systèmes peut être envisagée de deux manières. La première consiste à construire entièrement à dire d'experts de nouveaux systèmes de culture répondant à un objectif de réduction fixé par le groupe d'experts (ou niveau de rupture : utiliser 50 % de moins d'herbicides par exemple). Les systèmes ainsi construits sont évalués soit à dire d'experts de nouveau ou en conditions d'expérimentation. La deuxième approche consiste à réaliser une amélioration de systèmes existants par itérations successives d'introduction de changements sur la base de propositions établies par un groupe d'experts. Dans notre situation, parce que nous travaillons avec les exploitants en conditions réelles de production, nous avons opté pour la deuxième méthode. L'amélioration progressive permet de s'affranchir d'un niveau de rupture initial et d'éviter les blocages techniques et financiers. La recherche d'améliorations à introduire

demande d'une part à identifier les marges de manœuvre possibles, en les priorisant, et nécessite d'autre part de disposer d'actions candidates mobilisables au sein de la culture ou de la succession.

Le groupe d'experts est au cœur du fonctionnement de la démarche, il est acteur de la réalisation de chacune des étapes d'avancement. Il est constitué de scientifiques INRA, de techniciens des Organisations de Producteurs (Agrial et GPLM) et de la chambre départementale d'agriculture, d'expérimentateurs de la station régionale d'expérimentation de Basse-Normandie (Sileban) et de producteurs volontaires.

Ce projet est construit en deux phases (schéma 1) :

(i) une première phase est dédiée à la réalisation d'un diagnostic des exploitations et des systèmes de production légumiers actuels, complété d'un inventaire des techniques et connaissances mobilisables pour la construction de systèmes de culture peu dépendant des pesticides.

(ii) La deuxième phase comprend plusieurs étapes. La première est la construction à partir des éléments préalablement recueillis, de prototypes de systèmes de culture. La deuxième étape est la validation de ces projets par le groupe d'experts puis leur mise en pratique en vraie grandeur, c'est-à-dire sur une parcelle de production, prise chez les producteurs volontaires. La dernière étape est l'analyse et l'évaluation des systèmes testés. Elle conduit d'une part à enrichir les éléments de diagnostics initiaux et d'autre part elle contribue à diffuser les innovations les plus pertinentes au sein de l'exploitation puis vers les autres exploitations.

## Apprendre des acteurs et co-construire

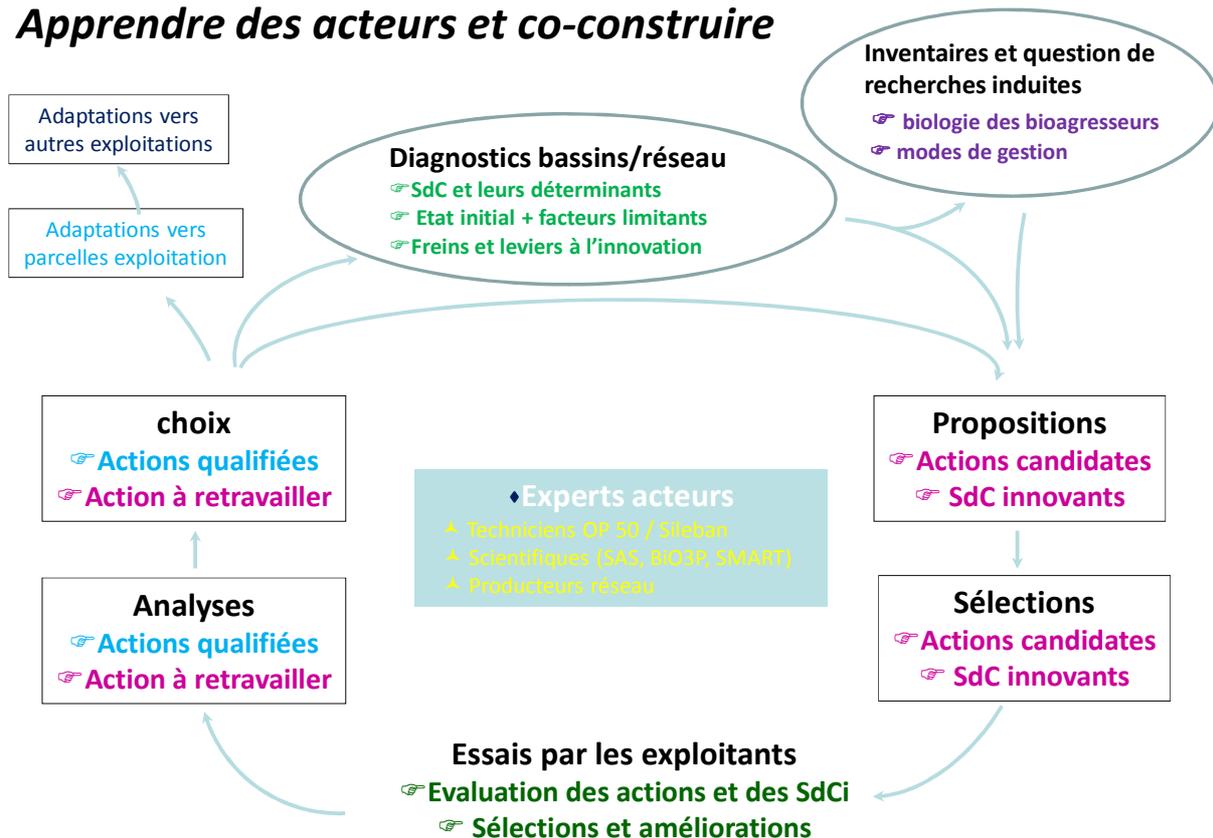


Schéma 1 : Démarche mise en œuvre pour la conception de systèmes de culture innovants EcoPhytoSys légumes.

Ce programme a été lancé en octobre 2008 après sa validation par le GIS PIC lég.

## 2. RAPPELS DES ORIENTATIONS GENERALES ET DES TRAVAUX DEJA ENGAGES

### 2.1. Premiers résultats et orientations retenues

Les phases de diagnostic et d'inventaire ont été engagées en 2009. Les premiers essais ont été réalisés avec les producteurs en 2010.

#### 2.1.1. Analyses de sols des parcelles du réseau

Les sols des parcelles suivies présentent des caractéristiques communes :

Des sables et des limons

Faiblesse structurale (pas d'argile et très peu de MO)

CEC faible – beaucoup de phosphore

Faible biomasse et très forte activité biologique (minéralisation intense et rapide)

Les conséquences de ces caractéristiques sont :

Sensibilité au tassement, à la battance

Rétention des éléments fertilisants très faible

Mauvaise « réponse » à l'eau

L'analyse de l'effet de ces caractéristiques sur la biologie des bioagresseurs telluriques est en cours de réalisation. Elle permettra de mieux cibler les problèmes que pourraient faire émerger la réduction ou la suppression de certains pesticides.

#### 2.1.2. Résultats des analyses des systèmes

Des systèmes très contraints : l'organisation du travail et surtout la faible disponibilité en temps des exploitants comme l'existence de pics de travail, la nécessité de disposer de matériels spécifiques et coûteux pour les cultures essentielles de la région, ... la réglementation sur les moyens de lutte chimique (autorisations de mise en marché, délais avant récolte, conditions d'application, ...), l'accès au marché (exigences absolues de conformité des produits pour les périodes régulières et longues de mise en vente, pour les calibres, pour les aspects et la couleur) sont autant de facteurs qui font des systèmes légumiers des systèmes où les marges de manœuvre pour intégrer des changements sont étroites. Il apparaît cependant que les déterminants d'ordre économique soient ceux qui ont le poids le plus important.

L'acceptabilité d'une évolution est fortement liée à son incidence sur l'équilibre de fonctionnement de l'exploitation et au risque économique qu'elle peut engendrer. L'économie est une source de contrainte essentielle : les coûts de productions des légumes (de 5 à plus de 15 k€/ha) et le besoin d'investissements matériels et humains, font que la prise de risque par les exploitants sur les cultures est limitée. Il y a très forte aversion à la prise de risque des producteurs sur les bioagresseurs dont la non maîtrise, même partielle, provoque la perte de la culture par perte d'accès au marché. Ainsi, la concurrence entre exploitants est un facteur important à prendre en compte.

Les systèmes de cultures légumiers de Basse-Normandie ne répondent pas aux définitions de référence établies en grandes cultures. Il n'est pas possible de distinguer des groupes d'assolement et d'itinéraires techniques (ITK) identiques tant au niveau des bassins qu'au niveau des exploitations.

Des systèmes de culture très complexes : on constate des multitudes de successions et d'ITK. Cette complexité résulte, entre autre, de la diversité des variétés, des créneaux de production. Une culture récoltée à l'automne et une culture récoltée au printemps suivant ne peuvent pas être conduites de la même manière, ne serait-ce que par la différence de durée de cycle de culture. La complexité se trouve également dans les conditions de production. Celles-ci sont liées au sol et au

savoir faire des exploitations. Les choix et positionnement des moyens de lutte, chimiques en particulier, sont très variables au sein des exploitations et entre exploitation (produits, dates et conditions d'application (volumes, type de buses, produits associés, heure d'application)).

### **2.1.3. Résultats des inventaires techniques et des connaissances biologiques**

Nous disposons d'un recueil des connaissances sur la biologie et l'écologie des principaux bio agresseurs des cultures légumières de Basse-Normandie. Les recherches entreprises auprès des centres techniques et d'expérimentation dédiés aux cultures légumières n'ont pas permis de dresser un tableau suffisant et utilisable pour la construction de systèmes innovants. Il apparaît d'une part qu'il y a peu de pratiques et de techniques suffisamment éprouvées et prêtes à être développées en exploitation et acceptées par les exploitants ; d'autre part les connaissances sur les bio agresseurs, même si elles existent, ne sont pas organisées et structurées pour être disponibles sans mobiliser des ressources importantes (beaucoup de personnes concernées, réparties même en France sur tout le territoire, et qui demanderait de leur part beaucoup de temps et une méthodologie adéquate pour recueillir ce savoir peu ou mal formalisé – par écrit pour le moins).

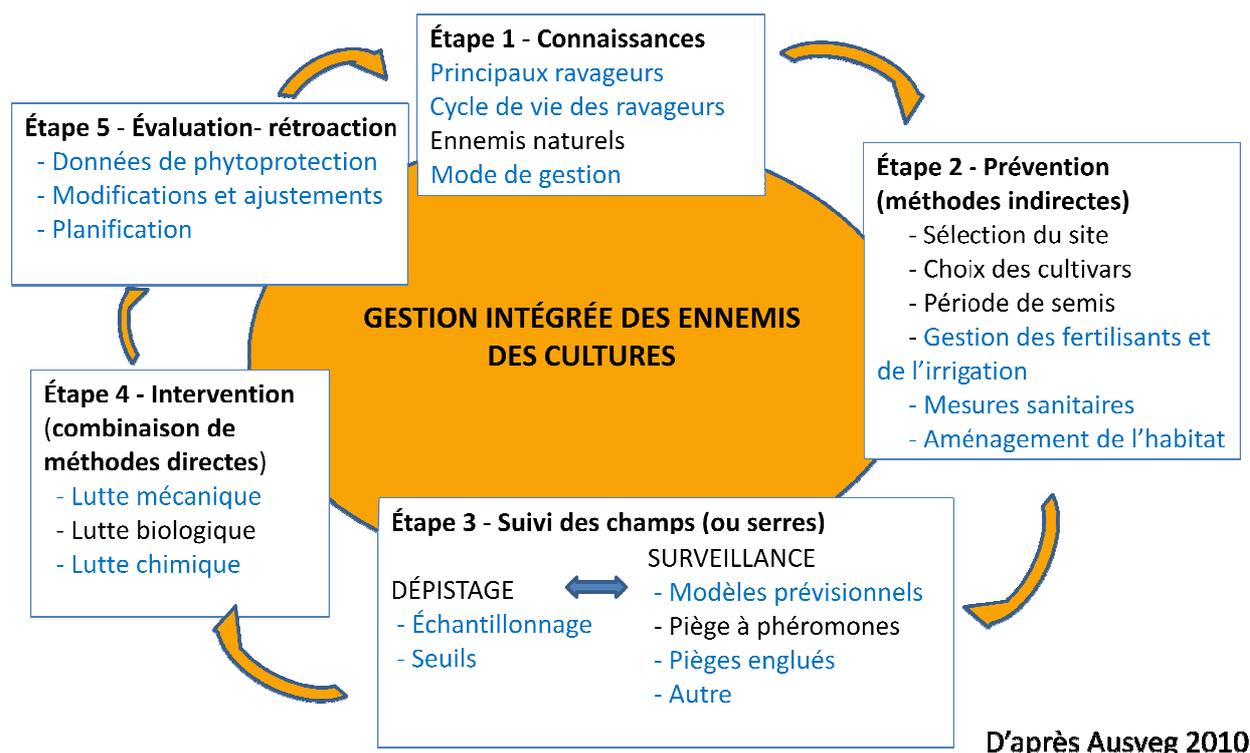
## **2.2. Orientation du projet pour 2010 - 2011**

Ces diagnostics ont mis en évidence les déterminants majeurs, de la production à la mise en marché, des choix des systèmes de production légumiers de plein champ dans la région. Ceci permet de définir les marges de manœuvre possibles et les freins au développement de systèmes potentiellement innovants. Nous avons ainsi démontrés que les déterminants d'accès au marché avaient une importance capitale en production légumière, et que les systèmes légumiers étaient beaucoup plus complexes et plus contraints que les systèmes de grande culture. De ce fait, certaines notions de l'agronomie (Système de culture notamment) et la méthodologie de conception de systèmes innovants élaborés pour les grandes cultures n'étaient pas directement transposables. Une adaptation de cette méthodologie restait donc primordiale à effectuer et a débutée dans ce projet PIClég.

En conséquence, la diversité et la complexité des situations et des déterminants de production demandent un effort important de connaissance spécifique à chaque système sur lequel on souhaite travailler.

Les constats de carences et les manques pour dérouler le programme tel que prévu initialement nous ont amenés à faire évoluer les actions prévues pour 2010 et 2011.

Il s'agit d'abord de donner les moyens d'analyser de façon croisée, les pratiques des exploitants, les résultats d'analyses de sols, les éléments de biologie des bio-agresseurs et des modes de gestions. Ces analyses auront pour objectif de proposer une méthode d'analyse du risque auquel une parcelle et une succession de culture peut être confrontée. Cette connaissance constitue en fait la première phase nécessaire à la mise en place d'une stratégie de lutte intégrée cf schéma 2.



**Schéma 2 : principes de la gestion intégrée des ennemis des cultures**

Il s'agit, toujours dans cette logique, de renforcer les connaissances sur les principaux bioagresseurs de nos cultures de référence. L'INRA engage deux études dans ce sens : l'une sur les pathogènes, l'autre sur les insectes. Les travaux d'animation des MAE territoriales sur la réduction des herbicides fourniront les informations complémentaires sur les adventices.

Les actions en productions auront un double objectif : elles seront l'occasion de proposer de premières introductions de méthodes nouvelles et elles permettront de continuer à acquérir des connaissances sur les pratiques en exploitation et sur les parcelles (cf. la complexité des systèmes révélées par les premiers diagnostics).

### 2.3. Les actions menées en 2010

En 2010 deux types d'actions ont été conduits dans le cadre de la convention avec France AgriMer : l'acquisition de connaissances et la communication. Les travaux d'acquisition de connaissances sur la biologie et l'écologie des principaux pathogènes et insectes ravageurs des cultures légumières de Basse-Normandie ont donné lieu à la réalisation de deux recueils. Celui sur les insectes (8 retenus) a été finalisé en 2010, alors que celui sur les pathogènes (22 retenus) a été poursuivi en 2011. Ils fournissent les éléments nécessaires à la réflexion sur l'analyse des épidémies ou des invasions pour mieux valoriser les leviers de contrôle des populations à l'échelle du système de culture. Les actions de communication ont principalement concerné les producteurs et structures partenaires du projet d'une part, et l'information tout public d'autre part. Pour les premiers, il s'agit de réunions d'information et de travail qui ont été conduites ainsi que des articles dans le journal de la filière, pour les seconds nous avons utilisé des panneaux positionnés dans les parcelles du réseau pour une information générique sur les démarches en cours.

### 3. LES OBJECTIFS ET TRAVAUX DE L'ANNEE 2011-2012

Dans le cadre de la convention 2011-2012 entre l'INRA et France-AgriMer, 4 objectifs ont été définis ainsi que les actions mises en œuvre pour y répondre. Les actions conduites avec et auprès des exploitants mobilisent et impliquent la station régionale légumière de Basse-Normandie, le SILEBAN (expérimentation, communication et programmation).

1/ Finir l'inventaire des connaissances sur les pathogènes et insectes, et des moyens de lutte.

Etudier, à partir des connaissances sur la biologie et l'écologie des bioagresseurs les facteurs déterminant l'installation/maintien des bioagresseurs dans la parcelle ou la culture puis leur développement pour définir des stratégies de lutte à l'échelle du système de culture. Cette approche sera faite en s'appuyant sur le réseau des 12 parcelles de notre dispositif. Pour y parvenir nous utiliserons les recueils de connaissances précédemment établis, les caractérisations des parcelles (historiques des cultures et des présences de bioagresseurs, caractérisation des abords et des sols ainsi que les données climatiques disponibles dans les bassins de production). Ces éléments constitueront les références nécessaires à la construction de systèmes de cultures moins dépendants des pesticides.

2/ Faire une évaluation de modifications des systèmes engagées avec les producteurs du réseau. Deux types d'actions ont été envisagés :

- ♦ La poursuite d'acquisition de connaissances sur les systèmes existants et les bioagresseurs, les tests de nouvelles méthodes : Gestion de l'alimentation hydrominérale - Contrôle biologique des BA – estimation de l'impact des attaques primaires de *Pythium* et de nématodes sur l'état sanitaire des carottes à la récolte.

- ♦ Les premières approches de modification des systèmes par intégration de nouvelles pratiques : Les apports des composts – les cultures assainissantes

3/ Communiquer sur le projet et ses résultats par des réunions d'information et de discussion entre les partenaires du projet, par des communications orales lors des manifestations professionnelles

4/ Poursuivre les travaux de re-conception de systèmes de cultures et préparer leur mise en œuvre, par la réponse à l'appel à projet DEPHY EXPE.

### 4. LES RESULTATS ACQUIS EN 2011-2012

#### 4.1. Acquisition de connaissances sur les bio-agresseurs et des modes de gestion pour la constitution de boîte à outils pour la re-conception de SdC

Le travail engagé en 2010 à été poursuivi et complété pour les insectes et les pathogènes des principales cultures de Basse-Normandie. Un recueil bibliographique des connaissances scientifiques et techniques à été réalisé sur 22 pathogènes et 8 insectes ravageurs principaux des cultures légumières dominantes de Basse-Normandie : poireau, carotte, salade et chou.

##### 4.1.1. Les facteurs déterminant l'installation et le développement des insectes ravageurs en cultures légumières, pour le référencement de moyens agronomiques de lutte

Le travail sur les insectes ravageurs a été réalisé par Nathalie Bernard-Griffiths avec le soutien financier de France AgriMer (société Bio-Studies) en 2011 et sert de base à cette étude des

facteurs déterminant l'installation et le développement des insectes ravageurs en cultures légumières, pour le référencement de moyens agronomiques de lutte.

#### 4.1.1.1. Les objectifs de l'étude

Dans le cadre du projet EcoPhytoSys-Légumes, notre étude a pour objectif d'analyser comment les insectes ravageurs arrivent et s'installent dans les parcelles cultivées, comment ils s'y développent et quels sont les facteurs impliqués dans ces phénomènes. Ainsi, elle devra faire la liste des facteurs déterminant l'installation et le développement de chaque insecte ravageur ; puis elle devra préciser (autant que possible) les déterminants principaux pour chaque ravageur, selon des critères qui seront explicités. En particulier, l'étude devra mettre en évidence (si c'est possible) les effets des pratiques culturales ou des états du milieu sur les différents ravageurs en fonction de leurs stades de développement et de la période considérée (étude qualitative).

Ce travail se limitera aux insectes ravageurs les plus problématiques en Basse-Normandie c'est-à-dire le thrips du poireau *Thrips tabaci*, la mouche du chou *Delia radicum* et la mouche de la carotte *Psila rosae*. L'étude ne traitera pas des pucerons des salades, en raison des perspectives données à ce projet, à savoir le programme « Dephy Expé » qui a été validé en 2012 et qui porte principalement sur les cultures de carottes, poireaux et choux. Après une étude approfondie des connaissances bibliographiques sur ces insectes, une étude de terrain devra se prononcer sur les risques liés aux insectes dans 12 parcelles de producteurs dans la Manche.

L'originalité du travail est de prendre en considération non seulement la parcelle cultivée mais aussi le système de culture au sens large, avec ses successions culturales et l'environnement proche des parcelles. Alors que la littérature scientifique fait état de plusieurs études systémiques sur les insectes dans les agrosystèmes en arboriculture et en grandes cultures (céréales), peu d'études se sont intéressées aux insectes dans les systèmes de cultures légumiers. Le projet est donc intéressant de ce point de vue. Cependant, le défi à relever est important compte tenu de la complexité des systèmes légumiers.

A terme, cette étude devra permettre de mettre en évidence les leviers mobilisables dans la co-construction de prototypes de systèmes de cultures économes en intrants et capables de limiter la pression des insectes ravageurs.

#### 4.1.1.2. Résultats

L'objectif de l'étude était d'analyser comment les insectes ravageurs posant problème dans la Manche (thrips du poireau *Thrips tabaci*, mouche du chou *Delia radicum*, et mouche de la carotte *Psila rosae*), s'installent et se développent dans les parcelles cultivées et quels sont les facteurs impliqués dans ces phénomènes. A terme, cette étude avait pour ambition de trouver des leviers permettant la lutte contre ces insectes.

Plusieurs points de l'étude apportent des éclaircissements intéressants.

##### Les apports de l'écologie du paysage

Tout d'abord, la littérature sur **l'écologie du paysage** permet de prendre conscience que la survie de l'espèce ne se limite pas à la seule parcelle cultivée, à un moment donné. En effet, le paysage agricole moderne peut être considéré comme un espace hétérogène et fragmenté, composé de sites d'habitat utiles à l'insecte considéré (ex : parcelles cultivées avec les plantes-hôtes de l'insecte), d'éléments linéaires reliant ces sites (ex : bordures, haies...servant d'abris, de sources de nourriture...) et d'une matrice paysagère non utilisée par l'insecte. Les populations de ces insectes ainsi fragmentées, forment des métapopulations (ensembles de populations locales occupant différents sites d'habitats) qui effectuent des mouvements entre ces sites d'habitats, ce qui permet la survie de l'espèce au sein du paysage et au fil des années. Ces mouvements sont liés à de nombreux facteurs, en particulier à la répartition des habitats favorables, au mode de déplacement et à la capacité de dispersion de l'espèce, aux saisons et aux couverts végétaux, aux pratiques agricoles, et aux ennemis naturels. De nombreuses études montrent notamment l'importance des habitats semi-naturels (bois, haies, bordures des parcelles, jachères, prairies) pour le maintien des ennemis naturels des ravageurs.

La littérature concernant l'**impact des pratiques culturales** sur les ravageurs de cultures et leurs ennemis naturels montre des résultats variables. Malgré tout, quelques tendances peuvent être retenues. Une diversité végétale importante dans le paysage et l'utilisation de variétés résistantes tendent à réduire les dégâts liés aux insectes. La fertilisation azotée, les labours, les rotations sur plusieurs années et les modifications de date de semis ou de récolte, peuvent participer à diminuer les dégâts aux cultures. L'usage des pesticides est à limiter car il est connu pour leur effet néfaste sur les ennemis naturels des insectes ravageurs.

La littérature s'accorde à affirmer que pour limiter l'impact des populations d'insectes ravageurs dans les cultures, tout en réduisant les intrants, il est nécessaire de **favoriser à la fois l'action des ennemis naturels des ravageurs et la capacité des plantes à se défendre contre ces ravageurs**, à travers l'aménagement du paysage et la conduite de pratiques agricoles appropriées. Cela implique donc de prendre en considération **l'échelle spatiale du paysage agricole et une échelle temporelle pluri-annuelle**.

Les informations clés connues pour l'installation des ravageurs dans les cultures.

Nous avons répertorié les informations les plus importantes connues, pour comprendre l'installation des 3 ravageurs dans les cultures de poireaux, choux et carottes.

Le détail des informations les plus importantes sur ces 3 insectes est consultable en annexe.

Il ressort de cette étude que de très nombreux facteurs ont une influence sur les populations d'insectes. Quel que soit l'insecte considéré, certains facteurs semblent communs aux espèces étudiées et déterminants pour expliquer leur installation et leur développement au sein des cultures.

Tout d'abord, **les facteurs abiotiques** (température et humidité de l'air ou du sol, vent, pluie) influencent fortement les dynamiques de population et les vols d'adultes. D'ailleurs les modèles de prévision des vols et des jeunes stades reposent essentiellement sur ces facteurs. D'une façon générale, la baisse des températures ralentit le développement des différents stades. Le vent et la pluie diminue la présence des adultes mouches dans les cultures, et induisent une probable mise à l'abri dans les haies ou les bordures. Les fortes humidités peuvent défavoriser la survie de certaines espèces comme le thrips, mais au contraire favoriser celle des stades jeunes tels que les œufs ou les larves de 1er stade des mouches.

Les **réservoirs d'individus ayant passé l'hiver**, et émergents ou devenant actifs au printemps, constituent un élément essentiel à considérer. Les stades qui survivent en hiver sont situés soit dans les plantes ou le sol (larves et nymphes de thrips), soit dans le sol pour les mouches (larves et pupes).

La **dispersion des adultes** ailés est un autre facteur important à considérer. La distance de dispersion des adultes est connue chez les mouches (celle des femelles mouches du chou est de 2-3 km, celle des femelles mouches de la carotte de moins d'1 km) mais pas chez les thrips. De même, on connaît les hauteurs de vol des mouches adultes (moins d'1 mètre chez la mouche du chou, plusieurs mètres chez la mouche de la carotte) mais on ne connaît pas celle des thrips.

Pour tous les insectes étudiés, **l'alimentation des femelles** conditionnent leur fécondité et leur longévité. En effet, il a été montré que les femelles mouches atteignent un nombre optimal d'œufs pondus si elles disposent de sources de glucides et de protéines (nectar et pollen). L'abondance des espèces végétales fleuries dans les haies, les bordures, les talus ou même les cultures, semble donc un élément du paysage, favorable à au développement des populations. La recherche de partenaires sexuels et **les accouplements** jouent également un rôle important pour les mouches, mais ils ne sont pas nécessaires pour les thrips, qui ont une reproduction parthénogénétique.

D'autres facteurs déterminants peuvent contrôler les populations d'insectes ravageurs : les **ennemis naturels**.

Tous ces facteurs jouent un rôle clé dans les dynamiques des populations d'insectes au champ. Cependant, ces facteurs ne sont pas assez bien connus ou ils semblent insuffisants pour expliquer ces dynamiques dans le paysage (Tableau 1).

En effet, plusieurs « zones d'ombre » demeurent.

Concernant les réservoirs d'adultes, il n'est pas aisé de savoir avec précision le lieu d'hivernation ou la proportion d'individus concernés. Ainsi, les thrips hivernent-ils majoritairement dans les cultures d'Alliacées ? ou hivernent-ils plutôt dans les bordures (mauvaises herbes) ?

Connaître les capacités de dispersion des espèces est fondamental. La distance de dispersion des adultes est connue chez la mouche du chou (2 à 3 km) et chez la mouche de la carotte (moins d'un km) mais on ne connaît pas celle des thrips du poireau. Les dispersions d'insectes sont limitées en cas de pluie ou de vent fort. Dans le paysage, il apparaît également important de connaître le rôle de certains éléments pour la dispersion des individus et de déterminer à quelle échelle ils jouent un rôle. Par exemple, quel est le rôle des haies dans la dispersion des mouches du chou ou de la carotte ? Les haies jouent-elles le rôle de corridors entre les parcelles cultivées ou au contraire sont-elles des barrières aux déplacements ? Finalement, il semble primordial de connaître l'**échelle spatiale fonctionnelle** de chaque espèce (ce qui semble correspondre à l'étendue minimale du paysage que l'espèce utilise pour survivre) et à notre connaissance, cette échelle n'a pas été déterminée pour les 3 espèces étudiées.

La littérature mentionne la présence des ennemis naturels mais on connaît mal leur impact réel au champ car il est difficile de le mesurer, en particulier pour les espèces de petite taille comme les thrips.

**Tableau 1: Principaux facteurs-clés (déterminant l'installation et le développement des insectes ravageurs) et leurs limites**

<b>Facteurs-clés</b>	<b>Limites</b>
Facteurs abiotiques (température, humidité, vent...)	Facteurs non maîtrisables
Réservoirs d'individus	Réservoirs pas toujours bien connus
Dispersion des adultes	Dispersion mal connue, en particulier chez certaines espèces (thrips)
Alimentation des femelles (apport de protides nécessaires, en plus de l'apport de glucides, pour permettre une ponte optimale)	Alimentation des femelles peu étudiée
Ennemis naturels	Espèces connues mais leur impact réel est mal connu

#### Les modes de gestion utilisés

Les **modes de gestion actuellement utilisés se situent au niveau de la parcelle** et peuvent ponctuellement aider à limiter les dégâts ou la présence et la ponte des 3 ravageurs.

Les principaux effets des modes de gestion sont résumés ci-dessous ; certains sont discutés.

- **Précédent culturel** : généralement, on considère que les rotations sont utiles et qu'il est préférable d'éviter, les cultures de même famille végétale, l'année précédente ; cependant, aucune étude ne le démontre. En effet, les cultures hôtes sont généralement dominantes à l'échelle du paysage et compte tenu des capacités de dispersion importantes des insectes, il peut donc être difficile de montrer l'effet positif des rotations. Aucune étude ne s'est penchée sur l'effet des précédents de type sol nu ou jachère ou interculture.

- **Choix de la parcelle**. Il est généralement admis qu'il faut éloigner la culture des autres cultures de même famille végétale. Ceci est supposé mais non démontré pour les thrips (peut être parce que le thrips est une espèce polyphage). Par contre, ça a été démontré chez la mouche du chou (éloigner les cultures de Brassicées d'au moins 400 mètres) et la mouche de la carotte (éloigner les cultures d'Apiacées d'au moins 1 km). L'environnement de la parcelle semble avoir de

l'importance. Pour les thrips, la proximité de zones boisées diminuerait les attaques par rapport à des cultures ouvertes ; ce serait peut être dû à un effet barrière des arbres/arbustes ou aux ennemis naturels plus abondants. Chez les mouches, les haies constituent des zones d'alimentation et d'accouplements pour les adultes. Chez la mouche du chou, les haies pourraient aussi avoir un effet barrière, limitant les mouvements des adultes entre les parcelles. Les bordures fleuries (bandes enherbées, talus) peuvent aussi jouer le rôle d'abris et d'alimentation pour les mouches. On peut également s'interroger sur la présence de plantes-hôtes permettant le développement des ravageurs et leur survie en hiver, dans ces bordures. Est-ce que d'autres Brassicacae/Apiacées dans les bordures servent au développement des mouches du chou ou de la carotte ? Est-ce d'autres plantes de bordures servent au développement des thrips du poireau (espèce polyphage) ? Si c'est le cas, peut-on imaginer les éliminer ? Et si on les élimine, ne risque-t-on pas de diminuer l'impact positif des ennemis naturels ?

- **Sol.** Aucune étude ne montre que la nature de sol a une influence sur les dégâts observés par les 3 ravageurs. Par contre, le travail du sol semble être un facteur à prendre en compte. Par exemple, l'aération du sol pourrait atténuer les dégâts par les thrips ; les labours profonds (15 cm) en hiver diminuent le taux d'émergence des mouches du chou au printemps ; aucune étude n'a examiné l'influence du travail du sol sur la mouche de la carotte.

- **Cultures.** Il existe des variétés plus ou moins résistantes aux 3 ravageurs et beaucoup d'auteurs indiquent qu'il est nécessaire de continuer les recherches dans cette voie, afin de d'améliorer la capacité des plantes-hôtes à stimuler leurs défenses ou compenser les agressions. Agir sur les dates de cultures permet d'éviter les périodes de présence des ravageurs à un moment où la plante est encore fragile. D'après la littérature, la plantation tardive des poireaux, choux et le semis tardif de carottes permet de limiter les dégâts. Cependant, il serait judicieux de savoir quand reculer ces plantations ou semis. L'influence de la densité de plantation n'a pas été étudiée (sauf pour la mouche du chou, pour qui une forte densité de colza diminue les pontes et les dégâts). Les stades sensibles de la culture sont peu connus ; néanmoins, on sait que la mouche du chou préfère pondre sur des plantes de grande taille et que la mouche de la carotte ne pond que sur des carottes à partir du stade 2 feuilles vraies et de préférence sur des plantes dont le feuillage n'est pas trop grand (entre 5 et 20 cm de hauteur) et ne couvre pas le sol. Une récolte précoce peut limiter les dégâts ultérieurs des mouches ; mais on ne sait pas si elle pourrait limiter les dégâts des thrips. Les cultures pièges de phacélie ou de sarrasin pourraient être intéressantes contre le thrips mais celles de navets n'ont pas données de résultats probants contre la mouche du chou et aucune étude n'a porté sur les cultures pièges contre la mouche de la carotte.

- **Apports.** Les apports importants d'azote ou de soufre, respectivement dans les cultures de poireaux ou de choux, augmentent le nombre de ravageurs. Il est donc important de limiter ces apports. Cependant, on peut se demander quelle est la quantité minimale d'engrais à apporter de façon à avoir un bon rendement, sans favoriser trop les ravageurs ? Les autres types d'apports ont été peu étudiés ou n'ont pas montré d'effets intéressants (peut être qu'un amendement calcaire limiterait les thrips ? un apport de cendres diminuerait les pontes de la mouche de la carotte ?)

- **Irrigation.** Les forts arrosages entraînent une mortalité importante des thrips. Au contraire, les fortes humidités favorisent la survie des jeunes stades de mouches ; il semble donc préférable de limiter les irrigations dans les cultures de choux et de carottes.

- **Cultures intercalaires.** Les cultures intercalaires peuvent donner de bons résultats mais à condition qu'elles n'entrent pas en compétition avec la culture. Trèfle, phacélie ou sarrasin semblent des cultures intercalaires potentiellement intéressantes vis-à-vis des thrips du poireau, trèfle (?) ou blé contre la mouche du chou, oignons ou luzerne(?) contre la mouche de la carotte.

- **Couverts.** On connaît mal l'effet des paillages sur les 3 ravageurs. Le dépôt de fibres EVA (Ethylene vinyl acetate) ou un paillis en fibres de bois hydrophiles colorées à la base des plantes ont pu entraîner la réduction de la ponte par la mouche du chou ; cependant, on peut se poser la question de la faisabilité de cette technique, si on considère l'étendue importante des cultures. Un paillage avec du blé semble permettre de diminuer le nombre de larves de thrips par rapport à un sol nu (sauf en cas de fortes infestations).

- **Prévision et surveillance des vols.** Prévoir l'apparition des différents stades (vols d'adultes, œufs, larves) par l'utilisation de modèles est d'une grande utilité. La surveillance des populations

par piégeage (piégeage d'adultes ou d'œufs) est une méthode complémentaire. Plusieurs auteurs remarquent que le piégeage d'adultes ne reflète pas bien les populations ; il semble que le comptage d'œufs sur les plantes soit un meilleur critère. La surveillance peut se faire aussi par contrôle visuel des stades présents sur les plantes

- **Traitements.** L'utilisation massive d'insecticides ont conduit parfois à des lignées d'insectes résistants (cas des thrips) ; cette utilisation doit donc être la plus limitée possible, d'autant que ces insecticides agissent également sur les ennemis naturels. Les techniques d'application se doivent aussi d'être améliorées, pour que les insecticides atteignent au plus près leur cible (au pied des choux ou entre les feuilles de poireaux par exemple (cf. tableau II-5-1 page 38-39). Connaître les moments des déplacements et des pontes des femelles dans les cultures, permet d'atteindre le maximum d'individus. Ainsi, la littérature indique qu'il est préférable de traiter les feuilles de poireau en début d'après midi par temps chaud ; traiter les feuilles de chou l'après midi, quand les températures sont supérieures à 10°C et en absence de pluie ; traiter les feuilles de carotte par temps chaud et de préférence entre 16h et 21h. Certaines substances peuvent être répulsives ou réduire la ponte ou le développement. Pour lutter contre les thrips, l'application sur les feuilles d'huile essentielles, de kaolin ou de pyriproxyfen (?) peut s'avérer efficace. L'huile de Neem pulvérisée sur le feuillage ne semble pas utile pour lutter contre la mouche du chou ; par contre, le DMDS déposé au pied des choux peut limiter la ponte de la mouche du chou et attirer ses prédateurs, le méthyl-salicylate peut augmenter la prédation des œufs (ces substances ont un effet répulsif « push »). Le (Z)-3-hexenyl acetate peut stimuler la ponte (son effet est attractif « pull »). Certains auteurs suggèrent qu'il serait utile de confirmer l'intérêt de ces substances chimiques répulsives (dans la culture), et attractives (en bordure de culture) dans une stratégie push-pull. A notre connaissance, il n'y a pas eu d'essais sur l'effet de substances répulsives contre la mouche de la carotte. Continuer à rechercher des substances répulsives, ovicides ou larvicides est une perspective à développer.

- **Barrières physiques.** Utiliser des filets couvrants, en particulier en début de culture, est une stratégie pertinente pour éviter les pontes des 3 ravageurs. Toutefois, il s'assurer de placer des filets en bon état, avant les attaques et sans qu'aucun adulte n'émerge sous le filet. L'utilisation de filets verticaux est pertinente pour la mouche du chou ; les femelles qui volent à une hauteur de moins de 1 mètre sont arrêtées par les filets (90 à 130 cm) qui les empêchent de pénétrer dans les cultures. Par contre, l'intérêt des filets verticaux n'est pas connu pour lutter contre les thrips et l'intérêt est nul pour la mouche de la carotte car les femelles sont capables de voler à plusieurs mètres de hauteur.

- **Auxiliaires ou ennemis naturels.** De nombreux ennemis naturels de ravageurs (champignons, bactéries ou nématodes entomopathogènes, insectes prédateurs et parasitoïdes) sont connus mais comme il a été dit plus haut, il est difficile de se faire une idée de leur impact réel au champ.

- **Conduite en cas d'attaques importantes.** Aucune étude n'indique de conduite à tenir en cas d'infestations importantes par le thrips du poireau ou la mouche du chou. Par contre, il est conseillé d'arracher rapidement les carottes attaquées par la mouche de la carotte, ou de les enfouir profondément par labour.

**Ces modes de gestion peuvent apporter des solutions ponctuelles** à l'attaque des ravageurs mais il ressort de cette étude que leur **mode d'action n'est pas toujours bien établi**, peut être parce que de nombreux autres facteurs influencent les résultats (zone géographique, conditions pédo-climatiques, lignée de ravageurs, niveaux de populations, variétés végétales...). D'autres études complémentaires seraient bienvenues pour préciser l'effet de ces modes de gestion en Basse-Normandie.

#### L'étude de terrain

**L'étude de terrain** que nous avons mené détermine le contexte des cultures légumières en Basse-Normandie. Le paysage agricole dans la Manche apparaît plutôt constant avec des cultures légumières récurrentes (poireaux, carottes, choux) et des bordures de parcelles plutôt riches en haies et talus enherbés (sauf dans la zone du Mont St Michel). L'abondance des cultures légumières comme plantes-hôtes et l'abondance des éléments linéaires (haies, talus) constituant

des lieux d'abris, d'alimentation et d'accouplements pour les ravageurs rendent donc le contexte paysager très favorable aux déplacements des ravageurs et à leur survie au sein du paysage.

Très peu d'études se sont intéressées à l'effet du paysage (à une échelle supérieure à celle de la parcelle étudiée) sur les populations des 3 insectes ravageurs qui nous intéressent ici. En effet, ces études sont longues, coûteuses et difficiles à mettre en œuvre. Cependant, pour avoir une bonne idée des phénomènes liés au développement des populations d'insectes dans la zone de production légumière de la Manche, il faudrait envisager des études de grande envergure sur au moins 30 parcelles, et sur plusieurs années avec un suivi approfondi des populations de ravageurs. Ainsi, mieux connaître les successions des stades sur le terrain, les éléments qui permettent la survie des ravageurs dans le paysage et l'échelle spatiale fonctionnelle des 3 espèces constituerait des atouts pour progresser.

#### 4.1.1.3. Conclusion

Cette étude a permis d'établir la liste des principaux facteurs déterminant l'installation et le développement de chaque insecte ravageur (thrips du poireau *Thrips tabaci*, mouche du chou *Delia radicum* et mouche de la carotte *Psila rosae*). Cela a été possible par une **synthèse approfondie des connaissances bibliographiques** existantes sur les 3 ravageurs (cycles, mode de vie, effets des modes de gestion et du paysage ...) au plan international. Ensuite, cette étude a permis de faire le **point sur les connaissances manquantes et les questions** que l'on peut encore se poser. De plus, elle présente l'avantage d'être sous une forme **accessible et facile à lire**. Par exemple, les tableaux présentant les effets des modes de gestion seront facilement consultables et pourront être mis en parallèle avec d'autres bio-agresseurs pour une culture donnée. Finalement, cette synthèse **apporte des éléments de discussion indispensables pour construire des systèmes de cultures économes en intrants**. Cependant, du fait de la multitude et de la complexité des facteurs, l'étude ne permet pas fournir de recommandations « toutes faites » pour lutter contre ces 3 ravageurs, en particulier.

De plus, l'étude de terrain montre que la zone agricole de la Manche (où se situent les 12 parcelles) est une zone favorable aux 3 insectes, car les plantes-hôtes (poireau, carotte, chou) sur lesquelles les insectes se développent sont fréquentes et les haies et talus qui sont des lieux potentiels d'abri, d'alimentation ou d'accouplement, sont également fréquents. Cette étude conclut que d'autres informations sont nécessaires pour mieux comprendre les phénomènes liés à ces insectes **à l'échelle du paysage et au fil des ans**.

Il est probable que c'est tout un ensemble de pratiques maîtrisées (à ces échelles là), qui permettra de limiter les populations à un niveau acceptable (équilibre ravageurs/ennemis naturels) en évitant les pullulations. Il serait sans doute souhaitable de s'intéresser aux ravageurs, non seulement lorsqu'ils sont visibles (à la « belle saison ») mais aussi lorsqu'ils sont « cachés » en particulier en hiver (dernière génération de l'année (annexes V-1 à 3)). A terme, c'est la collaboration des différents acteurs de la filière [centres de recherches (université, INRA), centres techniques et producteurs] qui permettra d'imaginer ces ensembles de pratiques et de construire des systèmes de culture innovants.

## 4.1.2. Les pathogènes

### 4.1.2.1. Objectifs de l'étude

L'étude des facteurs déterminant l'installation et le développement des pathogènes en cultures légumières a pour but de faciliter la conception de systèmes de culture moins dépendant des pesticides. Pour ce faire, les démarches ont été orientées vers plusieurs objectifs. Dans un premier temps, une étude bibliographique sur la biologie et l'écologie des pathogènes a été entreprise. Ce travail d'inventaire des connaissances sur les bio-agresseurs est une composante incontournable dans la mise en œuvre de stratégies de protection intégrée et dans la gestion durable des cultures.

Il permet notamment d'identifier les situations et pratiques à risque dans une parcelle. En effet ces informations ont été utilisées afin d'identifier les éléments au sein des systèmes de culture pratiqués qui sont favorables au développement des maladies.

En parallèle, une étude concernant les modes de gestion existants vis-à-vis des pathogènes a été réalisée. Elle permet d'établir un plan de contrôle cultural (adaptation du système de culture de manière à limiter le développement des bioagresseurs) et de proposer la mise en place de modes de gestion spécifiques. Enfin, le travail d'inventaire de la biologie / écologie des pathogènes ainsi que des modes de gestion permet également de faire émerger des pistes de recherche et d'expérimentation.

Pour finir, un effort de structuration des connaissances sur les pathogènes a été réalisé dans le but d'optimiser leur utilisation dans le cadre de la conception de systèmes de culture.

#### 4.1.2.2. Les résultats

##### Inventaire des informations sur les pathogènes et structuration des connaissances recueillies

Le travail d'inventaire a été réalisé à l'aide de la littérature scientifique, technique et vulgarisée. Les efforts de tri et d'analyse des informations collectées ont mobilisé un groupe d'experts composé de scientifiques de l'INRA (pathologistes et entomologistes), d'expérimentateurs du SILEBAN et de techniciens des organisations de producteurs de la Manche (Agrial et GPLM). La nature de l'information recherchée concerne les pathogènes, plus précisément leur cycle de développement, leurs exigences environnementales ainsi que leur dynamique épidémiologique. Pour optimiser l'utilisation des connaissances sur les bioagresseurs au service de la mise au point de stratégies de protection intégrée, nous avons choisi de structurer les connaissances sous forme de paramètres. Ces paramètres correspondent à un critère qui peut prendre plusieurs valeurs (modalités). Le cycle de développement est découpé en 5 grandes étapes (figure 1) et chacune d'entre elle est renseignée par plusieurs paramètres.

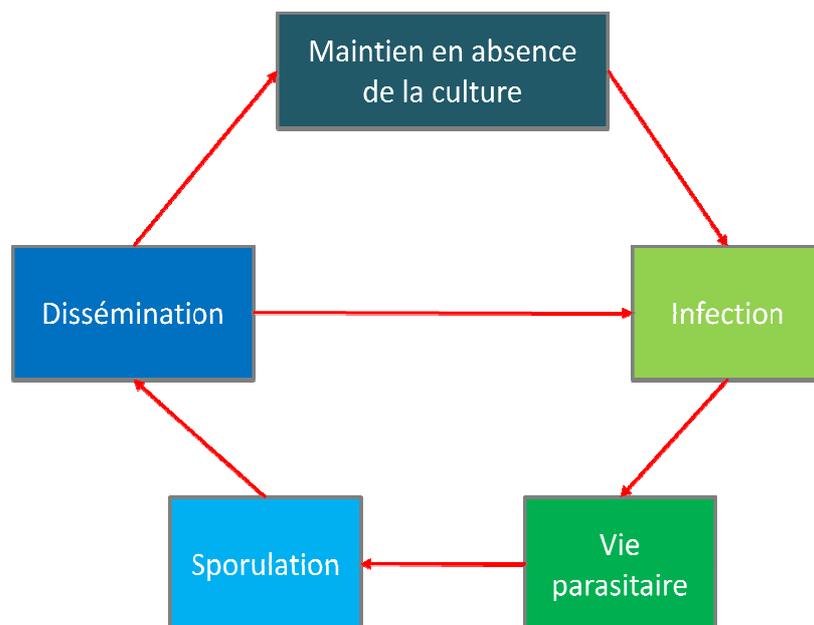


Figure 1 : Représentation schématique du cycle des pathogènes

➤ Le maintien en absence de culture

Cette étape prend en compte les différents moyens pour le pathogène de se conserver au sein de la parcelle en absence de la culture hôte. Il peut s'agir de la survie, de la vie saprophytique ou encore du maintien dans une autre espèce hôte (adventices...).

La survie représente l'étape du cycle où le pathogène est présent sous une forme qui n'est capable ni de croître ni de se reproduire, mais qui conserve sa viabilité, c'est-à-dire sa capacité à se réactiver lorsque les conditions deviennent favorables. Les organes de survie peuvent résulter de la transformation d'une hyphes (condensation du cytoplasme et formation d'une membrane très épaisse formant ainsi les chlamydospores des *Fusarium*) ou de l'émission de d'organes particuliers tels que les sclérotés des *Sclerotinia*<sup>1</sup>. Les spores, organes de reproduction, peuvent également assurer la survie des pathogènes, c'est le cas notamment des conidies d'*A. dauci* ou encore des oospores des *Phytophthora* spp. Ce trait fonctionnel est défini par la nature des organes de conservation, la durée de survie, le lieu préférentiel (dans le sol ou plus spécifiquement dans les résidus de culture) et les facteurs écologiques favorables à son maintien.

La vie saprophytique concerne la phase du cycle où le pathogène se développe indépendamment de l'hôte, au dépens de la matière organique en décomposition. La durée et la performance de cette phase saprophytique sont sous la dépendance du type de matière organique consommée (résidus de l'hôte ou matières organiques au sens large), de la compétitivité du pathogène (vis-à-vis des autres organismes vivant dans le sol) ainsi que des conditions environnementales favorables. Selon la contribution relative des phases saprophytique et parasitaire, les champignons sont qualifiés de saprophytes obligatoires (non phytopathogènes), parasites facultatifs (organismes vivants habituellement en tant que saprophyte mais pouvant devenir parasite et causer des maladies sous certaines conditions, par exemple les *Pythium* et les bactéries phytopathogènes), saprophytes facultatifs (organismes vivants habituellement en tant que parasite, mais pouvant vivre sur de la matière organique morte en décomposition sous de bonnes conditions, comme par exemple les *Phytophthora* et les *Botrytis*), parasites obligatoires<sup>2</sup>.

Le maintien sur des hôtes alternatifs dépend du degré de polyphagie, appréhendé ici par le spectre d'hôte des pathogènes. Selon les pathogènes, le spectre est soit très restreint (une espèce ou une famille d'espèces, cas de *A. dauci*, *C. carotae*) soit très large (jusqu'à plus de 20 familles, pour *S. sclerotiorum*).

➤ L'infection

Cette étape peut être divisée en plusieurs processus : la germination des spores puis la pénétration des hyphes qui peuvent être régis par des exigences climatiques différentes (gammes de température, d'humidité, de pH, ...). En effet, ces conditions déterminent notamment les temps d'humectation des organes cibles des pathogènes. L'infection est également caractérisée par le type de propagule impliquée (zoospore, mycélium, sclérote...), l'organe de la plante attaquée (feuille, racine) et le type de symptômes occasionnés.

➤ La vie parasitaire

Ce trait fonctionnel relate la vitesse de développement du pathogène dans la plante, appréhendée notamment par la période d'incubation (laps de temps entre le début de l'infection et l'apparition des symptômes) et la période de latence (laps de temps entre le début de l'infection et l'apparition de tissus infectieux, c'est-à-dire la production de germes capables d'initier une nouvelle infection)<sup>3</sup>. Il s'agit aussi de caractériser si la maladie est mono- ou polycyclique et d'évaluer la contribution de l'infection secondaire à l'épidémie.

➤ La sporulation

Il s'agit de l'étape de réémission de propagules infectieux correspondant à la fin de la période de latence. Le laps de temps pendant lequel une lésion produit des spores est appelé période infectieuse. Il semble que dans tous les cas, la sporulation nécessite qu'une certaine quantité seuil de pathogène soit dépassée pour se mettre en place. Il est important d'avoir des connaissances sur les conditions requises pour la sporulation, ainsi que sur le type de propagules émises.

➤ La dissémination

La dissémination est le phénomène par lequel la maladie s'étend dans l'espace. Il est appréhendé ici par 3 traits qui sont les agents disséminateurs, l'échelle de dispersion (intra ou inter parcellaire) et les conditions propices à la propagation.

Le travail d'inventaire a concerné 17 maladies et est disponible en annexe (document B Biologie et Ecologie des Pathogènes des Légumes). Il sert de base aux travaux suivants.

#### Développement d'une méthode d'évaluation du potentiel bio-agresseur d'un système de culture

La réduction de la dépendance aux pesticides des systèmes de culture doit passer par un travail de reconception de ces derniers. Afin de guider et faciliter cette reconception, une méthode d'évaluation du potentiel bioagresseur d'une parcelle a été entreprise. Cette méthode repose sur le postulat que le contexte pédoclimatique ainsi que les éléments du système de culture (succession et pratiques culturales) sont des facteurs capables d'exercer une incidence sur l'expression des maladies. Il s'agit donc de caractériser l'influence de ces facteurs sur le développement des agents pathogènes responsables des maladies afin :

- i. d'évaluer le potentiel bioagresseur inféodé à un couple parcelle/système de culture,
- ii. d'identifier les pratiques culturales du système favorisant le plus le développement des pathogènes en cours de culture et le maintien des stocks d'inoculum,
- iii. de guider les propositions d'améliorations du système de culture les plus pertinentes au regard des caractéristiques biologiques des agents causaux.

La mise au point de cette méthode a nécessité en amont l'acquisition de connaissances sur les pathogènes présents dans la région de production

La première étape du travail a consisté en la sélection des indicateurs à prendre en compte dans l'évaluation afin de refléter à la fois le contexte pédoclimatique, mais aussi le système de culture d'une parcelle. Le contexte pédoclimatique est appréhendé par le biais de résultats d'analyses de sol réalisées sur chaque parcelle permettant de caractériser leurs propriétés physicochimiques et biologiques.

Parmi les différents éléments caractérisant un système de culture, sont pris en compte dans le cadre de cette étude, la succession des cultures et la gestion des résidus. Les travaux du sol ainsi que les autres pratiques telles que la fertilisation, l'irrigation et les amendements ont été écartées car les recherches bibliographiques ne nous ont pas permis de disposer de références suffisantes concernant leurs effets sur les pathogènes. Il aurait également été pertinent de prendre en compte dans cette étude l'environnement proche de la parcelle (éléments de paysages et cultures avoisinantes), mais ceci n'a pas été possible du fait d'un manque d'informations disponibles dans la bibliographie. Au bilan, seuls 3 indicateurs ont été conservés (Tableau 2).

Tableau 2 : Indicateurs pris en compte dans la méthode d'évaluation

Type d'informations captées	Indicateurs
Contexte pédoclimatique	Analyse de sol
Système de culture	Succession
	Gestion des résidus

Les résultats complets de cette analyse sont disponibles en annexe (document « Méthode évaluation »).

Par rapport à l'influence de la nature des sols sur les risques phytosanitaires, il ressort que globalement, ce sont les caractéristiques physiques plutôt que chimiques des sols de ces parcelles qui peuvent être problématiques vis-à-vis des pathogènes (sauf cas particulier type pH et

*Plasmodiophora brassicae*, agent responsable de la hernie du chou). Les facteurs physiques étant prédominant sur le déterminisme des risques phytosanitaires, cependant parmi ceux-ci nous ne pouvons jouer que sur la structure du sol, c'est donc cet aspect qu'il apparait crucial de chercher à améliorer. L'indicateur succession permet d'identifier pour chaque parcelle les enchainements culturaux de la succession les plus problématiques et de cibler vis-à-vis de(s) quel(s) pathogène(s) ils le sont. Il permet également d'identifier des cultures particulièrement néfastes d'un point de vue phytosanitaire ou de choisir d'introduire des cultures intermédiaires assainissantes. Globalement, les délais de retour préconisés vis-à-vis des pathogènes sont peu voire pas respectés. Concernant la gestion des résidus de culture, la meilleure façon de procéder reste de les retirer voire de les enfouir profondément.

#### La structuration des connaissances au service de la conception de stratégies de gestion intégrée

La mise au point de stratégies de gestion intégrée consiste en l'utilisation de tous les moyens de gestion possibles afin de maintenir les populations sous un niveau causant des préjudices économiques. Cela implique de sélectionner, intégrer et appliquer des modes de gestion contre les bioagresseurs des cultures au sein d'un système de culture.

La mise au point de telles stratégies nécessite d'une part de changer de point de vue, notamment :

- de passer d'une gestion mono-spécifique à une gestion pluri-spécifique. En effet, l'ensemble des pathogènes présents dans l'espace cultivé étudié et responsables de dégâts sur l'une des 4 cultures de référence, constitue autant de pathosystèmes qu'il convient de prendre en compte dans les stratégies de gestion de ces pathogènes.
- de passer d'une gestion mono-culture à une gestion à l'échelle d'une succession.
- de passer d'une logique de lutte curative en culture à une logique de lutte préventive aussi bien en culture qu'en amont et en aval.
- de passer de l'utilisation d'un arsenal à dominante phytopharmaceutique avec effet fort à l'utilisation d'un arsenal de techniques multiples avec effets partiels.

D'autre part, la conception de stratégies de protection intégrée nécessite de bien connaître la biologie et l'écologie des bioagresseurs des cultures concernées, notamment afin de sélectionner les mesures de gestion les plus adéquates. Le travail d'inventaire des connaissances sur les bioagresseurs représente donc une composante incontournable dans la mise au point de ces programmes de lutte et dans la gestion durable des cultures.

### **Objectif et intérêt en lien avec méthode de co-conception de l'étude**

Nous proposons de développer une méthode permettant de faciliter la construction de stratégies de protection intégrée gérant l'ensemble des bioagresseurs d'un système à partir d'un état de l'art des connaissances biologiques, écologiques et épidémiologiques des bioagresseurs. Nous adoptons une démarche de regroupements de bioagresseurs par la réalisation d'une typologie en fonction du degré de similarités entre les différents pathogènes. Cette démarche repose sur l'hypothèse que des similarités au niveau des pathogènes entraînent des similarités de réponse aux modes de gestion. Ainsi, il est plus aisé de penser une stratégie de protection intégrée pour l'ensemble des pathogènes d'un groupe et de mettre en évidence les conflits d'actions ou les répercussions d'une action sur les autres groupes.

### **Explication de la méthode**

#### **Traitement des données**

Les informations relatives à chacune des étapes du cycle de développement (décrites plus haut) sont ensuite transformées en variables qualitatives afin de constituer un jeu de données (Tableau 3).

Tableau 3 : Présentation des 17 variables permettant de caractériser les pathogènes.

Étapes du cycle de développement		Variables	Définition
Maintien en absence de l'hôte	Survie	durée_survie	temps pendant lequel la (les) forme(s) conserve(nt) leur viabilité (=capacité à germer). Dans le cas de plusieurs formes avec des durées différentes, seule la plus longue durée est prise en compte. Il s'agit de la survie dans le sol et non sur les semences ou autre...
		forme_survie	il s'agit du type d'organe de survie. Permet d'appréhender la qualité de l'organe du point de vue de la conservation (mélanisé ou non, épaisseur de la paroi...)
		facteur_defavo_maintien_survie	représente le facteur environnemental le plus limitant pour la survie
		facteur_reactivateur	type de facteur permettant la réactivation des formes de survie
	Vie saprophytique	capacite_sapro	aptitude du pathogène à utiliser la matière organique du sol pour se développer en l'absence d'hôte
	autres plantes	spectre	spectre d'hôte du pathogène (cultures et adventices)
Infection		propagule	la forme de vie capable d'initier l'infection
		réceptivité	durée de la période de réceptivité de la culture (la longueur de présence des stades réceptifs)
		organe	organe de la plante attaqué
		humidité	quel degré d'humidité est requis pour l'infection
		T°C viable	gamme de températures pour laquelle l'infection est possible
		T°C optimale	gamme de températures pour laquelle l'infection est optimale
		pH	gamme de pH pour laquelle l'infection est possible
Vie parasitaire		contribution infection II	évaluer la proportion d'infection secondaire par infection primaire
		ti_tl	comparaison des durées des périodes d'incubation (contamination => symptômes) et de latence (contamination => sporulation). Si $T_i < T_l$ , alors il est possible de préconiser de ne traiter qu'après apparition des 1er symptômes
Dissémination		dissem	prise en compte de l'échelle (intra- ou interparcellaire)
		vecteur	vecteur de la dissémination

A l'aide de recherches bibliographiques, on renseigne les modalités de chacun des pathogènes pour l'ensemble des variables. Puis on applique une analyse des correspondances multiples (ACM) sous le logiciel R afin d'analyser la structure du jeu de données. Les résultats présentés ci-dessous sont des premières analyses, toujours en cours de traitement.

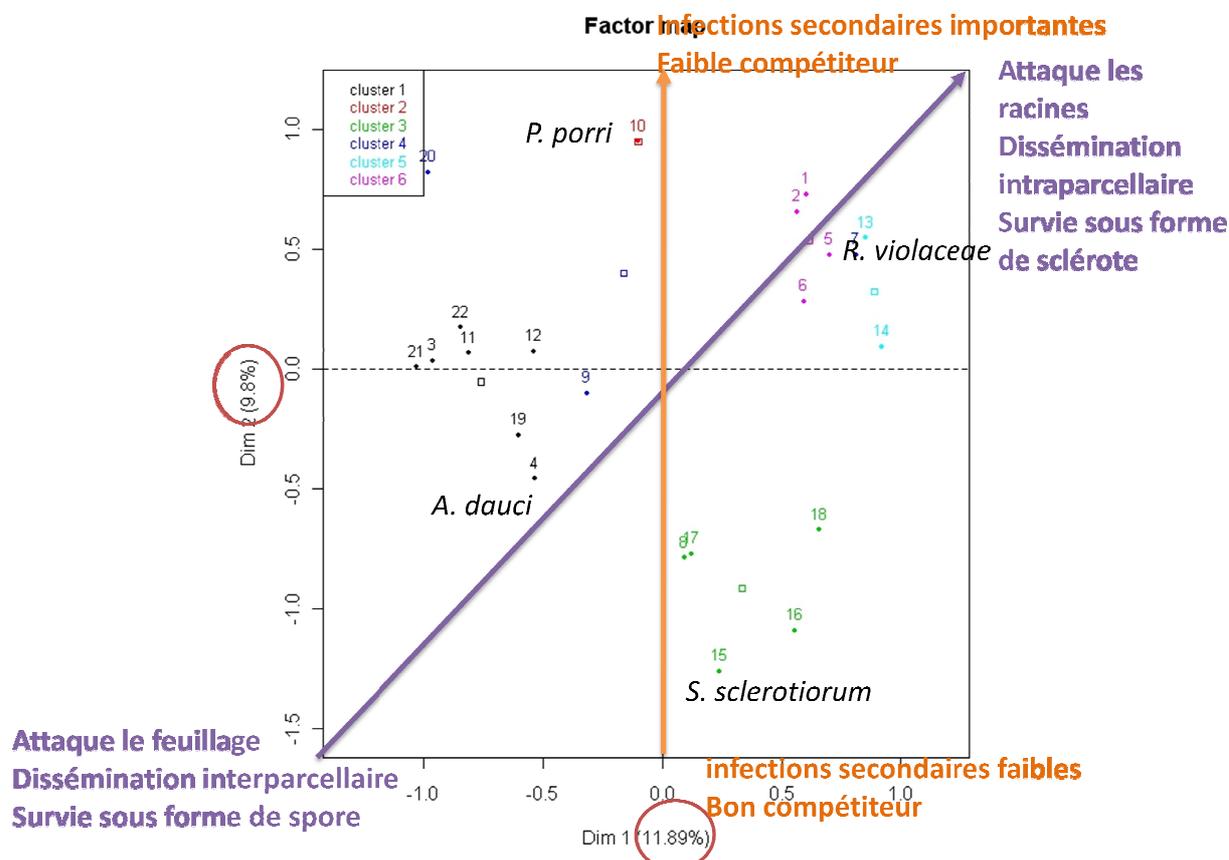


Figure 2 : Graphe des individus sur les 2 premières dimensions obtenu après ACM.

Sur les 2 premières dimensions, on peut noter que les pathogènes se répartissent selon 2 axes. Selon l'axe vertical (en orange sur la figure), on retrouve les pathogènes classés en fonction de leur capacité saprophytique et l'importance du processus d'infection secondaire dans le développement de l'épidémie. Selon l'axe en diagonale (en violet sur la figure), les pathogènes se répartissent en fonction de l'organe de la plante attaquée, de la distance de dissémination et du type d'organe impliqué dans la survie.

On remarque que les 2 premières dimensions expliquent une faible part de la variabilité totale des individus, ce qui oblige à pousser l'analyse des dimensions ultérieures. Ce travail est actuellement en cours et permettra de mettre en évidence les similarités ou divergence de stratégies entre les pathogènes et ainsi de mieux appréhender le fonctionnement d'une communauté dans un système de culture.

Pour finir, on réalise une classification ascendante hiérarchique afin d'obtenir des groupes de pathogènes à l'aide du logiciel R (figure 3).

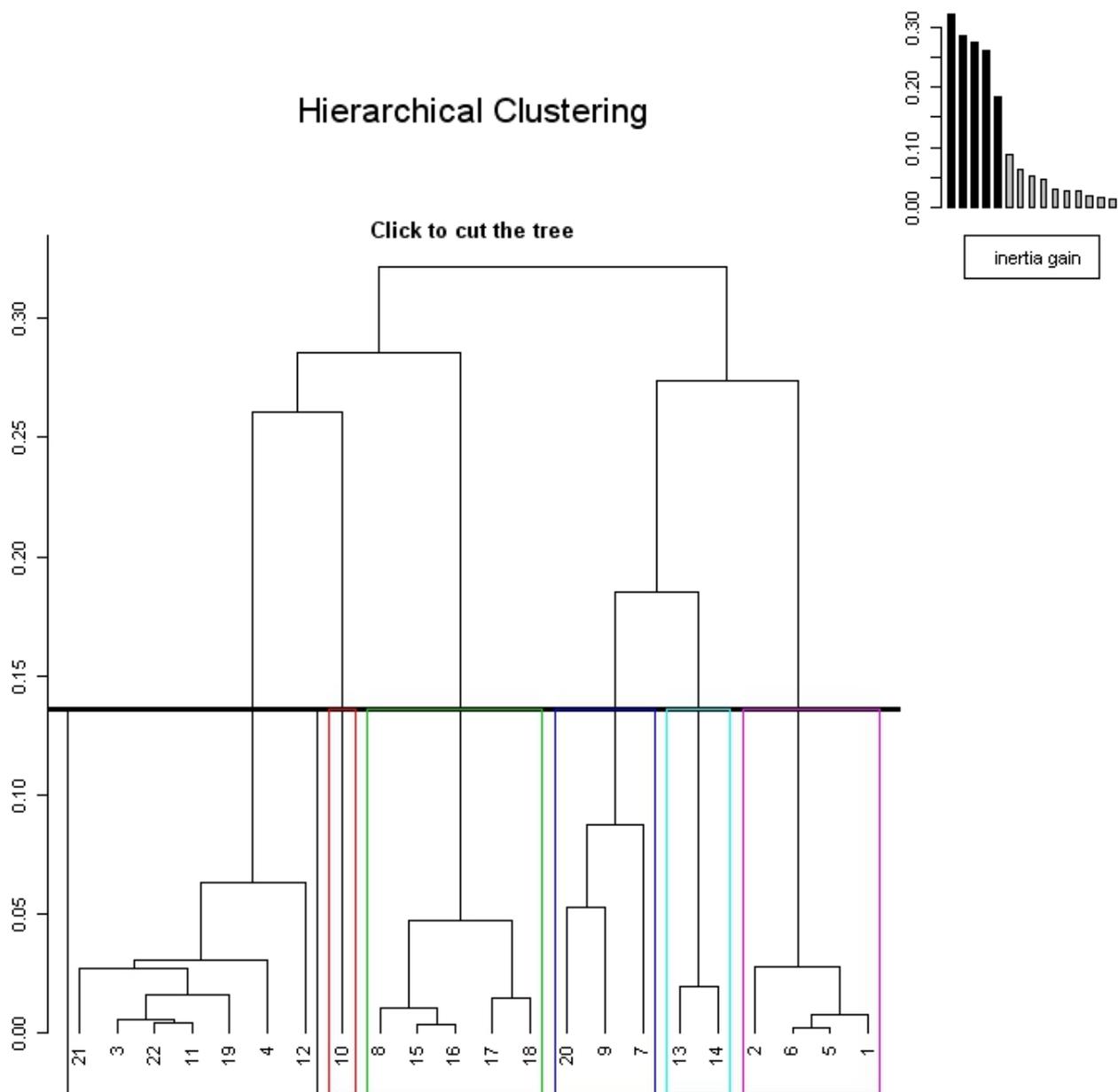


Figure 3 : Classification hiérarchique ascendante des 22 pathogènes.

Cette classification a permis de faire ressortir 6 groupes de pathogènes. L'étude de la composition des groupes ainsi des différences entre ces groupes est en train d'être réalisée, et pourrait permettre de réfléchir des stratégies de gestion non plus par pathogène, mais par groupe de pathogènes.

#### 4.1.2.3. Conclusions

Durant la réalisation de l'inventaire des connaissances sur les pathogènes, il est ressorti que la quantité d'informations disponibles est très disparate en fonction du pathogène considéré, que ce soit pour les connaissances académiques concernant la biologie et écologie ou que ce soit en termes de modes de gestion. En effet pour certains pathogènes, il existe peu de modes de gestion identifiés. Et ces manques peuvent constituer des axes de recherche et d'expérimentation afin

d'acquérir les références nécessaires et d'augmenter les leviers disponibles et mobilisables dans le cadre de mise au point de stratégies de gestion intégrée.

Le développement de la méthode d'évaluation du potentiel bio-agresseur d'un système de culture s'est révélé efficace et a permis de faire ressortir les mêmes pathogènes que ceux que les producteurs avaient identifiés comme problématique. Mais cette méthode mérite d'être étoffée, notamment en prenant en compte plus de pratiques culturales (fertilisation, irrigation, ...). Ceci n'a pas été possible à cause d'un manque de connaissances sur les effets des différentes pratiques sur les pathogènes ; il y a donc un besoin d'acquérir des références en amont.

Concernant La structuration des connaissances au service de la conception de stratégies de gestion intégrée. Cette démarche propose un cadre d'analyse permettant de faciliter et optimiser la conception de stratégies de protection intégrée visant la gestion d'un cortège de bioagresseurs à l'échelle du système de culture. L'amélioration de la gestion des bioagresseurs peut se faire selon plusieurs démarches : tactique (raisonnement en cours de culture), stratégique court terme (avant implantation du peuplement) et stratégique long terme (à l'échelle de la succession) (voire Savary). L'approche développée ici sert la démarche stratégique long terme, mais cela n'exclut pas de conserver les 2 autres démarches dans le cadre de la gestion intégrée. Enfin, cette méthode permet d'identifier les lacunes en termes de connaissances biologiques sur les bioagresseurs et de gestion en parcelle. Ce qui, *in fine*, contribue à faire émerger des pistes de recherche et d'expérimentation.

## 4.2. Les expérimentations

### 4.2.1. Les tests de nouvelles méthodes ou acquisition de connaissances bio-agresseurs

#### 4.2.1.1. Gestion de l'alimentation hydrominérale :

##### Le contexte

L'irrigation et la fertilisation sont des leviers d'intérêts pour le développement et la croissance des plantes et la prévention des bioagresseurs. De plus ces leviers sont en interaction forte et ils nécessitent d'être pris en considération simultanément. Le maintien du potentiel sol est un levier d'action pouvant permettre de réduire l'utilisation de pesticides tant à court terme (par une gestion fines des besoins cultures) qu'à moyen terme par le maintien du potentiel de production d'un sol.

Sur la côte ouest du Cotentin, la production de légumes se fait en grande partie sur une bande côtière de 2 à 3 km de large. Dans ces sols sableux, la réserve utile en eau et la capacité de rétention des éléments minéraux dans le sol sont faibles, le drainage et le lessivage sont facilités. De plus, les deux cultures phares de la zone de production sont la carotte, une culture très sensible aux pathogènes telluriques et à la salinité, et le poireau, exigeant au niveau de la fertilisation.

Ces travaux ont donc une importance toute particulière dans cette zone de production.

##### Les objectifs

Les objectifs de cette action, définis en accord avec le producteur sont :

- Avoir une meilleure connaissance du sol et de son potentiel en déterminant les réserves en eau et en nutriments et en réalisant des suivis de la salinité et de l'humidité du sol

- Proposer a posteriori, une adaptation des pratiques du producteur en accord avec les possibilités de son exploitation tant au niveau de son système d'irrigation que de ses apports en eau et en fertilisants.

#### Les moyens

Les expérimentations ont été conduites dans une parcelle de carotte d'un producteur dans le bassin de la côte ouest, en situation réelle de production. Le producteur a donc conduit sa parcelle selon ses pratiques habituelles. Ainsi la carotte a été implantée en juin 2011 pour une mise en conservation en novembre et une récolte en mars –avril 2012. La fertilisation est apportée principalement sous forme d'apports organiques et minéraux au sol. Un complément d'engrais foliaire est réalisé en cours de culture. Les apports d'oligo-éléments (type Bore notamment) sont amenés par ce biais. 9 Apports ont été réalisés pour cette culture (Cf. Tableau en annexe). L'irrigation est réalisée sur parcelle par canon enrouleur dont le débit est réglé au minimum. 8 apports ont été réalisés pour un total de 260 mm d'eau. Les actions conduites ou leviers d'actions mis en œuvre sont :

- Corrélations entre apports en fertilisants, niveau de fertilisation du sol et état de la culture.
- Corrélation entre apports d'eau, technique d'irrigation (matériel, fréquence, dose), niveau d'humidité du sol et besoin des plantes.

L'efficacité de ces leviers est mesurée par la détermination de la qualité finale des produits et par le développement des pathogènes. Pour cela, un suivi des maladies de la racine et des nématodes a été réalisé à différentes périodes du cycle.

De plus, un grand nombre de suivis et de notations ont été réalisés : traçabilité des interventions sur la parcelle, enregistrement des conditions climatiques, ( $T^{\circ}$ , H et précipitations), dynamique de levées, mise en place de suivi d'humidité et de salinité de sol avec des sondes TRISCAN<sup>®</sup> et DIVINER 2000<sup>®</sup>, suivi ravageur (pièges et modèle), analyses chimiques de sol régulières.

#### Les résultats

Les tableaux et graphiques de résultats sont présentés en annexe.

##### L'humidité du sol

Cette humidité est mesurée avec la sonde DIVINER<sup>®</sup>.

Les courbes d'humidité du sol à différents endroits de la parcelle montrant une forte hétérogénéité des teneurs en eau du sol en fonction du type de sol (sol plus lourd plus rétenteur d'eau dans une partie de la parcelle), et du travail du sol. Ces mesures permettent de mettre en évidence les effets de certains travaux du sol. On retrouve ainsi des modifications des capacités de rétention d'eau par la formation d'une semelle de labour à 45 cm et la limite de la herse rotative à 25 cm. La sonde permet de définir avec précision les capacités de rétention en eau des différentes parties de ce sol (de 2 à 12 mm d'eau par 10 cm de sol dans notre parcelle) et les remontées de nappe en fond de profil.

##### Le besoin des plantes et le risque de lessivage

L'analyse est réalisée à partir des mesures de la sonde TRISCAN<sup>®</sup>. L'étude des courbes de teneur en eau des sols au cours du temps et le positionnement des pluies et irrigations permettent de calculer les consommations en eau des plantes et des profondeurs de sol prospectées par les racines. On peut ainsi définir la capacité maximale en eau et la réserve en eau utile à la plante et ainsi piloter l'irrigation en définissant l'apport maximal utile lors d'une irrigation pour éviter la percolation rapide de l'eau et le lessivage. Il est à noter que dans ces sols sableux, la marge de manœuvre est très faible du fait de la faible réserve utile du sol.

##### La charge ionique du sol

L'analyse est réalisée à partir des mesures de la sonde TRISCAN<sup>®</sup>. L'étude des courbes permet de définir le fonctionnement du complexe sol-engrais-culture en visualisant les apports d'éléments minéraux, les prélèvements des cultures et les lessivages d'ions.

## Conclusion

L'analyse effectuée permet de mettre en avant des leviers potentiels de gestion. Compte-tenu de l'existant, notamment en terme de matériel et d'organisation, les marges de manœuvre sont étroites. La plupart des solutions utilisables faisant appel à un investissement humain en terme de temps ou matériel.

Concernant l'irrigation, deux possibilités majeures peuvent être mises en avant :

- Le fractionnement supplémentaire des apports. Toutefois, la réalisation par des déclenchements manuels est trop lourde en temps et main d'œuvre. Cette solution demande une automatisation des systèmes d'irrigation et un équipement à la parcelle pouvant être lourds à financer. Elle demande aussi l'assurance de pouvoir réaliser techniquement les tours d'irrigations correspondant.
- la modification des systèmes d'irrigation pour diminuer le débit des installations. Attention aux contraintes induites : augmentation du temps des tours d'arrosages, adaptation des stations de tête d'irrigation à des débits plus faibles, modification et achat de matériel d'irrigation...

### **4.2.1.2. Caractérisation des attaques précoces de *Pythium* et de nématodes sur carotte**

#### Le contexte

A la récolte, nous observons régulièrement un pourcentage de carottes courtes et de carottes bouchons sortant des créneaux de commercialisation. Plusieurs causes peuvent être à l'origine de ces types de carottes. Parmi les facteurs biotiques, ces symptômes peuvent être observés suite à des attaques précoces de champignons du genre *Pythium* ou d'un nématode de la carotte, *Heterodera carotae*. Si les conséquences sont les mêmes, le bioagresseur à gérer est très différent. La maîtrise de ces dégâts nécessite donc un diagnostic précoce de l'agent responsable.

#### Les objectifs

Les objectifs de ce travail sont de:

- réaliser un suivi de la levée et de l'implantation des plantules pour détecter d'éventuelles fontes de semis et/ou attaques précoces du système racinaire.
- réaliser des observations sur un nombre réduit de plantules dans les premières phases d'implantation de la carotte afin de mettre en évidence la flore fongique présente sur le système racinaire de la carotte, en ciblant particulièrement les champignons du genre *Pythium*.
- Suivre la dynamique de population de nématodes au cours d'une culture de carotte
- Evaluer l'état sanitaire de la culture au paillage et le développement des maladies entre le paillage et la récolte

#### Les moyens

Les expérimentations ont été conduites sur la même parcelle de carotte que précédemment, chez un producteur dans le bassin de la côte ouest, en situation réelle de production.

Des prélèvements de sol et de végétation ainsi que des comptages du nombre de plantes in-situ ont été réalisés tout au long du cycle de la carotte afin de caractériser les populations de carotte et de nématodes. Lors des observations, si des plantes malades étaient observées, une détection de champignons était réalisée au laboratoire. Enfin, l'état sanitaire de la production a été évalué à 2 stades clés, la mise en conservation par paillage au champ et la récolte.

#### Les résultats

♦ Suivi racinaire dans la phase d'implantation de la culture

Les comptages mettent en évidence une hétérogénéité de peuplement entre les placettes mais il n'y a pas eu disparition significative de plantules au cours du temps. Les variations d'un comptage à l'autre sont plus liées à « l'erreur de comptage » presque inévitable surtout en tout

début de levée du fait de la présence de fumier de terrage qui masque certaines plantules et du fait aussi d'une hétérogénéité dans la vitesse de germination et de levée. Les analyses au laboratoire ont montré la présence de certains champignons mais ne mettent pas en évidence d'attaques de champignons entraînant des fontes de semis ou disparition de plantes. Très peu de plantes présentent un système racinaire symptomatique et quand c'est le cas, on met en évidence une très faible fréquence de *Pythium* ; la mise en évidence de *Fusarium* sur les plantules ne signifie pas qu'ils sont impliqués dans les nécroses observés et le rôle de ces champignons reste à étudier. Trois semaines après semis de fortes températures durant 2 jours ont pu fragiliser les plantes au niveau du collet et entraîner les symptômes au collet.

#### ♦ Suivi des populations de nématodes

Des larves ont été observées lors des différents prélèvements avec des proportions variables selon la période de prélèvement. En début de cycle (3 semaines après semis) les quantités de larves sont faibles attestant de la réussite de la désinfection chimique du sol. Les évolutions de populations montrent une multiplication du nématode avec une dynamique assez lente, certainement due aux conditions climatiques non optimales pour leur développement. Cependant, les niveaux de populations obtenues sont supérieurs au seuil de nuisibilité normalement utilisé d'1 larve par gramme de sol. Des suivis de végétation ont été réalisés aux lieux de prélèvement de sol. Il n'est cependant pas possible de déduire un effet de la population de nématodes juxtaposée étant donné l'absence de placette témoin sans nématode.

Pour pouvoir relier les symptômes ou les pertes de rendement à la présence de nématodes, il aurait fallu avoir un échantillonnage comportant un gradient de concentrations différentes de nématodes, ce qui est difficilement prévisible au sein d'une parcelle cultivée.

#### ♦ Etat sanitaire au paillage et à la récolte

Le nombre de racine courte (<10cm) est faible tant au paillage qu'à la récolte. Par contre le nombre de racine de longueur moyenne ( $10 < L < 15$  cm) important avant paillage diminue fortement à la récolte. De plus, le poids moyen d'une racine augmente en moyenne entre les deux notations. Les racines ont donc continué de grossir et s'allonger entre les deux notations. Ceci s'explique par le fait que la première notation a été réalisée le 14 novembre et que le paillage n'a été réalisé qu'en janvier compte tenu des températures douces de l'automne et du début de l'hiver.

On note la présence de gale dans toutes les placettes ; cette maladie est déjà présente à l'automne et continue de se développer durant l'hiver. A l'automne on note trois foyers de rhizoctone violet (placette 1, 4, 5) mais c'est seulement au niveau de la placette 1 que l'on note une évolution significative de la maladie (passage de 20% de racines atteintes à 60 %), la maladie ne se propageant pas trop dans les deux autres placettes atteintes. Enfin, on note une très faible incidence de la maladie du cavity spot à l'automne et on constate que la maladie évolue un peu pendant l'hiver mais les incidences à la récolte restent relativement peu élevées et sont inférieures à 18%. Entre l'automne et la récolte, le pourcentage de carottes indemnes de maladie passe de 82% à 62% due en grande partie au développement du foyer de rhizoctone violet, à l'évolution de la gale et du cavity spot.

#### Conclusion

S'agissant de la phase d'implantation de la culture, les suivis réalisés ne mettent pas en évidence d'attaques précoces de *Pythium* et de perturbations racinaires dues à ce champignon. De plus, les quantités de nématodes retrouvés au sol en début de culture ne sont pas problématiques pour la culture.

En cours et fin de culture, on observe quelques foyers de rhizoctone violet dont un a entraîné des pertes importantes. On note aussi la présence de gale qui fait diminuer le pourcentage de carottes saines selon nos critères de notation mais qui globalement a peu d'impact sur le rendement commercial les symptômes disparaissant après brossage. Cependant il faut noter que ces symptômes peuvent constituer une porte d'entrées pour d'autres pathogènes et peuvent être le siège d'une surinfection ; ceci n'est pas le cas dans cette parcelle. Enfin, on peut dire que l'état

sanitaire de cette parcelle est globalement bon du point de vue cavity spot et que la maladie de la bague n'est pas présente; de même pour le sclerotinia. Le suivi de populations de nématodes a montré que les quantités restent sous le seuil de nuisibilité pour la culture tout au long de son développement. Malgré cela, l'augmentation au cours du temps des populations justifie de réaliser un traitement contre ces derniers avant l'implantation de la prochaine culture de carotte.

#### **4.2.1.3. Contrôle biologique et mécaniques des bio-agresseurs.**

##### Le contexte

Un des moyens pour faire diminuer l'utilisation des produits phytosanitaire est de substituer la méthode de lutte chimique par une technique de lutte biologique ou mécanique. Des références obtenues en station expérimentale ont montrés que l'utilisation d'une bineuse à doigts KRESS pouvait permettre le remplacement d'un herbicide positionné à la plantation. De même, l'utilisation de macro-organismes prédateurs en début de cycle permet de retarder l'application d'insecticides chimiques contre les pucerons du chou. Ces expérimentations nécessite d'être testées en parcelles de production pour vérifier leur efficacité et leur applicabilité dans ces conditions.

##### Les objectifs

Les objectifs sont de vérifier en conditions de production l'efficacité de la gestion de la flore adventice par binage mécanique entre rangs (pattes d'oise) et sur le rang (doigts KRESS) par rapport à celle d'un herbicide post-plantation systématique d'une part et l'efficacité de la régulation des populations de pucerons par deux lâchers de larves de chrysopes d'autres part.

##### Les moyens

L'essai est réalisé dans une parcelle de choux du bassin de production du Val de Saire. La parcelle de 14 ares est constituée de 11 planches, 5 de choux rouges et 6 de choux blancs. Les choux ont été implantés entre le 20 et le 22 juillet 2011.

Dans la référence producteur, les choux sont désherbés chimiquement au Butisan le lendemain de la plantation. Dans la stratégie « mécanique » le binage avec doigts KRESS est réalisé 2 semaines après plantation pour laisser le temps pour la reprise du chou et son ancrage au sol. Dans les 2 cas, un binage avec une bineuse à soc a été réalisé 6 semaines après plantation pour nettoyer la parcelle des adventices qui s'étaient développées. Les binages ont été réalisés en condition d'humidité de sol satisfaisante vis-à-vis de l'efficacité mais ont été suivies de périodes humides favorables à la reprise des adventices ou à la germination de nouvelles plantes.

Pour la gestion des populations de pucerons, deux lâchers de chrysope ont été réalisés, une semaine après plantation et dès la détection de foyers de pucerons soit 7 semaines après plantation. Des zones témoins sans lâchers ont été mise en place pour réaliser des témoins.

Des observations régulières de la flore adventices et des foyers de pucerons ont été réalisés tout au long de la culture.

##### Les résultats

La technique de désherbage par sarcluse à doigts a donné des résultats relativement satisfaisants dans les conditions d'utilisation de l'année lors du passage de l'outil, à savoir :

- une destruction systématique des adventices, y compris sur le rang
- une bonne sélectivité sur la culture de chou

Cependant, les conditions humides suite au premier binage ont entraîné une remontée rapide d'adventices qui n'a pas été gérée à temps pour pouvoir réutiliser la sarcluse à doigts (2 semaines environ après le premier passage).

Le binage avec une bineuse à socs a permis de récupérer la situation sur l'inter-rang.

La comparaison des développements de flore durant l'hiver a montré que très peu de différences apparaissent sur la flore entre les deux modes de gestion proposés. La flore est homogène et caractéristique d'une flore hivernale sur les parcelles légumières de la zone de production.

Rapidement après le 2<sup>ème</sup> lâcher de chrysope, on note une régression partielle des foyers de pucerons initialement repérés. 19 jours après lâchers, la régression des foyers initiaux est très importante. La situation est totalement contrôlée dans plus de 70% des cas. De son côté, la parcelle qui n'a reçue aucune lutte a tendance à voir une évolution mixte :

- Progression de certains foyers vers des niveaux de gravité plus forts
- Régression de certains foyers. Cette régression de foyer est à associer sur parcelle à la présence de faunes auxiliaires naturelles.

Au final, on ne note pas de différence de fréquence de foyers pour les différentes modalités. Par contre, les foyers relevés ne sont pas du même type :

- Sur la partie sans lutte, 100% des foyers sont de type C3 (*fondatrice* + *x aptères*) ou C4 (*fondatrice* + *x aptères* + *ailés*). Ces ailés sont des sources de contaminations de nouveau choux
- Avec chrysope, 94% des foyers sont de type C1 (*fondatrice ailée*). Ils correspondent à une « recontamination » des plants, probablement issue de la parcelle « sans lutte ».

### Conclusion

La technique de désherbage par sarcluse à doigts a donné des résultats relativement satisfaisants dans les conditions d'utilisation de l'année, à savoir :

- une destruction systématique des adventices, y compris sur le rang, au passage de l'outil
- une bonne sélectivité sur la culture de chou

La gestion des adventices par des opérations mécaniques en culture de chou, tant pour sa mise en œuvre que pour son efficacité restent directement dépendantes des conditions météorologiques. Aussi, il est délicat de construire pour une production, un itinéraire de culture unique et généralisable. Il est nécessaire, en cas de conditions défavorables de prévoir :

- une solution de travail de sol différente de la bineuse à doigts comme la bineuse à socs
- des solutions de désherbage chimique en localisé ou en plein selon l'équipement disponible

La technique de binage par sarcluse à doigts demande également un investissement à raisonner par le producteur. Il a été estimé dans le dossier « Réduire l'usage des phytosanitaires sur les exploitations légumières – Estimation et savoir faire » publié fin 2011 par le SILEBAN et la Chambre d'Agriculture de la Manche à 700€ HT par rang à équiper.

L'efficacité des lâchers de chrysope s'est montrée satisfaisante ; l'effet est durable, la réduction de pression des populations de pucerons en intensité et en fréquence est intéressante, même si elle n'est pas totale

Cette technique permet de préserver des populations d'auxiliaires naturels (syrphes, *diaretiella*...) qui ont montré un certain niveau d'efficacité complémentaire sur pucerons.

Toutefois, il est encore délicat de :

- Cibler finement les dates d'applications. Le système de commande du fournisseur impose une commande une semaine avant réception du produit. La conservation du produit dans le temps est limitée. Aussi, le planning prévisionnel doit être le plus fin possible pour ne pas se retrouver dans la situation du premier lâcher. Vice versa, l'auxiliaire lâché met plus de 7 jours à réguler efficacement les populations sur foyer déclaré. A voir, le bon positionnement du produit pour ne pas induire de dégâts qui entraîne une perte commerciale
- Assurer un positionnement coût du produit :

à 120€ HT environ les 10 000 larves (estimatif fournisseur - octobre 2011), le coût d'un passage est de 2 000€/ha par passage à la dose utilisée dans l'essai. Cette dose est à revoir absolument pour permettre un positionnement du produit en culture maraîchère.

## 4.2.2. Les premières approches de modification des systèmes par intégration de nouvelles pratiques

### 4.2.2.1. Les apports des composts

Evaluer la stratégie d'apports de produits résiduaux organiques sur la qualité des sols dans les systèmes de culture légumiers pour la construction de scénarios d'apports.

#### Le contexte

Les sols légumiers sont déstructurés. Cette situation résulte de la nature des sols (limoneux et sableux accentué par la faiblesse en matière organique) et des systèmes de cultures pratiqués (successions et Itinéraires Techniques). L'apport de PRO est l'une des solutions pour améliorer la structure. Les systèmes légumiers s'avèrent particulièrement contraints tant sur les plans économiques, agronomiques que réglementaires. Le choix des PRO utilisables et les stratégies d'apports associés pour atteindre l'objectif d'amélioration de la structure, en tenant compte des contraintes, demande une étude et des compromis.

#### Les objectifs

L'objectif de cette étude est de répondre à la question suivante : Quelles PRO et selon quelles modalités d'apports peut-on améliorer la structure des sols légumiers sous contraintes économiques (accès au marché et revenu du producteur), agronomiques (respect des cultures pratiqués, enchaînement des opérations culturales, faisabilité technique, ... maîtrise des bio-agresseurs potentiellement induits), sociales (voisinages) et réglementaires (sanitaires : légumes racines/feuilles et environnementales (arrêtés nitrate / loi sur l'eau) ?

Cette recherche de solutions agronomiques doit être replacée dans le contexte de production de l'étude. Il faut d'une part identifier les gisements locaux de MO, et d'autre part évaluer les contraintes économiques, organisationnelles liées aux systèmes de culture existants. L'avis des producteurs et leur ressenti sur la (les) proposition(s) est nécessaire pour affiner et adapter les solutions possibles.

#### Les moyens

Pour atteindre ces objectifs il a été réalisé :

Une étude bibliographique comportant :

- Inventaire des PRO disponibles et leurs caractéristiques chimiques et agronomiques
- Qualification des effets agronomiques de ces apports notamment les risques et les avantages sur la dynamique des bio-agresseurs.
- Identification des facteurs de variabilité majeurs sur l'effet des apports pour préciser les périodes, les doses, les fréquences d'apport et les techniques d'incorporation idéales pour un effet optimal.
- le choix d'un modèle de simulation des apports de PRO : SIMEOS.

Des expériences d'apport de compost de déchets verts à raison de 20t/ha en 2010 et 2011 ont été réalisées sur le réseau de parcelle du dispositif d'essai situé dans le Val-de-Saire. Ces parcelles ont fait l'objet d'analyses de stabilité structurale en laboratoire.

La mise en relation entre ces résultats, les informations disponibles sur les systèmes de cultures et celles obtenues par l'étude bibliographique permettront de formuler des premières préconisations. Le coût économique (prix de revient), la charge de travail, et la compatibilité avec d'une part l'Itinéraire Technique et d'autre part la réglementation (zones nitrates) occasionnés par ces apports est pris en considération.

Cet ensemble est présenté lors des rencontres avec les producteurs et les échanges permettront d'affiner les préconisations en fonction de leurs avis et attentes.

#### Les résultats

Le compost de déchets vert et le fumier de bovins sont des PRO disponibles localement et intéressants en vue d'améliorer l'état structural des sols. La qualité des PRO est relative à l'utilisation qui en est faite, ici il s'agit de la capacité à améliorer les propriétés des sols. Les produits stables (déjà, pour partie au moins, dégradés), riches en humus, « secs » (riche en matières sèches) ont été choisis. L'apport de ces PRO permet de stimuler les processus d'agrégation des sols, en apportant d'une part un substrat à l'activité biologique des sols, et d'autre part des composés stables (humus). Cet apport doit être régulier et son effet ne s'observe généralement pas

directement (plusieurs années d'apports sont nécessaires à l'observation d'une amélioration notable). Les résultats des tests de stabilité structurale n'ont pas montrés une évolution significative des sols, ils sont en accord avec les effets attendus des apports.

L'apport de PRO confère aux sols une résistance générale (« effet suppressif »), qui réduit la pression sanitaire. Celle-ci s'explique par l'augmentation en quantité et en diversité de la vie du sol, ce qui augmente la compétition avec les pathogènes. Des actions plus spécifiques (sélection ou apport d'antagonistes, productions de composés toxiques) peuvent avoir lieu, et limiter le développement de certains pathogènes. Dans un sol en « bonne santé » les cultures sont moins soumises aux agressions. Par ailleurs l'amélioration de l'état structural des sols permet aux cultures de mieux se développer, et ainsi d'être plus robustes et résistantes aux agressions.

Néanmoins l'apport de PRO peut présenter des désavantages pour les cultures, certains risques sont supposés (attirance de la mouche de la carotte). Certains PRO peuvent contenir des contaminants en quantité non négligeable (adventices dans les fumiers, composés toxiques, éléments traces métalliques...). L'apport doit être raisonné afin d'éviter des problèmes relatifs à la fertilisation (excès ou faim d'azote...). Afin de limiter l'augmentation du stock de graines adventices des sols nous préconisons l'apport de produits assainis (composts).

Les caractéristiques des PRO sont très variables, et leurs effets dépendent fortement de leurs utilisations. En effet nous pouvons noter deux facteurs de variabilité majeurs (i) l'incorporation des PRO, idéalement superficielle et homogène et (ii) la période d'apport, de préférence au printemps/automne, lorsque que l'activité biologique peut se développer au mieux.

Sur ces bases la séquence suivante de sélection d'action à été établie

1° - choix de l'objectif principal

Amendement / fertilisation

2° - choix du PRO

Disponibilité locale

Compatibilité avec l'objectif principal (faible / moyenne / forte)

Valeur fertilisante (NPK)

Effets sur les bio-agresseurs (-/0/+)

3° - choix de la période ou fenêtre d'apport

Respect de la succession (ou rotation existante) : Oui / Non

Identification des restrictions

♦ avec la culture suivante (faim d'azote / accumulation de nocif)

♦ avec la réglementation (Européenne : directive N, « paquet » hygiène ; Locale : règlement sanitaire départementale, arrêté départemental ou régional).

♦ avec les exigences commerciales, de la coopérative (Cahier des charges spécifiques, règlement interne ...)

♦ avec le fonctionnement de l'exploitation.

4° - choix de la dose et de la fréquence

Cette méthode à été appliquée à deux situations de référence dans le cadre de notre étude. Sur la base de 2 successions types, l'une avec présence de la carotte et l'autre avec présence du poireau, les fenêtres d'apport ont été identifiées. Ces fenêtres sont limitées par les réglementations (zone vulnérable, épandage interdit en été...), et des contraintes agronomiques (ne doit pas entraver le bon déroulement des cultures). Nous avons pu définir à l'aide d'un modèle de bilan humique (SIMEOS-AMG) des doses d'apports nécessaires à l'amélioration des propriétés des sols. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la stabilité structurale, à travers le phénomène qui en découle : la battance, fréquemment rencontré et problématique dans la zone d'étude. Nous avons estimé un seuil « satisfaisant de MO » à atteindre via un indice de battance, celui s'élève à 2,7%. Cela conduit à un apport de 216t/ha de compost de déchets verts (ou 396t/ha de fumier de bovin) sur la totalité de la succession (six ans), en prenant en considération la mise en place obligatoire d'un couvert végétale deux hivers sur six.

Plusieurs propositions d'apports (dose/fréquence) ont été faites, elles méritent d'être vérifiées par des spécialistes. En effet quelques points méritent une attention plus poussée, premièrement la gestion des MO doit faire partie intégrante du bilan de fertilisation. La période d'apport peut être positionnée plus précisément avant chaque culture, l'immobilisation de l'azote en sera le paramètre prioritaire. Les doses estimées, sont à priori à revoir à la baisse<sup>1</sup>. Enfin l'aspect technique reste à développer, est-il réellement possible sur le terrain d'effectuer des apports de 40t/ha/an ?

La rencontre avec les producteurs a mis en avant la nécessité de réduire les charges qu'occasionnent les apports de PRO. La coopération et l'externalisation des travaux pour collecter, épandre et incorporer ces PRO (CUMA) peut constituer une piste pour répondre au problème de disponibilité en temps et en matière évoqué par les producteurs.

Une meilleure gestion organique des sols Bas-Normands apparaît comme un levier majeur à la durabilité des systèmes, c'est l'une des voies en vue d'une réduction de l'utilisation de pesticides. Mais elle permettra également celle des intrants minéraux et peut conduire à la réduction du travail du sol, ainsi qu'à celle de l'irrigation. Cette gestion doit être raisonnée à l'échelle du système de culture. Des contraintes d'ordre économique (coût des apports augmenté par la distance) et techniques (organisation du temps de travail) à l'échelle des exploitations nécessitent une étude plus profonde. Celle-ci permettra l'identification et la mise en place de leviers supplémentaires (CUMA ?) ayant pour objectif de réduire le frein économique qui s'oppose à des apports de PRO suffisants.

#### **4.2.2.2. Les cultures assainissantes : moutarde après carotte**

##### Le contexte

Du fait des directives nitrates dans certaines zones de culture, des couverts sont régulièrement implantés pendant les périodes d'interculture. Peut-on donner un rôle assainissant à ces couverts pour la gestion des maladies telluriques ?

##### Les objectifs

L'objectif de l'essai est de :

- de vérifier la possibilité de l'implantation et du développement d'une culture assainissante de moutarde dans des conditions d'une parcelle de production agricole ;
- De valider l'innocuité d'une interculture de moutarde sur la culture de poireau lui succédant. Les résultats obtenus antérieurement par le Sileban étaient en effet perturbants (notamment sur l'apparition de phénomènes de racines roses sur certaines zones des essais)

##### Les moyens

L'expérimentation a été conduite sur une parcelle chez un producteur dans le bassin de la côte ouest, en situation réelle de production. Le couvert d'interculture (moutarde brune) est implanté après une culture de carotte ayant présenté de forts symptômes de maladie de la bague (*Phytophthora megasperma* et *Phytophthora sp.*) et avant une culture de poireau. Il s'agit donc d'agir sur l'inoculum produit sur la carotte. La vérification de la limitation de l'inoculum se fera à l'aide d'une culture de carotte révélatrice après le poireau en 2012-2013 soit en dehors de cette convention.

Le couvert de moutarde (levée, densité de plante et biomasse) et la culture de poireau (biomasse, qualité de la récolte et état sanitaire) ont été suivis au cours de cet essai.

---

<sup>1</sup> En effet (i) les cultures ayant servies (dans SIMEOS) à la substitution de celles réellement en place, seraient plus riches en MO (poireau > carotte), (ii) les potentielles humigènes (k1) actuellement utilisés dans le modèle sont sous estimés, et seront bientôt remplacés (k1 → ISMO).

## Les résultats

### Croissance et développement de la moutarde

La levée de la culture a été lente compte tenu des conditions climatiques sèches et de la non possibilité pour le producteur d'irriguer. La densité finale obtenue est quelque peu inférieure aux prévisions avec 13,5kg de graines levées / ha environ contre 18kg/ha semés.

Le développement de la moutarde a été satisfaisant et la quantité de matière à incorporer intéressante pour juger de l'effet de l'interculture. Le stade d'enfouissement correspond au stade préconisé pour un effet assainissant maximal de la culture, à savoir premières siliques formées sur environ 10cm de la hampe florale.

### Impact sur la culture de poireau

En cours de culture, la longueur de fût des poireaux sur antécédent moutarde est plus courte que sur sol nu. Les autres variables enregistrées (le diamètre du fût et apparition de symptômes de racines roses) sont comparables quelque soit l'antécédent.

A la récolte, si les rendements bruts moyens à l'hectare restent sensiblement les mêmes, le rendement commercialisable ou rendement net est très inférieur pour l'antécédent moutarde. La culture reste globalement assez hétérogène et le rendement net relativement faible selon nos estimations, y compris sur la partie sans moutarde. Les différences de rendement net s'expliquent principalement par une différence de longueur de fût, et surtout de longueur de blanc entre les zones « avec moutarde » et « sol nu ». Les diamètres de fût sont équivalents entre zone « moutarde » et « sol nu ». En terme de maladie, la culture n'a pas été concernée par des dépérissements précoces. En cours de culture, d'après les notations intermédiaires, la pression s'est avérée faible.

Les symptômes de fusariose repérés sont de deux types :

- Nécrose caractéristique du fût des poireaux. Ce symptôme, celui relevé sur les notations intermédiaires est très peu présent et présent de façon équivalente que ce soit sur la parcelle ayant reçue la moutarde (2% du total des poireaux est atteint) ou sur le témoin (1% du total des poireaux est atteint).
- Légère nécrose des racines centrales du plateau racinaire. Ce symptôme est nettement plus présent sur la parcelle ayant reçue la moutarde.

## Conclusion

L'essai mis en place directement en situation de production a été l'occasion de mettre en avant un certain nombre de limites et de points de blocage.

La mise en place de l'interculture de moutarde au printemps a posé de gros soucis, notamment en terme de gestion des pailles utilisées pour la conservation de la carotte. De plus cette mise en place coïncide avec une période de pleine activité de récolte sur la zone. Une mise en place plus précoce pour des parcelles mises en conservation est ingérable.

Les possibilités d'irrigation de l'interculture ont été limitées et n'ont pas permis la pleine expression du potentiel de la moutarde, même s'il est resté correct.

L'interculture de moutarde a hébergé (constat visuel sans dénombrement spécifique) de la mouche du chou et du puceron. Une culture de rutabaga voisine a par la suite été relativement concernée par les dégâts de mouche également. Pour des assolements comprenant souvent une base de *Brassicacées*, la moutarde brune est-elle la meilleure interculture possible, ce malgré ses vertus assainissantes ?

A la mise en place du poireau, plus d'un mois après enfouissement et en conditions relativement sèches, la moutarde s'est avérée pénalisante puisqu'elle a « asséchée » le sol selon le producteur. Les poireaux n'ont pas pu être enfoncés assez à la plantation. Cet effet n'a pu être récupéré totalement par la mise en œuvre des binages-buttes en cours de culture.

### 4.3. Synthèses des résultats des travaux 2011-2012

Les travaux sur la biologie et l'écologie des bioagresseurs des cultures légumières ont été complétés. Les leviers connus et référencés dans la littérature pour perturber ou contrôler des

parties du cycle de développement ont été recensés et synthétisés. Pour les insectes comme pour les pathogènes, les déterminants majeurs de leur développement sont les conditions pédoclimatiques et les interactions avec les autres organismes présents dans le sol ou sur la plante. Les connaissances disponibles sur les effets de ces deux facteurs sur le développement et les différentes phases et stades de vie font largement défaut. Après les facteurs abiotiques (température, humidité, vent, ...), les réservoirs d'individus ayant passé l'hiver, la dispersion des adultes, l'alimentation des femelles, qui conditionnent leur fécondité et leur longévité, ou la recherche de partenaires sexuels et les accouplements pour les mouches, seraient les facteurs déterminants à prendre en compte pour anticiper les dynamiques de population dans le paysage. Il n'est actuellement pas possible de le faire. D'autres facteurs déterminants peuvent contrôler les populations d'insectes ravageurs : les ennemis naturels. Il n'est pas possible à ce jour d'évaluer leur contribution à la régulation dans les cultures. Différents leviers agronomiques sont identifiés. Ces modes de gestion peuvent apporter des solutions ponctuelles à l'attaque des ravageurs mais il ressort de cette étude que leur mode d'action n'est pas toujours bien établi. Des travaux complémentaires seraient nécessaires. Compte tenu de l'organisation des soles au sein d'un bassin et de la durée de présence au champ des cultures, les potentiels d'invasion des nouvelles cultures par les insectes ne sont pas sensibles au choix du précédent.

Les capacités de survie des pathogènes dans un sol et/ou leur degré de polyphagie, rendent une majorité d'entre eux peu ou pas sensibles à la rotation (71% pour la carotte, 50 % pour la salade, 25 % pour le poireau, alors que tous les pathogènes du chou sont sensibles à la rotation). Pour notre réseau de parcelle, ces sont les altérations des propriétés physiques du sol qui sont les plus limitantes pour pouvoir gérer les pathogènes.

La mobilisation et l'exploitation des leviers identifiés par ces études dans les systèmes de cultures des exploitants, nécessite une qualification de leur contribution à la régulation des populations pour définir leur pertinence. Leur mise en œuvre peut être très lourde en temps, en argent ou bousculer l'organisation de la ferme, ou plus simplement engendrer des effets sur d'autres organismes ou sur le comportement de la plante... aussi ils nécessitent la conduite d'essais pluri annuels avec des situations de conditions très favorables et défavorables aux bio agresseurs, pour envisager leur utilisation rapide.

Nous avons testé en vraie grandeur un moyen de contrôle de pathogènes de la carotte par l'utilisation de culture assainissante : une moutarde conduite entre la récolte et l'implantation du poireau suivant. La culture de carotte révélatrice sera récoltée et notée en 2013. Indépendamment de l'évaluation de son effet, les conditions de réalisation de cet essai ont mis en évidence un effet négatif sur l'implantation de la culture suivante : les poireaux ont eu une longueur de fût anormalement courte du fait d'une profondeur de plantation insuffisante. Si cet essai devait être reconduit, une meilleure appréhension de la conduite et de la destruction de la moutarde sera nécessaire. L'étude de la contribution des attaques précoces de *Pythium* ou de nématodes sur la qualité sanitaire à la récolte de carottes n'a pas permis de répondre à la question, la parcelle étant globalement indemne de maladie cette année. La question restant d'importance, l'action a été reconduite pour 2012-2013.

Dans l'essai de contrôle des pucerons sur chou et de désherbage mécanique, les techniques mises en œuvre ont été efficaces en termes de contrôles des bioagresseurs ciblés. Des contraintes fortes pour une utilisation dès à présent en routine ont été identifiées. D'un point de vu technique, le succès du désherbage mécanique porte une part d'incertitude liée au climat, et oblige à prévoir une gestion alternative avec des produits phytosanitaires et à faire preuve d'une très grande réactivité pour positionner ce rattrapage chimique. De même le contrôle biologique utilisé est spécifique d'un ravageur. La suppression des interventions chimiques oblige à prendre en compte d'autres ravageurs et leurs auxiliaires qui ne sont plus réprimés et qui constituent alors une cause de dégâts et donc de dommage. D'un point de vu économique, ces techniques ne sont pas acceptables compte tenu de l'augmentation importante du cout de production qu'elles induisent. L'intégration de ces résultats pour la définition d'une stratégie de conduite culturale est possible, mais nécessite une approche plus large et un couplage probable avec des moyens de contrôle chimique.

L'utilisation de compost sur le réseau de parcelle du Val-de-Saire s'est faite sur une période trop courte pour évaluer par des mesures de stabilité structurale leurs effets sur la qualité du sol.

L'étude complémentaire menée confirme qu'il faut établir une stratégie d'apport sur le moyen terme avec des quantités importantes. Ces apports peuvent être concentrés sur quelques années. Les producteurs, conscients de la nécessité d'améliorer la qualité de leurs sols sont demandeurs d'information pratiques sur les apports de PRO.

Concernant l'irrigation, deux possibilités majeures peuvent être mises en avant : (i) le fractionnement supplémentaire des apports, (ii) la modification des systèmes d'irrigation pour diminuer le débit des installations. Compte-tenu de l'existant, notamment en termes de matériel et d'organisation, les marges de manœuvre sont étroites. La plupart des solutions utilisables faisant appel à un investissement humain en terme de temps ou des investissements matériels, la mise en œuvre de ces leviers nécessite une programmation collective.

Pour la fertilisation, la sonde ne permet pas une approche qualitative. Cependant, elle montre l'intérêt que peut avoir un fractionnement plus fin des apports afin de limiter des périodes de stress par excès ou par lessivage des éléments, dont certaines peuvent se traduire par l'affaiblissement de la plante et favoriser l'installation potentielle de pathogènes de faiblesse. L'utilisation de la sonde met en évidence les besoins d'optimiser les pratiques d'apports en eau. Ces modifications sont à valider techniquement et économiquement par des approches expérimentales et, le cas échéant, de possibilités d'investissement.

Les actions menées avec les exploitants sur leur parcelle font d'abord ressortir leur volonté et leur ouverture à la modification de leurs pratiques, mais aussi la nécessité de définir l'effet et l'efficacité des modifications sur la maîtrise de leur culture avant de les intégrer à leurs pratiques. Ils partagent notre analyse sur leur besoin de faire évoluer leurs pratiques de gestion de la fertilité des sols ainsi que l'optimisation de l'alimentation hydrominérale de leur culture. Que ce soit en terme de connaissances sur la biologie et l'écologie des bio-agresseurs ou sur la maîtrise technique et économique des moyens de lutte, des travaux complémentaires sont indispensables. Les effets des conditions pédoclimatiques sur les dynamiques des bio-agresseurs, comme les inter-relations entre les organismes et/ou les moyens de lutte doivent être mieux appréhendés. Les moyens et outils de lutte doivent être validés par le biais d'expérimentations locales, et évalués sur leur niveau et limites d'efficacité au sein d'une culture et système de culture tant d'un point de vue technique qu'économique. Cette dernière évaluation économique doit dépasser la seule échelle du système de culture, pour prendre en compte non seulement l'exploitation mais aussi ses partenaires économiques locaux (structures de commercialisation, ressources sociales et techniques locales).

## **5. LES COMMUNICATIONS REALISEES**

### **5.1. Les communications aux producteurs et aux partenaires du projet.**

Réunion de présentation des travaux en cours et des projets envisagés pour 2011-2012 : le 31 mai 2011 au Sileban avec les producteurs engagés et le 6 juin 2011 à Créances avec les partenaires techniques engagés dans le projet (OP et Sileban). Un diaporama a été utilisé comme support.

Une réunion de présentation des travaux en cours et d'échanges sur les besoins et perspectives envisagées a été organisée le 29 février 2012 au Sileban. Elle a réuni les expérimentateurs de la station, le responsable technique (agent CTIFL) et le directeur adjoint. Un diaporama a été le support de cette ½ journée.

Réunion d'information sur la conduite des blés rustiques le 29 mars 2012 au Sileban destinées aux producteurs du groupe du Val-de-Saire. Utilisation d'un diaporama comme support.

Réunion de travail au Sileban avec les producteurs du projet le 6 juin 2012 sur les apports de composts. Utilisation d'un diaporama comme support.

Réunion de restitution des travaux aux techniciens et aux producteurs du réseau programmées de 18 décembre à Créances et le 20 Décembre 2012 à Barfleur.

## **5.2. Les communications en dehors du réseau**

Salon de l'agriculture, 23 février 2011 : communication sur le programme sur le stand INRA. Utilisation d'un diaporama.

Intervention Estelle MESLIN dans le réseau PIC de l'INRA en octobre 2011. Utilisation d'un diaporama comme support.

Sival 18 février 2012. Communication sur le projet en salle (environ 40 personnes). Utilisation d'un diaporama.

Article dans jardin du littoral reprenant la communication du SIVAL dans le numéro de Mars 2012.

Visite de la station du Sileban le 1 août 2012 par une délégation du ministère liée au programme opérationnel d'Agrial filière légumes. Utilisation d'un panneau bout de champ (un de ceux fait en 2010).

## **6. ANALYSE DES LEVIERS MOBILISABLES POUR LA CONSTRUCTION DE NOUVEAUX SYSTEMES DE CULTURES EN BASSE-NORMANDIE.**

### **6.1. Les leviers pour réduire les pesticides**

Le projet a permis d'établir un état initial de la production Bas-normande (organisation, pratiques culturales à l'échelle du bassin de production, de l'exploitation et de la parcelle, qualité et fertilité des sols, et état sanitaire de référence).

Il s'avère que les systèmes de production sont très contraints et les marges de manœuvre sont étroites pour les exploitations. En interne, la complexité des systèmes (successions de cultures très variables d'une parcelle à l'autre, et itinéraires techniques très diversifiés tant au sein des exploitations qu'entre exploitations reposant sur des règles de décision propres à chaque exploitation intégrant des aspects techniques, matériels, humains et organisationnels) limite les actions facilement généralisables à l'échelle du système de culture. En externe, la « tolérance marché » reste restreinte voire inexistante bien qu'elle représente un véritable levier d'action. A une exigence environnementale toujours plus forte, doivent correspondre des produits « zéro défaut » et des prix « tirés ». Il en ressort globalement des systèmes intensifs et très spécialisés, ayant une dépendance technique et économique forte vis-à-vis des pesticides chez les producteurs, notamment en vue de préserver la rentabilité de leur entreprise et sa « vivabilité ». C'est dans ce cadre que la réduction des phytosanitaires doit être envisagée.

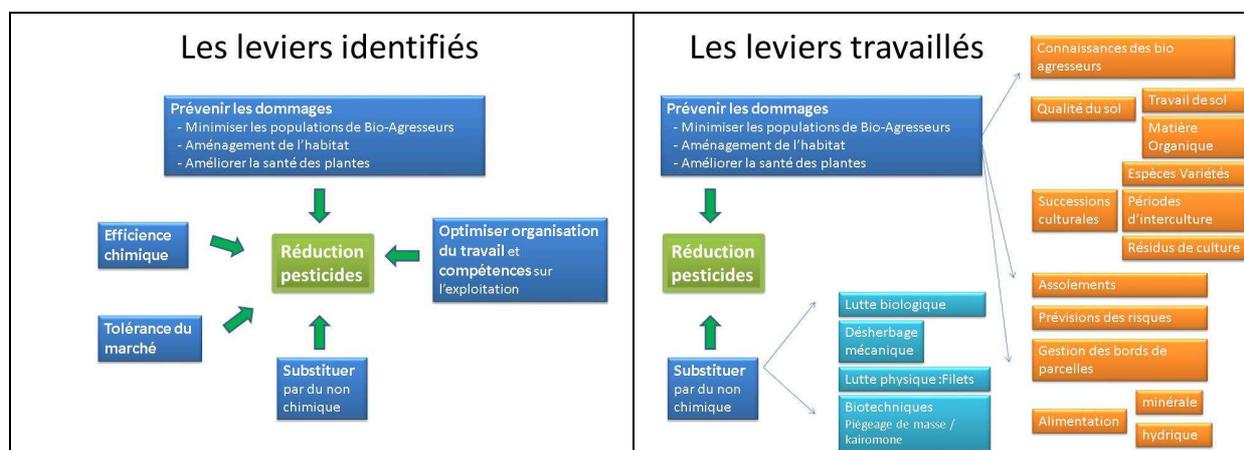
La réduction des pesticides peut être envisagée selon cinq angles de travail. Le premier concerne l'amélioration de l'efficacité des interventions chimiques. Il porte essentiellement sur les matériels et les techniques de pulvérisation. Il concerne la qualité et la quantité de bouillie appliquée. Sont ainsi concernés par exemple le type de buse (type de gouttes générées, cône et angle d'aspersion, ...) et leur positionnement par rapport au couvert (au dessus, en dessous ou au cœur), la concentration et le volume de bouillie, le nombre et la nature des spécialités commerciales mélangées, la qualité de l'eau utilisée pour la dilution ou encore les conditions météorologiques, l'état et le stade du couvert et des organismes cibles ... Les deux leviers suivants

concernent l'assouplissement de la tolérance du marché et l'organisation de l'exploitant et de son exploitation. Pour ce dernier, il s'agit de l'adéquation de la répartition des ressources disponibles (temps, matériels, savoir-faire et compétences) entre les différentes activités de l'entreprise et l'optimisation des interventions de contrôle des bioagresseurs (la bonne dose au bon moment). Ces trois premiers leviers ne sont pas pris en compte dans notre projet. Ils sont hors périmètre d'action et ou ne relevant pas d'une approche système.

Les mesures mises en œuvre par les exploitants partenaires se rattachent aux deux grands types de leviers compatibles avec une approche système : la prévention des dommages aux cultures et la substitution des moyens de contrôles des bio agresseurs par du non chimique.

La prévention des dommages aux cultures relève à la fois de la répression des populations de bioagresseurs, de l'amélioration de la santé des plantes et du contexte de production. Les techniques de substitution par des agents non chimiques mobilisent la lutte biologique, la lutte physique, le désherbage mécanique et des méthodes biotechniques (confusion sexuelle, piégeage de masse, ...).

Sept types d'actions sont mobilisables pour la prévention des dommages aux cultures (Cf. figure 4). Minimiser les populations de bio-agresseurs, améliorer la qualité des sols par la gestion des apports de matières organiques et le travail du sol et améliorer la santé des plantes par la gestion de leur alimentation hydrominérale sont les thèmes sur lesquels les efforts ont été les plus importants dans nos travaux.



**Figure 1 : Les leviers impliqués dans la réduction des pesticides et travaillés dans le cadre du projet**

## 6.2. Pratiques pour améliorer la qualité du sol et la gestion des bioagresseurs telluriques

Ce programme d'étude est mené en partenariat avec l'équipe de l'INRA de rennes EPidémie, SOls et Système (EPSOS), dont les maladies telluriques sont le thème principal d'étude. Les impacts des maladies telluriques sont d'autant plus importants que le sol présente une mauvaise qualité physique, chimique et biologique (drainage inadéquat, mauvaise structure du sol, pauvreté en matière organique, compaction élevée et faible fertilité). Les sols de notre étude, présentent la plupart de ces problèmes liés à leur qualité. Un axe prioritaire de travail retenu est donc l'amélioration de la qualité des sols et la gestion des problèmes liés aux pathogènes telluriques. Le bon développement des plantes, c'est-à-dire leur capacité à croître de manière régulière, homogène et à être robustes repose pour partie sur les conditions édaphiques et nutritionnelles (lumière, eau et minéraux) dont elles bénéficient de leur installation jusqu'à la récolte.

Nous avons identifié et retenu six leviers différents pour leurs capacités à agir simultanément sur les propriétés du sol et sur les micro-organismes. Ils ont des effets multiples et croisés entre eux. Ces différentes actions envisageables pour améliorer les systèmes concernent :

Les apports de matières organiques (PRO : Produits Résiduaire Organiques)

La gestion des successions culturales  
La gestion des périodes d'intercultures  
La gestion des sources de contamination (résidus de culture)  
La gestion du travail du sol  
La gestion des apports de fertilisants et d'eau

### 6.3. Gestion des apports de PRO

Les objectifs visés par les apports en produits résiduaux organiques (PRO) sont (i) d'améliorer la qualité du sol et (ii) d'augmenter l'effet suppressif du sol via les interactions entre les organismes du sol pour le contrôle des pathogènes telluriques.

#### 6.3.1. Intérêt des apports des PRO sur la qualité des sols

Les apports en PRO permettent

- de maintenir la *MOS active*<sup>2</sup> pour que la fonction nutritive du sol soit assurée ;
- de continuer à accumuler de *l'humus* dans le sol ;
- d'améliorer la structure du sol ;
- d'améliorer la rétention de l'eau dans le sol ;
- de renforcer les apports d'oligoéléments (zinc, bore et les sulfures) en complément des engrais de synthèse.

L'importance des effets des apports de PRO est aussi liée à la gestion concomitante des facteurs qui accentuent la réduction de la MOS, par l'accélération de la minéralisation et la dilution de la MOS et de sa perte par érosion des couches superficielles du sol. Il s'agit en particulier de réduire / adapter le travail du sol, éviter les sols nus durant les périodes d'intercultures et diversifier les cultures dans la succession (introduire des cultures à C / N élevé).

#### 6.3.2. Intérêt des apports des PRO sur la réduction des problèmes liés aux pathogènes

De façon générale les apports de PRO permettent de maintenir voire d'améliorer la diversité des microorganismes du sol. Les effets sur les pathogènes sont difficiles à prévoir. Ils dépendent de leur nature et de leur composition chimique et des conditions pédoclimatiques au moment de leurs apports. Ils sont donc variables pour un même pathogène et selon les différents pathogènes considérés. Globalement ils ont plutôt des effets suppressifs et bénéfiques.

La matière organique du sol est importante pour la vie microbienne puisqu'elle représente à la fois le substrat pour les microorganismes, mais aussi le produit de l'activité microbienne. En plus, elle affecte la structure du sol et par là même module les capacités de rétention en eau, la CEC et l'aération du sol.

Les choix doivent aussi intégrer les contraintes économiques et notamment de prix de revient global (prix, coût du transport et de l'épandage) : privilégier le choix et la diversité des sources de PRO accessibles localement (proximité, disponible à différents moments dans l'année), privilégier le recyclage dans l'exploitation ou des sources telles que les intercultures et les résidus de cultures. Il faut encore prendre en considération la charge de travail occasionnée par ces apports en tenant en compte des autres pratiques culturales, et des autres cultures ou ateliers de l'exploitation ainsi que les charges opérationnelles induites par ces apports (achats des produits et des matériels pour transporter et épandre les PRO).

---

<sup>2</sup> Matériaux vivants (bactéries, champignons, algues, racines de plantes, insectes, vers de terre, etc., qui contribuent à la décomposition des résidus végétaux et du fumier) ou non vivants depuis peu (les organismes morts, les fumiers qui viennent d'être épandus, les anciennes racines de plantes et les résidus de cultures).

Pour finir, et c'est certainement la première chose à prendre en considération, il faut s'assurer de la compatibilité de ces apports avec la réglementation (zones nitrates) et les cahiers des charges des contrats (PAC, MAE, cahiers des charges commerciaux).

## **6.4. La gestion des successions et le choix variétal**

Les objectifs de gestion des successions culturales et des variétés sont multiples. Ce choix a pour vocations principales (i) de casser le cycle des pathogènes (ii) d'améliorer les qualités des sols (iii) de définir l'effet de la culture précédente sur le milieu afin d'optimiser l'élaboration du rendement de la culture suivante.

### **6.4.1. Intérêts des successions sur la qualité des sols.**

Les alternances de cultures et de familles botaniques contribuent à la gestion de la qualité des sols sur les plans chimique, physique et biologique. Sur le plan chimique, les successions doivent permettre d'améliorer la disponibilité d'un élément pour la culture suivante (mobilisation et accumulation dans l'horizon cultivé : cas de l'azote avec les légumineuses par exemple) et de diversifier les éléments minéraux exploités par les cultures (équilibre des macro et oligoéléments disponibles). Les propriétés physiques sont améliorées par la diversité des systèmes racinaires qui pénètrent et explorent le sol différemment en profondeur et à la surface ayant ainsi un impact sur la structure du sol (effet restructurant de certaines cultures après une récolte en conditions humide par exemple), et modifient la circulation de l'air et de l'eau. Les propriétés biologiques sont modifiées par les apports en sources de carbone variables du fait de rapports C / N diversifiés, faibles à élevés selon la culture.

Les contraintes au niveau de l'exploitation résultent de la complexité induite par l'organisation de la répartition des cultures sur l'exploitation dans le temps (choix des précédents suivants pour constituer une succession culturale) et dans l'espace (assolement) sur une parcelle donnée et à l'échelle de l'exploitation. La charge de travail est augmentée par des assolements plus complexes.

#### ***6.4.1.1. Intérêt de la diversité des successions culturales sur l'effet suppressif du sol et la réduction des bio-agresseurs***

La gestion des bio-agresseurs par le biais des successions se fait habituellement par l'exclusion des cultures de même famille ou hôte de mêmes pathogènes dans la succession jusqu'à ce que la population du bio-agresseur soit réduite en dessous un seuil de dégât n'entraînant pas ou peu de pertes de récolte ou disparaisse de la parcelle.

Généralement, la réussite de la lutte contre les bio-agresseurs est très dépendante des délais de retour de la culture, famille ou cultures de même hôte y compris les mauvaises herbes dans la succession. Mais dans les systèmes légumiers, la pression sur le foncier, fait que les délais de retour conseillés ne sont pas souvent respectés dans les successions notamment si la pression du pathogène reste maîtrisable par les traitements phytosanitaires.

Les successions culturales sont peu efficaces sur les pathogènes généralistes (gamme d'hôtes très large, rhizoctone violet par exemple), ou sur les pathogènes capables de survivre très longtemps dans le sol (survie de plus de 4 ans : sclérotinia par exemple). Les systèmes légumiers sont caractérisés par des tailles d'exploitations faibles et une spécialisation sur quelques cultures, responsables de délais de retours globalement courts. Plusieurs cultures identiques peuvent se succéder la même année (radis, salades, choux, ...) ou des années consécutives (carottes, choux, ...). L'efficacité des successions dans ces conditions et pour des pathogènes persistants est donc très faible. Ce levier n'est donc efficace que pour certains bioagresseurs bien spécifiques.

#### ***6.4.1.2. Techniques culturales***

Le raisonnement de la conception des successions (choix des cultures, des variétés, des délais de retours, de la gestion des intercultures..) doit être établi selon le type de pathogènes présents. Il faut tenir compte de leur capacité et formes de survie, de la largeur de leur spectre d'hôte (sensibilité à la rotation), de leur mode de dispersion (aérien, via les outils et engins, ...).

Les critères à prendre en compte concernent :

#### La sensibilité des variétés

Il est préférable d'utiliser des variétés résistantes lorsque c'est possible. Ces variétés doivent être disponibles en quantité suffisante et compatibles avec les conditions pédoclimatiques spécifiques (cf sols sableux vs limons battants). En céréales, les mélanges variétaux ont donné de bons résultats pour freiner la propagation des maladies au sein des cultures. Ces mélanges ont ainsi montré une efficacité en terme d'amélioration ou de stabilisation du rendement et en terme de qualité (teneur en protéines et quantité d'azote accumulée) lorsqu'ils combinaient des variétés présentant des résistances complémentaires aux maladies aériennes. Le mélange est réalisé avant semis en mélangeant les semences des différentes variétés (3 à 4 variétés différentes). En production céréalière, la réalisation de conduite économes en intrants combinée à l'utilisation de variétés rustiques (performantes en terme de résistance aux maladies du feuillage et à la verse ainsi qu'en terme de rendement et de teneur en protéines) a permis de dégager des marges économiques équivalente à des conduite classique alors même que l'utilisation des intrants est réduite de 30%. Dans ces essais, la baisse de rendement est compensée par la baisse des charges due à l'économie de traitements. En production légumière c'est la faisabilité technique (variétés répondant aux mêmes objectifs de production : homogènes en aspect visuel et en précocité) et l'amélioration de la qualité sanitaire des produits qu'il faudra évaluer.

#### La combinaison et séquence des cultures dans les successions

Les combinaisons de cultures au sein des successions prennent en compte le besoin de ne pas faire se succéder des cultures de la même famille, ou des cultures hôtes du même bioagresseur. Il faut y intégrer les objectifs suivant :

*Alterner des espèces en fonction de leurs caractéristiques biochimiques, c'est-à-dire selon les qualités des résidus (rapport C/N). Les céréales ont un effet bénéfique sur la qualité du sol (Jackson *et al.*, 1993) du fait de leurs différences du système racinaire (fasciculé), et par la réduction du nombre de passages pour le travail du sol. Les résidus des céréales à C/N élevé sont différents de ceux des légumes à C/N bas qui sont exportés dans la majorité des cas.*

*Alterner des espèces en fonction de la quantité de biomasse laissée à la parcelle.*

*Alterner des espèces qui favorisent la rupture des cycles des bio-agresseurs*

L'introduction des céréales (blé, maïs, orge, seigle et avoine) pendant quelques années permettent la réduction significative des certains bio-agresseurs telluriques tels que les champignons et les nématodes (Snyder *et al.*, 1959; Patrick *et al.*, 1964; Glynne, 1965; Cook and Baker, 1983; Trivedi and Barker, 1986; Abawi, 1989). Pour réduire efficacement les populations de nématodes par exemple, les céréales doivent être cultivées dans la parcelle au moins 2 à 3 ans.

Le choix des successions intègre également la prise en compte des adventices. La gestion des mauvaises herbes nécessite une approche à long terme, c'est-à-dire à l'échelle de la succession et doit rester dynamique. Les leviers mobilisés concernent l'alternance d'espèces qui concurrencent les cycles des mauvaises herbes, ou l'inhibition de la germination de certaines graines de mauvaises herbes.

L'alternance des dates de semis /récolte des cultures et des périodes et longueur des intercultures constituent un autre levier de perturbation des cycles des bioagresseurs et notamment des mauvaises herbes.

*Alterner des espèces en fonction de leurs systèmes racinaires*

La diversité des systèmes racinaires, favorisent (i) la qualité physique du sol, selon l'enracinement différents par la profondeur/la densité et la forme, le sol est colonisé différemment, favorisant l'infiltration de l'eau... et l'enrichissement des sols en MOS active qui favorise et améliore la fonction suppressive (enrichis la microfaune) des sols et la stabilité structurale du sol (macro-agrégation) et bien sûr les apports en éléments nutritifs.

Il faut rechercher la diversité des types de racine (pivotantes, superficielles) de surface et de profondeur exploitée. L'alternance des types d'implantation (rangs ou pas) et de densité de semis contribuent à cette diversité.

*Alterner des cultures faisant varier les apports en nutriments (fort/faible) et efficaces pour le recyclage de ces nutriments* : combiner des espèces pour une meilleure efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs (intrants + apports du sol).

Le raisonnement des successions se fait pour minimiser les excédents de bilan des minéraux, et faire en sorte que les cultures qui se suivent soient complémentaires. Par exemple, il faut faire suivre les cultures à fort restitution en azote (CF) par des cultures à développement rapide et capables d'absorber le maximum de nutriments disponibles dans le sol.

*Choix de cultures alternants des cycles long et des cycles courts* : l'objectif est de favoriser les cycles longs qui couvrent le sol plus longtemps (leurs systèmes racinaire favorisent la MOS active).. L'introduction de cultures sans intervention pendant une longue durée, telles que les prairies temporaires 5-10 ans, où le système racinaire a un développement extensif (renouvellement des racines régulièrement) favorise les aspects biologiques et le colmatage des agrégats du sol.

*Alterner des cultures à fort IFT et à faible IFT* pour pouvoir atténuer le cumul des IFT à l'échelle de la succession

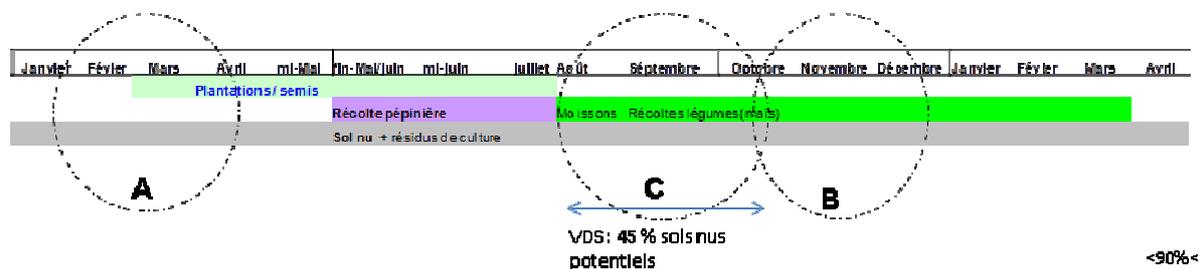
*Choix de cultures qui repartissent la charge de travail tout au long de l'année* (à l'échelle des autres cultures de l'exploitation)

La mise en œuvre et le test de ces principes nécessite un dispositif d'essai système longue durée (6 à 10 ans). Il n'a pas été retenu comme objet d'étude dans ce programme.

## 6.5. Gestion des intercultures

Les objectifs visés lors des intercultures varient selon les parcelles et les périodes considérés (Cf. tableau). Il s'agit de valoriser cette période entre deux cultures de production pour y implanter un couvert et y pratiquer des opérations d'entretien du sol (travail, apports de PRO). Nous avons abordé plus spécifiquement dans ce programme, le choix et les modalités de gestion des couverts d'interculture.

L'étude des assolements des trois bassins de production bas-normands permet de faire ressortir 3 périodes de sols potentiellement nus dans les successions légumières : à la fin de l'hiver, à la fin de l'été et au début de l'automne (Cf. figure 5).



**Figure 2 : Périodes de sols nus potentiels dans les systèmes légumiers bas-normands.**

### 6.5.1.1. Intérêts des couverts d'interculture sur la qualité des sols

Les apports des couverts végétaux dépendent des espèces utilisées, de leur vitesse de développement, de la biomasse produite, de la date de semis et de la date de destruction.

Dans les systèmes légumiers où les sols sont toujours travaillés, les couverts végétaux n'augmentent pas la teneur en MOS, mais contribuent à apporter de la MOS **active**. Celle-ci permet une bonne activité des microorganismes du sol et favorise leur diversité. Elle participe au maintien ou augmente le nombre de mycorhizes.

Les couverts d'interculture participent à la reconstruction de la structure du sol par l'amélioration de l'agrégation du sol. Ils augmentent l'infiltration des eaux (sol limoneux) et permettent de réduire les risques de compaction. Ces bénéfices sur la qualité du sol se perçoivent particulièrement pour la culture suivante, notamment les cultures de printemps (même pour une couverture de sol de 30 %, le couvert a un effet sur la compaction). Les couverts contribuent à réduire les risques d'érosion, le vent en règle générale dans ces zones d'études : la période à risque est plutôt au printemps lors que les sols sont secs.

Les cultures intermédiaires constituent un apport d'éléments nutritif (NPK...) libérés lors de la décomposition après que ces couverts soient restitués au sol. Il faut prendre garde au risque d'excédent du bilan des éléments nutritifs pour la culture suivante. De même, un risque de manque d'azote pour la culture suivante, par « immobilisation par les microorganismes » après enfouissement est à prendre en considération. En hiver, ils diminuent les risques de lessivage.

Les cultures intermédiaires participent également à la régulation de l'humidité du sol. Elles diminuent l'humidité du sol ce qui pourrait permettre d'accéder à la parcelle plus tôt (à la sortie de l'hiver), mais cela peut représenter un véritable danger pour l'implantation des cultures suivantes pour des parcelles sensibles au déficit hydrique (ceci peut être le cas pour les parcelles du réseau du fait de leurs faiblesses structurales et des conditions climatiques habituellement sèches en fin de printemps).

#### ***6.5.1.2. Intérêt des couverts végétaux sur l'effet suppressif du sol et la réduction des bio-agresseurs***

Les choix des cultures intermédiaires sont un des éléments de la gestion des successions culturales évoqué précédemment. Les règles énoncées se font sur les mêmes principes.

Une attention particulière pourra être portée sur les facteurs allélopathiques entre le couvert et la culture suivante. Le temps de décomposition est très important pour certaines plantes utilisées comme cultures intermédiaires et peut alors rendre ces couverts nuisibles (phytotoxicité) pour la culture suivante si elles ne sont pas enfouis à temps (Abawi & Widmer ; 2000). De même, la déclinaison de certains pathogènes telluriques nécessite quelques semaines entre l'enfouissement des CI et la mise en place de la culture suivante (Wyland et, 1996). Le principe général conduit au choix de plante non hôte de bio-agresseurs des cultures prévues dans la succession et habituellement cultivées dans la sole. La culture intermédiaire ne doit pas être hôte intermédiaire d'un pathogène tellurique dont l'inoculum peut accroître et être nuisible pour la culture qui suit (Dillard & Grogan, 1985). Une difficulté résulte de la variabilité des effets des cultures intermédiaires sur différents pathogènes. Certaines peuvent avoir un effet suppressif sur un pathogène et être un facteur d'augmentation d'un autre pathogène tellurique (Gardner & Caswell-Chen, 1994). L'enfouissement du couvert peut servir de source d'énergie pour la croissance des pathogènes du sol (Phillips et al, 1971) dont l'activité saprophytique est forte (Rhizoctone violet par exemple).

Les risques de repousse du couvert dans la culture suivante doit être pris en compte : les herbicides disponibles en cultures légumières non sarclées ont des spectres parfois limités (exemple : phacélie en précédent carotte).

#### ***6.5.1.3. Techniques culturales à considérer lors du choix des couverts d'intercultures***

Les conditions requises pour le choix des couverts pendant la période d'intercultures au sein de la succession est complexe et fera l'objet d'une étude particulière à l'INRA de Rennes en 2012. Les principaux critères concernent :

*La contribution à la régulation des problèmes à résoudre sur la parcelle : qualité du sol et bioagresseurs*

Le choix prend en considération les effets d'amélioration du sol et la capacité à rompre les cycles des bioagresseurs majeurs de la succession : pathogènes, insectes et adventices (pas uniquement à l'échelle de la culture suivante dans l'idéal).

*La fenêtre entre l'enfouissement et la décomposition des couverts*

Ce temps intègre les problématiques liées à la disponibilité de l'eau pour les cultures suivantes (envisager une destruction précoce au besoin), les délais nécessaires pour éviter les phytotoxicités lors de la décomposition du couvert et les délais d'effet suppressifs sur les pathogènes.

*L'efficacité en tant que piège à nitrate :*

Les couverts d'interculture d'hiver doivent être semés en fin d'été afin de se développer assez en automne pour capter le maximum d'azote potentiellement lessivable pendant la période de drainage.

*Assurer un bon démarrage de la culture dès la mise en place :*

Pour optimiser l'efficacité d'un couvert il est indispensable de respecter les dates de semis adaptées, et il pourrait être important de ne pas négliger la fertilisation au démarrage. Il est cependant nécessaire de coordonner ceci avec la réglementation spécifique en terme d'apports fertilisants sur les couverts.

*Les contraintes technico-économiques de l'exploitation*

Celles-ci concernent la disponibilité du matériel, du savoir faire et des semences, si la culture est nouvelle. Elles concernent aussi l'organisation globale de l'assolement et des successions sur l'exploitation pour respecter les orientations économiques et les cultures dominantes habituellement pratiquées.

Il faut également prendre en compte les obligations réglementaires auxquelles l'exploitation peut être soumise (PAC, zone Nitrates, ...).

## **6.6. Gestion des sources de contamination**

Les sources de contamination d'une parcelle sont liées au type de bioagresseurs. Elles sont cependant globalement peu décrites et comprises. Les bioagresseurs dont la mobilité est réduite, comme les pathogènes du sol, les nématodes ou certains adventices, sont dépendants des opérations culturales pour se répandre au sein de la parcelle ou dans les autres parcelles : roues et outils de travail du sol et de récolte, et dispersion des déchets et écarts de tri après récolte. Les bioagresseurs plus mobiles, comme les insectes ou les spores de champignons aériens et les graines légères, se dispersent par leurs propres moyens et sous l'effet du vent ou des déchets / écart de tri pour l'essentiel. Les eaux de lavage ou l'eau d'irrigation peuvent aussi constituer des vecteurs de transport des inocula. Dans notre étude nous nous sommes concentrés sur la gestion des résidus de culture.

L'objectif est de réduire les *inocula*, tout en encourageant la restitution de la biomasse au sol pour améliorer/maintenir la qualité du sol.

### **6.6.1. Techniques culturales à considérer pour la gestion des sources de contamination**

La quantité et le type de résidus de récolte disponibles pour la décomposition microbienne sont déterminés par la rotation des cultures et donc par le choix des espèces et des cultivars au cours de la succession culturale. Celle-ci détermine la structure, la nature et la taille de la communauté microbienne. Dans la succession, l'alternance des espèces à C/N différents permet d'avoir des sources d'éléments nutritifs différents pour les microorganismes offrant ainsi plus de niches écologiques et encourageant la diversité microbienne. (Rothrock *et al.*, 1995 in Krupinsky *et al.*, 2002).

Pour cela, il serait intéressant d'enfouir des résidus de céréales (pailles) et de réaliser un semis de légumineuses (vesce, pois, féverole) ou de semer un couvert d'interculture avec céréales et légumineuses en mélange (seigle/vesce par exemple). Ces associations permettent de limiter l'immobilisation de l'azote lors de la décomposition des pailles.

Si les résidus de la culture précédente ou du couvert d'interculture ont un rapport C/N élevé, il sera nécessaire de les enfouir avec un délai suffisant avant la culture pour permettre le début de leur dégradation sans pénaliser la culture suivante.

#### **6.6.1.1. Intérêts et inconvénients des pratiques proposées : gestion des compromis ?**

La question principale est de déterminer quel compromis trouver entre d'une part l'intérêt de la restitution des résidus de culture pour améliorer la qualité du sol et d'autre part, les problèmes liés à leur contamination par des pathogènes. De plus, le retrait des résidus de culture hors de la parcelle entraîne une charge de travail supplémentaire parfois difficile à assumer du fait de surcharge de travail ou de problèmes de faisabilité technique.

Une solution pour résoudre ce dilemme pourrait être de traiter les résidus avant leurs enfouissements avec des produits compatibles avec la réglementation et la nécessité de ne pas détruire les équilibres microbiens (organismes de biocontrôle : Contans par exemple).

### **6.7. La gestion du travail du sol**

Dans la première phase de co-construction, nous n'avons pas proposé de modifications sur les pratiques de travail du sol. Nous sommes partis de l'hypothèse que les apports en PRO et /ou la mise en place de couverts lors des périodes d'intercultures permettent d'améliorer la qualité du sol (spécifiquement la qualité physique), ce qui conduira à une réduction du travail du sol en nombre de passages et en profondeur.

Selon Hanson *et al* (2007), l'impact positif des apports en PRO est souvent associé à la réduction du travail du sol et des intrants.

Le travail du sol est un moyen pour décompacter et aérer le sol (restructuration et rétablissement de la porosité du sol), casser les croûtes de battance, enfouir les résidus de récolte, incorporer les PRO et préparer le lit de semence ou de plantation...

Les impacts de la réduction du travail du sol rapportés par la bibliographie (Sumner *et al.*, 1986a,b; Abawi and Crosier, 1992) sont assez contradictoires selon le bio-agresseurs et les conditions pédoclimatiques. Cette réduction peut limiter, favoriser ou n'avoir aucun effet sur le développement des bio-agresseurs (Bailey and Duczek ; 1996). Cependant, le travail du sol permet l'enfouissement des résidus infectés et réduit ainsi leurs effets sur les cultures suivantes (Sumner and Boosalis, 1981; Lewis *et al.*, 1983; Sumner *et al.*, 1986a,b). Il permet également, une bonne colonisation du sol par les microorganismes bénéfiques (Abawi & Widmer, 2000) aux cultures et un bon enracinement des cultures par la réduction de la compaction, l'amélioration du drainage et une augmentation de la température du sol notamment au début de printemps (Abawi & Widmer, 2000). En contre partie, le travail du sol contribue à la dilution de la MOS, à l'érosion et à l'évaporation de l'humidité du sol.

La réduction du travail du sol, permet d'augmenter la diversité des espèces microbiennes dans la partie superficielle du sol (Krupinsky *et al.*, 2002) et évite la dilution de MOS. Par contre, le non travail du sol augmente les risques de niveaux d'inoculum primaire élevés dans les résidus. En effet, beaucoup de champignons continuent à sporuler sur les résidus à la surface du sol ce qui n'est plus le cas lorsque ces résidus sont enfouis. Cependant, certains pathogènes survivent mieux lorsqu'ils sont enfouis qu'à la surface du sol (Buchawaltdt *et al.*, 1996). Mais, cette situation est valable dans les systèmes conventionnels ; elle ne pose pas de problèmes en systèmes biologique ou intégrée qui sont peut être atténués par les pratiques appropriées de diversité de rotation et d'apport en PRO (van Burgger ; 1995).

Dans les systèmes de cultures légumiers, la réduction du travail du sol est à réfléchir mais ne peut pas être calquée sur ce qui est préconisé dans les systèmes de grandes cultures. Ainsi, la simplification du travail du sol (travail superficiel, chisel, rotalabour...), notamment dans des sols limoneux, accentuerait les problèmes de la qualité physique du sol et aggraverait l'infestation par les pathogènes telluriques.

Cependant, l'utilisation de PRO et de couverts végétaux durant la période d'interculture pourrait améliorer la qualité du sol sans nécessiter autant de passages des différents travaux du sol. De même, l'agriculteur pourrait réduire la fréquence des travaux du sol profond (systématique dans les pratiques actuelles).

La gestion du travail du sol, par sa réduction, peut être envisagée selon la période d'implantation. Dans le cas où il n'y a pas de risque de transmission de maladies au cours de la succession, en période fin de printemps et été à début automne, le travail superficiel, permet de maintenir l'humidité du sol en profondeur ; par contre, cette pratique n'est pas intéressante pour rompre le cycle de certains pathogènes dont les risques sont atténués par l'aération des sols en profondeur exposant ainsi les pathogènes à la surface du sol sèche et chaude. En période de fin d'hiver début de printemps, le travail du sol type labour est plus intéressant pour réchauffer et réduire l'humidité du sol.

## 6.8. La gestion technique des autres pratiques

Ce sont des facteurs agronomiques importants qui influent sur les risques de développement des pathogènes. Le bon état de développement de la culture et plus particulièrement l'absence de stress d'alimentations sont déterminants pour une bonne robustesse et résistance des cultures aux bio-agresseurs. Nous avons pris en considération la fertilisation et l'alimentation hydrique pour orientés nos travaux.

### 6.8.1. Gestion des fertilisants minéraux

#### 6.8.1.1. Relation entre la fertilisation et les maladies telluriques

La nutrition des plantes a un impact considérable sur la prédisposition des plantes aux attaques de pathogènes. En affectant le développement, l'anatomie, la morphologie et la composition chimique de la plante, la nutrition peut contribuer aussi bien à l'augmentation ou la réduction de la résistance ou tolérance de la plante vis-à-vis des pathogènes ([Krauss 1999](#)). Généralement, une forte disponibilité en nutriments pour les pathogènes et plus généralement une haute teneur dans le sol contribue à l'établissement d'une microflore diversifiée et ainsi plus riche en antagonistes des pathogènes ([Hoper and Alabouvette 1996](#)).

L'azote influence fortement les interactions hôte-pathogènes (Huber et Watson, 1974). On note globalement que l'apport tend à augmenter la pression phytosanitaire alors que le potassium la diminue ([Datnoff, Elmer et al. 2007](#)).

Les effets des teneurs en éléments peuvent être totalement différents voire opposés selon qu'il s'agisse de parasites obligatoires ou facultatifs (Kiraly, 1976). Par exemple, la susceptibilité du blé à la rouille (*Puccinia spp.*) qui est un parasite obligatoire augmentera avec l'apport d'azote et la plante déficiente sera la plus résistante. Au contraire, la susceptibilité de la tomate aux bactéries *Xanthomonas spp.*, pathogènes facultatifs préférant les tissus sénescents, sera d'autant plus faible que l'apport d'azote est important (Kiraly, 1976).

Des excès d'azote peuvent favoriser le développement des maladies foliaires, notamment via l'induction d'un fort développement des parties aériennes : plus de surfaces foliaires donc plus de probabilité de contamination par les spores, mais aussi via une augmentation de l'humidité relative du couvert végétale due à l'augmentation de sa densité.

C'est le cas notamment de la sclérotiniose sur salades (*S. sclerotiorum*), l'alternariose sur carottes (*A. dauci*), la graisse du poireau (*Pseudomonas syringae* pv. *porri*), le mildiou du poireau (*Phytophthora porri*), ... ([Messiaen 1991](#); [Kharbanda and Tewari 1996](#); [Kora, McDonald et al. 2003](#); [Howatt 2004](#); [Estorgues 2005](#)).

A l'inverse, un manque d'azote augmente la sensibilité des plantes aux pathogènes, par exemple, l'incidence de l'helminthosporiose dans des champs de blé est plus forte en cas de sous fertilisation azotée ([Krupinsky, Bailey et al. 2002](#)).

Une étude en conditions contrôlées menée sur la tomate a montré que lorsque les plants sont sur fertilisés, ils sont moins sensibles à la pourriture grise (*Botrytis cinerea*) mais plus sensibles aux attaques d'oïdium (*Oidium neolycopersici*); et en régime de sous fertilisation, ces résultats s'inversent ([Ozayou 2011](#)).

On peut noter que la forme d'apport de l'azote peut influencer différemment un même pathogène. Sous sa forme nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) il supprime le dépérissement dû aux *Fusarium* sur tomate, tandis que sous sa forme ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ), il augmente la sévérité de la maladie ([Sullivan 2004](#)). Un apport de  $\text{NO}_3^-$  diminue la hernie (*Plasmodiophora brassicae*) sur choux en pH alcalin (Huber and Graham, 1999), tandis que pour *Sclerotium rolfsii* sur carotte, c'est l'apport sous forme  $\text{NH}_4^+$  qui fait décroître la maladie (Huber and Graham, 1999).

Outre la quantité et forme d'azote, le rapport carbone / azote (C/N) peut également être déterminant concernant la sensibilité des plantes aux agents pathogènes. Il existe une forte corrélation positive entre la sensibilité de la tomate à *B. cinerea* et le rapport C/N ([Hoffland, van Beusichem et al. 1999](#)). En cas de culture sous C/N fort, les plantes sont 2,5 fois plus sensibles à la formation de lésion de *B. cinerea* comparé à celles cultivées sous faible C/N.

Au vue des différentes réponses des pathogènes aux différents paramètres liés à l'azote (quantité, forme, quantité relative par rapport au carbone), il est difficile de trouver un régime de fertilisation consensuel à l'égard de l'ensemble des pathogènes du système de culture. Malgré cela, il n'en demeure pas moins qu'épargner une source de stress aux plantes en les fertilisant suffisamment constitue déjà un premier levier.

Le phosphore peut augmenter la résistance des plantes à différentes maladies, notamment celles s'attaquant aux tissus jeunes en accélérant la maturité de ces derniers ([Datnoff, Elmer et al. 2007](#)). Une application de phosphore au sol affecte directement les maladies telluriques, mais renforce également la résistance de la plante en augmentant ses mécanismes de défense ([Datnoff, Elmer et al. 2007](#)). Cependant, les nombreux résultats obtenus d'expériences au champ et en serre donnent des résultats contradictoires. En effet, son apport augmente l'importance de la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*) et du mildiou de la laitue (*Bremia lactucae*) tandis qu'il défavorise l'expression de la maladie due à *Rhizoctonia solani* sur le soja et à *Fusarium* spp. sur le trèfle ([Datnoff, Elmer et al. 2007](#)). L'augmentation de la teneur en phosphore améliore la conductivité du sol vis-à-vis de *Fusarium solani* f. sp. *pisi*, agent responsable de nécroses racinaires sur le pois ([Oyarzun, Gerlagh et al. 1998](#)).

Le potassium, quant à lui, exercerait un effet globalement positif sur les plantes. Une étude ayant rassemblé environ 2450 publications traitants de l'effet des apports de potassium sur les interactions plantes-pathogènes conclut sur le fait que l'utilisation de potassium diminue l'incidence des maladies cryptogamiques dans 70% des cas et augmente le rendement des plantes infectées par des champignons pathogènes de 42% ([Datnoff, Elmer et al. 2007](#)) ([Krauss 1999](#)). Les plantes en déficit de K sont globalement plus sensibles que les plantes bien alimentées, ceci à cause du développement de fissures et lésions à la surface des cellules de la plante ([Krauss 1999](#)). Cet élément induit une augmentation de la production et l'accumulation d'arginine sur les feuilles, ce qui inhibe la germination des sporanges de *Phytophthora infestans*. Par ailleurs, il semble aussi être responsable de la silicification des parois pectocellulosiques ce qui augmenterait la résistance aux maladies ([Datnoff, Elmer et al. 2007](#)). Malgré tous ces effets positifs, le potassium favorise le développement de certaines maladies, notamment la galle (*S. scabies*) sur pomme de terre, la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*), le *Botrytis cinerea* sur chou, l'*Alternaria porri* sur oignon, le *Fusarium solani* f. sp. *pisi* sur le pois et le *Phytophthora megasperma* f. sp. *Glycinea* sur soja ([Datnoff, Elmer et al. 2007](#)) ([Lazarovits, Hill et al. 2007](#)) ([Oyarzun, Gerlagh et al. 1998](#)).

#### 6.8.1.2. Techniques culturales à considérer pour la gestion de la fertilisation

Formulation des engrais et positionnements des apports au cours du cycle cultural

### 6.8.2. Gestion des techniques d'irrigation

La gestion de la qualité du sol par des apports en PRO et le raisonnement des successions y compris les périodes intercultures permettent d'améliorer la rétention de l'humidité par le sol. Il est alors important de maîtriser les techniques d'irrigation pour éviter les excès en eau qui sont source de gaspillage mais aussi de création de conditions idéales pour le développement de bio-agresseurs telluriques qui prolifèrent dans des conditions très humides de sol.

L'intérêt économique de ces pratiques est à évaluer sur leurs apports à long terme et non à court terme.

#### 6.8.2.1. Relation entre état hydrique du sol et les maladies tellurique

Les fortes humidités du sol dues à de fortes précipitations, un mauvais drainage ou encore des sols compactés influencent le développement des maladies ([Fiers, Chatot et al. 2011](#)). Ces conditions peuvent impacter différentes phases du cycle de développement des pathogènes.

Une forte humidité du sol est propice au développement des oomycètes (*Pythium*, *Phytophthora*) qui ont la particularité de pouvoir émettre des zoospores, structures leur permettant de bénéficier d'un avantage écologique dans des sols gorgés d'eau ([Davet 1996](#); [Suffert 2006](#)). En effet, la germination des zoosporanges (aboutissant à la libération des zoospores) requiert la présence d'eau liquide. Et, dans un sol saturé en eau, les racines des plantes et les graines en germination excrètent plus d'exsudats, or la quantité d'exsudats émise conditionne directement les attaques des *Pythium*, *Phytophthora* et *Fusarium*, et notamment de l'éthanol qui est capable d'attirer sélectivement les zoospores ([Nelson and Hsu 1994](#); [Nicol, Yousef et al. 2003](#); [Kamilova, Lamers et al. 2008](#)).

L'allongement de la durée d'humidité du sol due à une dégradation de sa structure influence également la survie des pathogènes en favorisant le maintien des pseudo-sclérotés de *R. violacea* ainsi que les formes de survie des *Phytophthora* spp. ([Erwin and Ribeiro 1996](#)).

Les conditions d'humidité des sols activent certains pathogènes en induisant la germination des formes de survie, comme par exemple celle des sclérotés de *S. sclerotiorum*. Par contre, si le sol est saturé en eau pendant plus de 26 jours, cela entraîne la mort des sclérotés ; l'inondation d'un sol avant l'implantation d'une culture sensible pourrait ainsi constituer un moyen de gestion de ce bio-agresseur ([Twengstrom, Kopmans et al. 1998](#)).

Vis-à-vis de la sporulation, des sols fortement humides ne constituent pas des conditions optimales. Celle des *Phytophthora* nécessite une concentration en oxygène dans le sol similaire ou du moins proche de celle de l'air ([Erwin and Ribeiro 1996](#)). Et la capacité des mycélias d'*Alternaria dauci* à sporuler est inversement corrélée au taux d'humidité dans le sol ([Pryor, Strandberg et al. 2002](#)).

Mais, un excès d'eau dans le sol peut être bénéfique vis-à-vis de la gestion de certains pathogènes. En effet, certaines maladies ne s'expriment pas dans des sols gorgés d'eau notamment les pathogènes aérobies stricts tels que la gale de la carotte due à *S. scabies*. Les effets de l'irrigation sur le sol sont en partie imputables à une augmentation de la flore bactérienne antagoniste ([Palti 1981](#)) ; et l'inondation d'une parcelle avant sa mise en culture représente un moyen de gestion qui est parfois préconisé.

#### 6.8.2.2. Techniques culturales à considérer pour la gestion de l'irrigation

Le matériel : qualité et homogénéité des apports

Les modalités d'apports : adéquation entre le type de sol (capacité à conserver l'eau pour garder le système racinaire fonctionnel entre capacité au champ et point de flétrissement) et les besoins de la culture pour son développement et son état sanitaire à la récolte et les fuites de nutriment dans l'environnement.

## 6.9. Priorités des stratégies à proposer pour réduire les risques et le recours aux pesticides

Sur la base des diagnostics réalisés, et en tenant compte de contraintes de fonctionnement du programme, 4 axes prioritaires d'actions ont été retenus pour réduire le recours aux pesticides. Ils répondent à la prise en compte de problèmes majeurs et communs à l'ensemble des parcelles du réseau : des sols pauvres et déstructurés, fragilisés par les pratiques culturales et notamment un travail du sol fréquent et intensif (1 à 2 labours + 3 à 5 interventions profondes ou superficielles) et des travaux de récoltes en conditions humides. Ces 4 axes sont :

- La gestion des matières organiques du sol (MOS) par des apports plus fréquents en produits résiduels (PRO) de qualité variés et à adapter aux problèmes des parcelles ;
- La gestion des successions culturales : réaménager les cultures dans les successions prévisionnelles en fonction de l'historique et du diagnostic parcelle et plus particulièrement la gestion des périodes d'intercultures. Il s'agit d'éviter les sols nus notamment en période hivernale (octobre à février) et de gérer les couverts d'intercultures en période estivale ;
- La gestion des résidus de culture notamment s'il y a un risque de contamination pour les cultures suivantes dans les successions, c'est-à-dire si les résidus sont contaminés et/ou si les cultures prévues dans la succession sont hôtes est présentent un risques d'être contaminées ;
- La gestion de l'alimentation hydrominérale des cultures car les stress hydriques et minéraux affaiblissent la plante.

Ces axes peuvent être repris et utilisés pour ce qui est de la gestion des risques ravageurs et herbicides. Sont également à ajouter 3 points supplémentaires qui ont été retenus comme prioritaires dans le cadre du dossier pour une gestion globale des parcelles :

- La substitution du chimique par du non chimique, entre autres les moyens de luttés biologiques et/ou mécaniques. Ces solutions constituent un levier encore parfois difficilement utilisable pour les producteurs.

Les solutions biologiques directement utilisables et homologuées en culture légumière de plein champ sont encore rares. La nécessité d'un réel accompagnement technique et leur efficacité parfois partielle, sont des véritables freins supplémentaires.

L'utilisation de macro-organismes apportés, largement développée dans d'autres filières notamment sous abris est encore nettement sous-exploitée : l'efficacité en situation ouverte de culture, le coût de développement des techniques, les besoins d'observations continues et demandeuses en temps et la mécanisation des applications sont les principaux obstacles à leur mise en place pour les cultures légumières de plein champ.

Les solutions mécaniques, notamment en terme de gestion des adventices sont globalement partiellement développées par l'ensemble des exploitations légumières régionales mais optimisables.

- La gestion des abords de parcelles. Depuis une cinquantaine d'années, le développement en Europe de l'agriculture de marché a entraîné la création de grandes exploitations spécialisées et mécanisées et a engendré la formation de vastes pièces de terres homogènes (*Sky, 1992*). Donc afin de mettre en place et développer la méthode de lutte biologique par conservation, une modification du paysage rural peut-être nécessaire. Compte tenu tant de la ressource en eau que de la diversité biologique, il peut être recommandé un découpage en parcelles entourées de haies qui jouent le rôle tant de corridors entre les populations dispersées que de réseau de drainage des eaux de ruissellement (*Hart & al, 1994*). Les bordures de champ, trait majeur du paysage

rural bocagé, sont utilisées soit comme piège de bordure ou territoire privilégié de lutte contre les organismes nuisibles venant de l'extérieur (insectes phytophages, adventices) soit encore comme source de nectar et pollen pour les organismes auxiliaires (Burel & Baudry, 1999). Ces bordures arbustives ou non, constituées principalement de haie, fossé, bande enherbée ou bande de terre sont des éléments linéaires du paysage qui permettent aux différentes populations de se déplacer à travers la matrice agricole et donc de promouvoir le rétablissement local des populations en déclin (Petit & Burel, 1998 ; Tewksbury & al, 2002). Les haies et bandes enherbées sont deux éléments paysagers qui offrent également aux populations d'auxiliaires un complément d'habitat, c'est-à-dire des zones de refuges et d'alimentation (Hickman & Wratten, 1996) permettant d'accroître leur longévité (Jacob & Evans, 2000 ; Sagarra & al, 2001 ; Berndt & Wratten, 2005), leur fécondité (Wheeler, 1996 ; Berndt & Wratten, 2005) et également de rééquilibrer le sex-ratio des parasitoïdes. Ce qui signifie que le maintien des zones semi-naturelles en bordure de champ peut augmenter l'activité des ennemis naturels dans les agro-écosystèmes (Rossing & al, 2003). Un travail a été initié dans le cadre du projet sur l'intérêt et la valorisation du rôle des Zones de Régulation Ecologique préexistantes ou mises en place au travers des différentes mesures agri environnementales bas-normandes. Cet axe de travail pourrait se poursuivre avec l'identification des insectes impliqués dans l'activité de régulation des ravageurs par des prédateurs dans différents contextes couverts de parcelles / bordures à partir de 2012.

- La connaissance des risques et leurs prévisions. Une étude bibliographique a permis d'organiser les connaissances scientifiques sur la biologie et l'écologie des principaux bio-agresseurs des cultures régionales ainsi que les facteurs qui leur sont favorables ou défavorables. 22 pathogènes des cultures légumières ainsi que 8 ravageurs des cultures (mouche de la carotte, mouche du chou, thrips du poireau, altises, noctuelles, pucerons de la salade, teigne du poireau et piéride du chou) ont fait l'objet de recherches spécifiques. Le travail d'acquisition de références permet :
  - une analyse de la pression potentielle de chaque bio-agresseur au niveau d'un système de culture.
  - le positionnement, en fonction des risques définis, de modes de gestion à l'échelle du système de culture, y compris lorsque la culture sensible n'est plus présente (voir encadré « *Mieux connaître les bio-agresseurs pour bien positionner la lutte à l'échelle de la succession* »).

Pour certains cas particuliers, comme le thrips du poireau, la mouche du chou et la mouche de la carotte, ainsi que pour la rouille du poireau, les modèles travaillés et validés partiellement ou totalement d'un point de vue régional pour les cultures légumières peuvent être utilisés comme base de travail.

## 7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les nouveaux enjeux du maraîchage, et de l'agriculture en général, nécessitent de produire mieux avec moins d'intrants pour des itinéraires de production durables sur les plans économique et environnemental tout en répondant aux exigences de l'aval. Or, les systèmes de production légumiers actuels présentent une dépendance technique et économique prononcée vis-à-vis des pesticides. Cette dépendance est renforcée par les exigences de la distribution et des consommateurs, de produits "zéro défaut". Soucieux de préparer l'adaptation de leurs productions à la réduction des intrants, dont les pesticides, les professionnels légumiers Bas-Normands avaient engagé des démarches volontaires via notamment des Mesures Agri Environnementales. Pour aller au-delà, des partenaires de la filière Recherche – Développement –

Production se sont associés pour concevoir et réaliser le programme EcoPhytoSys-Lég en Basse-Normandie. L'objectif général de ce programme est de proposer des systèmes de production légumiers utilisant moins de pesticides, tout en préservant les performances économiques des exploitations. Il mobilise des compétences de l'INRA, de la station expérimentale régionale (SILEBAN), de deux organisations de producteurs (AGRIAL filière légumes et GPLM), et d'un groupe de producteurs légumiers.

L'approche consiste à co-construire, avec les producteurs et les techniciens, des prototypes de systèmes de cultures, puis à les évaluer en situation réelles de production. Cette co-construction s'appuie sur un ensemble de jeux de données tant techniques (SILEBAN) qu'économiques (Centres de gestion), renforcés par la réalisation d'enquêtes auprès des producteurs. Elle passe par une première phase d'analyse comprenant : (i) la caractérisation de l'état initial des parcelles de référence, (ii) la caractérisation des systèmes existant et l'analyse de leurs déterminants, (iii) l'inventaire des connaissances scientifiques et des solutions techniques disponibles pour la gestion des bioagresseurs, (iv) l'identification des stades de vulnérabilité des bioagresseurs, au regard des différents modes de gestion possibles.

Les résultats font ressortir la complexité des systèmes de culture légumiers. Ils sont diversifiés et variables au niveau des successions culturales et des itinéraires techniques tant au sein d'une exploitation qu'entre exploitations. Les déterminants de ces systèmes sont intriqués entre eux et sont aussi bien intra exploitation (parcellaires, contexte pédoclimatique, histoire de la ferme, ressources, ...) qu'extra exploitation (marché, contexte territorial socio-économique, réglementation, attentes sociétales, ...). Parmi les déterminants, à côté des éléments techniques, des ressources disponibles et des stratégies économiques dans les exploitations, l'importance des critères de marché et de valorisation des productions est particulièrement forte. La main d'œuvre, la mécanisation et les semences sont les postes de dépenses les plus importants à la production. Il s'avère également que les systèmes de culture sont intrinsèquement sensibles aux bio-agresseurs. D'un côté, la spécialisation des exploitations voire des bassins, la gamme variétale, les pratiques culturales « synchrones » ou les moyens de lutte chimique limités à quelques molécules, et de l'autre côté des bioagresseurs mobiles, capables de survivre longtemps, polyphages et avec des effets cumulatifs sur les cultures en sont la cause. L'analyse des sols et des pratiques de travail du sol montre un point de faiblesse crucial dans les systèmes. Les producteurs en sont conscients et identifient l'amélioration de leurs sols comme une nécessité pour faire évoluer leurs systèmes. L'optimisation de l'alimentation hydrominérale de leurs cultures est un deuxième levier qu'ils identifient. L'analyse des leviers possibles, issue notamment de l'analyse de l'état initial des parcelles et des pratiques actuelles, pour la reconception nous a conduit à confirmer ces deux points comme essentiels. Nous avons aussi, à la suite de cette analyse, pris en compte la gestion des successions culturales et la valorisation des périodes d'interculture pour y implanter des plantes de service pour le contrôle des bioagresseurs et pour la santé des sols, ainsi que la gestion des résidus de culture. Trois autres éléments complémentaires nous ont semblés nécessaires dans le cadre d'une orientation de la production vers une agriculture raisonnée. Il s'agit d'abord de la prévision et de l'estimation des risques de dégâts pour chaque culture (utilisation de modèles ou de dispositifs de contrôle et d'observations en culture). Il s'agit également de la recherche de moyens de lutte mécanique, biologique ou de produits homologués en agriculture biologique utilisés en substitution des produits phytopharmaceutiques de synthèse. Et enfin il s'agit de la gestion des abords de parcelles et de l'organisation des soles cultivées à l'échelle de propagation des bioagresseurs.

A l'issue de ce programme nous validons l'amélioration de la qualité des sols et l'optimisation de l'alimentation hydrominérale comme des leviers essentiels. La remise en cause des successions et l'utilisation de plantes d'intercultures restent des axes importants. La remise en cause des successions actuelles, c'est-à-dire l'augmentation des délais de retour entre deux cultures hôtes et/ou l'insertion de cultures nouvelles sont globalement problématiques et spécifiquement dans certains bassins de production (bassin de la Côte Ouest). La succession culturale est utilisable et indispensable pour gérer les pathogènes tellurique sensibles, mais sans intérêt pour ceux qui ont de forte capacité de dispersion ou de survie. Les références locales sur les solutions à mobiliser et la maîtrise technique de leur mise en œuvre font défaut. Il est financièrement périlleux de les

proposer aux producteurs, même dans le cadre d'essais tel que nous l'avons pratiqué. De telles modifications nécessitent aussi de changer d'échelle et d'aller au-delà du système de culture. Il faut prendre en compte les conséquences de la désintensification d'une ou de plusieurs cultures, non seulement à l'échelle de l'exploitation, mais aussi à l'échelle du bassin de production et de son environnement socio-économique. La perte de quantités produites, ou l'introduction de nouvelles productions d'intérêts agronomiques peuvent s'avérer très déstabilisatrices pour l'économie et l'activité sociale. Les connaissances disponibles concernant l'impact des résidus sur les dynamiques de bioagresseurs sont encore insuffisantes pour formaliser des règles de gestion et aller au-delà du principe de précaution consistant à la destruction ou le retrait le plus rapidement possible. Ces résidus jouent par ailleurs un rôle important dans l'entretien de la fertilité des sols. De même il n'est pas encore possible de finaliser une position sur la gestion de l'environnement proche de la culture. Il est constaté un effet de régulation en lien avec les abords et la durée de vie et de stabilité du couvert, sans que l'on sache encore l'exploiter. Les solutions de substitutions sont encore rares et la majorité doit encore être évaluée localement pour leurs applications en production. Certaines techniques testées spécifiquement dans ce programme sont prometteuses mais nécessitent un travail spécifique sur les coûts de revient.

Les inventaires de connaissances sur la biologie et l'écologie des bioagresseurs ont permis une avancée notable. Nous disposons aujourd'hui de recueils très complets sur les connaissances et les travaux scientifiques réalisés. Ils sont concentrés dans des supports qui nécessitent une amélioration pour les rendre plus facilement exploitables et interrogeables. Ceci est sans doute un préalable à leur partage plus large. Ils ont été faits pour nourrir une approche nouvelle de gestion des bioagresseurs, par des moyens de lutte prenant en compte la totalité du cycle de vie, à l'échelle du système de culture, dépassant ainsi la période de symptômes et de dégâts. Dans un certain nombre de cas, un lien a pu être établi entre une action culturale et son effet sur tout ou partie du cycle de développement. Ces connaissances constituent une source pour alimenter les réflexions lors de la conception de nouveaux systèmes de culture. Par ailleurs, ils sont aussi à la base d'une autre approche. Les moyens de lutte et de contrôle décrits concernent très souvent un seul organisme. Il s'agissait alors de faire des groupes de bioagresseurs susceptibles de réagir de la même manière à un moyen de lutte donné. Ce regroupement se fait selon le degré de similarité qu'ils partagent, ou qui les séparent, dans leurs traits de vie ou leurs traits de réponse aux facteurs environnementaux. Le temps a manqué pour finaliser ce travail, d'autant que les connaissances sont encore lacunaires, en particulier pour les phases « cachées » (en dehors des périodes de symptômes visibles). De façon générale, les conditions pédo-climatiques sont le premier facteur déterminant le développement des organismes (ils sont la base des modèles de prévision). Ils sont pourtant peu décrits dans la littérature, et souvent dans des contextes anciens et éloignés de nos conditions. Ces recueils constituent au-delà de leur utilité immédiate, une source de questions de recherche et de pistes d'expérimentation.

L'approche système est originale et particulièrement intéressante pour remettre en cause les systèmes de culture. Elle impose la prise en compte simultanée de plusieurs facteurs, qui comme nous l'avons vu, sont nombreux et interagissent entre eux tant au sein de la culture que du système de culture, mais aussi du système de production et même du système socio-économique local. Le temps nécessaire à de tels essais est forcément de plusieurs années : 6 à 9 ans sont un minimum pour les systèmes légumiers. Il apparaît que la conduite d'essais systèmes en conditions réelles de production est un réel avantage pour faciliter la construction des systèmes et en accélérer la diffusion. Cependant, du fait des risques financiers qu'un essai peut amener à faire prendre à un producteur et des perturbations dans son déroulement qui peuvent apparaître lors des pics de travail sur l'exploitation, il semble préférable de choisir une situation intermédiaire. Les essais, menés en parcelles agricoles de production, doivent être conduits sous le contrôle et la dépendance des seuls moyens des expérimentateurs, en préservant l'implication des exploitants lors des phases de conception et de suivi. Cette situation permettrait d'avoir des tailles de parcelles suffisantes, homogènes et représentatives de la zone de production, de maîtriser la conduite de l'essai en évitant de faire supporter le risque financier à l'exploitant (de l'ordre de 5 à 15 k€/ha de légumes). Il faut se donner la possibilité de tester des pratiques et des leviers en dehors d'une logique d'indemnisation. Par ailleurs un référentiel méthodologique sur la conduite d'essais système en culture légumière est nécessaire. Les exemples disponibles en céréales ou

prairie ne sont pas suffisants (et plutôt dédiés à la gestion de la flore jusqu'à maintenant). Les approches d'essais se font actuellement en conservant les critères de qualité pour l'accès au marché. Pour autant des changements dans les processus de production ont forcément des effets, la crainte de ne plus répondre au marché est un frein majeur au changement. Nous constatons ici le besoin de mesurer et qualifier les éventuels écarts que générerait l'application de la production intégrée, sur la base d'une méthodologie à établir.

L'ensemble de ces résultats et l'expérience acquise dans ce programme nous ont permis d'engager un nouveau projet d'essais systèmes dans le cadre de l'appel à projets 2012 EXPERimentation du réseau DEPHY Ecophyto 2018 lancé par le ministère de l'agriculture. Ce projet de conception et d'évaluation de systèmes de culture à bas niveau d'intrants, de 6 ans est centré sur la culture de carotte et implique les deux principales régions productrices : l'Aquitaine et la Basse-Normandie. Les systèmes de culture sont co-construits avec l'ensemble de la filière (recherche – développement – production) pour atteindre une réduction de 50% de l'utilisation des pesticides par rapport à des références locales. Dans ce cadre, les objectifs du projet sont : (i) Evaluer les performances multicritères des prototypes de Systèmes de Culture conçus (performances techniques, économiques, environnementales, sociales et d'organisation du travail dans l'exploitation) (ii) Evaluer la pertinence des leviers utilisés dans la conception des systèmes (iii) Mesurer les conséquences éventuelles sur les filières (approvisionnement, qualité des produits) (iv) Transférer les concepts et les résultats mis au point vers les Organisations de Producteurs (OP) et les producteurs pour accompagner le développement des filières et (v) Alimenter avec des références validées localement le réseau Fermes légumes Ecophyto de Basse-Normandie. Ce programme commence dès la fin 2012.

Par ailleurs ces travaux alimentent plusieurs programmes de recherche. Un outil d'évaluation multicritère (DEXiPM Field vegetable) a été paramétré et a commencé à être évalué à partir des connaissances des systèmes acquises par ce programme. La validation sera faite en s'appuyant sur le réseau FERME légumes de Basse-Normandie, engagé sur la dynamique d'EcoPhytoSys légumes et issu du même réseau de producteurs pour le transfert de techniques de productions économes en intrant. Plusieurs programmes de recherche sont en cours de validation sur la mouche du chou et s'appuient sur la dynamique engagée avec les scientifiques impliqués dans EcoPhytoSys légumes :

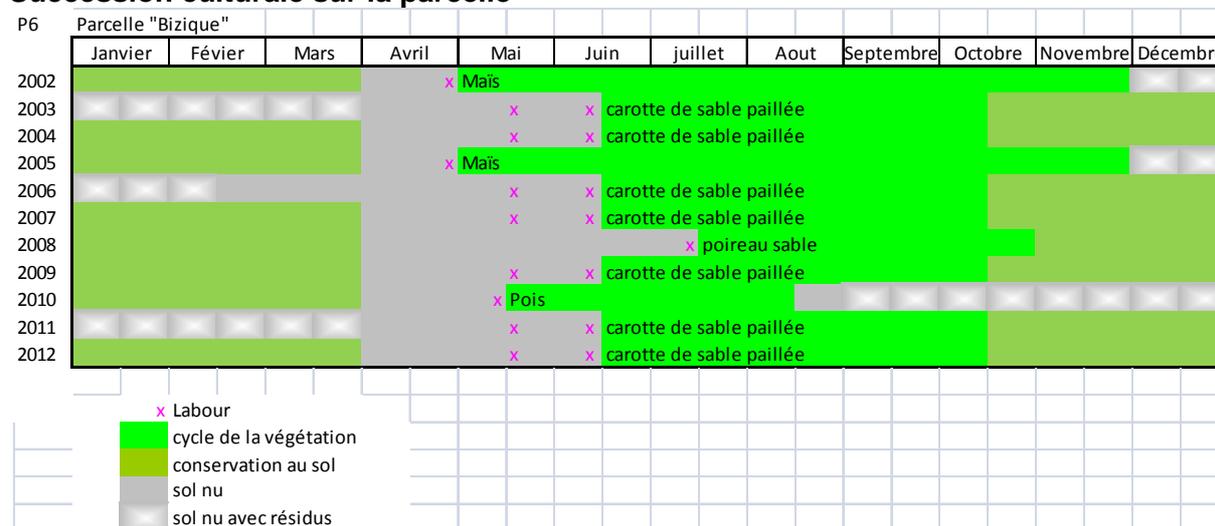
- modélisation individu-centré des dynamiques de population
- étude des interactions dans l'espace et dans le temps entre couverts d'interculture et cultures de production (mouche des légumes)
- appréciation de la contribution de l'environnement paysagé de la parcelle à la régulation des populations d'insectes ravageurs : mouche du chou, de la carotte et thrips (programme de recherche et sujet de thèse en cours de réflexion)

## 8. ANNEXES

### 8.1. Gestion de l'alimentation hydrominérale :

Parcelle support P6 : Bizique – Bassin de la Côte Ouest

#### Succession culturale sur la parcelle



Faire une synthèse des résultats ... perspectives du levier

#### 8.1.1. Stratégie de contrôle des BA :

Peut-on faire des protections ciblées sur certains stades de la culture : cas des attaques précoces des racines de carottes et contribution à l'état sanitaire à la récolte.

Essai Jouenne Pythium vs nématodes

Rapport d'Estelle et Danielle (travaux 2011)

#### 8.1.2. Rappel des suivis pour l'année 2010

##### ➤ Cultures :

- mai – août 2010 : Pois
- août 2010 – juin 2011 : Sol nu avec présence de résidus jusqu'à la sortie de l'hiver 2010-2011

##### ➤ Indicateurs de suivi :

- traçabilité des interventions parcelle
- relevés et notations : pluviométrie, densité de culture, adventices, maladies, ravageurs
- analyse de sol (reliquats N, P, K) en début et fin de saison

#### 8.1.3. Référencement et analyse des pratiques existantes –année 2011

##### 8.1.3.1. Itinéraire de gestion du sol, de sa fertilisation et de l'eau

Semis carotte : 14 juin 2011

Récolte carotte : mars-avril 2012

**Stratégie de travail de sol :**

Date	Outil utilisé	Profondeur de travail	Objectif
Janvier 2011	Rotavator	10-15cm	Enfouissement des résidus de pois
Avril 2011 (Semaine 17)	Rotavator	10-15cm	Gestions d'adventices (morelle, cardamine)
13 juin 2011	Canadien	45-50cm	Labour
14 juin 2011	Herse rotative et rouleau plat	25cm	Préparation du lit de semences
10 sept. 2011	Bineuse 4 rangs	15cm	Gestion des adventices

**Stratégie de fertilisation :**

La fertilisation est apportée principalement sous forme d'apports au sol. Un complément d'engrais foliaire est réalisé en cours de culture. Les apports d'oligo-éléments (type Bore notamment) sont amenés par ce biais.

Date	Type d'engrais / Nom	Type d'apport	Equilibre N-P-K (Dose)	Stade culture
12 juin 2011	Engrais organique	Sol	3-6-20 (800kg/ha)	Avant semis – avant labour
14 juin 2011	Fumier de terrage	Sol	50m <sup>3</sup> /ha (lestage des graines de carottes)	Semis
21 juin 2011	Engrais minéral / Microfit	Foliaire	? (400g/ha)	levée
08 juillet 2011	Engrais minéral ternaire	Sol	5-10-24 (400kg/ha)	2 feuilles
19 août 2011	Engrais minéral / Foliarel	Foliaire	20% Bore (1,5kg/ha)	5-6 feuilles
19 août 2011	Engrais minéral / Terfik	Foliaire	3-27-18 (1,5l/ha)	5-6 feuilles
20 août 2011	Engrais minéral ternaire	Sol	5-10-24 (400kg/ha)	5-6 feuilles
14 sept. 2011	Engrais minéral / Foliarel	Foliaire	20% Bore (3kg/ha)	5-6 feuilles
15 sept. 2011	Engrais minéral / Patenkali	Sol	0-0-30 (350kg/ha)	6-7 feuilles

### **Stratégie d'irrigation :**

L'irrigation est réalisée sur parcelle par canon enrouleur dont le débit est réglé au minimum

Date	Quantité d'eau apportée	Stade culture	Commentaires
08 juin 2011	40mm	Avant semis – avant labour	Sol sec – Objectif : ne pas enfouir le sol sec au labour, ce qui pourrait perturber la désinfection du sol
14 juin 2011	25-30mm	Après semis – avant terrage	Une irrigation de l'ordre de 30 mm semble nécessaire à chaque apport au producteur en terrain sableux.  Les 30mm sont apportés en 40 minutes environ par un système de canon enrouleur
26 juin 2011	25-30mm	levée	
20 août 2011	30mm	5-6 feuilles	
1 <sup>er</sup> sept. 2011	30mm	5-6 feuilles	
23 sept. 2011	40mm	6-7 feuilles	
03 oct. 2011	30mm	8 feuilles	
oct. 2011	30mm	8-9 feuilles	

#### ***8.1.3.2. Actions déjà intégrées par le producteur en vue de la réduction des intrants chimiques***

- Désherbage mécanique : intégration de solutions de binage dans l'itinéraire technique (1 passage au 10 septembre 2011)
- Fertilisation : utilisation d'une base organique sur labour avant les cultures de carottes

#### **8.1.4. Proposition d'actions pour 2011**

Sur cette parcelle de carotte, il a été visé **l'identification de leviers permettant une gestion améliorée de l'alimentation hydrique et minérale de la plante** en travaillant principalement sur la ressource sol, ressource durable dans le cadre de la succession culturale.

Comme présenté ci-avant, l'irrigation et la fertilisation sont des leviers d'intérêt pour le développement et la croissance des plantes et la prévention de bio-agresseurs. Le maintien du potentiel sol est un levier d'action pouvant permettre de réduire l'utilisation de pesticides tant à court terme (par une gestion fines des besoins cultures) qu'à moyen terme par le maintien du potentiel de production d'un sol.

Aussi, le travail à effectuer revêt une importance toute particulière :

- Dans des conditions de sol sableux : drainage et lessivage facilité, capacité de rétention faible...
- Pour des cultures sensibles aux pathogènes telluriques ou à la salinité comme la carotte ou exigeants en matière de niveau de fertilisation comme le poireau, les deux productions phares de la zones des Mielles de la Côte Ouest.

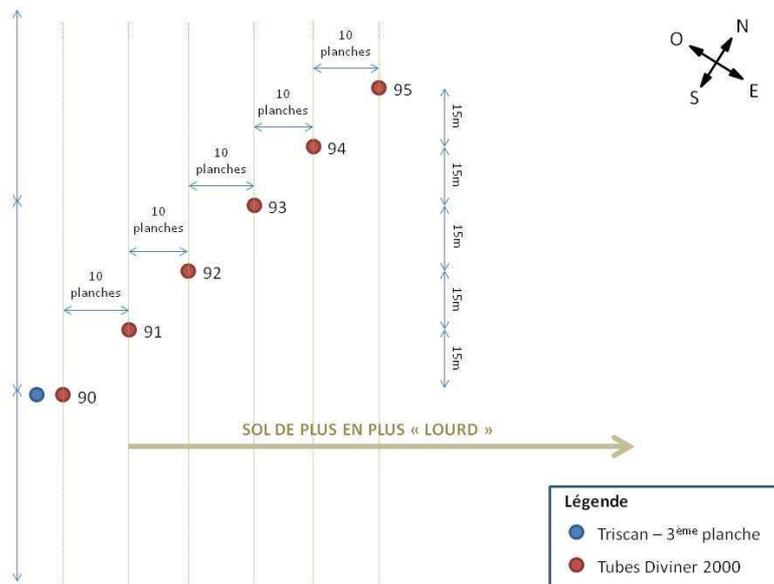
Les actions menées sont repositionnés à l'échelle de la culture et du système de culture de la manière suivante

- Modification / Action envisagée au niveau de la culture :
  - Fertilisation : Corrélation entre apports, niveau de fertilisation du sol et état de la culture – identification de leviers d'action par rapport à la qualité finale des produits et au développement de pathogènes
  - Irrigation : Corrélation entre apports, technique d'irrigation (matériel, fréquence, dose), niveau d'humidité du sol et besoin des plantes – identification de leviers d'action par rapport à la qualité finale des produits et au développement de pathogènes
  - Gestion de bio agresseurs : Suivi des maladies et nématodes de la racine
    - Déterminer précisément les bio agresseurs responsables de certains symptômes (bouchons, fourchues) et les maladies présentes au paillage et à la récolte
- Modification / Action envisagée avec action directe sur le système de culture :

- choix de la culture suivante (limitation du risque sanitaire)
- Modification / Action envisagée avec impact indirect possible sur le système de culture :
  - Fertilisation : Corrélation entre apports, niveau de fertilisation du sol et état de la culture – identification de leviers d’action par rapport à la qualité finale des produits et au développement de pathogènes
  - Irrigation : Corrélation entre apports, technique d’irrigation (matériel, fréquence, dose), niveau d’humidité du sol et besoin des plantes – identification de leviers d’action par rapport à la qualité finale des produits et au développement de pathogènes

Aussi, le travail a consisté, en lien avec le producteur à :

- Avoir une meilleure connaissance du sol et de son potentiel
  - Détermination des réserves en eau et en nutriments
  - Suivi de salinité et d’humidité du sol
- Proposer à postériori une adaptation des pratiques du producteur en accord avec les possibilités de son entreprise
  - Evolution de la « qualité » du système d’irrigation
- Adaptation des apports d’eau et de fertilisants
  - Indicateurs de suivi retenus globalement sur la parcelle d’essai :
  - Traçabilité des interventions parcelle
  - Relevés et notations : climat, pluviométrie, adventices, maladies, ravageurs, gestion des résidus de cultures (paille retirées ou enfouies)
  - Notations spécifiques : dynamique de levée, notation des maladies et nématodes à différents stades
  - Mise en place de suivi d’humidité de sol et de salinité de sol (Sonde TRISCAN<sup>®</sup>, sonde DIVINER 2000<sup>®</sup>)



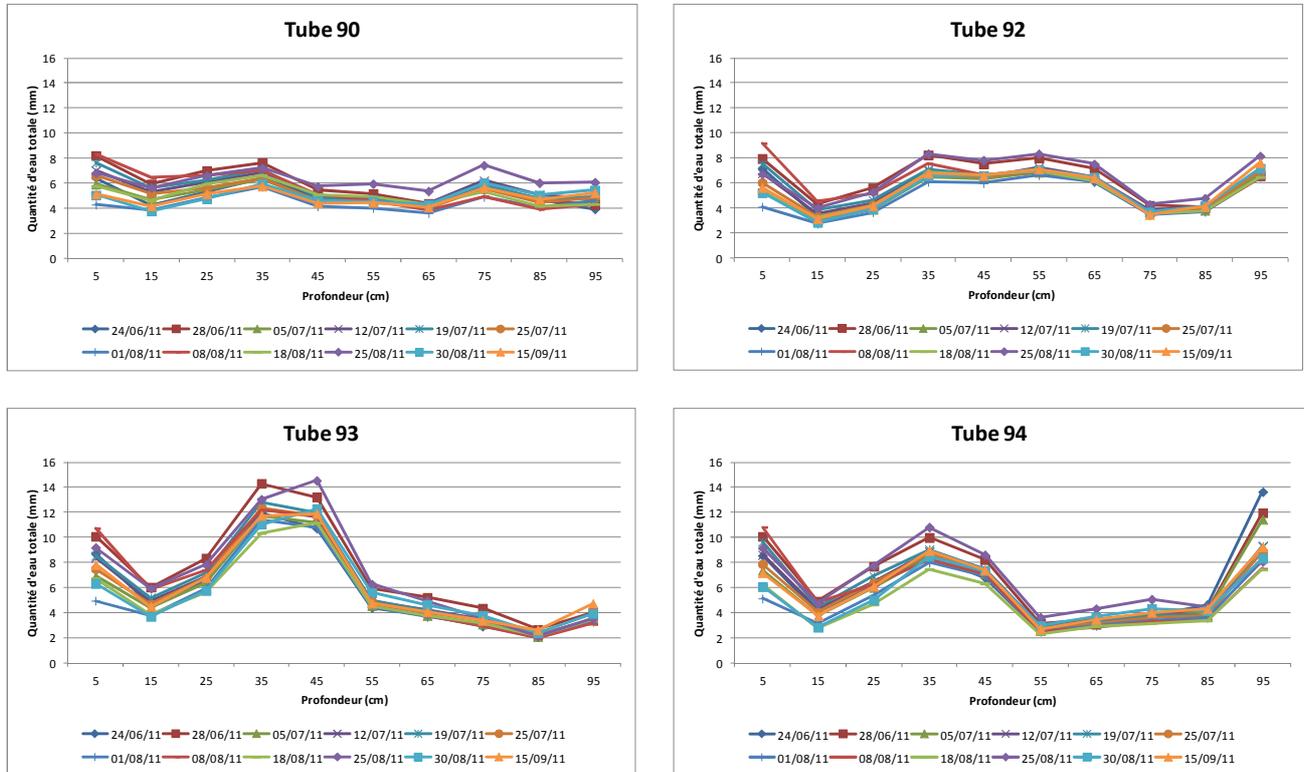
**Figure 3 :** Positionnement des relevés de sondes d’humidité et salinité sur la parcelle P6 - Bizique

- Suivi mouche de la carotte - Modèle SWAT utilisé à postériori et pièges englués
- Analyse de sol (reliquats N, P, K) régulières

## 8.1.5. Présentation des résultats concernant les suivis d'humidité de sol

### 8.1.5.1. Caractérisation des conditions de croissance de la plante

Les suivis ont été fait avec une sonde mobile « Diviner » permettant des mesures ponctuelles. 6 emplacements ont été repérés sur la parcelle et les tubes sont numérotés de 90 à 95 (voir plan de positionnement ci-avant). Les relevés effectués sont synthétisés dans la figure ci-après



**Figure 4 : Humidité de sol à différents endroits de la parcelle en fonction de la profondeur du sol – Parcelle P6 « Bizique » - Culture de carotte 2011**

Ces résultats illustrent bien l'hétérogénéité de comportement de la parcelle par rapport à plusieurs facteurs :

- sa pédologie, et un sol légèrement plus lourd et plus rétenteur lorsque l'on passe progressivement du tube 90 (celui situé le plus vers la mer) au tube 94 (situé vers l'intérieur des terres).
- le travail de sol. En effet, pour les tubes situés en sol plus lourds, la courbe de rétention est largement perturbée par :
  - le labour effectué à 45-50cm : la formation d'une croûte de labour se traduit par la diminution de la capacité de rétention du sol (inflexion de la courbe) à partir de 50-60cm de profondeur jusqu'à des niveaux très bas de l'ordre de 2-3mm d'eau pour 10cm de sol et par une diminution de la quantité d'eau disponible pour la plante.
  - Le travail du sol à la herse rotative annoncé à 25cm de profondeur avec le même type de conséquence. La capacité moyenne de rétention du sol entre 10 et 30cm est alors de l'ordre de 4 à 6mm.
  - Entre ces deux zones, on retrouve une zone de plus forte capacité de rétention en eau (jusqu'à 10-12mm pour 10cm de sol)

- En profondeur, certains tubes font probablement apparaître la remontée de nappe (visible sur le tube 94 entre 90 et 100cm de profondeur).

Le sol est caractéristique des zones de Mielles, avec un comportement très homogène dans sa partie la plus proche de la mer (zone la plus sableuse) et une capacité à retenir l'eau très faible.

#### 8.1.5.2. Caractérisation des besoins de la plante



Pour faire l'évaluation des besoins de la plante et des horizons prospectés, le profil choisi est un profil le plus typique possible des zones de « Mielles » avec un sable homogène sur l'horizon de culture et se rapproche de celui présenté sous le nom de Tube 90 dans le paragraphe précédent.

L'évaluation et l'analyse présentées ont été réalisées à partir de la sonde Triscan®.

**Figure 5 : Sonde fixe Triscan® permettant un suivi mixte de l'humidité et de la charge ionique du sol**

Le tableau suivant précise les consommations en eau et horizons prospectés en fonction du stade de développement de la culture de carotte

**Tableau 1: Consommation en eau estimée et horizons prospectés par es racines - Culture de carotte 2011 - Parcelle P6 "Bizique" - Sol sableux**

Date	Durée de culture depuis semis	Développement végétatif	Consommation moyenne (mm/jour)	Profondeur de prélèvement
28/06 au 02/07/11	14-18	1 feuille	0,7	10-20 cm
22/07 au 04/08/11	38-52	4-5 feuilles	0,9	30-40 cm
17/08 au 20/08/11	65-68	5-6 feuilles	1,4	30-40 cm
26/08 au 01/09/11	74-79	5-6 feuilles	1,8	50 cm
12/09 au 23/09/11	90-101	6-7 feuilles	2,2*	50 cm ou +
26/09 au 02/10/11	104-110	7-8 feuilles	2,0*	50 cm ou +
06/10 au 13/10/11	114-121	8 feuilles	1,9*	50 cm ou +

La sonde n'est pas suffisamment longue pour donner une bonne estimation de ce qui se passa à partir du stade 6-7 feuilles. En effet, la profondeur d'enracinement de la carotte dans le sable dépasse largement 50cm.

Toutefois, elle permet une bonne appréciation des consommations de la plante sur toute la période estivale et de l'état hydrique du sol en général.

### ***8.1.5.3. Caractérisation des stratégies d'irrigation et de fertilisation***

La sonde Triscan® utilisée permet un suivi en temps réel (pas de temps de mesure de 15 minutes dans notre cas) :

- De l'humidité totale du sol (exprimée en mm d'eau pour 10 cm de sol). Une partie de l'eau du sol seulement étant utilisable par la plante.
- De la charge ionique totale du sol. Cette charge permet une estimation de la présence de minéraux dans les zones de prélèvement racinaire. Il faut toutefois noter que la mesure, exprimée dans une échelle propre à la sonde appelée V.I.C. prend en compte de manière indistincte l'ensemble des ions, qu'ils soient utiles ou non à la plante.

#### **Capacité hydrique du sol :**

##### *Capacité de rétention maximale en eau et réserve en eau utile à la plante*

Le profil est homogène sur 50cm au moins avec une capacité de rétention moyenne en eau de l'ordre de 9 mm pour 10cm de sol. Ces 9 mm disponibles pour 10 cm de sol sont estimés répartis de la façon suivante :

- 3 mm facilement utilisables pour la plante. Lorsque la plante prélève dans cette réserve, elle est dite en « confort hydrique »
- 2 à 3 mm difficilement utilisables pour la plante. Lorsque la plante doit prélever cette réserve, elle est dite en « stress hydrique ». Ce stress, généralement subi, peut avoir un intérêt pour certaines cultures lorsqu'il est maîtrisé : durcissement des salades avant mise en frigo pour améliorer la conservation par exemple. Le cas de la carotte est mal connu.
- 3 à 4mm non utilisables pour la plante car adsorbés trop fortement par le sol. Cette zone correspond au flétrissement partiel ou total de la plante

La marge de manœuvre pour l'irrigation de la culture est donc restreinte : gestion de 3 mm facilement utilisables par la plante pour 10 cm de sol. Soit, pour une carotte enracinée sur 50 cm, un apport maximal utile théorique de l'ordre de 15 mm d'eau.

##### *Risque de drainage et lessivage*

La vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols de type sableux est élevée. Les risques de ruissellement sont limités à des apports très intenses. Par contre, les risques de percolation et lessivage sont forts. On estime qu'il ne faut théoriquement pas dépasser 15 à 20 mm /heure pour limiter ce phénomène, ce que ne permet pas un apport d'eau au canon. D'après nos données, la vitesse d'irrigation utilisée pour la parcelle suivie est d'environ 45-50 mm/heure.

Une analyse est présentée ci-après sur une des irrigations du producteur au 23 août 2011 ; 40 mm ont été apportés au canon enrouleur.

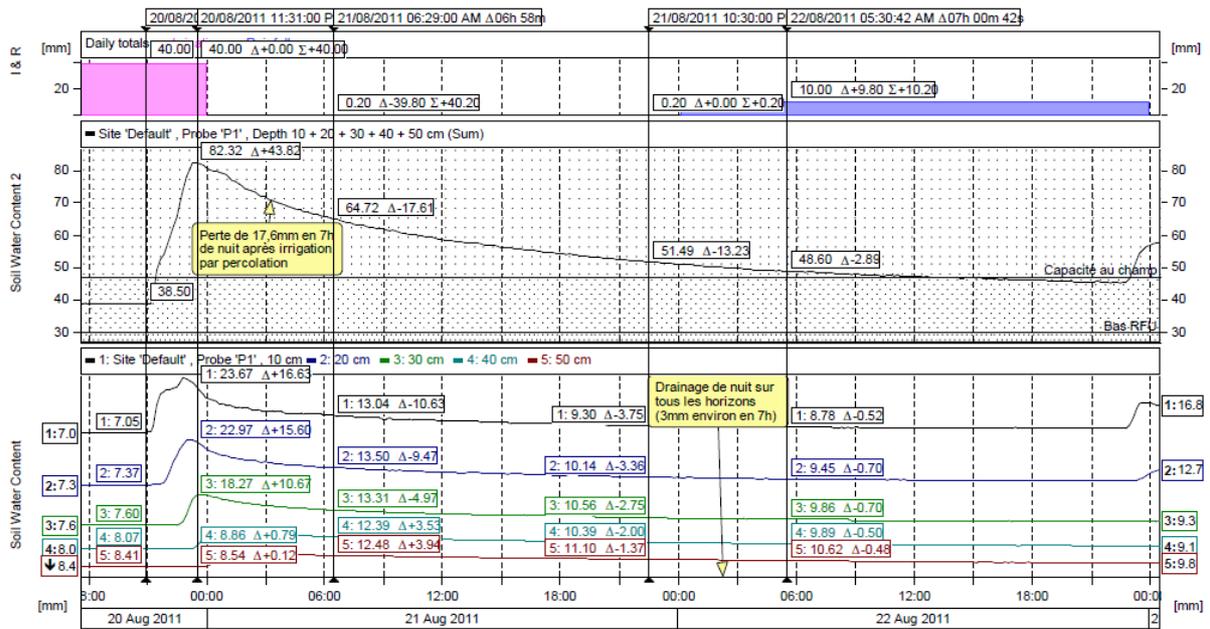
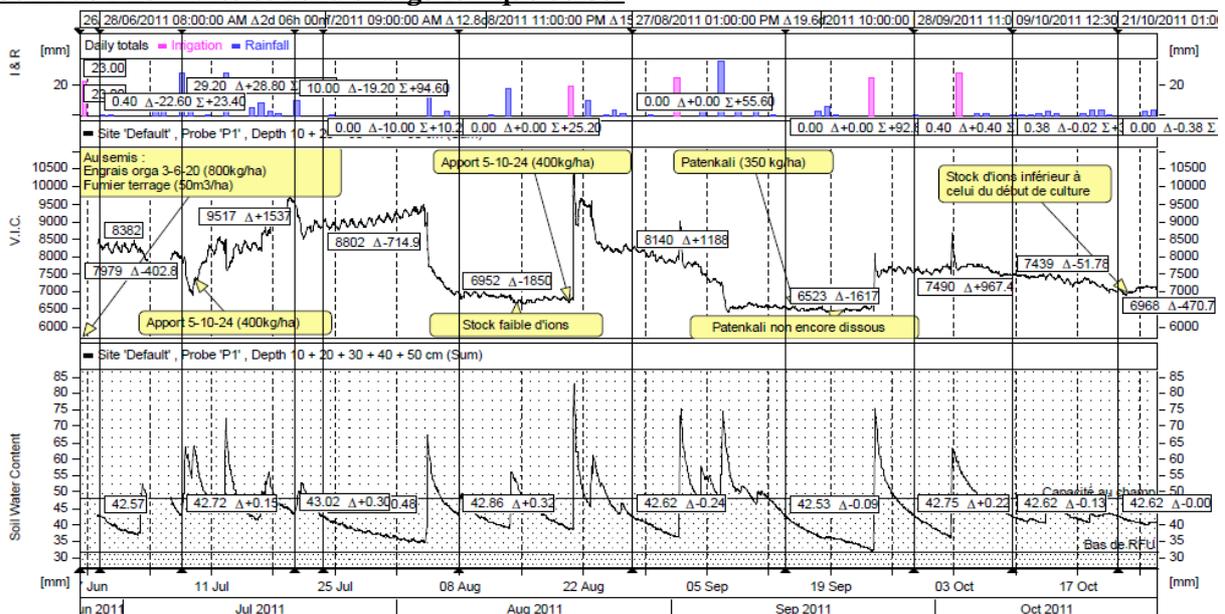


Figure 6 : Extrait des données enregistrées par la sonde Triscan® - Teneur en eau sur 50cm de sol entre le 20 et le 22 août 2011

L'apport en eau très rapide. Le graphique permet de visualiser la percolation rapide de l'eau dans le sol sur la première journée après arrosage. En effet, l'excédent d'une trentaine de millimètres par rapport à la capacité de rétention ne stagne pas ; il est « purgé » en 24 heures ce qui correspond bien aux caractéristiques spécifiques d'un sol sableux.

Cette percolation peut entraîner un lessivage massif, notamment sur l'horizon 0-30cm d'après le graphique. Dans notre cas, il a permis de positionner l'apport d'engrais effectué le 20 août 2011. Au total, sur les 40mm apportées, seuls 10mm seront réellement efficaces pour la culture.

### Suivi de l'humidité et de la charge ionique du sol



Soil Water Content : Teneur en eau du sol (mm) - V.I.C. : Charge ionique totale du sol - I&R : Irrigations et Pluies

○ Repères pour analyse de la salinité à humidité de sol constante légèrement inférieure à la capacité de rétention au champ

Figure 7 : Extrait des données enregistrées par la sonde Triscan® - Cumul sur 50cm de sol

L'analyse des courbes ci-avant nous permet de distinguer 5 phases :

- Entouré en vert, deux périodes de fonctionnement « normal » de l'ensemble sol-engrais-culture. L'engrais se met en place, la plante prélève régulièrement. Les créneaux de consommation-libération sont réguliers.
- Entouré en orange, fonctionnement « intermédiaire » : le niveau d'ions dans le sol est plus faible. Certains équilibres peuvent être perturbés. En période plus tardive, le développement et la consommation de la carotte peut être moindre (températures plus basses). Cette période correspond toutefois au grossissement racinaire.
- Entouré en rouge, deux périodes problématiques. Le stock d'ions dans le sol est très faible et les créneaux de consommations quasi absents sur le graph. Ces deux périodes sont déclenchées par une pluviométrie élevée (pluie ou arrosage) et le lessivage des ions en solution. Le « redémarrage » du système correspond alors à un nouvel apport de fertilisant. Un fractionnement plus important des apports d'engrais sur une base de 4 à 5 apports rapprochés pourrait permettre de limiter le phénomène observé.

A noter aussi, qu'un apport de fertilisant doit être au moins partiellement dissout pour être efficace comme permet de le détecter l'apport de Patenkali de mi-septembre devenu efficace pour la culture au 23 septembre, soit 8 jours seulement après l'apport, grâce à une irrigation

#### 8.1.6. Conclusions et perspectives



**Figure 8 : Parcelle "Bizique" (p6)**  
**Vue de la culture au 08 août 2011**

L'analyse effectuée permet de mettre en avant des leviers potentiels de gestion. Compte-tenu de l'existant, notamment en terme de matériel et d'organisation, les marges de manœuvre sont étroites. La plupart des solutions utilisables faisant appel à un investissement humain en terme de temps ou matériel.

Concernant l'irrigation, deux possibilités majeures peuvent être mises en avant :

- Le fractionnement supplémentaire des apports. Toutefois, la réalisation par des déclenchements manuels est trop lourde en temps et main d'œuvre. Cette solution demande une automatisation des systèmes d'irrigation et un équipement à la parcelle pouvant être lourds à financer. Elle demande aussi l'assurance de pouvoir réaliser techniquement les tours d'irrigations correspondant.
- la modification des systèmes d'irrigation pour diminuer le débit des installations. Attention aux contraintes induites : augmentation du temps des tours d'arrosages, adaptation des stations de tête d'irrigation à des débits plus faibles, modification et achat de matériel d'irrigation...

Pour la fertilisation, la sonde ne permet pas une approche qualitative. Cependant, elle montre l'intérêt que peut avoir :

- un fractionnement plus fort des apports afin de limiter des périodes de stress par excès ou par lessivage des éléments, dont certaines peuvent se traduire par l'affaiblissement de la plante et l'apparition potentielle de pathogènes de faiblesse.
- Une modification des pratiques d'apports en eau.

Bien sûr, ces modifications sont à valider techniquement et économiquement par des approches expérimentales et, le cas échéant, de possibilités d'investissement.

## 8.2. Substitution de solutions chimiques de gestion des bio agresseurs par une gestion biologique

### Résultats antérieurs

La méthodologie de travail s'appuie sur les résultats acquis dans différentes filières de productions sur les possibilités de gestion du puceron en conditions extérieures par l'utilisation de macro-organismes :

Le choix du macro-organisme s'est orienté vers *Chrysoperla carnea* (larve au stade L2)

- Organisme commercialisé par Koppert sous le nom Chrysopa®
- Organisme déjà présent naturellement. Nous sommes donc sur une stratégie de renforcement.
- Capacité de prédation du puceron élevée – Maintien possible de la larve estimé à 2-3 semaines avant le stade adulte
- Capacité à se déplacer forte, ce qui facilite sa mise en place au champ par rapport à d'autres macro-organismes comme le syrpe qui doivent être positionnés au plus près des foyers (rayon de quelques centimètres) pour être efficaces.
- Complémentarité par rapport à des organismes déjà présents et observés naturellement : syrpe (prédation), *diaretiella rapae* (parasitisme)...
- Organisme qui ne vit pas sur la culture, mais y vient uniquement pour s'y nourrir, et ne pouvant constituer un motif de refus d'agrèage lors de la mise en vente.

### Pratique actuelle

La pratique utilisée est celle de la parcelle du Clos Hébert sur Chou vert en 2011

Date	Substances actives employées	% par rapport à pleine dose	Stade culture
29/09/2011	pyrimicarbe + lambda-cyhalothrine	100%	13 feuilles Début pommaison
12/11/2011	lambda-cyhalothrine	100%	Après pommaison

Le traitement réalisé au 29 septembre 2011 peut-il être remplacé par une technique de lutte biologique ?

Plus globalement, il est réalisé un à deux traitements insecticides jusqu'au stade début de pommaison, en particulier sur les cultures de chou vert.

### Mise en place sur parcelle

**Objectif :** réguler les populations de pucerons par des lâchés d'auxiliaires afin de retarder le premier insecticide. Contrainte : empêcher l'installation de colonie au moment de la pomaison.

**Descriptif de la parcelle :**

Pour des raisons de types de choux présents et d'organisation des traitements fongicides et insecticides, le suivi sera réalisé sur une parcelle différente de celle de référence (Le clos Hébert).

La parcelle est la même que celle utilisée pour la pratique désherbage : forme rectangulaire (dimension approximative 20 X 70 m), 14 ares, constituée de 11 planches.

**Culture :**

- moitié chou rouge et moitié chou blanc.
- Arrivée des plants le mardi 19 juillet 2011, plantation en fin de semaine 29/2011
- Plantation à 80 cm d'entre rangs et 30 à 40 cm sur le rang.

**Prévisionnel :**

- 1<sup>er</sup> lâcher de chrysopes le plus tôt possible après la plantation soit le mardi 26 ou le mercredi 27 juillet en fonction de la date d'arrivée des chrysopes : saupoudrage des akènes de sarrasin porteur des larves sur la végétation. Densité souhaitée 5 à 10 larves par plant de chou soit 15 à 30 g de préparation commerciale pour 15 ml de rang.
- 2<sup>ème</sup> lâcher 2 à 3 semaines plus tard en fonction de l'action observée sur les populations de pucerons

Durée estimée d'efficacité des chrysopes : 15 jours à 3 semaines par lâcher soit un mois à un mois et demi au total.

Une surveillance des placettes permettra un déclenchement de traitements insecticides après la période d'efficacité des chrysopes si nécessaire selon le seuil de 10% des pieds porteurs de pucerons.

Création de zones sans lâcher et sans traitements dans la parcelle. Les prises de décision de traitement ou de lâcher se feront en fonction de l'évolution comparée des populations de pucerons dans les zones avec et sans lâcher (nb de foyer et activité de ces foyers).

**Réalisé :**

Les lâchers sont réalisés après observation dans des zones fixes matérialisées après chaque lâcher :

- Aucun foyer de puceron n'a été détecté sur parcelle lors du premier lâcher prévu. Ce lâcher a été réalisé le 29 juillet 2011 pour caler la méthode sans suivi spécifique après lâcher.
- 24 foyers répartis sur la parcelle ont été repérés et caractérisés le 08 septembre 2011 avant le second lâcher qui a été effectué le même jour. L'infestation étant relativement homogène et la capacité de déplacement d'une larve de chrysope pouvant être de plusieurs dizaines de cm, il a été choisi de travailler les lâcher sur chou blanc et de maintenir la parcelle de chou rouge non traitée.
- Le lâcher de chrysopes a été effectué à la main de la manière suivante :

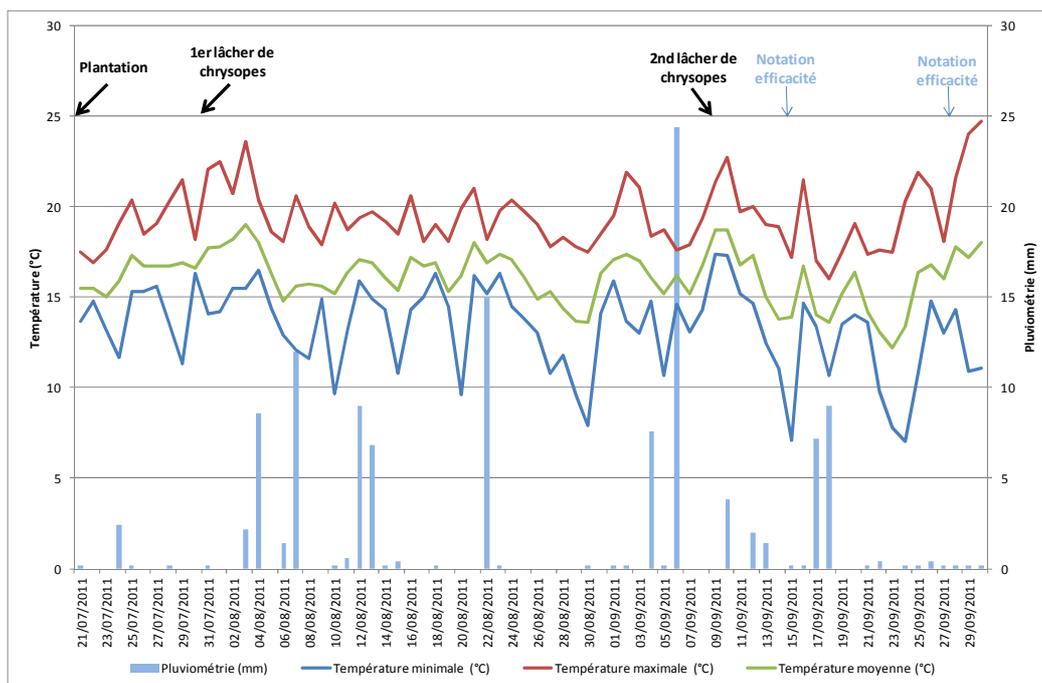
- 70 m linéaire de chou par rang espacés de 40 cm sur le rang soit 175 choux par rang
- 10 larves de chrysopes par chou soit 1750 larves sur un rang avec application localisée sur le rang. La quantité a été doublée par rapport aux quantités recommandées de départ en localisée sur le plant (5 larves par chou) du fait des larves tombées au sol.
- 5 planches de 2 rangs à traiter soit un besoin de 17 500 larves pour traiter la surface.
- le positionnement se fait sur la base d'un volume d'akènes de sarrasin, le conditionnement reçu étant un seau comportant 10 000 larves et correspond à un volume estimé de 5,8l. Il est utilisé 1l par rang

**Observations :** suivi des populations de pucerons et de leur activité dans les zones avec et sans lâchers.

- 10 foyers sont repérés et suivis par parcelle (zone avec lâchers d'auxiliaires et zone non traitée)
- Notation de l'évolution toutes les semaines de la façon suivante :
  - Classe 0 : Aucun puceron
  - Classe 1 : fondatrice
  - Classe 2 : Fondatrice + 1 aptère
  - Classe 3 : Fondatrice + plusieurs aptères
  - Classe 4 : Idem classe 3 mais présence d'ailées
  - Recolonisation par des formes ailées isolées
- Fréquence d'observation de colonies de pucerons sur 4x 25 plants de chou pris à la suite sur un rang pour une parcelle élémentaire
- Observations de la présence d'auxiliaires sur les foyers (type, nombre) et de trace de prédation et/ou parasitisme.

#### Conditions météorologiques

Le graphique suivant synthétise les conditions climatiques au moment de la réalisation des lâchers de chrysope et du suivi d'efficacité des produits.



## Résultats

### Situation initiale sur la parcelle avant lâcher d'auxiliaires au 08 septembre 2011

**Tableau 2 : Type de foyer le jour du lâcher de chrysope (avant lâcher)**

Modalité	Indemne	Fondatrice	Fondatrice + 1 aptère	Fondatrice + plusieurs aptères	Fondatrice /plusieurs aptères / ailés
"Sans Lutte"	0%	0%	0%	91%	9%
"Avec Chrysope"	0%	0%	0%	100%	0%

**Tableau 3 : Estimation de l'importance des foyers repérés - % de foyers correspondant à chaque situation**

Nombre de pucerons	Sans Lutte	Avec Chrysope
0	-	-
1	-	-
2-5	-	-
5-10	18%	-
10-25	9%	-
25-50	9%	27%
+50	64%	73%

### Satisfaction estimée des techniques utilisées sur la parcelle

#### 1. Situation au 15 septembre 2011 soit 7 jours après lâcher

**Tableau 4 : Type de foyer au 15 septembre 2011 soit 7 jours après lâcher**

Modalité	Indemne	Fondatrice	Fondatrice + 1 aptère	Fondatrice + plusieurs aptères	Fondatrice /plusieurs aptères / ailés
"Sans Lutte"	11%	0%	0%	56%	33%

"Avec Chrysope"	9%	18%	18%	45%	9%
-----------------	----	-----	-----	-----	----

**Tableau 5 : Estimation de l'importance des foyers initiaux 7 jours après lâcher - % de foyers correspondant à chaque situation**

Nombre de pucerons	Sans Lutte	Avec Chrysope
0	11%	9%
1	-	18%
2-5	11%	18%
5-10	-	-
10-25	22%	36%
25-50	-	-
+50	56%	18%

On note à 7 jours, une régression partielle des foyers initialement repérés.

2. Situation au 27 septembre 2011 soit 19 jours après lâcher

**Tableau 6 : Type de foyer au 27 septembre 2011 soit 19 jours après lâcher**

Modalité	Indemne	Fondatrice	Fondatrice + 1 aptère	Fondatrice + plusieurs aptères	Fondatrice /plusieurs aptères / ailés
"Sans Lutte"	18%	9%	0%	55%	18%
"Avec Chrysope"	73%	9%	0%	18%	0%

**Tableau 7 : Estimation de l'importance des foyers initiaux 19 jours après lâcher - % de foyers correspondant à chaque situation**

Nombre de pucerons	Sans Lutte	Avec Chrysope
0	18%	73%
1	9%	9%
2-5	-	-
5-10	9%	9%
10-25	18%	-
25-50	-	-
+50	45%	9%

On note à 19 jours, une régression très importante des foyers initiaux. La situation est totalement contrôlée dans plus de 70% des cas. A noter également que la parcelle qui n'a reçue aucune lutte a tendance à voir une évolution mixte :

- Progression de certains foyers vers des C4
- Régression de foyers. Cette régression de foyer est à associer sur parcelle à la présence de faunes auxiliaire naturelle (voir tableau ci-après)

**Tableau 8 : Evolution de la présence de trace d'activité de faune auxiliaire naturelle sur les foyers initialement repérés de la parcelle "sans lutte" - % du nombre total de foyers suivis**

Type d'observation	08/09/2011	15/09/2011	27/09/2011
Trace de prédation	9%	11%	18%
Présence de syrpe (tous stades confondus)	18%	0%	45%

Parasitisme (2 types au moins)	27%	44%	82%
<b>RAS</b>	<b>64%</b>	<b>56%</b>	<b>0%</b>

Enfin, la fréquence de présence de pucerons sur la parcelle 19 jours après lâcher a été évaluée. Le tableau suivant présente la synthèse des résultats obtenus.

**Tableau 9 : Estimation de la fréquence de présence de foyers de pucerons sur la parcelle 19 jours après lâchers**

Modalité	Répétition	Pourcentage de choux avec pucerons sur 25 choux pris à la suite (hors foyers initialement repérés)	
		Sans Lutte	Avec chrysopes
Sans Lutte	1	40%	32%
Sans Lutte	2	24%	24%
Sans Lutte	3	36%	32%
Sans Lutte	4	12%	40%
<b>Sans Lutte</b>	<b>Moyenne</b>	<b>28%</b>	<b>32%</b>

On ne note pas de différence de fréquence de foyers. Par contre, les foyers relevés ne sont pas du même type :

- Sur la partie sans lutte, 100% des foyers sont de type C3 (*fondatrice + x aptères*) ou C4 (*fondatrice + x aptères + ailés*). Ces ailés sont des sources de contaminations de nouveau choux
- Avec chrysope, 94% des foyers sont de type C1 (*fondatrice ailée*). Ils correspondent à une « recontamination » des plants, probablement issue de la parcelle « sans lutte ».

#### Conclusion et perspectives

L'efficacité des lâchers de chrysope s'est montrée satisfaisante ; l'effet est durable, la réduction de pression des populations de pucerons en intensité et en fréquence est intéressante, même si elle n'est pas totale

Cette technique permet de préserver des populations d'auxiliaires naturels (syrphes, *diaretiella...*) qui ont montré un certain niveau d'efficacité complémentaire sur pucerons.

Toutefois, il est encore délicat de :

- Cibler finement les dates d'applications. Le système de commande de Koppert impose une commande une semaine avant réception du produit. La conservation du produit dans le temps est limitée. Aussi, le planning prévisionnel doit être le plus fin possible pour ne pas se retrouver dans la situation du premier lâcher. Vice versa, l'auxiliaire lâché met plus de 7 jours à réguler efficacement les populations sur foyer déclaré. A voir, le bon positionnement du produit pour ne pas induire de dégâts qui entraîne une perte commerciale
- Assurer un positionnement coût du produit :
  - à 120€ HT environ les 10 000 larves (estimatif Koppert - octobre 2011), le coût d'un passage est de 2 000€/ha par passage à la dose utilisée dans l'essai. Cette dose est à revoir absolument pour permettre un positionnement du produit en culture maraîchère.
  - La réduction de la dose ne sera pas suffisante à rendre le coup raisonnable, à voir aussi d'un point de vue pratique les possibilités différentes de conditionnement vrac pour des quantités plus élevées par rapport à celles utilisées actuellement

- Assurer un positionnement cohérent avec l'organisation des professionnels. Le positionnement du produit est à revoir en terme de support, mais aussi de possibilité de mécanisation de l'application. L'application manuelle n'est pas envisageable, le coût de charge de main d'œuvre et l'organisation des équipes de travail ne le permettant pas. L'apport mécanique sur le rang est à travailler en profitant éventuellement des passages actuels en terme de binage par exemple.

Il est également nécessaire de réadapter globalement l'itinéraire technique jusqu'à pommaison pour pouvoir éviter des interactions éventuelles de produits avec la faune auxiliaire naturelle et/ou lâcher :

➤ Gestion des piérides et noctuelles



**Figure 9 : Parasitisme de chenille de piéride par *Apanteles* sp. (26/09/2011)**

La gestion des populations de pucerons par les chrysopes risque de révéler des problèmes de chenilles défoliatrices, gérées auparavant avec les insecticides systématiques pour des cibles mixtes pucerons et noctuelle. La toxicité de ces insecticides sur faune auxiliaire peut-être élevée et durable après application.

Sur constat de présence, les chenilles pourront être traitées avec une application de *Bacillus Thuringiensis* (Bt). Cependant, l'application de Bt est à faire sur stade larvaire jeune et demande une détection précoce du problème.

➤ Gestion des problèmes fongiques

La stratégie fongicide repose actuellement sur l'utilisation de produits haut de gamme curatifs.

**Tableau 10 : Stratégie fongicide utilisé sur les choux verts de la P2 (Clos Hébert) en 2011**

Date	Substances actives employées	% par rapport à pleine dose	Stade culture
29/09/2011	difénoconazole	100%	13 feuilles Début pommaison
12/11/2011	difénoconazole	100%	Après pommaison

- Intégration de stratégie de lutte par conservation en favorisant la biodiversité fonctionnelle autour des parcelles de chou.



**Figure 10 : Larve de syrphé et parasitisme naturel de pucerons sur un foyer de la parcelle sans lutte (26/09/2011)**

En effet, la plupart des auxiliaires bénéfiques repérés sur la culture en 2011 ont une phase adulte pollinicole, nectaricole. La présence de fleurs, pollen au voisinage de la parcelle (passerelle de récolte, parcelle avoisinante, talus, haie...) est une source de conservation des formes adultes auprès de la parcelle ; formes adultes qui chercheront de nouveau à pondre près ou dans les colonies de pucerons voisines. De plus, une stratégie jusqu'à pommaton permet d'être cohérent avec les périodes de développement des auxiliaires utiles et de ne pas retrouver de larves ou de pucerons parasités lors de la récolte du produit (facteur limitant pour l'utilisation de cette lutte sur d'autres légumes commercialisés en frais)

Dans cet essai, les techniques mises en œuvre ont été efficaces en terme de contrôles des bioagresseurs ciblés. Des contraintes fortes pour une utilisation dès à présent en routine ont été identifiées. D'un point de vue technique, le succès du désherbage mécanique porte une part d'incertitude lié au climat, et oblige à prévoir une gestion alternative avec des phytosanitaires et à faire preuve d'une très grande réactivité pour positionner ce rattrapage chimique. De même le contrôle biologique utilisé est spécifique d'un ravageur. La suppression des interventions chimiques oblige à prendre en compte d'autres ravageurs et leurs auxiliaires qui ne sont plus réprimés et qui constituent alors une cause de dégâts et donc de dommage. D'un point de vue économique, ces techniques ne sont pas acceptables compte tenu de leur sur l'augmentation important du cout de production qu'elles induisent. L'intégration de ces résultats pour la définition d'une stratégie de conduite culturale est possible, mais nécessite une approche plus large et un couplage probable avec des moyens de contrôle chimique.



- Herse rotative à 25 cm avec un rouleau plat
  - **Semis** de la variété Maestro à 66 grains/ml sur des planches de 4 rangs. Les 2 rangs du milieu sont semés à 15% de moins que les rangs extérieurs, soit à 56 grains/ml
- 15 juin : Fumier de terrage à 50 m<sup>3</sup>/ha  
 21 juin : Santhal (0.5 l) + Microfit (400 g) (antagoniste du rhizoctone violet)  
 08 juillet : Engrais minéral (5/10/24) 400 kg/ha  
 12 aout : Afalon 11/ha  
 19 aout : Mancozèbe (Kavéa) 3 kg/ha + Bore (Foliarel) 1.5 kg/ha + Terfik 1.5 l/ha  
 20 aout: Engrais (5/10/24) 400 kg/ha  
 23 aout : Defi 3l/ha + Challenge 1l/ha  
 14 septembre : Propamocarbe (Proplant) 1.5 l/ha + Bore (Foliarel) 3 kg/ha + Epsomite 5 kg/ha + Switch 1kg/ha + Alpacore 120g/ha  
 15 septembre : Patenkali à 350 g/ha  
 15 novembre : Altacor 120g/ha + Epsomite 5kg + Calcium 11 + Potasse liquide 11 + Switch 1kg + Ortiva 11  
 09 décembre : Switch 0.75kg + Karaté zéon 0.15l + Terfik 2l  
 09 janvier :
  - Paillage 20t/ha
  - Défanage
 Du 07 au 15 avril : Récolte

### 8.3.2. Suivis racinaires et nématologiques, résultats

Ces suivis ont nécessité plusieurs types de prélèvements en fonction des choses à observer (figure 3).

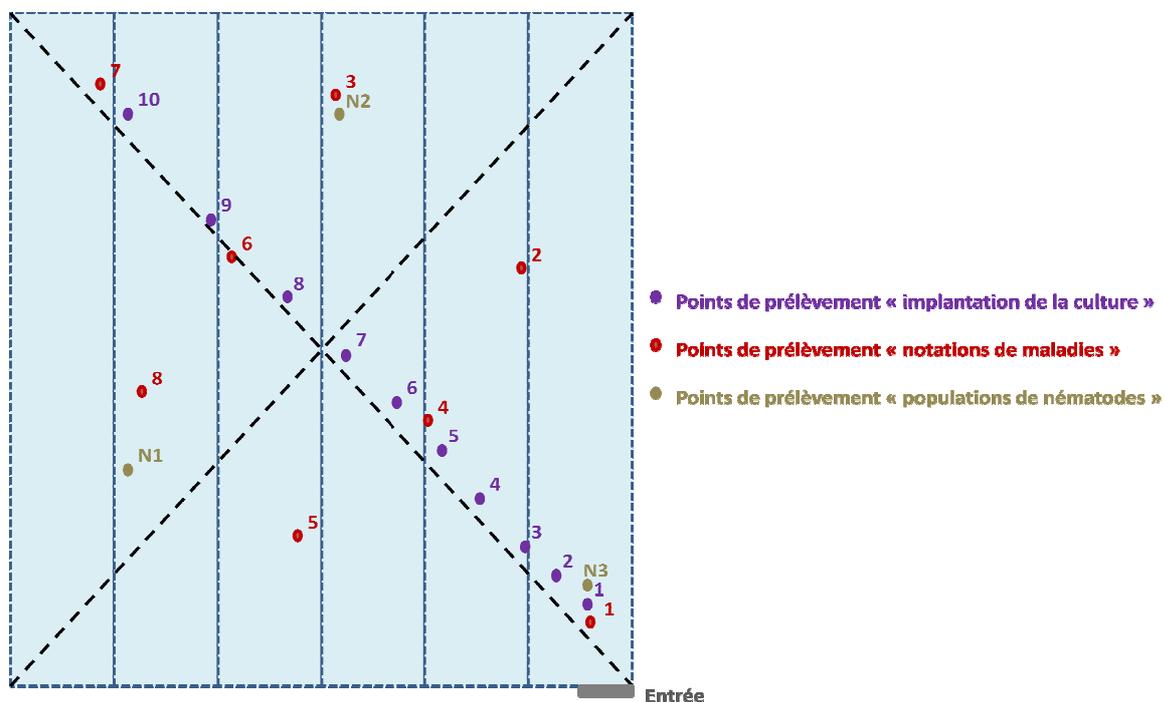


Figure 3 : Plan des prélèvements effectués au cours des suivis racinaires

#### 8.3.2.1. Suivi racinaire dans la phase d'implantation de la culture (S+2 => S+8)

**Objectifs :**

- réaliser un suivi de la levée et de l'implantation des plantules pour détecter d'éventuelles fontes de semis et/ou attaques précoces du système racinaire.
- réaliser des observations sur un nombre réduit de plantules dans les premières phases d'implantation de la carotte afin de mettre en évidence la flore fongique présente sur le système racinaire de la carotte, en ciblant particulièrement les champignons du genre *Pythium*.

### Matériel et Méthode

- Choix de 10 placettes réparties sur l'ensemble de la parcelle selon une diagonale (figure 3).
- Délimitation de la placette sur les deux rangs centraux de la planche sur une longueur de 50 cm soit sur un total de 1m linéaire.
- De S + 2 à S + 6 : 1 comptage/semaine du nombre de carottes par placette
- Si détection de plantules mortes ou nécrosées, prélèvement des plantules pour observations et analyses au laboratoire
- A S + 3 et S+5 prélèvement de quelques plantes pour observations et analyse au laboratoire.

### Résultats :

- **Les comptages**

Le nombre de plante varie en fonction des placettes (figure 4) mais sur une même placette il n'y a pas de disparition significative de plantule au cours du temps. Sur la placette 4 on observe un très faible nombre de plantes.

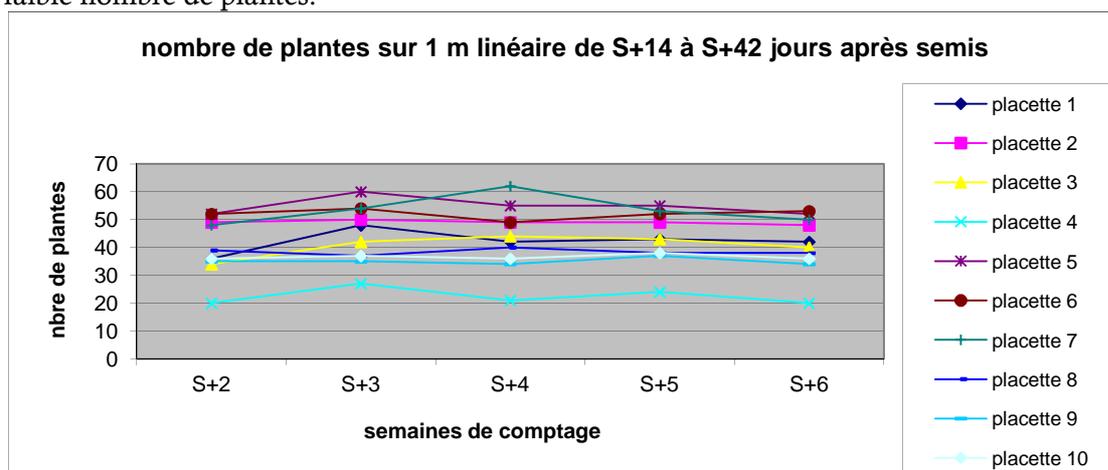


Figure 4 : Evolution du nombre de plantes sur 1 m linéaire sur chaque placette entre 2 et 6 semaines après semis.

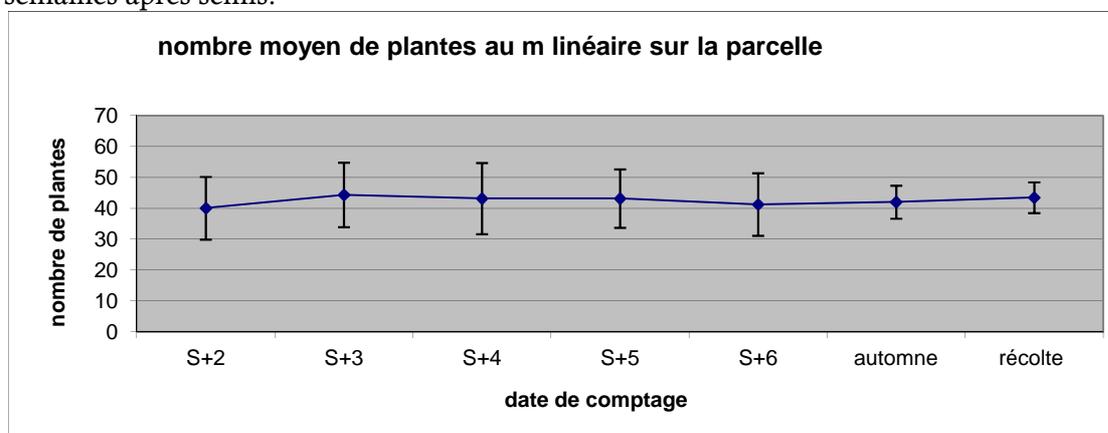


Figure 5 : Evolution du nombre moyen de plantes sur 1 m linéaire toute placette confondue entre 2 et 6 semaines après semis.

Ces comptages mettent en évidence une hétérogénéité de peuplement entre les placettes ; il n'y a pas eu disparition significative de plantules ; les variations d'un comptage à l'autre sont plus liées à « l'erreur de comptage » presque inévitable surtout en tout début de levée du fait de la présence de fumier de terrage qui masque certaines plantules et du fait aussi d'une hétérogénéité dans la vitesse de germination et de levée.

- **Les observations**

Tableau I : Observations sur les plantes entre 2 et 6 semaines après semis.

placette		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rang 2	sem 26				rangs très serrés						
	sem 27							1 symptôme			
	sem 28		1 pourrie	1 pourrie						1 pourrie ?	
	sem 29		Brûlures feuillage	1 rouge	1 rouge			2 rouges	1 rouge	1 rouge	1 très rouge
	sem 30				Brûlures feuillage						
Rang 3	sem 26										
	sem 27		2 symptômes	1 symptôme			2 symptômes				cot à 1 f
	sem 28				1 pourrie						
	sem 29		Brûlures feuillage				1 rouge			3 rouge	
	sem 30				Brûlures feuillage						

- **Les observations et analyses réalisées sur les plantes ramenées au laboratoire.**

Le 6 juillet 2011 (S+3) : des plantules ont été prélevées au stade une feuille vraie.

Sur les plantes prélevées, seulement 3 d'entre elles, présentaient des nécroses brunes juste au dessous du collet (Fig 6-1) (Fig 6-2) ou une coloration rose du bas des cotylédons et du pétiole avec généralisation pour certaines plantes (Fig 6-3)

Ces différentes plantules ne se développent pas



Fig 6 : Aspects des plantes prélevées et présentant des symptômes

Les résultats des isolements mettent en évidence la présence de *F.roseum* et *F. sp* ainsi que *Pythium sp* en fréquence très faible ; l'espèce de *Pythium* n'a pas été déterminée mais il ne s'agit pas de *P.violae* ni de *P.sulcatum*

Le 19 juillet 2011 (S+5) les plantes prélevées sont au stade 2 feuilles vraies : seules deux plantes provenant présentent des symptômes soit des nécroses brunes en extrémité de la racine principale. Ces différentes plantules ne se développent pas et crèvent.

Les résultats des isolements mettent en évidence la présence de différentes espèces de *Fusarium* mais aucune colonie de *Pythium* n'a été mise en évidence.

Ces suivis et analyse en début de culture ne mettent pas en évidence d'attaques de champignons entraînant des fontes de semis ou disparition de plantes. Très peu de plantes présentent un système racinaire symptomatique et quand c'est le cas, on met en évidence une très faible fréquence de *Pythium* ; la mise en évidence de *Fusarium* sur les plantules ne signifie pas qu'ils sont impliqués dans les nécroses observés et le rôle de ces champignons reste à étudier.

Trois semaines après semis de fortes températures durant 2 jours ont pu fragiliser les plantes au niveau du collet et entraîner les symptômes au collet.

#### 8.3.2.2. Notations maladies (paillage / récolte)

##### Objectif :

- Evaluer l'état sanitaire de la culture au paillage et le développement des maladies entre le paillage et la récolte.

##### Matériel et méthode

Les prélèvements ont été réalisés à 2 dates : avant paillage (14 novembre 2011) et à la récolte (10 avril 2012) sur 8 placettes selon le plan indiqué en figure 3.

A l'automne, le prélèvement a été réalisé sur les deux rangs centraux sur 1 m chacun soit 2m linéaires.

A la récolte, le prélèvement a été réalisé sur les deux rangs centraux sur 0.5 m chacun soit 1m linéaire.

Pour les deux notations, les variables suivantes ont été observées :

- Le nombre total de racine par placette
- Le poids total de l'échantillon
- Calibrage : selon la longueur
  - Cat G : racine >17.5cm
  - Cat N : 15cm <M< 17.5 cm
  - Cat M : 15cm<N<10 cm
  - Cat P : racine <10 cm
- La longueur moyenne d'une racine
- Le diamètre moyen d'une racine

##### Résultats

- Les calibres

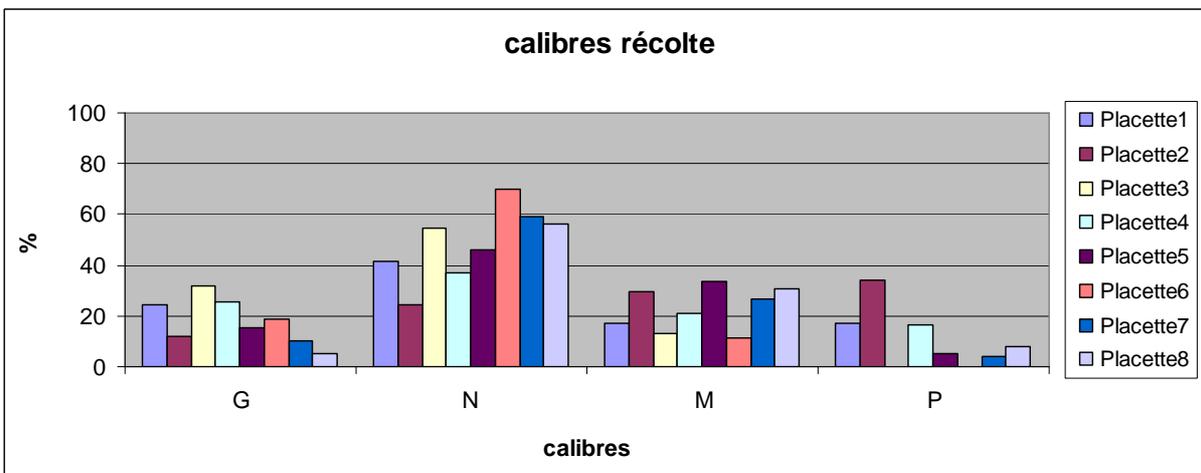
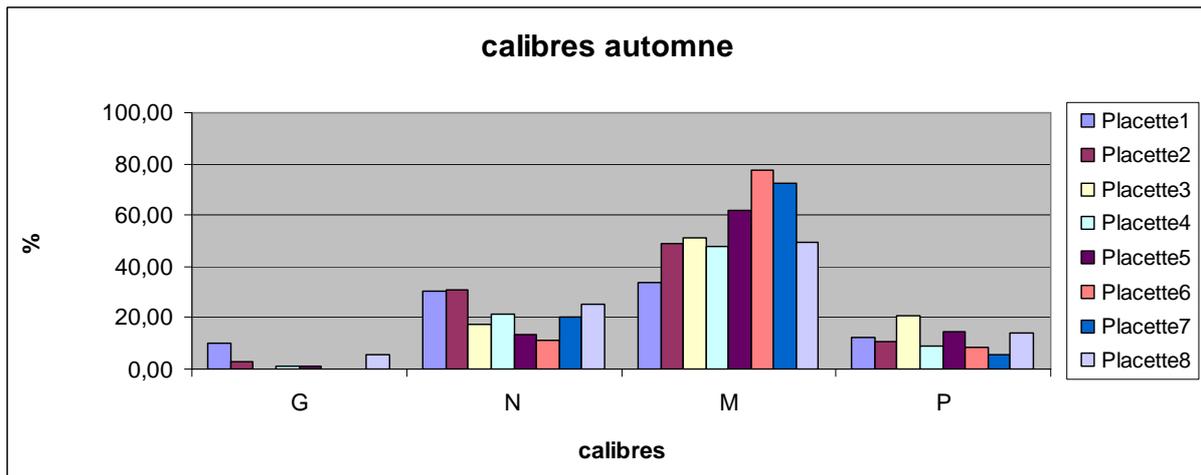


Fig 8 : répartition des calibres par placette à l'automne et à la récolte.

- Le poids moyen d'une racine

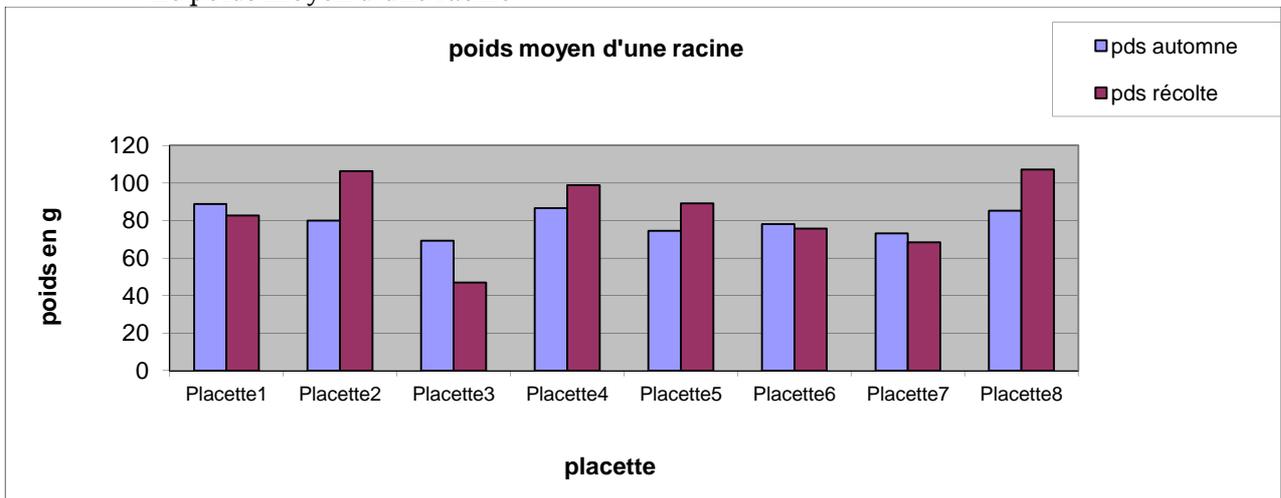


Fig 9 : évolution du poids moyen d'une racine entre l'automne et la récolte.

Le calibrage a été réalisé selon des références propres à cet essai et visait à évaluer la présence de racines « courtes » (pouvant résulter d'une attaque précoce de *Pythium*) et ne permet pas une extrapolation pour le calcul des rendements, bruts et commercial. On constate que le nombre de racine dans la catégorie P < 10 cm n'est pas très élevée sauf pour la placette 2 le nombre de racine dans la catégorie 15 cm < N < 10 cm oscille entre 35 et 80% avant paillage alors que à la récolte il est entre 5 et 38%. De plus, le poids moyen d'une racine augmente en moyenne entre les deux notations. Les racines ont donc continué de grossir et s'allonger entre les deux notations. Ceci s'explique par le fait que la première notation a été réalisée le 14 novembre et que le paillage n'a

été réalisé qu'en janvier compte tenu des températures douces de l'automne et du début de l'hiver.

- Les maladies

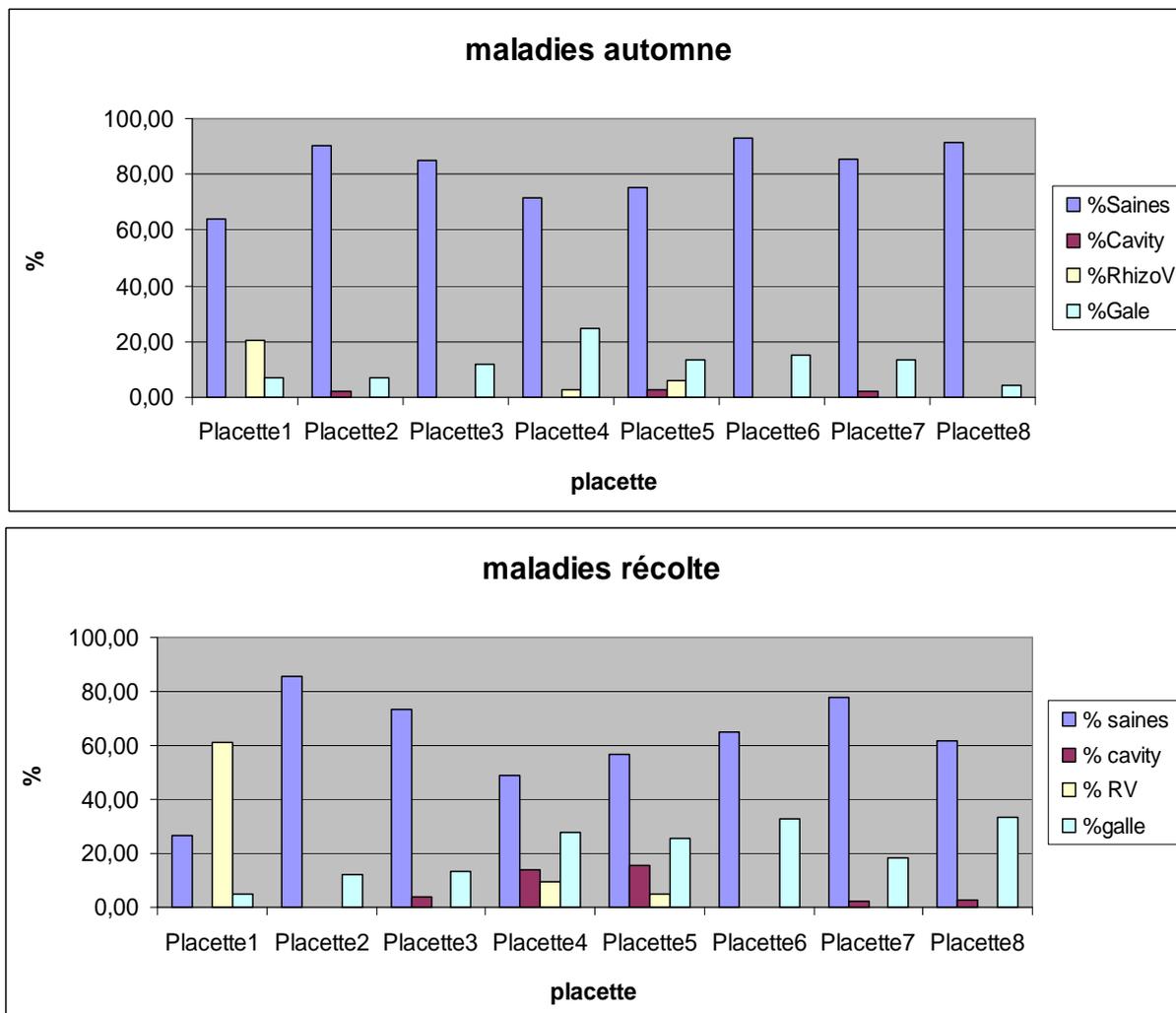


Fig : 10 incidences de 3 maladies (cavity-spot, rhizoctone violet et gale) et % de racines saines dans les différentes placettes.

On note la présence de gale résiduelle de gale dans toutes les placettes ; cette maladie est déjà présente à l'automne et continue de se développer durant l'hiver .A l'automne on note trois foyers de rhizoctone violet (placette 1, 4, 5) mais c'est seulement au niveau de la placette 1 que l'on note une évolution significative de la maladie (passage de 20% de racines atteintes à 60 %), la maladie ne se propageant pas trop dans les deux autres placettes atteintes. Enfin, on note une très faible incidence de la maladie du cavity spot à l'automne et on constate que la maladie évolue un peu pendant l'hiver mais les incidences à la récolte restent relativement peu élevées et sont inférieures à 18%.

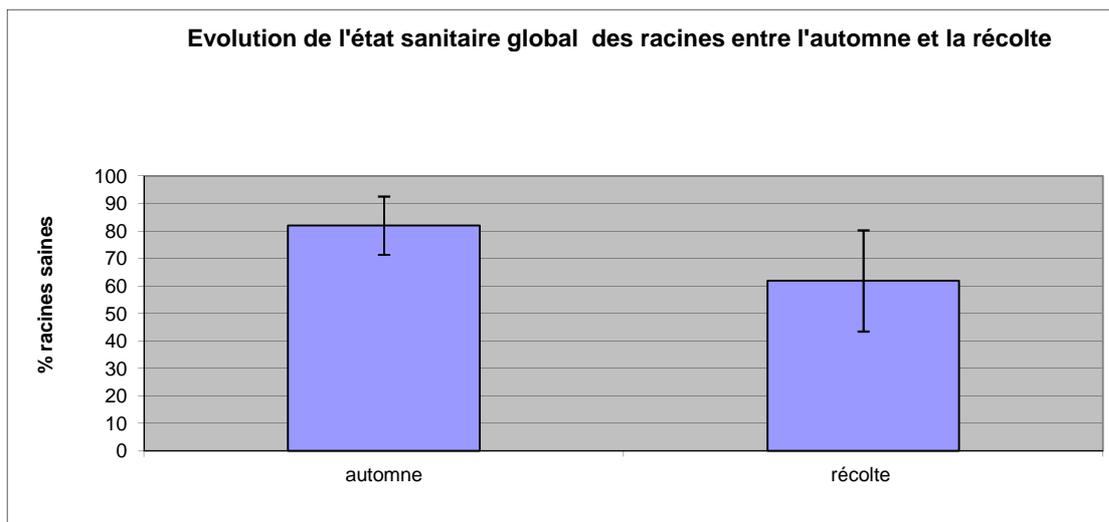


Fig 11 : évolution du pourcentage de racines saines entre l'automne et la récolte (moyenne des 10 placettes).

Entre l'automne et la récolte, le pourcentage de carottes indemnes de maladie passe de 82% à 62% due en grande partie au développement du foyer de rhizoctone violet, à l'évolution de la gale et du cavity spot.

### 8.3.2.3. Suivi des populations nématodes

**Objectif :** Suivre la dynamique de population de nématodes au cours d'une culture de carotte.

#### Matériel et méthode

Les prélèvements de sol et de plantes sont réalisés sur 3 placettes fixes choisies de manière aléatoire (figure 3) et délimitées à l'aide de piquets. Les prélèvements ont été effectués à différentes dates :

Semaine par rapport au semis	Prélèvements	
	Sol	Plantes
S + 3	06/07/2011	06/07/2011
S + 12	06/09/2011	06/09/2011
S + 16	06/11/2011	14/11/2012
S + 35	01/04/2012	

Le prélèvement de sol est réalisé à l'aide d'une gouge (1/2 tube de 20 cm et  $\varnothing=2$ cm) inclinée à 70-80 ° par rapport au sol enfoncée à 15-20 cm de profondeur, selon une ligne perpendiculaire à la planche afin d'obtenir environ 300 g de sol par placette. En retirant la gouge du sol, il faut donner un mouvement de rotation pour extraire la carotte de sol sur toute sa longueur. Dans la mesure du possible, il est préférable de conserver le sol au frais en attendant l'analyse.

#### Le prélèvement des plantes

A chaque date (voir tableau 1), environ 50 plantes par zones de prélèvement de sol ont été prélevées. Afin de ne pas compromettre le suivi de population de nématodes dans le sol, les plantes ont été prélevées dans la zone juxtaposée à celle dédiée aux prélèvements de sol.

De retour au laboratoire, les plantes sont mesurées (longueur des racines, largeur des racines à 2 cm sous le collet, poids des racines) et observées (symptômes de maladie et de nématode).

## Résultats

- Quantité de nématodes dans le sol

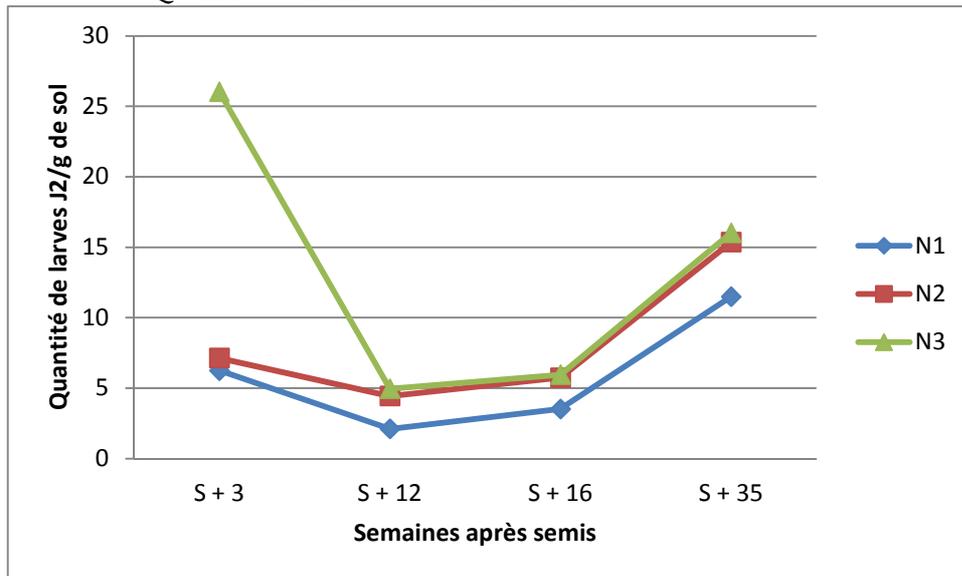


Fig :

Les quantités de larves obtenues sur les placettes N1 et N2 en S + 3 sont faibles et attestent du fonctionnement du traitement au télone du 13 juin 2011. En effet, les quantités de larve sont faibles. La valeur pour N3 est aberrante, cela peut provenir d'une erreur d'échantillonnage, d'une non représentativité de l'échantillon (zone qui aurait échappé au traitement, foyer de nématodes, ...). A la vue des valeurs prises par la suite pour N3 (qui rejoignent celles des 2 autres placettes), on peut penser qu'il s'agit d'une erreur d'échantillonnage.

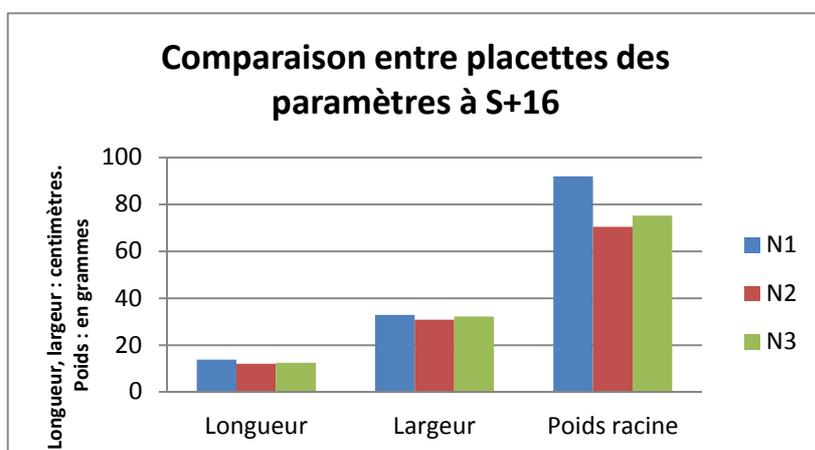
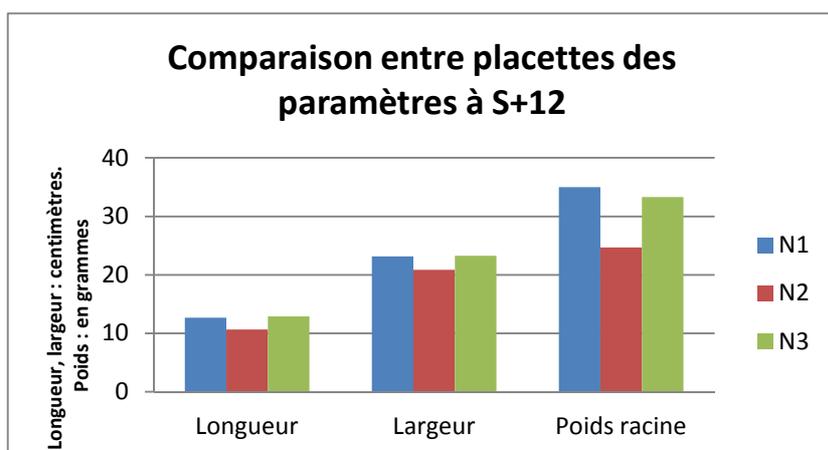
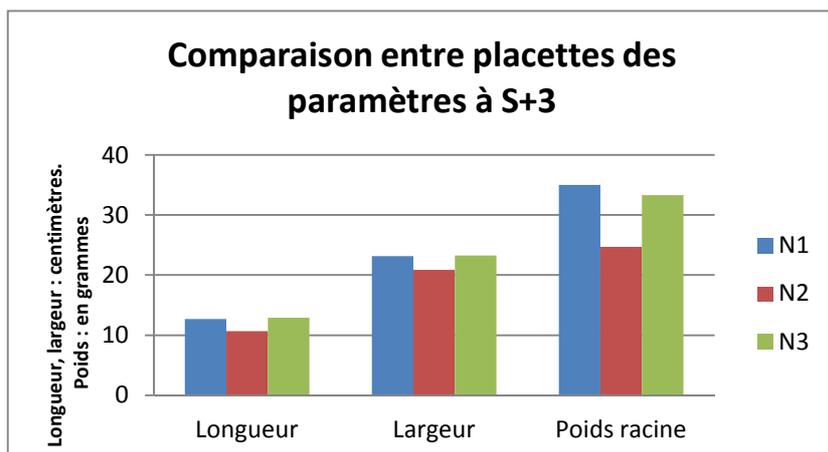
La diminution observée pour les 3 placettes entre S + 3 et S+12 s'explique par une décolonisation des larves des kystes vers les racines sans qu'il y ait eu émission de nouveaux kystes.

Puis l'augmentation entre S+12 et S+16 puis entre S+16 et S+35 traduit la multiplication du nématode avec une dynamique assez lente, certainement due aux conditions climatiques non optimales pour leur développement.

Pour un sol sableux, le seuil de nuisibilité est fixé à 1 larve/g de sol. Dès lors que ce seuil est dépassé, il est alors possible que les carottes soient plus courtes ou plus fourchues, sans pour autant devenir non commercialisables.

La forme générale des courbes reflétant la dynamique de la population de nématode traduit une augmentation de la population en cours de culture, ce qui était attendu après le traitement au télone qui a réduit fortement la population. L'augmentation de population aurait pu être plus forte, le facteur limitant est peut-être le manque de chaleur lors de l'été 2011. Malgré tout, il sera nécessaire de faire un nouveau traitement avant l'implantation d'une nouvelle culture de carottes.

- Suivi de la végétation



Quelque soit le paramètre et la date, aucune différence n'est significative entre les placettes. De plus, il est impossible de déduire un effet de la population de nématodes juxtaposée étant donné l'absence de placette témoin sans nématode.

Pour pouvoir relier les symptômes ou les pertes de rendement à la présence de nématodes, il aurait fallu avoir un échantillonnage comportant un gradient de concentrations différentes de nématodes, ce qui est difficilement prévisible au sein d'une parcelle cultivée.

### 8.3.3. Conclusion

- S'agissant de la phase d'implantation de la culture, les suivis réalisés ne mettent pas en évidence d'attaques précoces de *Pythium* et de perturbations racinaires dues à ce

champignon. De plus, les quantités de nématodes retrouvés au sol en début de culture ne sont pas problématiques pour la culture.

- En cours et fin de culture, on observe quelques foyers de rhizoctone violet dont un a entraîné des pertes importantes. On note aussi la présence de gale qui fait diminuer le pourcentage de carottes saines selon nos critères de notation mais qui globalement a peu d'impact sur le rendement commercial les symptômes disparaissant après broyage. Cependant il faut noter que ces symptômes peuvent constituer une porte d'entrées pour d'autres pathogènes et peuvent être le siège d'une surinfection ; ceci n'est pas le cas dans cette parcelle. Enfin, on peut dire que l'état sanitaire de cette parcelle est globalement bon du point de vue cavity spot et que la maladie de la bague n'est pas présente; de même pour le sclerotinia. Le suivi de populations de nématodes a montré que les quantités restent sous le seuil de nuisibilité pour la culture tout au long de son développement. Malgré cela, l'augmentation au cours du temps des populations justifie de réaliser un traitement contre ces derniers avant l'implantation de la prochaine culture de carotte.

### **8.3.4. Les premières approches de modification des systèmes par intégration de nouvelles pratiques : plante d'interculture assainissante, cas de la moutarde**

#### **8.3.4.1. Objectif**

L'objectif de l'action était:

- De vérifier la possibilité de l'implantation et du développement d'une culture assainissante de moutarde dans des conditions différentes de celle de l'essai (zone de production, pédologie...). Cette pratique n'est pour l'instant pas du tout réalisée à l'échelle du bassin.
- De valider l'innocuité d'une interculture de moutarde sur le poireau lui succédant. Les résultats obtenus au Sileban en 2010 étaient perturbants (notamment sur l'apparition de phénomènes de racines roses sur certaines zones de l'essai Prabiotel – Action 3)

#### **8.3.4.2. Mise en place et suivi**

**Site :**

- GLATIGNY – Lieu dit « Noellot » –
- Sol : Sable

**Succession culturale :**

- 2010 : Carotte paillée (récolte début 2011)
- 2011 : Poireau

**Modalités / Dispositif :**

- Moutarde : (Parcelle de 12m x 200m) ayant reçue une inter-culture de type moutarde brune « Etamine »
- Sol nu : Parcelle témoin sans inter-culture

**Suivis réalisés :**

- Sur moutarde :

- Développement de l'interculture de moutarde : levée à 21 jours puis 40 jours après semis sur 20x1ml, stade à l'enfouissement
- Quantification de la biomasse : la biomasse a été prélevée pour l'interculture de moutarde à raison d'au minimum 4 cadrats de 0.25m<sup>2</sup> : quantification de la biomasse fraîche et estimation de la matière sèche

- Sur poireau :

4 notations intermédiaires et une notation récolte ont été effectuées

- Résultats agronomiques de la culture de poireaux : rendement brut, rendement net (calibre 20-40mm sans défaut – longueur de blanc de 18cm au moins, longueur de fût de 20cm au moins), longueur de fût, longueur de blanc
- Développement de fusariose : 2 niveaux de symptômes selon si seules les racines du plateau racinaires sont nécrosées ou si le fût du poireau est attaqué

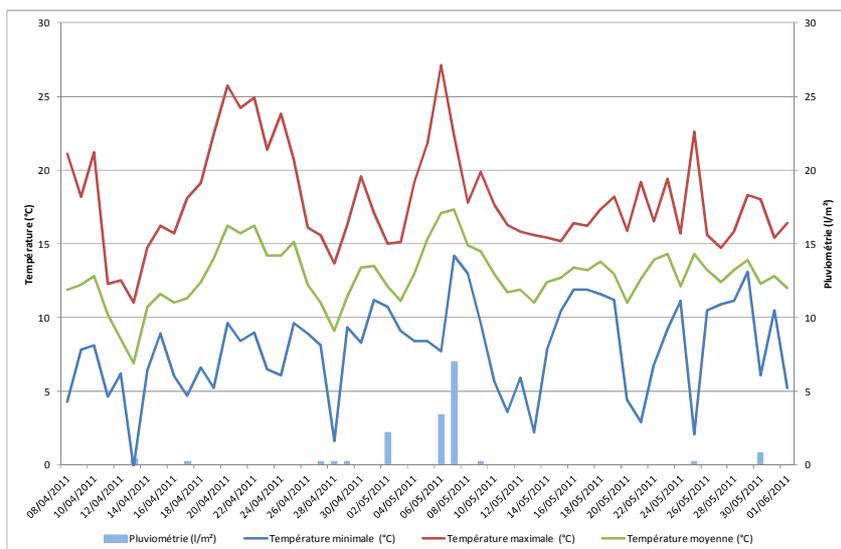
## Mise en place de l'interculture de moutarde :

### 1. Itinéraire technique :

- Fin février 2011 : fin du chantier de récolte des carottes en place sur 2010-2011
- Fin mars 2011 : Traitement des pailles qui ont servis à pailler la carottes de conservation afin qu'elles ne perturbent pas les mises en place de culture à venir. Compte-tenu de l'humidité, la reprise est consommatrice en temps et délicate.
- Début avril : vibroculteur sur une profondeur de 20cm environ puis roto bêche sur 15 cm de profondeur environ de manière à détruire et incorporer les restes de pailles
- 06 avril 2011 : labour sur 30cm environ
- 07 avril 2011 : apport d'ammonitrate (200kg/ha)
- 08 avril 2011 : semis au semoir céréales de moutarde Etamine à raison de 18kg/ha théorique - semis sur 8 planches de 1,70m de large au total - 10 rangs par planche
- 1<sup>er</sup> juin 2011 : Enfouissement de la moutarde
  - 1<sup>er</sup> tracteur : broyage
  - 2<sup>nd</sup> tracteur : enfouissement par roto bêche
- Début juin : Irrigation à l'enrouleur, 15mm apportés en 2 passages

*Remarque : le producteur n'a pas souhaité irriguer l'inter-culture. L'irrigation réalisée après enfouissement correspond à une irrigation réalisée sur une culture voisine d'orge et dont a bénéficié le terrain initialement occupé par la moutarde. La couverture en irrigation n'est pas totale et les systèmes d'enrouleur ne sont pas fixes et bénéficient aux cultures définies comme prioritaires par le producteur.*

### 2. Climat durant la période d'implantation de l'inter-culture



**Figure 11 : Températures et pluviométrie durant la période d'implantation de l'interculture de moutarde (Station météorologique de Bretteville)**

La période est relativement sèche et l'irrigation impossible sur la parcelle. Le développement de l'interculture a pu être affecté (moindre rendement, problème de germination...). Les températures sur la période (12,8°C en moyenne) doivent permettre une bonne croissance de la moutarde.

### 3. Croissance et développement de la moutarde :

#### Levée des plantes

Deux notations ont été effectuées au 28 avril 2011 (soit 21 jours après semis) et au 18 mai 2011 (soit 41 jours après semis) pour apprécier le nombre de plantules levées.

**Tableau 11 : Suivi de la densité de semis de moutarde**

28/04/2011 Moutarde 10 rangs													
1 mètre linéaire	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	MOYENNE	ECART TYPE		Nb graines/ha estimé	Nb kg/ha
RANG DE DROITE	42	44	33	33	30	27	46	39	36,8	7,0		2 340 000	7,5
RANG DE GAUCHE	57	32	32	35	6	49	41	39	36,4	15,0		2 340 000	7,5
18/05/2011 Moutarde 10 rangs													
1 mètre linéaire	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	MOYENNE	ECART TYPE		Nb graines/ha estimé	Nb kg/ha
RANG DE DROITE	22	57	46	71	56	12	50	69	47,9	21,0		4 140 000	13,2
RANG DE GAUCHE	53	29	46	73	51	41	60	71	53,0	14,9		4 260 000	13,6



**Figure 12 : Illustration du développement de la moutarde au 18 mai 2011**

La levée de la culture a été lente compte tenu des conditions climatiques sèches et de la non possibilité pour le producteur d'irriguer.

La densité finale obtenue est quelque peu inférieure aux prévisions avec 13,5kg de graines levées / ha environ contre 18kg/ha semés.

## Etat de la culture avant enfouissement

Compte tenu de l'hétérogénéité parcellaire en terme d'humidité de sol, il a été défini 2 zones de notation :

- Zone dite « sèche » correspondant à l'entrée de parcelle
- Zone dite « humide » correspondant au milieu et fond de parcelle

Les résultats de prélèvements au 03 juin 2011 pour évaluation de la biomasse fraîche et du taux de matière sèche sont présentés dans la figure 2 ci-après.

Zone	Rendement matière fraîche(t/ha)		Rendement matière sèche (t/ha)		Taux de matière sèche
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
Sèche	16,9	5,8	3,0	0,8	18%
Humide	24,3	5,4	3,9	0,3	16%

**Figure 13 : Apport estimé de l'interculture de moutarde**



**Figure 14 : Illustration du développement de la culture de moutarde au 1<sup>er</sup> juin 2011 soit juste avant enfouissement.**

Le développement de la moutarde a été satisfaisant et la quantité de matière à incorporer intéressante pour juger de l'effet de l'interculture.

Le stade d'enfouissement correspond au stade préconisé pour un effet assainissant maximal de la culture, à savoir premières siliques formées sur environ 10cm de la hampe florale.

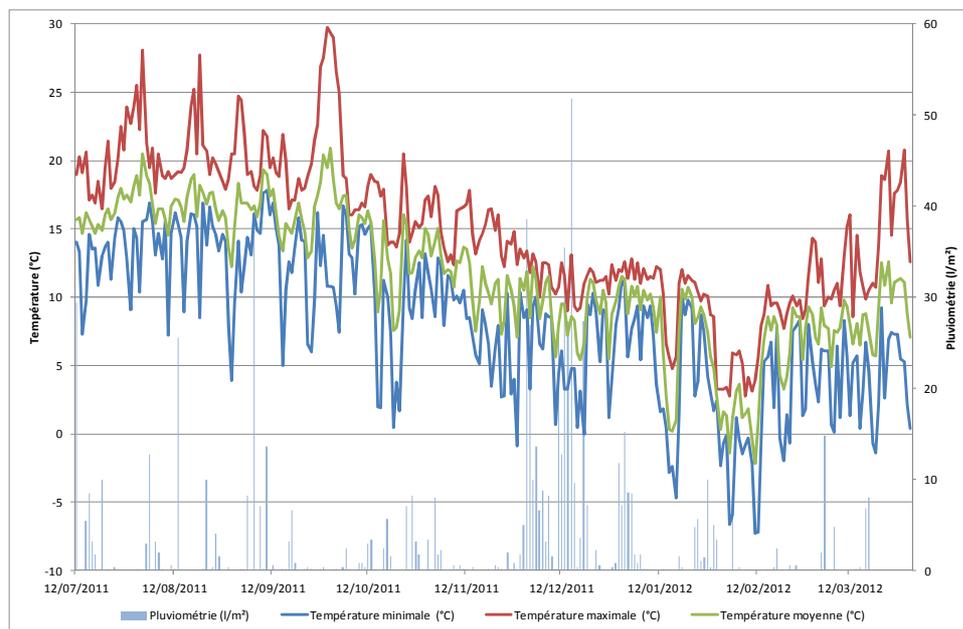
## **Mise en place de la culture de poireau :**

### **1. Itinéraire technique**

- 11 juillet 2011 : Labour à 30cm de profondeur environ
- 12-13 juillet 2011 : Plantation des poireaux
  - Roto bêche juste avant plantation
  - Irrigation localisée aux trous de plantation juste après plantation
- 16-17 juillet 2011 : Application de fumier de terrage
- Fertilisation :
  - 09 août 2011 : Engrais ternaire 12-10-20 à raison de 500 kg/ha
  - 18 août 2011 au binage : Nitrate de potasse (13-0-45) à raison de 200 kg/ha
  - 15 septembre 2011 avant buttage : Nitrate de potasse (13-0-45) à raison de 200kg/ha
  - 24 février 2012 au buttage : Nitrate de potasse (13-0-45) à raison de 250kg/ha

- Buttage :
  - 18 août 2011 : premier binage – buttage
  - 15 septembre 2011 : buttage
  - 25 février 2012 : buttage
- Protection sanitaire :
  - Désherbage mécanique + chimique : passages réguliers en cours de culture
  - Protection thrips, mineuses et rouille
- Récolte sur la seconde quinzaine de mars 2012

## 2. Climat durant la période d'implantation de la culture de poireau



**Figure 15 : Températures et pluviométrie durant la période d'implantation de l'interculture de moutarde (Station météorologique de Bretteville)**

**Tableau 12 : Récapitulatif mensuel des températures et pluviométrie journalière moyenne sur la période d'implantation de la culture de poireau**

	jul-11	août-11	sept-11	oct-11	nov-11	déc-11	janv-12	févr-12	mars-12	Moyenne
Température moyenne (°C)	16,4	16,7	16,7	13,8	11,2	9,2	7,5	4,5	8,6	11,4
Pluviométrie journalière moyenne (l/m²)	1,6	2,1	2,7	1,5	0,9	11,1	2,3	0,4	1,2	2,7

Par opposition à la période relativement sèche avant implantation, les cultures ont bénéficié de pluies régulières et de températures douces sur la période estivale. La croissance et le développement des cultures de poireau a pu se poursuivre sur l'automne et une partie de l'hiver compte-tenu des températures douces enregistrées jusqu'à décembre, voire janvier 2012.

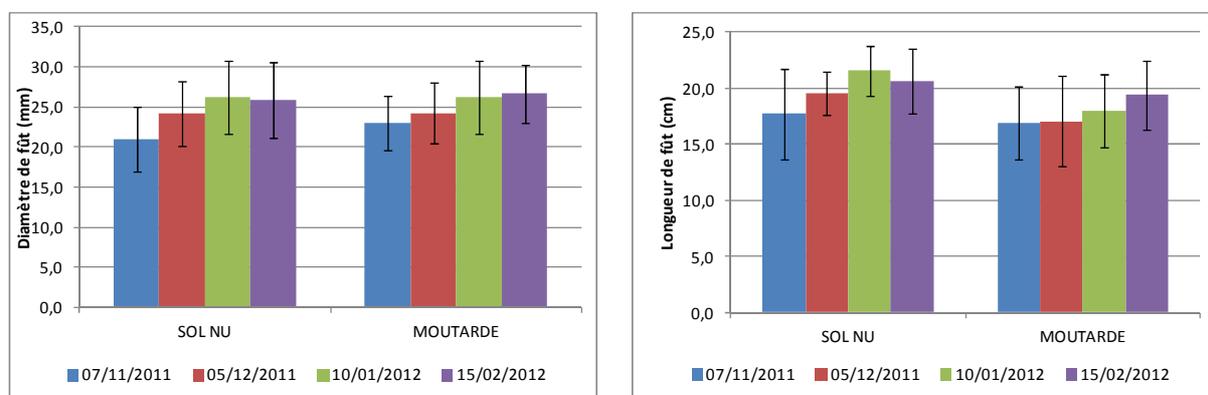
## 3. Notations intermédiaires



**Figure 16 : Vue générale de la parcelle de poireau (07/10/2011)**

4 notations ont été effectuées (07/11/2011, 05/12/2011, 10/01/2011 et 15/02/2011) sur 8 parcelles élémentaires à raison de 30 poireaux par parcelle élémentaire soit 60 poireaux par antécédent cultural (moutarde ou sol nu).

Ont été suivis le diamètre, la longueur de fût et l'apparition de symptômes de racines roses



**Figure 17 : Diamètre et longueur de fût à date de notation intermédiaire en fonction de l'antécédent de culture**

**Tableau 13: Taux de présence de symptômes de racines roses sur les échantillons prélevés**

	07/11/2011	05/12/2011	10/01/2012	15/02/2012
MOUTARDE	6,0%	5,0%	0,0%	1,7%
SOL NU	6,0%	1,7%	1,7%	1,7%

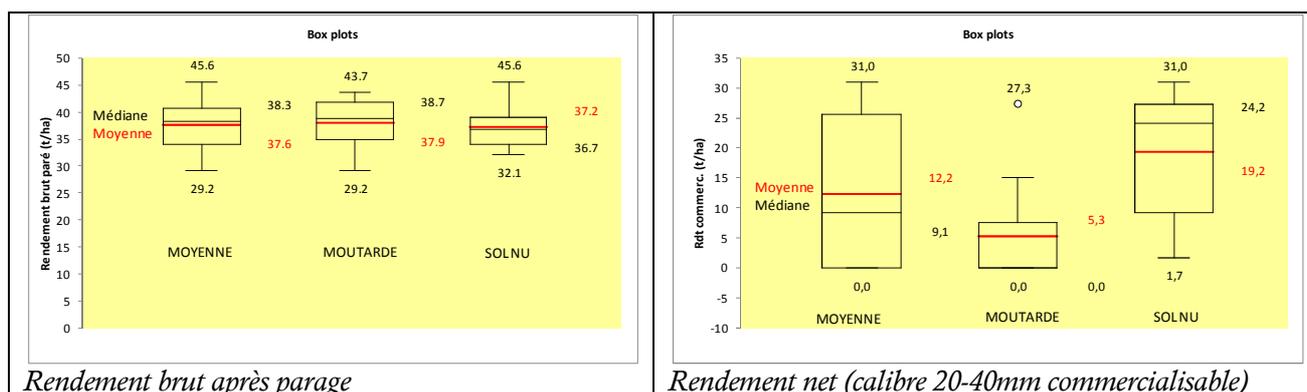
La longueur de fût des poireaux sur antécédent moutarde est plus courte que sur sol nu. Les autres variables enregistrées sont comparables quelque soit l'antécédent.

#### 4. Notations à la récolte : Prélèvements du 08 mars 2011

De même que pour les notations intermédiaires, la notation a été effectuée sur 4 parcelles élémentaires à raison de 4x25 poireaux :

- Zone : Entrée de parcelle (zone dite « sèche ») / Milieu de parcelle (zone dite « humide »)
- Précédent : moutarde / sol nu

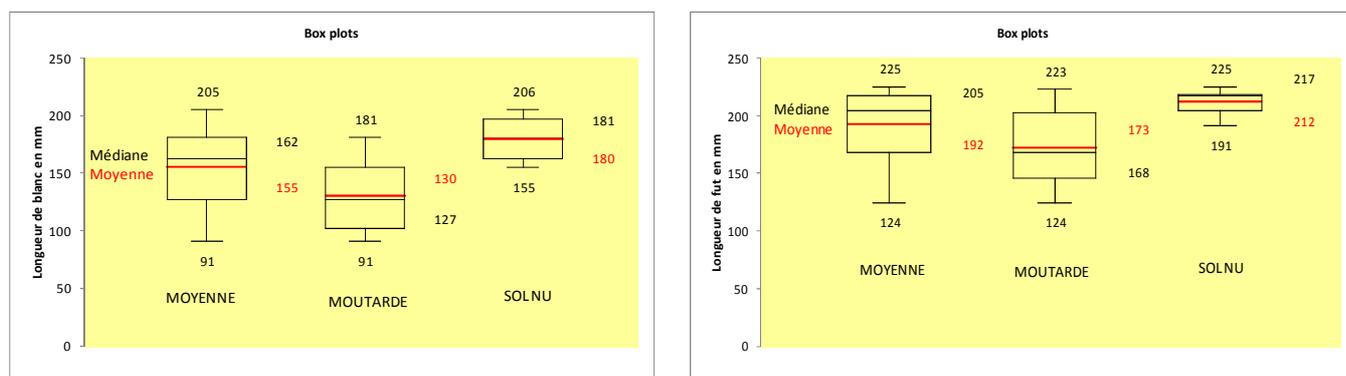
#### Rendement



**Figure 18 : Rendement brut et Rendement net estimé en fonction de l'antécédent "intercultures"**

Si les rendements bruts moyens à l'hectare restent sensiblement les mêmes, le rendement commercialisable ou rendement net est très inférieur pour l'antécédent moutarde. La culture reste globalement assez hétérogène et le rendement net relativement faible selon nos estimations, y compris sur la partie sans moutarde.

**Longueur de fût et longueur de blanc**

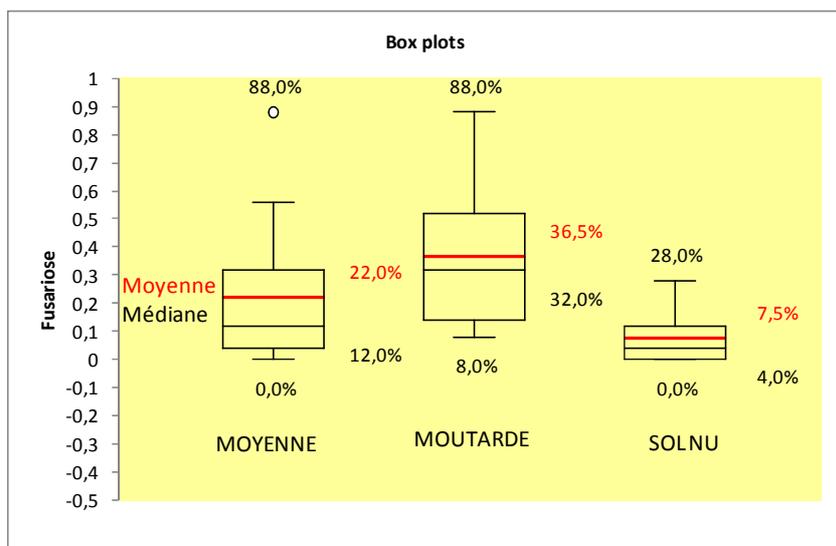


**Figure 19: Longueur de fût et longueur de blanc des poireaux récoltés en fonction de l'antécédent « interculture »**

Les différences de rendement net s'expliquent principalement par une différence de longueur de fût, et surtout de longueur de blanc entre les zones « avec moutarde » et « sol nu ». Les diamètres de fût (résultats détaillés non présentés) sont équivalents entre zone « moutarde » et « sol nu » (résultats non présentés).

**Développement de symptômes de dépérissement ou de racines roses**

La culture n'a pas été concernée par des dépérissements précoces. En cours de culture, d'après les notations intermédiaires, la pression s'est avérée faible. La Figure 10 présente la proportion de poireaux atteints à la récolte pour la zone « Interculture moutarde » et la zone « Sol nu ».



**Figure 20 : Pourcentage de poireaux récoltés concernés par la fusariose (tous types de symptômes confondus)**

Les symptômes de fusariose repérés sont de deux types :

- Nécrose caractéristique du fût des poireaux. Ce symptôme, celui relevé sur les notations intermédiaires est très peu présent et présent de façon équivalente que ce soit sur la parcelle ayant reçue la moutarde (2% du total des poireaux est atteint) ou sur le témoin (1% du total des poireaux est atteint).
- Légère nécrose des racines centrales du plateau racinaire. Ce symptôme est nettement plus présent sur la parcelle ayant reçue la moutarde.

#### 8.3.4.3. Conclusion et perspectives

L'essai mis en place directement en situation de production a été l'occasion de mettre en avant un certain nombre de limites et de points de blocage

La mise en place de l'interculture de moutarde au printemps a posé de gros soucis, notamment en terme de gestion des pailles utilisées pour la conservation de la carotte. De plus cette mise en place coïncide avec une période de pleine activité de récolte sur la zone. Une mise en place plus précoce pour des parcelles mises en conservation est ingérable.

Les possibilités d'irrigation de l'interculture ont été limitées et n'ont pas permis la pleine expression du potentiel de la moutarde, même s'il est resté correct.

L'interculture de moutarde a hébergé (constat visuel sans dénombrement spécifique) de la mouche du chou et du puceron. Une culture de rutabaga voisine a par la suite été relativement concernée par les dégâts de mouche également. Pour des assolements comprenant souvent une base de *Brassicacées*, la moutarde brune est-elle la meilleure interculture possible, ce malgré ses vertus assainissantes ?

A la mise en place du poireau, plus d'un mois après enfouissement et en conditions relativement sèches, la moutarde s'est avérée pénalisante puisqu'elle a « asséchée » le sol selon le producteur. Les poireaux n'ont pas pu être enfoncés assez à la plantation. Cet effet n'a pu être récupéré totalement par la mise en œuvre des binages-buttages en cours de culture.

Les résultats agronomiques sont de fait très inférieurs pour la partie réalisée sur antécédent moutarde à cause des problèmes d'implantation probablement. On trouve également une sensibilité quelque peu supérieure aux racines roses et dépérissement sur cette partie.

La mise en pratique des intercultures doit tenir compte de l'ensemble des cultures et pratiques d'un producteur, voire d'un bassin de production pour vérifier qu'elles ne génèrent pas plus d'effets négatifs que positifs. Dans notre cas les limites en terme de possibilité d'irrigation et le choix de la famille botanique de l'interculture ont pu être préjudiciables aux cultures mises en place sur la parcelle (poireau) ou à proximité (rutabaga). Les références sont indispensables à une mise en pratique efficace.