

## **Mémoire**

présenté par

**MARIE DUPRE**

Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

Mention ERM

Spécialité « De l'Agronomie à l'Agroécologie »

1

# **TRAQUE AUX ASSOCIATIONS D'ESPECES EN MARAICHAGE SOUS ABRI : UN LEVIER POUR GERER LA SANTE DES PLANTES ?**

Pour l'obtention du diplôme de Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

et du diplôme

d'Ingénieur Agronome d'AgroParisTech

Enseignant responsable du stage : Chantal LOYCE

Maîtres de stage : Chloé SALEMBIER & Jean-Marc MEYNARD

## REMERCIEMENTS

Merci à Chloé et Jean-Marc, une association de maîtres de stage dont les effets sont incontestablement bénéfiques.

Merci aux agriculteurs rencontrés, de partager ainsi leur savoir. J'espère avoir retranscrit fidèlement leur pensée.

Merci à Benjamin, la meilleure compagnie qui soit pour aller compter des insectes le mercredi matin.

Merci à Cédric Canals, de nous avoir accueillis parmi ses tomates.

Merci à toutes les personnes que j'ai eu la chance de rencontrer pendant cette traque, pour leur aide.

Merci à ma tutrice Chantal Loyce, pour ses conseils.

Merci à Sophie Ricard, pour son travail sur lequel je me suis appuyée.

Merci à toute l'équipe de l'INRA d'Alénia, d'accueillir ses stagiaires mieux que des princes.

Merci à Anna, Hélène et Laura, pour tout.

## GLOSSAIRE

**Auxiliaire (= ennemi naturel) :** « Un auxiliaire de culture est un être vivant qui détruit les ravageurs ou atténue leurs effets. Il s'agit souvent d'animaux consommant les ennemis des cultures (insectes comme les coccinelles, les carabes, des araignées, des vers, certains oiseaux, des chauves-souris...); mais on trouve aussi des parasites ou des micro-organismes (bactéries, champignons, ..) provoquant des maladies au sein des populations de ravageurs. » (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt).

**Bioagresseur :** ensemble des organismes vivants causant des dommages aux cultures, comprenant les ravageurs (insectes, nématodes, acariens...), les maladies (champignons ou bactéries), les virus et les adventices.

**Gestion de la santé des plantes :** ensemble des actions de l'agriculteur visant à limiter/réduire les dégâts et dommages causés aux plantes par les bioagresseurs

**Innovation :** intégration d'une nouveauté (invention) dans un système social (ex : l'exploitation agricole) piloté et en interaction avec le marché

**INRA :** Institut National de Recherche Agronomique

**Itinéraire technique :** « combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée. » (Sebillotte, 1974)

**Lutte biologique :** la définition officielle (de l'OILB-SROP) stipule que la lutte biologique est « l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs »

**Palissage :** acte technique qui consiste à conduire une plante, souvent sur une structure (fil, filet,...), en y attachant sa tige principale voire ses ramifications, dans certains cas à l'aide de liens

**Plante de service :** plante annuelle cultivée lors de la période d'interculture ou en association à la culture en place, dont l'implantation vise à rendre différents services tels que la protection contre les bioagresseurs, l'attraction des auxiliaires, un meilleur usage des ressources... (Launais & al, 2014)

**Pratique :** « la pratique est de l'ordre de l'action et s'inscrit dans un contexte particulier situé dans l'espace et dans le temps » (Landais & al, 1988)

**Protection intégrée :** « application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, chimiques, physiques, culturelles ou mettant en œuvre l'amélioration des végétaux. L'emploi de préparations phytopharmaceutiques y est limité au strict nécessaire pour maintenir les populations d'organismes nuisibles en dessous du seuil à partir duquel apparaissent une perte ou des dommages économiquement inacceptables » (Launais & al, 2014)

**Système de culture (SDC) :** « un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Chaque système se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés. » (Sebillotte, 1990)

**Tunnel :** abri de maraîchage non chauffé composé d'une structure métallique recouverte d'une bâche, les cultures y poussent dans le sol

## TABLE DES MATIERES

GLOSSAIRE.....	3
II)..... Eléments de contexte	6
A) Les enjeux : réduire l'utilisation des pesticides en maraîchage sous abri dans des schémas de production orientés vers les circuits courts de commercialisation.....	6
B) Le projet 4SYSLEG : la piste des associations d'espèces.....	8
III)..... Etat de l'art	8
A) Associations et gestion de la santé des plantes.....	8
B) Traque à l'innovation.....	10
IV)..... Problématique	11
V)..... Matériel & Méthode	13
A) Dispositif 1.....	13
B) Dispositif 2.....	16
VI)..... Résultats	18
A) Dispositif 1.....	18
1) Description de l'échantillon.....	18
2) Description de neuf choix techniques.....	18
3) Typologie des stratégies de gestion de la santé des plantes via des mécanismes biologiques de régulation naturelle à l'œuvre dans les associations.....	18
B) Dispositif 2.....	35
VII)..... Discussion transversale	41
A) Des pistes pour la Recherche.....	41
B) Originalité de la méthode d'étude et apprentissages méthodologiques.....	43
C) Le défi de l'analyse agronomique « multi-sourcée ».....	44
VIII)..... Conclusion	46
BIBLIOGRAPHIE.....	47

## TABLE DES FIGURES & TABLEAUX

Figure 1 : l'association d'espèces, une stratégie de lutte biologique intégrée (adaptation d'un schéma issu d'une synthèse ECOPHYTO) .....	7
Figure 2 : principaux mécanismes biologiques des associations pour réduire l'impact des bioagresseurs (Ratnadass & al, 2012) ..	7
Figure 3 : contexte agricole de la zone d'étude (source Agreste).....	12
Figure 4 : étapes d'identification des agriculteurs de la région associant sous tunnel en été .....	12
Figure 5 : association 10, une station "largeur de tunnel" permet d'observer le potentiel "effet barrière" .....	15
Figure 6 : association 5, le couple de stations diffère sur la proximité à l'aubergine ou à la cucurbitacée.....	15
Figure 7 : association 7, le couple de stations diffère sur la proximité à la tomate .....	15
Figure 8 : localisation des exploitations enquêtées .....	17
Figure 9 : nombre de cultures et de plantes de service des associations de l'échantillon .....	19
Figure 10 : Fréquence des espèces rencontrées en association .....	19
Figure 11 : cartographie des associations les plus fréquentes (logiciel GEPHI). Plus 2 espèces sont proches spatialement et reliées par un lien marqué, plus ces 2 espèces sont fréquemment associées ensemble. ....	19
Figure 12 : vue transversale de l'agencement TYPE 1, sous-type 1 .....	21
Figure 13 : photo prise en 2014 de l'association 13 (agencement "gradient de hauteur") .....	12
Figure 14 : vue transversale de l'agencement TYPE 1, sous-type 2 .....	12
Figure 15 : vue transversale de l'agencement TYPE 1, sous-type 3 .....	21
Figure 16 : vue transversale de l'agencement TYPE 1, sous-type 4 .....	12
Figure 17 : vue transversale de l'agencement TYPE 1, sous-type 5 .....	21
Figure 18 : vue aérienne de l'agencement TYPE 2, sous-type 1.....	212
Figure 19 : vue aérienne de l'agencement TYPE 2, sous-type 2.....	23
Figure 20 : portion de rang représentative de l'agencement TYPE 3, sous-type 1 .....	23
Figure 21 : photo prise en 2015 chez l'agriculteur 11, stratégie des plantes de service en pot .....	23
Figure 22 : portion de rang représentative de l'agencement TYPE 3, sous-type 2 .....	23
Figure 23: l'agriculteur 18 montre des <i>Macrolophus</i> spp. sur tabac .....	30
Figure 24 : vue aérienne et coupe transversale du tunnel associé 8 .....	32
Figure 25 : vue aérienne et coupe transversale du tunnel associé 17 .....	32
Figure 26 : vue transversale de l'association 2 et schématisation de l'effet barrière supposé .....	34
Figure 27 : vue transversale de l'association 10 et schématisation de l'effet barrière supposé .....	34
Figure 28 : vue transversale de l'association 10, prise en 2014 (courgette, haricot et concombre de gauche à droite) .....	34
Figure 29 : tunnel 1 de l'agriculteur 2 et stations de comptage .....	36
Figure 30 : traitement graphique des évolutions spatio-temporelles observées, exemple de l'acarien T. en tunnel 1.....	37
Figure 31 : Evolution spatio-temporelle de <i>Macrolophus pygmaeus</i> en station 2 (tunnel 1) .....	39
Figure 32 : Evolution spatio-temporelle de <i>Dicyphus</i> spp. en station 1 (tunnel 1).....	39
Figure 33 : Evolution spatio-temporelle des mines de tuta sur feuille en station 2 (tunnel 1) .....	37
Figure 34 : zone 3 du tunnel 1 le 10 Juin en vue transversale et zooms sur les rangs C et E.....	40
Figure 35 : zone 2 du tunnel 1 le 27 Mai en vue transversale .....	40
Figure 36 : zone 1 du tunnel 1 le 27 Mai en vue transversale .....	40
Tableau 1 : présentation de 7 travaux de "traque à l'innovation en ferme" .....	99
Tableau 2 : tableau récapitulatif des agriculteurs de l'échantillon : leur association et le contexte de leur système de production .....	17
Tableau 3 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°1 .....	27
Tableau 4 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°2 .....	28
Tableau 5 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°3 .....	30
Tableau 6 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°4 .....	32
Tableau 7 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°5 .....	34
Tableau 8 : hypothèses du protocole mis en place dans l'association 2 en 2015 .....	36
Tableau 9 : récapitulatif des motivations et choix techniques impactés dans les associations .....	42
Tableau 10 : éléments de référence des agriculteurs pour évaluer la performance de leur association.....	36

## I) Introduction

L'association d'espèces est une pratique agricole qui consiste à cultiver simultanément sur une même parcelle plusieurs espèces, pendant au moins une partie de leur cycle de culture. Les associations les plus emblématiques sont l'agroforesterie, les mélanges céréales-légumineuses ou le « jardin créole ». L'association en maraîchage sous abri froid (tunnel) reste à ce jour encore peu explorée, bien que cette pratique s'avère prometteuse pour développer des systèmes économes en pesticides. .

Les recherches de l'unité expérimentale de l'INRA d'Alénya, spécialisée en maraîchage sous abri, s'inscrivent dans les enjeux de cette filière en pleine mutation. Le projet d'expérimentation 4SYSLEG, cadre de ce travail, prend en compte les contraintes des circuits de commercialisation (circuit court - CC ou long - CL) et des cahiers des charges (AB ou conventionnel) dans la conception de systèmes maraîchers sous abris froids économes en produits phytosanitaires (cadre ECOPHYTO). Ce stage a pour objectif d'alimenter la conception participative des systèmes de culture (SDC) expérimentés dans ce projet en apportant des connaissances sur la pratique de l'association d'espèces. Plus précisément, ce travail vise à repérer, décrire et analyser des associations d'espèces développées sous tunnel chez les maraîchers dans les Pyrénées-Orientales (66) et l'Aude (11). Ces trois étapes de travail sont regroupées sous le terme de « traque » aux associations d'espèces. Compte tenu de l'objectif du projet 4SYSLEG, nous étudierons la pratique de l'association en lien avec les enjeux de santé des plantes.

Après avoir présenté le contexte du projet, nous établirons un état de l'art sur les mécanismes biologiques de gestion de la santé des plantes à l'œuvre dans les associations d'espèces, et sur les travaux de traque à l'innovation en ferme. Cela nous amènera à la problématique qui a guidé ce stage. Nous présenterons ensuite les deux dispositifs qui ont été conçus et mis en place pour répondre à cette problématique : une traque avec enquêtes chez des maraîchers pratiquant l'association d'espèces sous tunnel, et un suivi hebdomadaire d'un tunnel associé chez un des maraîchers enquêtés. Les résultats recueillis par les deux dispositifs seront présentés séparément puis discutés de manière transversale.

## II) Éléments de contexte

### A) Les enjeux : réduire l'utilisation des pesticides en maraîchage sous abri dans des schémas de production orientés vers les circuits courts de commercialisation

En comparaison à d'autres filières de production végétale, le maraîchage est une activité très complexe. Le maraîcher doit gérer une grande diversité d'espèces au même moment sur l'exploitation, ayant des cycles de cultures très courts (3 à 7 mois), ce qui requiert une anticipation permanente. De plus, il a entre la plantation et l'arrachage de multiples tâches quotidiennes ou hebdomadaires à réaliser sur la parcelle, dont très peu peuvent être mécanisées: taille, ébourgeonnage, palissage, fertirrigation, aération, surveillance des bio-agresseurs, traitements ou lâchers et récolte deux à trois fois par semaine.

Le secteur maraîcher est aujourd'hui en pleine mutation. Il doit faire face à une forte pression législative (ECOPHYTO) et commerciale (attentes des consommateurs) pour réduire les pesticides utilisés. Or en maraîchage sous abri, la gestion de la santé des plantes est particulièrement complexe en raison :

- de la grande diversité du cortège de bio-agresseurs aériens et telluriques : insectes, acariens, nématodes, virus, champignons, bactéries...
- des évolutions très rapides des facteurs biotiques (ravageurs, auxiliaires, maladies) et abiotiques (température, hygrométrie...) dans le milieu confiné du tunnel
- du grand nombre d'interactions entre leviers pour gérer la santé des plantes (ex : le bassinage est une technique d'aspersion utilisée pour lutter contre *Tetranychus urticae* (acarien tétranyque) mais qui favorise le développement de certaines maladies comme *Botrytis cinerea*)
- des forts impacts des attaques de bio-agresseurs sur le rendement commercialisable, notamment à cause de l'exigence de qualité visuelle des légumes.

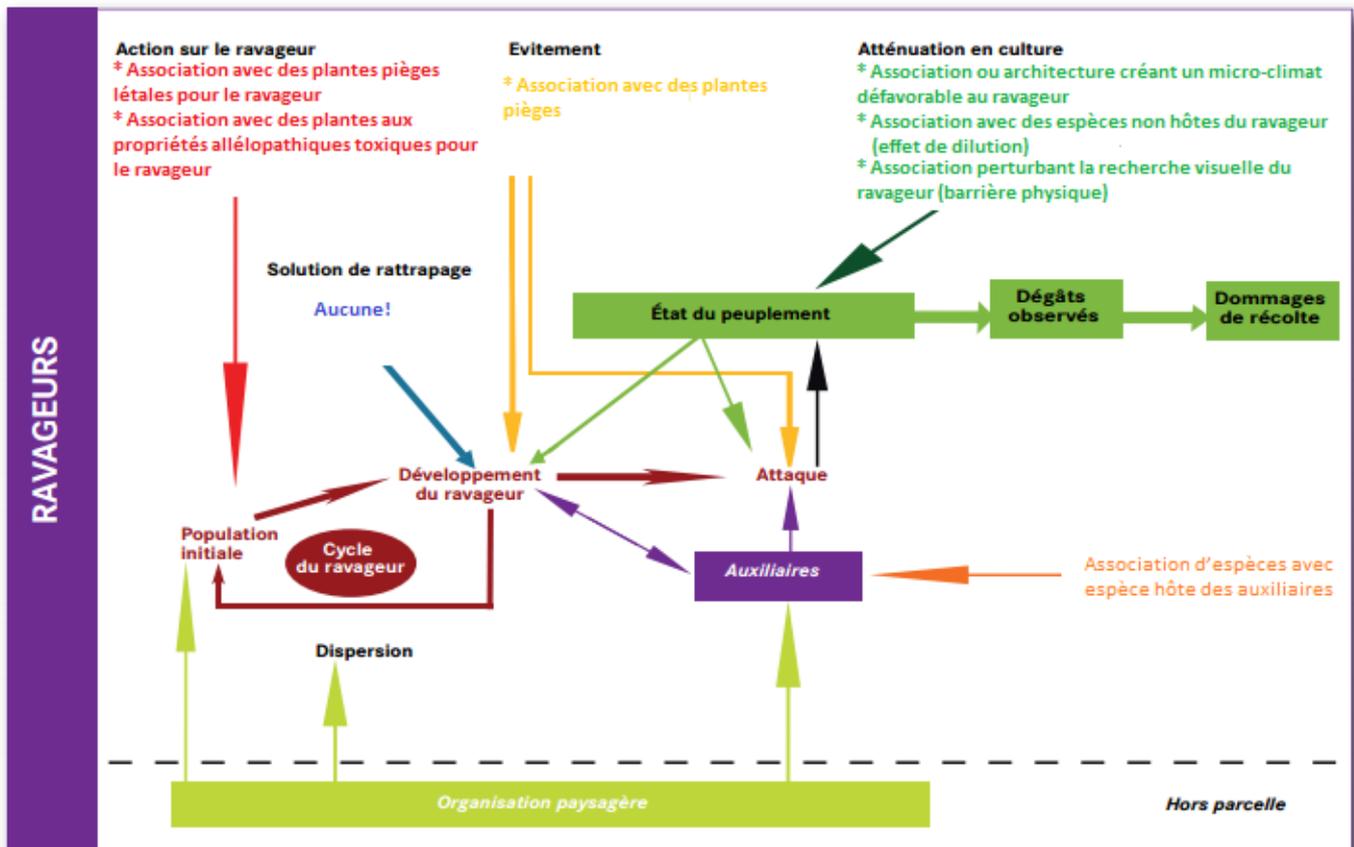


Figure 1 : l'association d'espèces, une stratégie de lutte biologique intégrée (adaptation d'un schéma issu d'une synthèse ECOPHYTO)

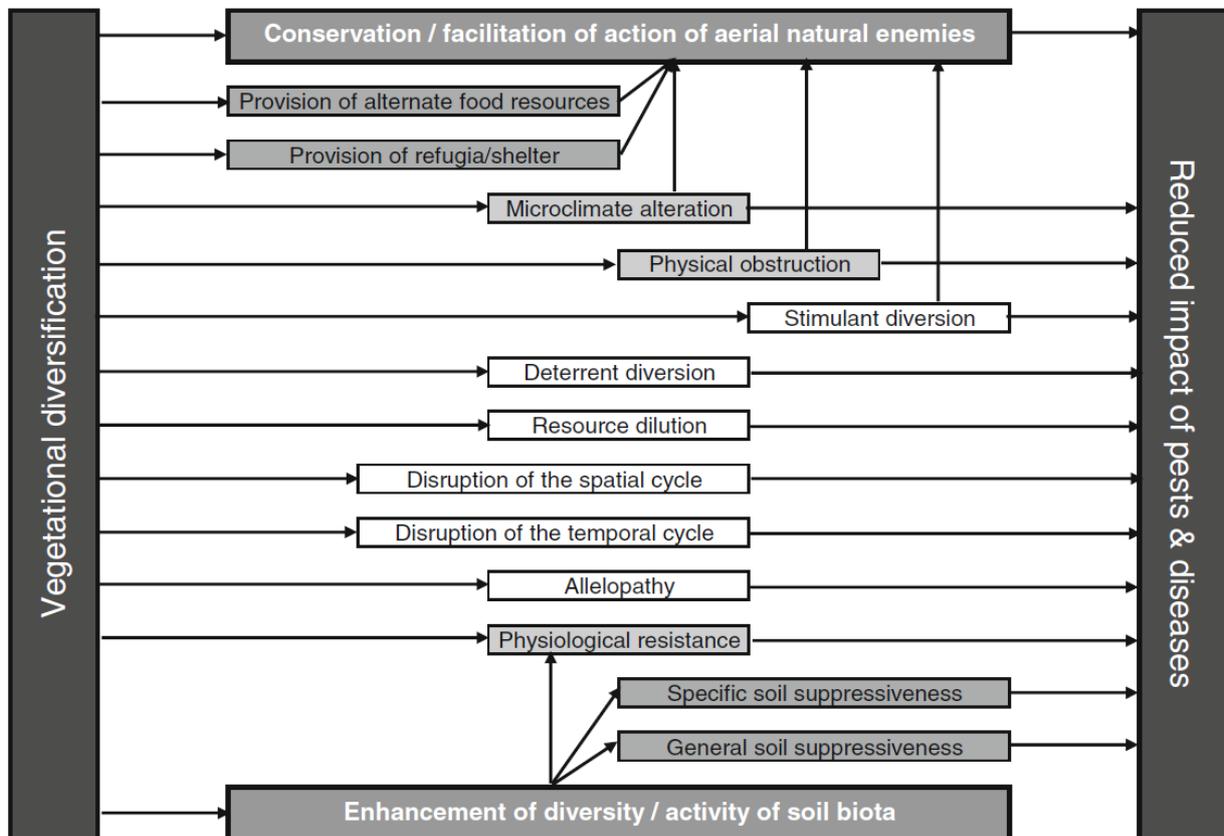


Figure 2 : principaux mécanismes biologiques des associations pour réduire l'impact des bioagresseurs (Ratnadass & al, 2012)

Dans une région où, historiquement, les producteurs se sont tournés vers l'export (plateforme européenne d'échange de fruits et légumes St Charles), de plus en plus de producteurs commercialisent en circuit court ou hybrident leurs circuits de commercialisation (CC + CL). Les « circuits courts » correspondent à la vente directe au consommateur (AMAP, marché...) et la vente avec un seul intermédiaire (Biocoop, marché de producteurs...) (définition du Ministère de l'agriculture, l'agroalimentaire et la forêt). Ce mode de commercialisation exige de l'agriculteur une production plus diversifiée que les circuits longs (export, grandes surfaces...), et des exigences différentes en terme de qualité des produits (Bressoud, 2009).

## B) Le projet 4SYSLEG : la piste des associations d'espèces

L'équipe de l'INRA d'Alénya travaille depuis trois ans sur un dispositif d'expérimentation système (4SYSLEG) visant à concevoir et évaluer des systèmes de culture innovants, et notamment dans le cas de systèmes en circuit court, répondant au double enjeu de: réduire les pesticides et produire diversifié. Face à ces enjeux, dans le processus de conception, la pratique de l'association d'espèces est apparue comme une opportunité d'utiliser la diversité des espèces cultivées dans les exploitations comme levier pour gérer la santé des plantes.

Dans le cadre de ce mémoire, on entendra par la pratique d'« association d'espèces » le fait de cultiver plus d'une espèce dans un même tunnel de maraîchage. Ce n'est pas la pratique majoritaire, les tunnels étant classiquement monospécifiques. Bien que quelques publications scientifiques soulignent le potentiel des associations comme levier pour gérer la santé des plantes (Ratnadass & al, 2012), trop peu de connaissances sont disponibles pour concevoir et piloter ces systèmes en maraîchage sous abri (cf. partie IIIA). Ce stage vise à alimenter les questions suivantes soulevées dans le cadre du projet 4SYSLEG : pour concevoir des associations d'espèces performantes en maraîchage sous abri, comment choisir les espèces et leur disposition afin d'optimiser les mécanismes biologiques de régulation naturelle des bioagresseurs sans pénaliser les autres performances du système ? Comment piloter en pratique (irriguer, fertiliser, traiter...) ces agroécosystèmes complexes ?

## III) Etat de l'art

### A) Associations et gestion de la santé des plantes

Malézieux & al (2007) proposent des variables et une classification pour décrire les associations d'espèces annuelles : si elles sont associées en rangs monospécifiques intercalés on parle de *row intercropping* ; si elles sont intercalées dans des rangs plurispécifiques on parle de *mixed intercropping* ; et si elles ne sont associées que sur une partie de leur cycle, on parle de *relay cropping*. On parle d'« association additive » quand chaque espèce est plantée dans l'association à hauteur de sa densité en culture pure. L'« association substitutive » qualifie une association où la densité globale (toutes espèces confondues) est égale à la densité en culture pure d'une des espèces. Et « l'association intermédiaire », qualifie une association où la densité globale dans le tunnel est supérieure à celle d'une culture pure mais inférieure à l'addition de celles des deux cultures pures.

Une méta-analyse (Andow, 1991) montre, sur 209 études de cultures associées impliquant 287 espèces différentes d'insectes parasites, que les insectes étaient dans 52% des cas significativement moins nombreux qu'en peuplement pur, et significativement plus nombreux dans 15% des cas. Les associations d'espèces sont vues aujourd'hui comme un possible levier de la protection biologique intégrée (voir figure 1), permettant de limiter l'usage de produits phytosanitaires pour gérer la santé des plantes. Ratnadass & al (2012) ont identifié différents mécanismes biologiques au sein d'associations permettant de réduire l'impact des bioagresseurs (voir figure 2) :

- La « barrière physique » : si certaines plantes font écran à la dissémination de ravageurs/maladies.
- L'« effet de dilution » : si certaines plantes ne sont pas hôtes et arrêtent le cycle du bioagresseur qui ne peut s'y développer, ou perturbent sa quête de plante hôte.
- Les « effets chimiques » répulsifs ou attractifs : si certaines plantes émettent des composés qui peuvent, selon le ravageur, jouer le rôle d'attractifs (kairomones) ou de répulsifs/non appétents (allomones).

Tableau 1 : présentation de 7 travaux de "traque à l'innovation en ferme"

	Date	Objectif	Echelle d'étude	Territoire de traque	Méthode identification	Méthode analyse	Evaluation	Utilisation des résultats
Farmer-developed vegetable intercropping systems in southern Hebei, China (Feike & al)	2010	Décrire les pratiques d'association d'espèces sur un territoire	Pratique	Région agricole	Réseau d'acteurs	Description + motivations des agriculteurs	Evaluation par les agriculteurs et les conseillers agricoles	"Etat des lieux" pour les politiques publiques et la Recherche
Soil conservation practices in organic farming: overview of French farmers' experiences and contribution to future cropping systems design (Lefèvre & al)	2012	Décrire les pratiques d'agriculture de conservation en Agriculture Biologique en France	Pratique	Pays	Réseau d'acteurs	Typologie des cohérences agronomiques	Pas d'évaluation	Ressources pour la conception de SDC plus durables en AB valorisées en ateliers de conception
Traque des pratiques innovantes de production de fumure organique dans l'ouest du Burkina Faso (Blanchard & al)	2013	Identifier des pratiques atypiques de production de fumure organique plus performantes et durables	Pratique	Région agricole	Base de données	Typologie des cohérences agronomiques	Indicateurs construits pour l'étude	Ressources pour la Recherche et diffusion par les réseaux d'échanges paysans
Evaluation de systèmes de culture innovants conçus par des agriculteurs : un exemple dans la Pampa Argentine (Salembier et Meynard)	2013	Identifier des SDC alternatifs au modèle dominant	SDC	Région agricole	Réseau d'acteurs	Typologie des cohérences agronomiques	Indicateurs correspondants aux critères de satisfaction des agriculteurs + grille d'évaluation multicritère (INDIGO-CRITER)	Ressources pour la recherche et le conseil
Les innovations en élevages bovins et ovins allaitants : analyse et résultats d'entretiens auprès d'éleveurs et de réponses d'experts à un questionnaire (Ingrand & al)	2012	Caractériser et analyser les innovations développées par les éleveurs de bovins et ovins allaitants en Auvergne	Toute pratique atypique	Région administrative	Réseau d'acteurs	Typologie des moteurs de changement	Pas d'évaluation	Ressources pour la recherche et le conseil
Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil (Petit & al)	2012	Repérer et capitaliser sur les pratiques et les performances de SDC innovants conçus par les agriculteurs d'un réseau	SDC	Pays	Groupe de producteurs existants (FERME)	Description + Schémas décisionnels	Evaluation multicritère (MASC)	Diffusion des SDC innovants vers le conseil et les agriculteurs
Traque à l'innovation en réseau d'agriculteurs pour la co-construction de systèmes de grande culture en Agriculture Biologique (Bettencourt & al _ Agro-transfert)	2013	Capitaliser des solutions atypiques d'agriculteurs pour améliorer les performances des systèmes biologiques à dominante grandes cultures	SDC	2 régions administratives	Réseau d'acteurs (conseillers)	Description lien pratique-objectif	Evaluation outil prédéfini (MASC-AB) + mesures sur le terrain (comptage adventices) + test en parcelles expérimentales	Ateliers de co-conception, diffusion par le conseil

- L'effet ressource pour les auxiliaires : si certaines espèces fournissent des ressources alimentaires, des refuges, des sites de ponte pour des auxiliaires.
- La modification du microclimat : si l'architecture de certaines plantes ou du couvert dans son ensemble modifie le microclimat et crée des conditions moins favorables à certains bioagresseurs.
- L'allélopathie : si certaines plantes exsudent par leurs racines des composés toxiques pour des adventices.
- La stimulation de la biomasse du sol : si la diversité ou l'activité des micro-organismes du sol est augmentée et assure une suppressivité partielle ou totale des pathogènes du sol.
- L'effet « résistance physiologique » lié à une meilleure nutrition des plantes : si les plantes, en meilleur état nutritionnel, sont plus tolérantes aux bioagresseurs qui s'attaquent préférentiellement aux plantes affaiblies.

De nombreux chercheurs (58 études scientifiques recensées dans une étude de Sieffert (2012)) et quelques stations expérimentales techniques (CA Morbihan, CIVAM BIO 66) ont étudié des associations d'espèces en maraîchage. L'ensemble de ces ressources scientifiques et techniques proposent des connaissances partielles sur (i) l'analyse des mécanismes biologiques potentiels à l'œuvre en association (ii) sur des performances d'associations particulières (notamment en comparaison avec un témoin mono spécifique); mais, hormis quelques travaux récents (Gaba et al, 2015) peu nous proposent des clés pour concevoir, évaluer et piloter ces agroécosystèmes complexes en combinant les enjeux « santé des plantes » et « réalités des conditions de production ».

## B) Traque à l'innovation

L'activité de « traque à l'innovation en ferme » est aujourd'hui en cours de formalisation. Pour cette raison, ne sont présentés ici que des cas illustratifs de la traque, telle qu'elle est pratiquée par des instituts de recherche et des organismes de développement. Certaines études affichent explicitement pratiquer la « traque aux innovations » et d'autres poursuivent, sans parler de « traque », le même objectif général.

La traque à l'innovation en ferme part de la conviction que les agriculteurs sont une source de solutions innovantes répondant aux enjeux actuels. « L'objectif de la traque aux systèmes agricoles innovants est de repérer des innovations techniques, systémiques ou organisationnelles conçues par des agriculteurs, d'en caractériser les performances économiques et environnementales et d'analyser les conditions d'expression de ces performances. » (Meynard, 2014). Au-delà de cet objectif général, des travaux très divers peuvent être rattachés à cette méthode (voir tableau 1). Ils se différencient par :

- (i) l'échelle de l'objet d'étude, porte d'entrée pour l'analyse, qui peut être une pratique (ex : association d'espèces (Feike & al, 2010)) ou bien un système de culture (Salembier & Meynard, 2013).
- (ii) l'aire de répartition géographique de l'échantillon étudié qui peut s'étendre sur un pays (ex : France (Lefèvre & al, 2012)) ou une région agricole plus précise (ex : Auvergne (Ingrand & al, 2012)).
- (iii) les objectifs : réaliser un « état des lieux » d'une pratique atypique dans un territoire (ex : techniques de conservation des sols en AB (Lefèvre & al, 2012)), identifier des systèmes plus durables dans un territoire (ex : systèmes alternatifs à la monoculture de soja en Argentine (Salembier & Meynard, 2013), gestion des matières organiques au Burkina Faso (Blanchard & al, 2013)) ou encore repérer la diversité des innovations dans un secteur de production (ex : innovations chez les éleveurs de bovins et ovins allaitants (Ingrand & al, 2012)).
- (iv) l'utilisation des résultats peut s'adresser à différents acteurs : les chercheurs (Salembier & Meynard, 2013), les conseillers (Petit & al, 2012), les agriculteurs (Bettencourt & al, 2013) ou encore les acteurs des politiques publiques agricoles (Feike & al, 2010).

Le caractère atypique ou alternatif des systèmes de culture / pratiques a jusque-là été défini de deux manières : (a) des systèmes qui se différencient d'une « norme », dans les pratiques et la logique ou (b) des systèmes qui ne sont aujourd'hui pas connus (de la recherche, du développement). Les différents travaux suivent globalement les mêmes étapes.

La première étape est l'identification d'agriculteurs pour constituer l'échantillon de l'étude. L'objectif dans cette étape n'est pas d'obtenir un échantillon exhaustif de tous les producteurs qui développeraient des pratiques / systèmes de culture atypiques mais d'analyser des études de cas. Cette étape peut, dans certains cas, s'avérer

complexe dans la mesure où les « agriculteurs innovants » sont rares et ne sont pas tous inscrits dans les réseaux les plus connus ; elle peut nécessiter la combinaison de différentes méthodes pour constituer l'échantillon final. Trois méthodes ont à ce jour été formalisées : s'appuyer sur des réseaux d'acteurs (méthode « boule de neige », Salembier & Meynard (2013)), filtrer une base de données existante avec des critères spécifiques (Blanchard & al, 2013) ou encore travailler dans un groupe de producteurs existant, connu pour ses capacités d'innovation (ex : réseau FERME-Ecophyto (Petit & al, 2012)).

La deuxième étape consiste à recueillir des données par des enquêtes (questionnaires ou entretiens semi-directifs) auprès des agriculteurs retenus, pour caractériser et analyser les pratiques ou systèmes de culture rencontrés et leur cohérence agronomique. Là encore plusieurs méthodes : réaliser un schéma décisionnel pour un système de culture (Petit & al, 2012), réaliser une typologie de l'échantillon (Lefèvre & al, 2012) ou encore analyser les liens entre pratiques et motivations (Bettencourt & al, 2013). L'objectif est toujours le même : comprendre comment les pratiques sont choisies par l'agriculteur, comment elles sont combinées les unes avec les autres, en fonction du milieu et des critères de satisfaction des producteurs.

La troisième étape est l'évaluation multicritère. Certains travaux de traque ne vont pas jusqu'à cette étape. L'évaluation est réalisée soit à l'aide d'outils préexistants (ex : logiciel MASC (Petit & al, 2012)), soit à l'aide d'une grille construite sur les critères de satisfaction des agriculteurs (Salembier & Meynard, 2013). Bettencourt & al (2013) reproduisent les pratiques ou combinaisons de pratiques atypiques sur des parcelles expérimentales, afin de les évaluer par comparaison avec des pratiques plus courantes.

La quatrième étape est la clarification/la mise en lumière des enseignements des trois étapes précédentes pour les agriculteurs, la recherche et/ou le développement. Cette étape, qui n'est pas réalisée dans tous les travaux, propose d'analyser les conditions de développement des pratiques/systèmes et vise à faire émerger les résultats mobilisables par d'autres : nouvelles questions, pistes à approfondir, références pouvant inspirer la conception d'autres systèmes...

## IV) Problématique

L'existence de maraîchers associant différentes espèces dans un même tunnel a été confirmée à deux reprises dans la région (Demarque, 2010 ; Ricard, 2014). En revanche, les caractéristiques de ces associations, leurs mécanismes biologiques (cf. partie III A), leur pilotage et les motivations qui amènent les agriculteurs à les mettre en place sont peu connus. Notre projet répond à cinq questions de recherche.

*Q1 : Quelles sont les associations d'espèces pratiquées ?*

H1 : Très peu d'agriculteurs pratiquent les associations d'espèces sous tunnel, et celles-ci sont très diverses dans leur cohérence agronomique.

*Q2 : Comment les associations sont-elles gérées ?*

H2 : Ces agriculteurs adaptent la conduite de chaque espèce et les successions de cultures au fait qu'ils cultivent en association ; ils proposent des solutions techniques pionnières.

*Q3 : Pourquoi les agriculteurs conçoivent-ils ces associations ?*

H3 : Les associations pratiquées s'inscrivent dans la cohérence agronomique du producteur (vis-à-vis de ses motivations, ses savoirs, ses moyens, son analyse du milieu (Meynard & al, 2001)). Certains agriculteurs utilisent les associations comme un levier pour gérer la santé des plantes.

*Q4 : En quoi ces associations sont-elles performantes pour le producteur ? Et plus particulièrement pour gérer la santé des plantes ?*

H4 : Les agriculteurs évaluent leurs associations selon des critères de satisfaction qui leur sont propres. Les observations en parcelle des dynamiques de développement de populations de bioagresseurs/auxiliaires sont une information précieuse pour cette évaluation.

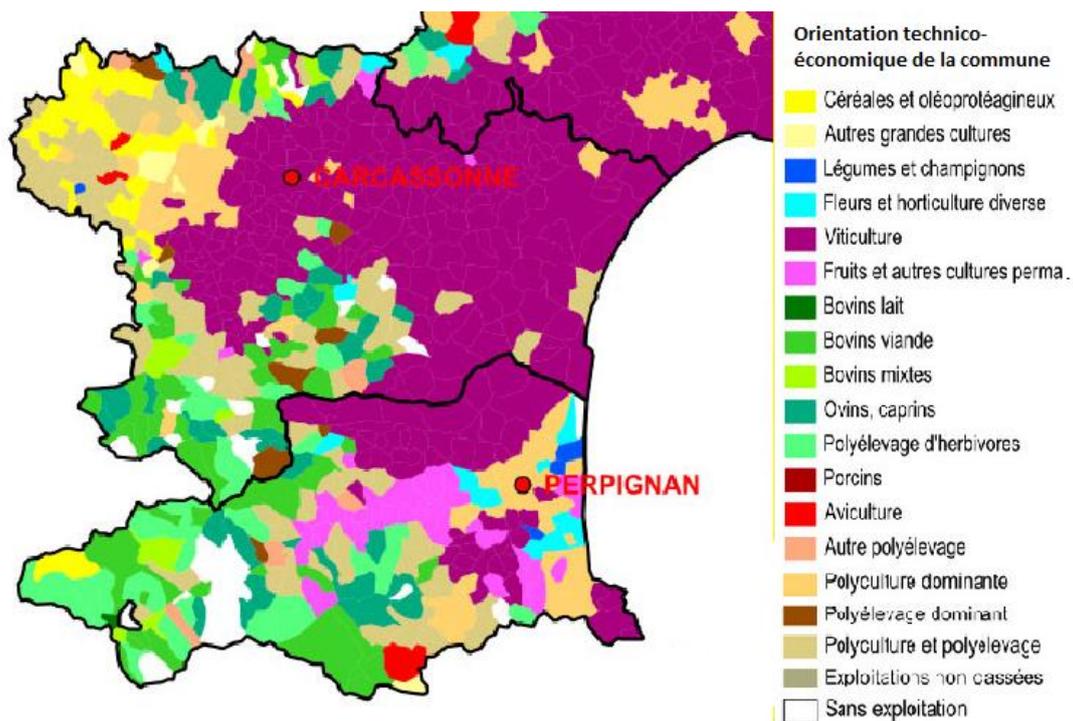


Figure 3 : contexte agricole de la zone d'étude (source Agreste)

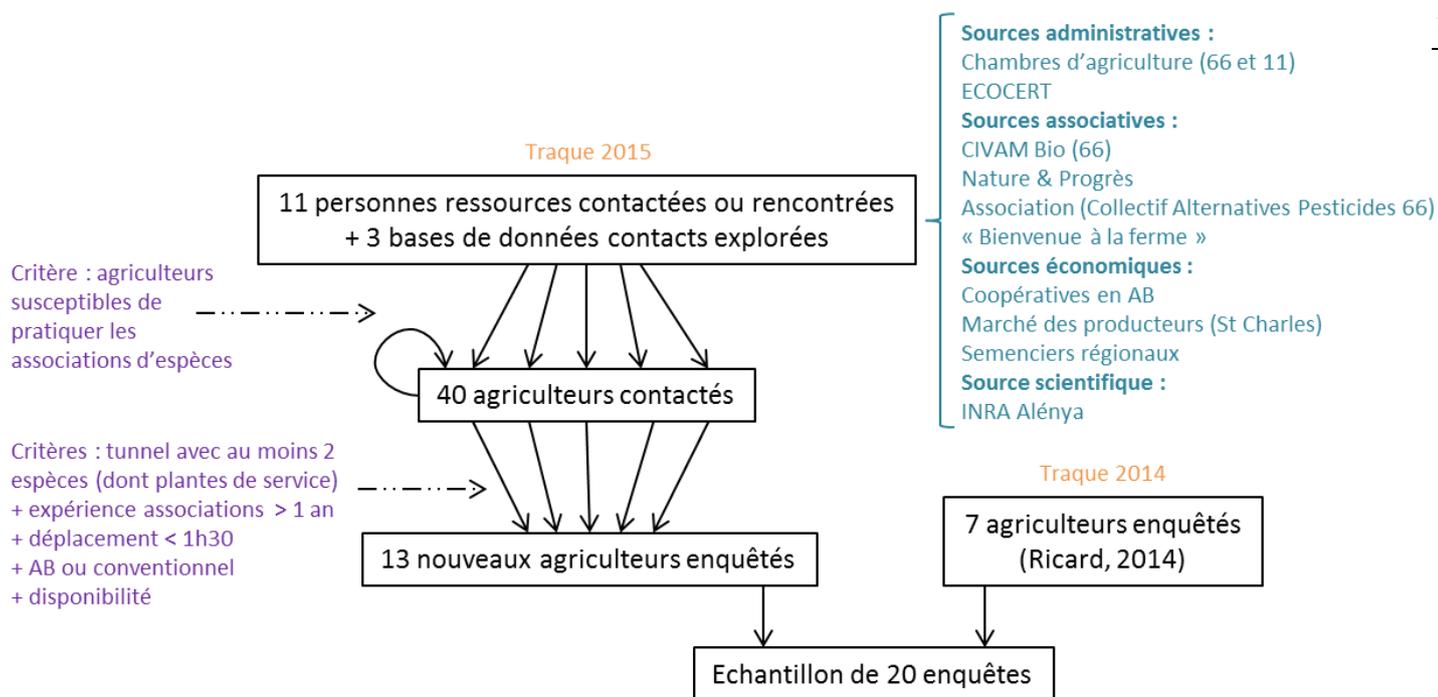


Figure 4 : étapes d'identification des agriculteurs de la région associant sous tunnel en été

Q5 : *Ces associations peuvent-elles être mobilisées par la recherche ?*

H5 : Certains agriculteurs conçoivent et gèrent leurs associations de manière originale, pouvant apporter des pistes pour la recherche si le contexte de production et le domaine de validité des pratiques mises en œuvre sont bien précisés.

L'objet d'étude est une pratique : l'association d'espèces. Mais, pour l'analyse, on s'intéresse également aux interactions entre cette pratique et d'autres composantes du système de culture, voire de production, car « Une innovation ne peut être évaluée sans considérer la manière dont elle changera l'ensemble du système de culture » (Meynard & al, 2001).

Deux dispositifs distincts ont été mis en place pour répondre à ces cinq questions. Un dispositif d'enquêtes auprès d'agriculteurs pratiquant des associations pour analyser leurs cohérences agronomiques et un dispositif de suivi pour évaluer les performances de leurs associations. Le suivi est un complément original à la méthode de traque qui permet de « compléter les enquêtes par des observations de terrain [...] pour objectiver les dires des agriculteurs et formaliser des règles de décisions. » (Lefèvre, 2012). Dans notre cas il nous permet aussi d'analyser et évaluer la performance de l'association comme levier pour gérer la santé des plantes. Ces deux volets de l'étude renvoient à deux axes du travail agronomique distingués par Sebillotte (1978) : le fonctionnement biophysique du champ cultivé [volet 2] et le raisonnement des choix de production [volet 1].

## V) Matériel & Méthode

La zone de l'étude correspond aux Pyrénées-Orientales (66) et au sud-est de l'Aude (11). Dans les Pyrénées-Orientales, le maraîchage représente une part importante de l'activité agricole (12% des exploitations agricoles en 2010 (RA 2010), voir figure 3). Dans cette région, caractérisée par un climat méditerranéen, la pratique du maraîchage sous abri permet (i) de produire de manière précoce, (ii) de réduire les durées de cycle de culture et ainsi augmenter le nombre de cultures implantées par an sur une même parcelle et (iii) de protéger les cultures du vent (Tramontane venant du Nord-Ouest).

13

### A) Dispositif 1

#### 1) Méthode d'identification

Le repérage de maraîchers associant des espèces d'été sous tunnel est mis en difficulté par le fait que : (i) les cultures sous tunnel sont « cachées », on ne peut les voir sans pénétrer dans le tunnel, (ii) les conseillers et les autres producteurs ne connaissent pas/peu les pratiques des producteurs, (iii) les producteurs manquent de disponibilité, (iv) peu de producteurs développent effectivement des associations d'été sous tunnel (la plupart ont des associations sous multi chapelle (abri plus vaste qu'un tunnel), ou uniquement en hiver...).

Plusieurs méthodes ont donc été mobilisées pour trouver ces producteurs (voir figure 4) :

1. Méthode « Boule de neige » : de proche en proche (réseaux divers : conseillers, producteurs, commerciaux, agents INRA...)
2. Méthode basée sur des hypothèses de contextes propices à l'association d'espèces :
  - exploration des circuits courts (marché des producteurs à St Charles, « Bienvenue à la ferme »...)
  - exploration des certifications environnementales (ECOCERT, CIVAM Bio 66, Nature & Progrès...)

Les agriculteurs repérés (à moins de 1h30 de déplacement) sont ensuite contactés. Le projet leur est présenté. Ils sont retenus sur les critères suivants : pratique du maraîchage sous tunnel, association d'au moins 2 espèces dans un tunnel en été et pratique de l'association depuis plusieurs années. Les 13 agriculteurs disponibles (2 refus sur 15 agriculteurs retenus) sont ensuite rencontrés lors d'une enquête d'environ 1h30 sur leur exploitation.

Sept enquêtes réalisées par une stagiaire en 2014 travaillant sur la même thématique (Ricard, 2014) ont été remobilisées dans ce travail. Par des entretiens complémentaires, nous avons complété les données recueillies. Au total, 20 enquêtes ont été réalisées.

## 2) Méthode de collecte des informations

Pour décrire les associations rencontrées chez les maraîchers et comprendre leur cohérence agronomique, nous avons réalisé des entretiens semi-directifs. Nous avons choisi de ne faire porter l'enquête que sur une seule association chez chaque agriculteur (contrainte de temps de l'entretien), pratiquée lors de l'été 2014. Travailler sur l'association de l'année précédente permet d'obtenir des informations sur le cycle complet de l'association. Le maraîcher peut ainsi évaluer les performances de l'association (gestion des bioagresseurs, satisfaction technique, économique...). On recueille trois « types » de données, pour analyser la « cohérence agronomique » de chaque pratique dans chaque exploitation :

- (i) des données factuelles : description de la pratique, de son pilotage, des éléments du système de culture et du système de production en lien avec cette pratique (voir guide d'entretien en annexe 1).
  - La pratique est décrite à l'aide de schémas réalisés avec l'agriculteur (tunnel vu du dessus, tunnel en coupe transversale et dessin des palissages atypiques éventuels), à un niveau de détail permettant de reproduire l'association : espèces, variétés, disposition, espacements, palissage...
  - Les opérations culturales (travail du sol, fertilisation, plantation, irrigation, aération, traitements, lâchers d'auxiliaires, gestion des abords du tunnel, arrachage...) sont décrites de manière à comprendre si l'association modifie certains actes techniques. Cette hypothèse découle des travaux de Ricard (2014) qui ont mis en évidence par exemple que la ferti-irrigation pouvait être ajustée selon les espèces en association. L'objectif n'est donc pas ici de recueillir en détail des données chiffrées (ex : le jour précis de plantation), mais de savoir si la pratique est modifiée du fait de l'association.
  - Les éléments du système de production (main d'œuvre, cultures de plein champ, autres abris...) sont décrits de manière à comprendre s'ils sont liés à la pratique d'association.
- (ii) des données sur les motivations du producteur qui justifient la mise en œuvre de cette pratique (« pourquoi faites-vous cela ? »)
- (iii) des données sur les performances de sa pratique, évaluées par l'agriculteur selon ses propres critères, et plus précisément l'impact sur la santé des plantes. L'évolution de l'association, depuis sa première mise en place jusqu'à l'année 2015, est également recueillie car elle apporte des données d'évaluation et de motivations (moteurs des changements opérés) sur plusieurs années. Lorsque cela a été possible, l'association de 2015 a été observée au champ pendant l'enquête.

Ces informations sont capitalisées pour chaque agriculteur sous forme de fiche de synthèse (exemple en annexe 0).

## 3) Méthode d'analyse agronomique multi-sourcée

L'analyse agronomique des données recueillies durant les entretiens se fait en deux temps. Dans un premier temps, nous analysons 9 choix techniques relatifs à la conduite de l'association, en nous référant aux motivations des producteurs (analyse de la cohérence agronomique des choix techniques) : le choix des espèces, l'agencement spatial des espèces et des variétés dans le tunnel, les rotations culturales, la gestion de l'irrigation, de la fertilisation, la plantation, l'arrachage et le palissage. Dans un second temps, nous focalisons notre attention sur l'influence de la pratique de l'association sur la gestion de la santé des plantes (approche transversale aux différentes pratiques). Nous avons réalisé une typologie basée sur le mécanisme biologique de gestion de la santé des plantes visé par l'agriculteur lors de la conception et la gestion de son association (ex : une association conçue pour un effet barrière à la dispersion des ravageurs). Pour analyser les mécanismes biologiques concernés, plusieurs sources ont été confrontées : les dires des producteurs, les résultats de la recherche d'articles scientifiques sur Web Of Science avec en mots clés les plantes et bioagresseurs/auxiliaires concernés et les données d'articles techniques et de 3 ouvrages de jardiniers amateurs. En raison de la diversité des cas rencontrés, le temps a manqué pour pouvoir produire une recherche bibliographique exhaustive. Des entretiens avec des experts locaux seront conduits en Juillet et viendront compléter cette analyse.

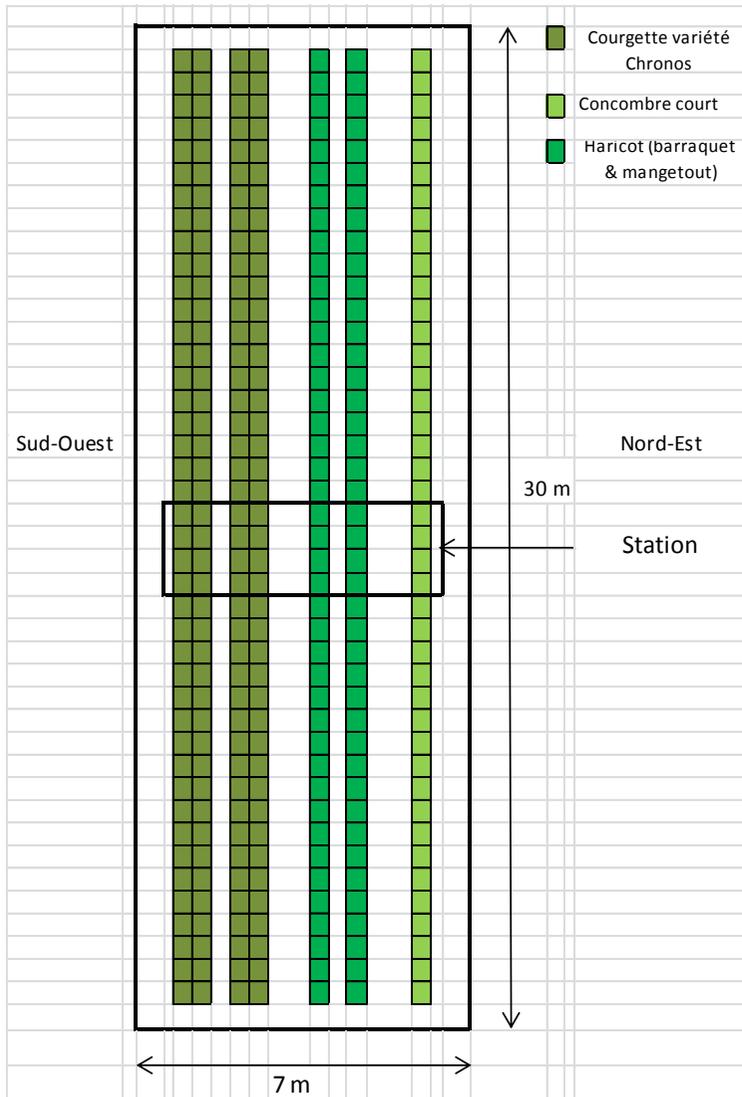


Figure 5 : association 10, une station "largeur de tunnel" permet d'observer le potentiel "effet barrière"

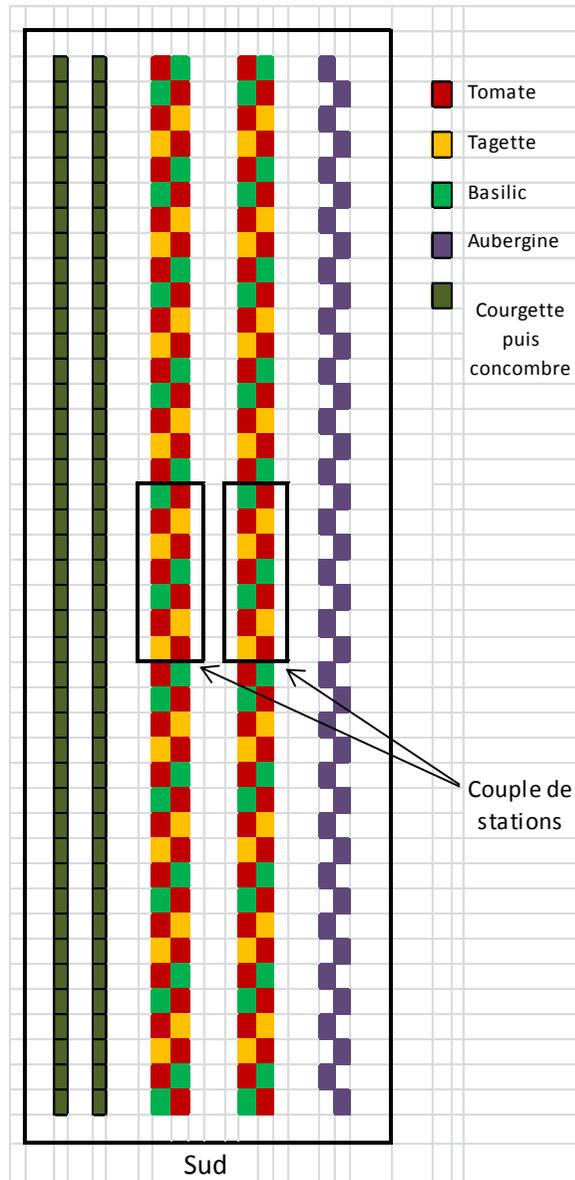


Figure 6 : association 5, le couple de stations diffère sur la proximité à l'aubergine ou à la cucurbitacée

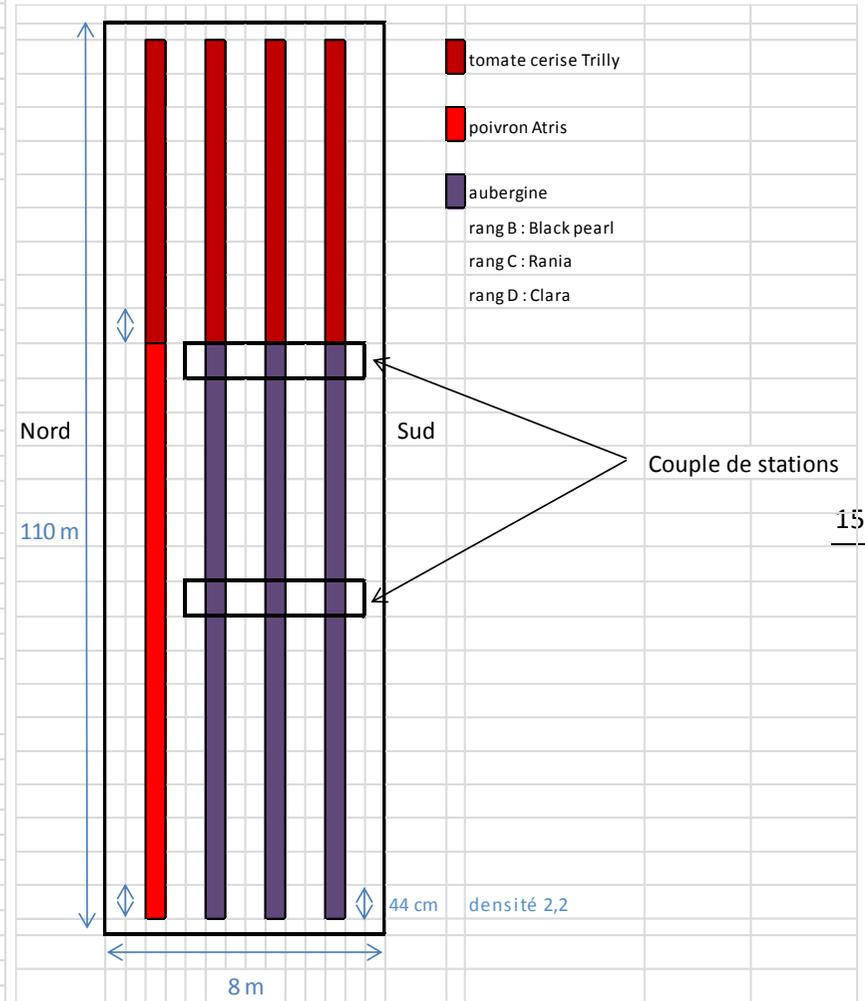


Figure 7 : association 7, le couple de stations diffère sur la proximité à la tomate

## B) Dispositif 2

Le dispositif 2 est un dispositif de suivi de tunnels associés chez des maraîchers. L'objectif est d'étudier l'impact des associations d'espèces sur les dynamiques de colonisation de maladies, ravageurs et auxiliaires aériens. L'avantage de travailler chez des maraîchers est d'étudier des associations techniquement, socialement et économiquement réalistes, pour un coût moins élevé que l'expérimentation. La difficulté principale est que la structure de l'association suivie n'est pas choisie par l'expérimentateur pour les besoins de l'expérience. Il faut alors concevoir un protocole modulable, ajustable à la diversité des associations pouvant être rencontrées.

### 1) Protocole modulable de suivi

Le protocole (voir annexe 2) s'organise en trois parties : suivi des populations de ravageurs/maladies/auxiliaires aériens, appréciation générale de l'évolution de l'état des cultures et relevé de l'itinéraire technique pratiqué. Les deux dernières parties ont pour but de fournir des éléments d'interprétation à la première.

En travaillant chez des maraîchers, on ne dispose pas de tunnel témoin non associé qui permettrait d'évaluer quantitativement la performance de l'association. Dans ce suivi, on a choisi de chercher à identifier les mécanismes biologiques liés à l'association et impactant la santé des plantes (cf. partie III A). L'avantage de travailler sur les mécanismes biologiques est de fournir des résultats généralisables. En effet, d'autres agriculteurs pourront chercher à reproduire les mécanismes mis en évidence, mais avec d'autres associations d'espèces satisfaisant leurs propres objectifs et contraintes.

Quel protocole mettre en œuvre pour recueillir, en peu de temps, des informations sur les mécanismes biologiques à l'œuvre dans une association ?

On pose tout d'abord des hypothèses de mécanismes biologiques en fonction de l'association suivie (espèces et disposition). Nous avons choisi de ne réaliser des comptages que dans des « stations localisées », de surface bien inférieure à celle du tunnel, afin de gagner en précision sur les zones d'intérêt pour un même temps d'observation.

Les « stations » sont choisies pour mettre en évidence les mécanismes biologiques formulés dans les hypothèses :

- dans le cas d'une hypothèse de barrière physique (bloquant ou ralentissant la dispersion des insectes phytophages ou la propagation des champignons), la station doit inclure une portion de rang de l'espèce haute (supposée « barrière physique ») ainsi que les portions de rangs des espèces se trouvant de part et d'autre de cette barrière (voir exemple figure 5). L'observation des dynamiques temporelles (cinétiques) et spatiales (flux) entre les rangs de la station permet alors d'évaluer l'effet barrière.
- dans le cas d'hypothèses portant sur d'autres mécanismes (effets dilution, chimique ou de ressources pour les auxiliaires), l'étude comparative de stations couplées au sein du tunnel est une solution que nous avons envisagée. Le concept de stations couplées a été proposé par Manichon & Sebillotte en 1973 et Boiffin & al en 1981. Deux stations constituent un couple intéressant pour l'étude, si elles ne diffèrent que par une caractéristique (ou plusieurs caractéristiques liées entre elles), susceptible d'avoir un effet sur la santé des plantes (voir exemples figures 6 et 7). L'intérêt des couples est, malgré l'absence de témoin, de pouvoir travailler « toutes choses égales par ailleurs », comme dans une expérimentation. La localisation des stations nécessite donc de prendre en compte les hétérogénéités pédoclimatiques d'un milieu complexe : le tunnel (De Tourdonnet, 1998), présenté dans l'annexe 3.

Les dynamiques de colonisation dans le tunnel peuvent être très rapides, et pour avoir des données qui nous permettent d'analyser les mécanismes biologiques, nous choisissons de réaliser des suivis hebdomadaires. L'étude a été réduite aux bioagresseurs et auxiliaires aériens pour des raisons de moyens techniques d'observation. L'identification et le comptage des populations se font in situ. L'ensemble du cortège aérien est relevé, afin de ne pas exclure l'observation de mécanismes non envisagés. Les bioagresseurs de très petite taille (ex : acarions tétranyques) et les maladies sont notés selon des classes d'abondance logarithmiques (proposées par Boll & Lapchin (1987)), ce qui permet de prendre en compte l'erreur de l'œil humain. L'échelle de travail qu'est la station n'est pas forcément pertinente pour les ravageurs et auxiliaires les plus mobiles (ex : *Macrolophus pygmaeus*) et crée un risque de passer « à côté » de foyers. Pour évaluer le biais des « stations », un tour général d'observation des

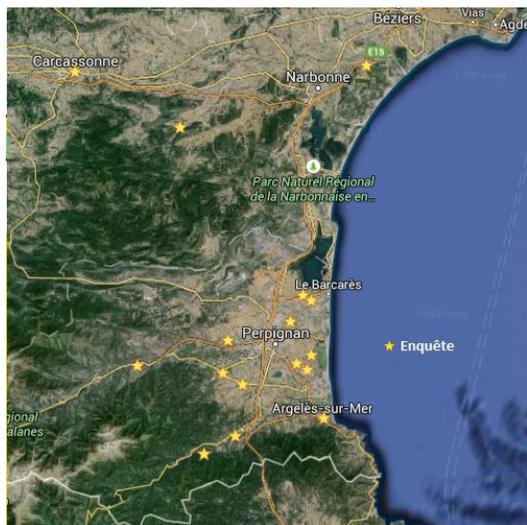


Figure 5 : localisation des exploitations enquêtées

Tableau 2 : tableau récapitulatif des agriculteurs de l'échantillon : leur association et le contexte de leur système de production

Agriculteur n°	Espèces associées	Cahier des charges	Circuit de vente du système de culture étudié	Nombre de tunnels	Plein champ	Activités hors maraîchage
1	Haricot-concombre	AB	VD (Vente Directe)	3	oui	Viticulture, élevage, arboriculture
2	Tomate-haricot-concombre	AB	VD	8	oui	Arboriculture
3	Tomate-aubergine	AB	VD	5	oui	Non
4	Haricot-concombre	Conventionnel	VD + CC (Circuit Court) à 1 intermédiaire	11	oui	Arboriculture
5	Tomate-basilic-aubergine-courgette/concombre	AB	VD + CC à 1 intermédiaire	3	oui	Arboriculture, élevage
6	Poivron-aubergine	AB	VD + CC à 1 intermédiaire	7	oui	Arboriculture
7	Tomate-poivron-aubergine	AB	VD + CC à 1 intermédiaire	21	oui	Arboriculture
8	Haricot-melon-poivron	AB	VD + CC à 1 intermédiaire	4	oui	Arboriculture
9	Tomate-aubergine	AB	VD + CC à 1 intermédiaire	14	oui	Arboriculture
10	Haricot-concombre-courgette	Conventionnel	VD	3	oui	Arboriculture
11	Poivron-concombre	AB + Demeter	VD + CC à 1 intermédiaire	5	oui	Elevage
12	Courgette-aubergine-poivron-tomate-basilic-persil-salade	AB	VD	2	oui	Arboriculture, élevage
13	Concombre-aubergine-poivron-courgette	AB	VD + CC à 1 intermédiaire	30	oui	Arboriculture
14	Tomate-concombre-poivron-courgette-aubergine	Conventionnel	VD	2	oui	Arboriculture
15	Tomate-basilic-aubergine	AB	VD + CC à 1 intermédiaire	3	oui	Arboriculture
16	Poivron-aubergine-courgette-concombre-tomate-haricot	AB	VD	2	oui	Non
17	Concombre-courgette	AB	VD	3	oui	Elevage, arboriculture, plantes aromatiques
18	Tomate-haricot	AB	CC à 1 intermédiaire	4	non	Elevage
19	Melon-salade-pastèque-patate douce	Conventionnel	VD	4	non	Elevage, arboriculture, fleurs coupées
20	Tomate-aubergine-concombre-poivron-courgette	Conventionnel	VD	5	oui	Arboriculture

bioagresseurs et auxiliaires est réalisé chaque semaine, dans le tunnel entier. L'état général des cultures est également surveillé visuellement afin de détecter des stress abiotiques, telluriques ou viraux. La hauteur des plantes est mesurée et une photographie est prise afin d'estimer les porosités relatives des rangs, pour chaque rang dans chaque station toutes les 2 semaines. L'itinéraire technique de la semaine précédente est décrit par l'agriculteur à l'occasion des observations en parcelle.

## 2) Traitement des données

Plusieurs méthodes ont été développées par les scientifiques pour traiter des données de suivi de bioagresseurs en serre. Par exemple, Poncet & al (2010) proposent l'utilisation des statistiques spatiales. Au vu du nombre considérable de données nécessaires et de la diversité des bioagresseurs de notre étude, cette première méthode n'a pas été retenue. Une visualisation spatio-temporelle des données est réalisée dans ce travail, grâce aux outils graphiques Excel. Dans chaque station, les observations des 9 feuilles de chaque rang sont agrégées pour l'obtention d'une valeur unique par rang. Pour les populations estimées en classe d'abondance (ex : *Tetranychus urticae*), on approxime le pourcentage foliaire occupé à la moyenne de la classe (ex : classe 1 à 3, approximation à 2%) puis on calcule un pourcentage moyen par feuille sur les 9 feuilles du rang.

## VI) Résultats

### A) Dispositif 1

#### 1) Description de l'échantillon

Vingt agriculteurs ont été enquêtés (voir tableau 2 et figure 8). Les productions issues des systèmes de culture étudiés sont commercialisées en circuit court. 15/20 agriculteurs pratiquent l'Agriculture Biologique dont 3 la biodynamie. A l'exception de deux agriculteurs, tous pratiquent le maraîchage de plein champ, ce qui permet de compléter la production sous tunnel : (i) soit en prenant le relais de la production un peu plus tard dans la saison, (ii) soit en produisant des espèces différentes plus adaptées aux conditions de plein air, (iii) soit en répartissant les risques d'accident de culture, grâce à la production des mêmes espèces sous tunnel et en plein champ. Ces exploitations sont très diversifiées et combinent plusieurs activités (18/20 exploitations).

#### 2) Description de neuf choix techniques

Cette partie vise à décrire pourquoi les producteurs pratiquent l'association et comment ils adaptent leurs actes techniques en conséquence, tant au niveau de l'itinéraire technique que des successions. Neuf actes techniques pour lesquels différentes adaptations liées à l'association ont été rencontrées sont présentés dans cette partie. Certains de ces actes techniques (notamment le choix des espèces et de l'agencement spatial) sont raisonnés par les agriculteurs pour répondre à des motivations de gestion de la santé des plantes, nous ne présenterons pas ces motivations en détail dans cette partie car elles seront décrites dans la partie VI 3.

##### a) Choix des espèces associées

###### (i) Nombre d'espèces

La figure 9 représente la diversité des espèces dans les associations rencontrées. On observe que près de la moitié des associations rencontrées sont binaires (seulement 2 espèces commercialisées). Les effectifs décroissent avec l'augmentation du nombre d'espèces dans le tunnel. Des tunnels associant jusqu'à 7 espèces commercialisées ont été rencontrés. Les tunnels les plus diversifiés (plus de 4 espèces/tunnel) correspondent à des exploitations avec 5 tunnels au maximum (surface sous abri limitante), qui commercialisent exclusivement en vente directe (diversité des produits demandés importante).

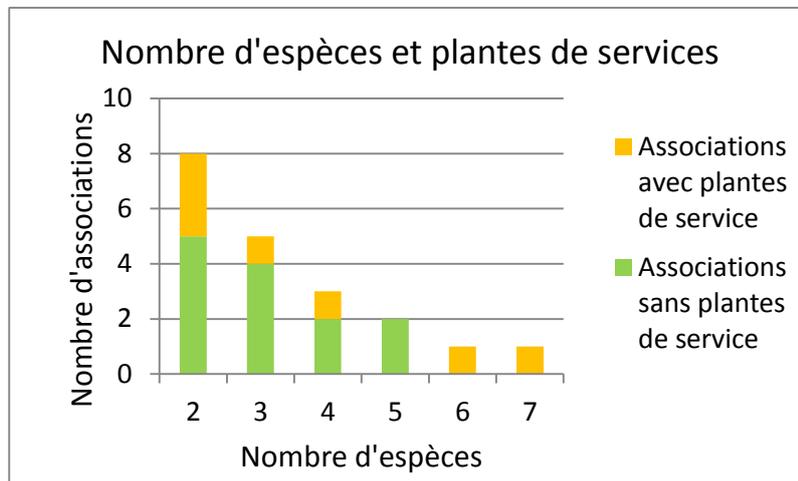


Figure 9 : nombre de cultures et de plantes de service des associations de l'échantillon

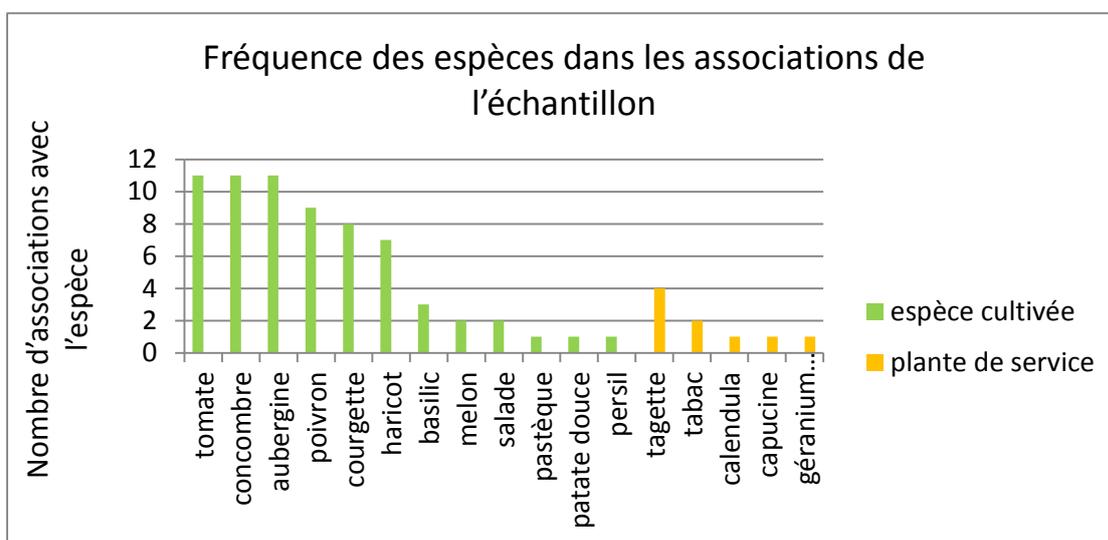


Figure 10 : Fréquence des espèces rencontrées en association

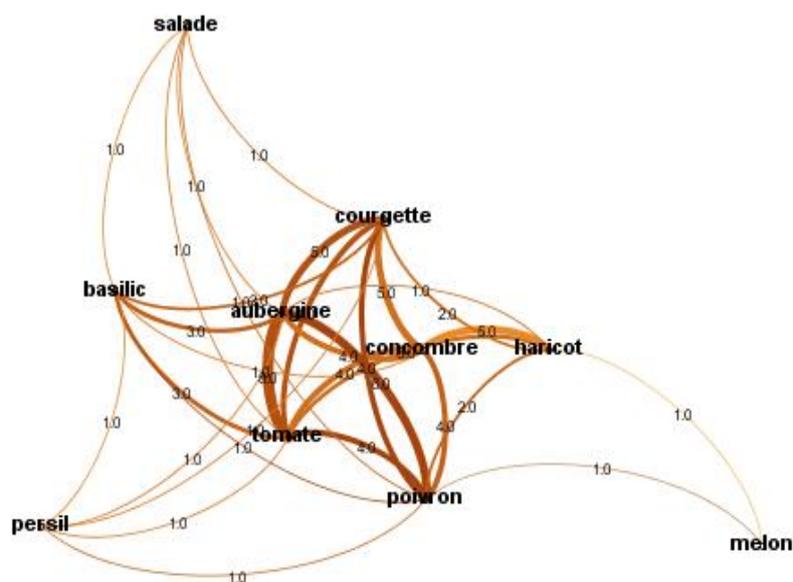


Figure 11 : cartographie des associations les plus fréquentes (logiciel GEPHI). Plus 2 espèces sont proches spatialement et reliées par un lien marqué, plus ces 2 espèces sont fréquemment associées ensemble. (Hors données associations 19 et 20)

## (ii) Caractéristiques des espèces cultivées et des plantes de service

Plus de cinquante espèces légumières sont cultivées en France. Comment les maraîchers choisissent-ils les espèces qu'ils associent ?

La figure 10 représente les espèces les plus rencontrées dans les associations de l'échantillon. On trouve la tomate, très cultivée sous tunnel dans la région, mais également l'aubergine, le poivron et le concombre. Ceci peut s'expliquer par le fait que les agriculteurs rencontrés plantent peu de pieds de ces espèces (car, pour eux, de petits volumes sont suffisants en aubergine et poivron pour approvisionner le circuit court, et car le concombre est très productif par pied). Ainsi un tunnel entier de ces espèces correspondrait à un trop gros volume de production, impossible à écouler en circuit court.

La cartographie en figure 11 met en évidence le fait que des espèces d'une même famille botanique sont souvent associées entre elles : par exemple la courgette et le concombre, ou encore la tomate, l'aubergine et le poivron. Ce phénomène a plusieurs explications :

- L'homologation des produits phytosanitaires. Pour les 5 agriculteurs conventionnels de l'échantillon, trouver des produits phytosanitaires homologués sur toutes les espèces de l'association est une réelle difficulté. Une solution explorée par l'agriculteur 10 est d'associer des espèces majoritairement de la même famille botanique (concombre-courgette), qui ont plus de chance d'avoir des homologations communes, afin de pouvoir traiter le tunnel entier en cas de besoin. Une autre solution explorée par l'agriculteur 14 est de traiter de manière la plus localisée possible (machine à dos le soir sans vent et sans phytotoxicité, et traitement via le circuit d'irrigation découplé lorsque cela est possible).
- La durée de cycle. Les agriculteurs 3 et 7 ont explicitement cité la durée de cycle identique comme un critère d'association de leurs espèces (poivron-aubergine et aubergine-tomate). De fait, les espèces d'une même famille botanique ont souvent des durées de cycle comparables. La motivation est d'avoir une gestion plus simple des tunnels (plantation et arrachage couplés) et d'occuper au mieux le sol dans le temps.

Une autre information apportée par cette cartographie est que des espèces de ports similaires (même hauteur) sont fréquemment associées ensemble. On trouve ainsi fréquemment les associations concombre-haricot sur fil (agriculteurs 1, 4 et 16), tomate-aubergine sur fil (agriculteurs 3 et 9) ou encore poivron-aubergine en buisson (agriculteurs 6, 7, 12, 13, 14 et 16) (description des palissages sur « fil » et en « buisson » en annexe 3). Ce critère est d'ailleurs explicitement cité par les agriculteurs 1 et 3. La motivation est de diminuer la pénibilité du travail et de gagner du temps (ex : la surveillance des bioagresseurs d'une espèce peut se faire pendant la récolte de l'autre espèce).

On peut relever également que le basilic est toujours associé à de la tomate (agriculteurs 5, 12 et 15). Il s'agit d'une association promue par les ouvrages de jardinage amateur (voir tableau 4).

La figure 9 montre l'utilisation de plantes de service dans certaines associations. Cette utilisation est fréquente (7/20 associations) et ne concerne pas uniquement les systèmes les plus diversifiés, mais aussi les associations avec peu d'espèces. Les motivations conduisant les agriculteurs à mettre en place des plantes de service sont toutes en lien avec la gestion de la santé des plantes (cf. partie VI 3).

### b) Agencement spatial des espèces dans le tunnel

Certains agencements sont raisonnés par les agriculteurs pour répondre à des motivations de gestion de la santé des plantes. Ces stratégies seront décrites en détail dans la partie VI 3. Nous nous attacherons ici à décrire la diversité des agencements rencontrés et à préciser les motivations autres que de gestion de la santé des plantes qui entrent en compte dans le raisonnement des agriculteurs.

#### (i) TYPE 1 : Row intercropping, rangs monospécifiques, association substitutive

- Sous-type 1 : Gradient de hauteurs (figures 12 et 13) **3 associations**

Les agriculteurs 11 et 13 disposent les espèces selon un gradient de hauteur avec les plantes les plus hautes au Nord ou à l'Ouest (concombre sur fil au Nord-Est et poivron en buisson au Sud-Ouest ; concombre sur fil, aubergine et

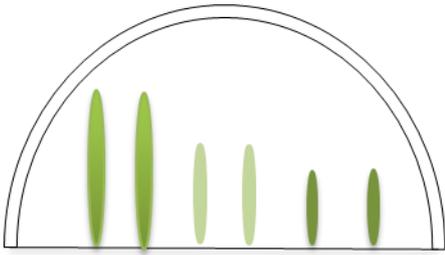


Figure 12 : vue transversale de l'agencement  
TYPE 1, sous-type 1



Figure 13 : photo prise en 2014 de l'association 13 (agencement "gradient de hauteur")

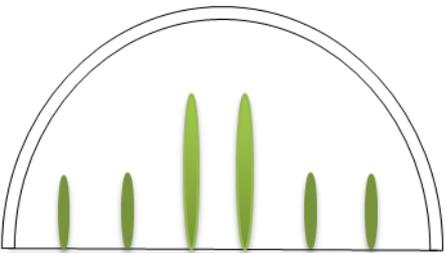


Figure 14 : vue transversale de l'agencement  
TYPE 1, sous-type 2

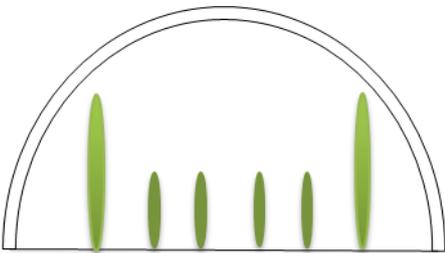


Figure 15 : vue transversale de l'agencement  
TYPE 1, sous-type 3

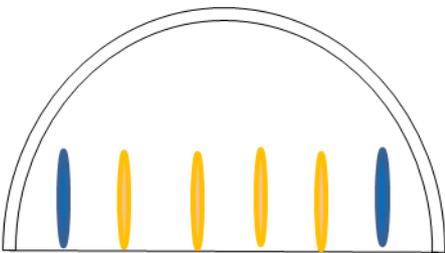


Figure 16 : vue transversale de l'agencement  
TYPE 1, sous-type 4

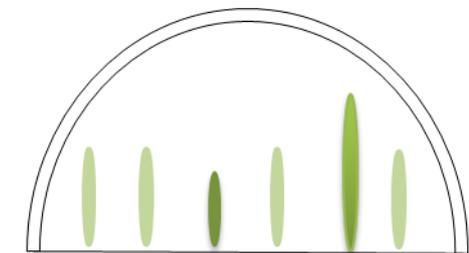


Figure 17 : vue transversale de l'agencement  
TYPE 1, sous-type 5

poivron en buisson puis courgette rampante d'Ouest en Est). Leur motivation est d'optimiser l'accès à la lumière en évitant une compétition entre les espèces. L'agriculteur 8 a fait évoluer son association vers cette disposition en 2015 pour la même motivation.

- Sous-type 2 : Espèce haute au centre, espèce(s) basse(s) aux bords (figure 14) **4 associations**

Les agriculteurs 4, 5, 6 et 10 disposent l'espèce la plus haute au centre, et des espèces plus basses sur les bords (haricot sur fil au centre et concombre sur fil aux bords ; tomate sur fil au centre et courgette rampante/aubergine en buisson aux bords ; aubergine sur fil au centre et poivron sur fil aux bords ; haricot sur fil au centre et courgette rampante/concombre en buisson aux bords). L'agriculteur 10 le fait pour la gestion de la santé des plantes (cf. partie VI.3). Les agriculteurs 4, 5 et 6 le font pour optimiser l'occupation du sol sous abri selon les hauteurs dans le tunnel. Par exemple, dans le cas concombre-haricot de l'agriculteur 4, la motivation est de pouvoir arrêter plus facilement les têtes des haricots une fois qu'elles ont atteint le fil de culture mais avant qu'elles ne s'enroulent sur le support du tunnel. Cette opération est plus facile si le haricot est au centre du tunnel car il y a plus de distance entre le fil de culture et le support de l'abri, ce qui donne plus de flexibilité pour réaliser cette tâche. Il n'y a pas ce problème avec le concombre car sa végétation et ses vrilles sont moins puissantes.

- Sous-type 3 : Espèce haute aux bords, espèce basse au centre (figure 15) **2 associations**

L'agriculteur 20 dispose une espèce basse (poivron) au centre et une espèce haute (concombre sur fil) aux bords du tunnel. Sa motivation est de protéger le poivron sensible aux « coups de soleil » sur fruit de la lumière directe. L'agriculteur 17 met en place ce type d'agencement afin de gérer la santé des plantes (cf. partie VI 3).

- Sous-type 4 : Espèce moins sensible au froid/de cycle plus long en bordure (figure 16) **2 associations**

L'agriculteur 9 place des tomates (sur fil) au centre et des aubergines (sur fil) aux bords. Ses hypothèses sont que les aubergines sont moins sensibles au froid que les tomates, et que les bordures du tunnel sont plus soumises à des températures fraîches en Février-Mars (date précoce à laquelle il plante son tunnel). Sa motivation est de produire précocement des tomates (en les plaçant au centre) et d'utiliser ses bordures de tunnel en y plantant une espèce à laquelle ce microclimat frais en début de cycle convient. L'agriculteur 20 place tomate et aubergine de la même manière mais pour une autre motivation : maintenir les aubergines plus longtemps que les tomates (car leur cycle est plus long). Cette disposition permet le passage du tracteur pour arracher les tomates sans détruire les aubergines.

- Sous-type 5 : Rangs intercalés, espèce peu sensible à *Tetranychus urticae* en bordure (figure 17) **1 association**

L'agriculteur 2 intercale ses rangs d'espèces de cycle plus court (haricot et concombre, cycle de 4 mois) avec ses rangs d'espèce de cycle plus long (tomate, cycle de 5 mois). Sa motivation est de pouvoir circuler plus facilement entre les rangs de tomate après l'arrachage des haricots et concombres pour faciliter la récolte et l'entretien. De plus, l'agriculteur dispose l'espèce de croissance très rapide (haricot) au sud d'une espèce sensible aux excès de chaleur en début de cycle : le concombre. Son hypothèse et sa motivation sont que le concombre se trouvera en début de cycle dans l'ombre portée du haricot qui aura poussé plus rapidement, et que cette ombre réduira le risque de « coups de chaud » sur les têtes du concombre. L'agencement est également lié à une motivation de gestion de la santé des plantes (cf. partie VI 3).

(i) **TYPE 2 : Row intercropping, rangs plurispécifiques, association substitutive**

- Sous-type 1 : Espèces regroupées en zones (figure 18) **5 associations**

Cinq agriculteurs regroupent leurs espèces en zones et non par rangs monospécifiques. Soit, pour les agriculteurs 14 et 16, car ils ont plus d'espèces que de rangs dans le tunnel. Soit, pour les agriculteurs 7 et 12, parce que leur motivation est de se simplifier le travail (plants de tomate groupés en bout de tunnel afin de faciliter un arrachage

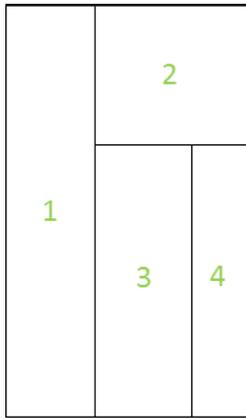


Figure 18 : vue aérienne de l'agencement TYPE 2, sous-type 1

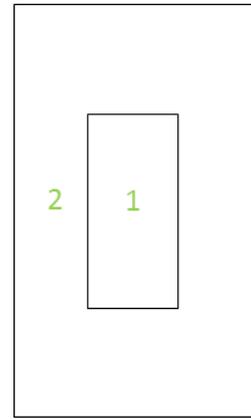


Figure 19 : vue aérienne de l'agencement TYPE 2, sous-type 2

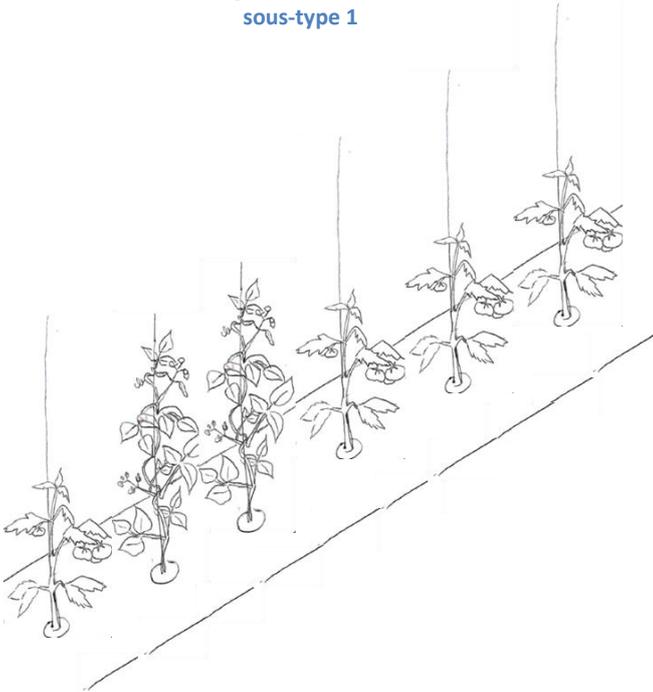


Figure 20 : portion de rang représentative de l'agencement TYPE 3, sous-type 1



Figure 21 : photo prise en 2015 chez l'agriculteur 11, stratégie des plantes de service en pot



Figure 22 : portion de rang représentative de l'agencement TYPE 3, sous-type 2

plus précoce, ou espèces avec complément manuel d'arrosage disposées proche du point d'eau). Ou encore, pour l'agriculteur 19, parce que le tunnel est arrosé à l'aspersion et il n'y a pas de contraintes d'irrigation par rang.

- Sous-type 2 : Espèce appréciant une hygrométrie élevée placée au milieu du tunnel (figure 19) **1 association**

L'agriculteur 1 dispose le concombre (sur fil) au milieu du tunnel, entouré par du haricot (sur fil). Son hypothèse est que le feuillage du haricot semé à une densité forte génère une hygrométrie élevée dans le centre du tunnel, créant ainsi, comme il le cherche, des conditions d'humidité favorables à la croissance et au développement du concombre. L'agriculteur a observé une hygrométrie élevée et aucun bassinage n'a été nécessaire. Toutefois, l'agriculteur ne remet pas cette disposition en place en 2015, car il a observé un meilleur développement des concombres après l'arrachage du haricot : son hypothèse est qu'ils ont manqué de lumière en présence du haricot. De plus, la différenciation de la fertilisation entre espèces (fumure de fond avant culture) s'est avérée complexe dans cette disposition.

#### (ii) TYPE 3: *Mixed intercropping*, association substitutive ou additive

Tous les agencements en *mixed intercropping* sont liés à des motivations de gestion de la santé des plantes (cf. partie VI 3).

- Sous-type 1 : *Mixed intercropping*, association substitutive (figure 20) **1 association**

L'agriculteur 18 intercale 4 pieds de haricot régulièrement dans ses rangs de tomate (culture commercialisée). Le haricot est produit en petit volume pour la consommation personnelle de l'agriculteur.

- Sous-type 2 : *Mixed intercropping*, association additive (figure 22) **7 associations**

Dans ces associations, la densité de plantation des espèces cultivées n'est pas modifiée par l'intégration de plantes de service dans les rangs.

L'agriculteur 5 intercale pied par pied : tomate - basilic - tomate – *Tagetes spp.* (œillet d'Inde). Tomate et basilic sont récoltés alors que la *Tagetes spp.* n'est pas récoltée. L'agriculteur 3 avait testé cet agencement (intercalation un pied de tomate – un pied de basilic) et n'en a pas été satisfait : il augmentait le temps et la pénibilité de récolte. Cet agriculteur plante désormais le basilic en rangs purs.

L'agriculteur 15 plante des pieds de basilic, de *Tagetes spp.* et de *Calendula officinalis* (souci) aléatoirement dans les trous de paillage au pied des tomates ou juste à côté en perforant manuellement le paillage. Ses motivations sont (i) la gestion de la santé des plantes, (ii) l'aspect esthétique apporté par ces fleurs et également (iii) la gestion des adventices (moins d'adventices dans les trous de paillage au pied des plants où elles ont généralement de l'espace pour se développer). Afin d'accentuer encore l'action du basilic, l'agriculteur veille à secouer les bouquets de basilic dans le tunnel lors de la récolte, afin que le basilic libère plus de molécules olfactives.

L'agriculteur 11 intercale 1 pied de *Tropaeolum majus* (capucine) tous les trois mètres dans ses rangs de concombre et de poivron.

Les agriculteurs 3, 16 et 18 sèment ou plantent des *Tagetes spp.* aléatoirement dans l'ensemble de leur tunnel.

Les agriculteurs 12 et 18 plantent des pieds de *Nicotiana tabacum* (tabac) entre les rangs de tomate dans leurs associations.

En 2015, l'agriculteur 11 teste une nouvelle pratique (voir figure 21) : il dispose des *Calendula officinalis*, des *Tagetes spp.* et des *Pelargonium crispum* (géraniums odorant) en pots sur les bordures du tunnel, le long de la bâche. Sa motivation pour l'utilisation de plantes en pot est de pouvoir conserver ces plantes compagnes plus d'une saison (ne pas les détruire au travail du sol du tunnel) et pouvoir les utiliser dans plusieurs tunnels en les déplaçant.

#### c) Agencement spatial des variétés d'une même espèce

La moitié des agriculteurs de l'échantillon plantent plusieurs variétés pour certaines espèces de leur association. Deux types d'agencement sont rencontrés :

- *Row intercropping* : les plantes sont regroupées par variété en rangs entiers ou en blocs dans le rang (9/10 associations). La motivation est de simplifier le travail à la plantation.
- *Mixed intercropping* : les variétés sont intercalées en petits blocs de 2 ou 3 pieds (tomate) (agriculteur 14). Ainsi, en suivant le rang, l'agriculteur cueillera un mélange de toutes ses variétés. La motivation est de gagner du temps à la récolte, car dans ce cas les tomates sont commercialisées en mélange de variétés.

#### d) Rotations

Dans notre échantillon, comme classiquement en maraîchage sous abri, les agriculteurs alternent dans leurs tunnels des espèces ou des familles botaniques aux sensibilités différentes vis-à-vis des bioagresseurs telluriques. Mais comment maintenir une rotation culturale lorsque l'on associe des espèces dans son tunnel ? Cette traque a permis de mettre en évidence des pratiques de rotation atypiques. L'agriculteur 15 met en place une rotation de culture par demi-tunnel (dans la longueur), c'est-à-dire qu'une espèce/famille botanique différente sera implantée l'été suivant dans le demi-tunnel. Les agriculteurs 5, 8, 14, 16 et 17 mettent en place une rotation de culture par rang.

#### e) Irrigation

Dans tous les tunnels étudiés sauf 2 tunnels, le réseau d'irrigation est du même type : des lignes de goutte-à-goutte sur toute la longueur des rangs gérées par un peigne avec des vannettes à une des entrées du tunnel (voir annexe 3). Les cas particuliers sont : un tunnel irrigué entièrement via le réseau d'aspenseurs (association 19) et un tunnel où le peigne d'irrigation se situe au milieu du tunnel, à mi-longueur.

Dans la moitié des associations rencontrées, les apports en eau sont identiques pour toutes les espèces. La motivation est de se simplifier le travail (agriculteurs 3, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 18 et 19).

Dans l'autre moitié des associations, les apports en eau sont différenciés selon les besoins des différentes espèces. Les agriculteurs 1, 2, 4, 5, 6, 10, 12, 14, 17 et 20 coupent les vannettes des goutte-à-gouttes pour les espèces ayant besoin de moins d'eau à certains moments du cycle de culture (selon observations ou références connues des agriculteurs).

Plusieurs agriculteurs qui ne découplent pas pointent la difficulté de penser à la gestion des vannettes au jour le jour : « les vannettes, c'est ingérable » (propos de l'agriculteur 7).

Toutes les associations étudiées sauf celles des agriculteurs 12 et 19 ne contiennent que des espèces s'irriguant classiquement au goutte-à-goutte. Les aspenseurs classiques en effet arrosent plusieurs rangs ce qui peut favoriser le développement de maladies sur certaines espèces (ex : *Phytophthora infestans* (mildiou) sur tomate). Une solution technique a été mise en place par l'agriculteur 12 qui associe des espèces irriguées au goutte-à-goutte (tomate, aubergine, poivron et courgette) à d'autres irriguées par aspersion (salade, basilic et persil) : il installe des aspenseurs plus étroits (diamètre d'aspersion de 1m50) qui lui permettent de faire cohabiter deux modes d'irrigation dans un même tunnel agencé en *row intercropping* à rangs plurispécifiques. Ainsi il irrigue la salade à l'aspersion dans un ¼ de tunnel sans pour autant arroser la tomate voisine (limitation des risques fongiques).

Pour l'agriculteur 8, ce n'est pas la quantité d'eau d'irrigation qui est adaptée du fait de l'association mais le fractionnement des arrosages (c'est-à-dire le nombre d'arrosages par jour). Afin de résoudre des problèmes d'excès d'eau observés en 2013 sur le poivron associé, il a augmenté le fractionnement des arrosages (4 arrosages par jour).

#### f) Fertilisation

La majorité des agriculteurs enquêtés (14/20) ne différencient pas la fertilisation des espèces de leur association. La motivation est soit de se simplifier le travail (13 agriculteurs), soit de fertiliser de la même manière des espèces aux besoins estimés identiques (agriculteur 3 (tomate-aubergine)). Les agriculteurs 1, 4, 6, 10, 12 et 14 différencient la fertilisation des espèces de leur association (apports localisés par rang ou zone à hauteur des besoins estimés de

chaque espèce (grâce à des observations antérieures ou sur la base de références techniques)). La motivation est d'apporter le minimum de fertilisation (motivations économiques et environnementales) et de compléter si besoin certaines espèces qu'ils estiment plus « gourmandes ».

### g) Plantation

Dans la majorité des associations rencontrées (13/20), toutes les espèces sont plantées/semées en même temps. La motivation principale est de simplifier l'organisation du travail (chantiers de plantation gérés par tunnel), ce qui est cité explicitement par les agriculteurs 3, 9, 11 et 15. La motivation peut aussi être d'avoir le pic de production de toutes les espèces qui corresponde au pic de demande de la clientèle (cité explicitement par l'agriculteur 6). On peut noter que parfois cette plantation simultanée prévue est impossible, à cause des plants qui ne sont pas prêts en même temps (plants « maison » ou délais du fournisseur de plants).

Les 7 associations rencontrées pour lesquelles les cultures ont été plantées en différé présentent 5 motivations distinctes. L'agriculteur 5 plante la courgette plus tôt que la tomate et l'aubergine, pour qu'elle arrive en production de manière plus précoce que les deux autres espèces. L'agriculteur 12 retarde la plantation de sa tomate afin d'être en décalage avec le cycle de *Phytophthora infestans* (mildiou de la tomate) notamment. Dans le cas des producteurs 14 et 19, la motivation est d'optimiser l'espace en occupant le tunnel de manière continue sans avoir à se préoccuper de la simultanéité des cycles de différentes espèces : ils replantent immédiatement une autre espèce dès que la précédente commence à baisser en production. La motivation de l'agriculteur 4 est d'étaler la période de production d'une même espèce : il plante une moitié du tunnel (1 rang de concombre et 2 de haricot) un mois et demi avant l'autre (également 1 rang de concombre et 2 de haricot). La motivation de l'agriculteur 20 est de répartir la charge de travail (de la plantation) en plantant en décalé chaque demi-tunnel.

### h) Arrachage

Les associations sont arrachées, dans la moitié des cas, à une même date pour toutes les espèces, alors que dans l'autre moitié de l'échantillon, les espèces de cycle plus court sont arrachées avant les autres, dès qu'elles ne produisent plus beaucoup.

Parmi les agriculteurs arrachant tout leur tunnel associé au même moment, on peut relever trois motivations différentes : la première est de gagner du temps de travail en ne venant arracher qu'une seule fois (agriculteurs 3, 6, 8, 9 et 19). La deuxième est d'arracher tôt afin de libérer le tunnel pour la saison suivante : il s'agit des cas où les cultures d'hiver sont importantes économiquement pour l'agriculteur (agriculteurs 11 et 15). La troisième est d'arracher tard afin de faire durer au maximum les cultures d'été : il s'agit des cas où il n'y a pas de production hivernale ou lorsque celle-ci n'est pas prioritaire (agriculteurs 6 et 13).

Parmi les agriculteurs arrachant les espèces de l'association à des dates différentes, quatre motivations peuvent être identifiées. La première est d'optimiser l'espace en occupant le tunnel de manière continue : il s'agit de l'agriculteur 14 qui replante immédiatement une autre espèce d'été dès que la précédente commence à baisser en production. La deuxième est de rechercher « des vides » : ainsi les vides laissés par les cultures courtes arrachées plus tôt donneront de l'espace aux cultures restantes ou permettront de gérer la santé des plantes en séparant spatialement deux espèces d'une même famille botanique (agriculteurs 2 et 10). La troisième est d'arracher les plantes qui ne produisent plus beaucoup, pour éviter de laisser une plante potentiellement hôte de bioagresseurs alors qu'elle n'est plus récoltée (agriculteurs 1, 5 et 7). La dernière est de répartir la charge de travail de l'arrachage (association 20).

### i) Gestion de l'architecture des plantes

Il est intéressant de noter la diversité des modalités de gestion de l'architecture des plantes (palissage, taille, ébourgeonnage) rencontrées pour certaines espèces (voir annexe 3), d'autant plus que le palissage, la taille et l'ébourgeonnage déterminent la hauteur des plantes et la porosité du rang. Ces actes techniques sont donc parfois liés à l'agencement des espèces dans le tunnel, ou à l'efficacité de certains mécanismes biologiques de l'association (cf. partie VI B).

Tableau 3 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°1

Plante non hôte	Hypothèses des agriculteurs	Observations et évaluation des agriculteurs	Expérience de l'association	Connaissances scientifiques
Poivron	<p>Agri. 6 : le poivron n'est pas hôte de <i>Tetranychus urticae</i> ce qui réduit la pression sur l'aubergine associée</p> <p>Agri. 11 : IDEM sur le concombre associé</p>	<p>Agri. 6 : <i>Tetranychus urticae</i> contrôlé de manière satisfaisante sur aubergine</p> <p>Agri. 11 : Pas de problèmes de <i>Tetranychus urticae</i> mentionnés alors que en 2013 en tunnel pur de concombre : « la terre était nue, il y avait pas de végétation suffisante, donc l'araignée (= <i>Tetranychus urticae</i>) s'est régalée »</p>	<p>Agri. 6 : depuis installation (2010)</p> <p>Agri. 11 : 2014</p>	<p>Poivron non sensible à <i>Tetranychus urticae</i> (site Ephytia, INRA)</p> <p>« bare soil cultivation, which eliminates all plants except the crop, ensures that it is exposed to the maximum insect pest attack possible in that particular locality” (Collier &amp; al, 2001)</p>
Tomate	<p>Agri. 9 : la tomate n'est pas hôte des même espèces de <b>pucerons</b> que l'aubergine, ce qui réduit la pression puceron sur aubergine</p>	<p>Moins de pucerons que dans l'association poivron-aubergine</p>	<p>2014</p>	<p>Tomate et aubergine sont hôtes secondaires de <i>Aphis nasturtii</i> (puceron du nerprun) et de <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (puceron vert et rose de la pomme de terre)</p> <p>L'aubergine est hôte de <i>Myzus persicae persicae</i> (puceron vert du pêcher) et de <i>Myzus persicae nicotiana</i> (puceron du tabac) alors que la tomate n'est pas hôte</p> <p>(site Ephytia, INRA)</p>

Tableau 4 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°2

Plante de service	Hypothèses des agriculteurs	Observations et évaluation des agriculteurs	Expérience de l'association	Connaissances scientifiques	Bibliographie « jardiniers amateurs »
Basilic	<p>Agri. 3 : protège la tomate des <b>noctuelles</b></p> <p>Agri. 5 : protège la tomate des <b>nématodes</b></p> <p>Agri. 15 : protège la tomate de <b><i>Phytophthora infestans</i></b> (mildiou)</p>	<p>Agri. 3 : noctuelles encore présentes, non satisfaisant</p> <p>Agri. 5 : infestation faible tolérable des nématodes (3/500 pieds de tomates)</p> <p>Agri. 15 : pas de <i>Phytophthora infestans</i> observé</p>	<p>Agri. 3 : plus pratiqué actuellement</p> <p>Agri. 5 : depuis installation (2011)</p> <p>Agri. 15 : depuis installation (2010)</p>	<p>En comparaison à l'association tomate-basilic : "the greatest losses by tomato fruitworm damage occurred in monocrop" mais "tomato plants had lower percentage of yield loss caused by tomato fruitworm (24%) in intercrop with fennel than [with basil]". (De Carvalho, 2010 : plein champ au Brésil)</p> <p>Le basilic "suppressed to some extent the development of <i>Meloidogyne</i> spp (= un nématode)" (Tringovska &amp; al, 2015)</p> <p>Effet sur <i>Phytophthora infestans</i> : pas de référence trouvée</p>	A associer à la tomate (Hopes, 2008 ; Vialard, 2007)
<i>Tagetes spp.</i> (œillet d'Inde)	<p>Agri. 3 : protège la tomate des <b>noctuelles</b></p> <p>Agri. 5 : protège la tomate des <b>nématodes</b></p> <p>Agri. 16 : Eloigne les <b>pucerons</b></p>	<p>Agri. 3 : c'est « très efficace, plus efficace que le basilic ». Permet de réduire le nombre de traitement au <i>Bacillus thuringiensis</i></p> <p>Agri. 5 : infestation faible tolérable des nématodes (3/500 pieds de tomates)</p> <p>Agri. 16 : « efficace » pour éloigner les pucerons</p>	<p>Agri 3 : NC (non connu)</p> <p>Agri. 5 : depuis installation (2011)</p> <p>Agri 16 : depuis 2014</p>	<p>"use of African tall variety of marigold (Golden Age) afforded maximum reduction of both eggs and larvae of <i>H. armigera</i> (= une noctuelle) in the intercropped tomato with a consequent reduction in the number of bored fruits" (Srinivasan &amp; al, 1994)</p> <p>« Marigold is well known among nematologists for its ability to produce compounds such as <math>\alpha</math>-terthienyl that are allelopathic to many species of plant-parasitic nematodes. » (Hooks &amp; al, 2010)</p> <p>"The study demonstrates that <i>T. minuta</i> oil volatiles have potential for aphid control." (Blagovesta &amp; al, 2005 : sur <i>Acyrtosiphon pisum</i> (des Fabacées), <i>Myzus persicae</i> (de toutes les familles botaniques) et <i>Aulacorthum solani</i> (des Fabacées, Solanacées))</p>	A associer à la tomate (Pirlet & al, 2007)
<i>Calendula officinalis</i> (souci)	<p>Agri. 15 : protège la tomate de <b><i>Phytophthora infestans</i></b></p>	<p>Agri. 15 : pas de <i>Phytophthora infestans</i> observé</p>	<p>Agri. 15 : depuis installation (2010)</p>	<p>Effet sur <i>Phytophthora infestans</i> : pas de référence trouvée</p>	<p>« tue les nématodes » (Vialard, 2007)</p> <p>A associer à la tomate (Hopes, 2008 ; Pirlet &amp; al, 2007)</p>

### 3) Typologie des stratégies de gestion de la santé des plantes via des mécanismes biologiques de régulation naturelle à l'œuvre dans les associations

Dans l'échantillon enquêté, 14/20 agriculteurs ont explicitement exprimé vouloir utiliser des mécanismes biologiques de régulation naturelle à l'œuvre dans les associations d'espèces comme levier pour gérer la santé des plantes. Nous avons construit une typologie de stratégies de gestion de la santé des plantes, sur la base des mécanismes biologiques cités par les agriculteurs. Pour chaque stratégie, nous nous attacherons à croiser les dires de producteurs à la bibliographie scientifique, technique et amateur pour analyser ces mécanismes biologiques (tableaux 3, 4, 5 et 6). Nous montrerons aussi que certains producteurs adaptent plusieurs de leurs actes techniques pour favoriser ces mécanismes de régulation naturelle.

#### a) Stratégie n°1 : gestion de la santé par « effet de dilution » (tableau 3)

Le mécanisme biologique de « l'effet de dilution » par rapport à un bioagresseur donné existe dès qu'au moins une des espèces de l'association n'est pas hôte de ce bioagresseur (Ratnadass & al, 2012). Ce mécanisme biologique est donc en jeu dans la plupart des associations de l'échantillon. Il est cité explicitement comme motivation par les agriculteurs 6, 9 et 11 (associations poivron-aubergine, poivron-concombre et tomate-aubergine).

**Bilan :** D'après Collier & al (2001), une association avec une autre espèce, non hôte des ravageurs les plus problématiques, permet effectivement de perturber la recherche visuelle des ravageurs aériens (tableau 3 pour les associations n°6 aubergine-poivron et n°11 poivron-concombre vis-à-vis de *Tetranychus urticae*). Cette stratégie est plus difficilement applicable pour des ravageurs extrêmement diversifiés comme les pucerons.

Les performances de l'effet dilution, tel qu'il est pratiqué par ces producteurs, semblent avant tout dépendantes du choix des espèces associées et de leur agencement spatial. De multiples possibilités pourraient être explorées pour augmenter l'efficacité de cet effet, mais, dans la conception de systèmes « en rupture », l'agencement des espèces en *mixed cropping*, pourtant peu pratiqué pour ne pas compliquer la récolte, semblerait une voie intéressante à explorer pour augmenter la perturbation visuelle et olfactive des ravageurs et donc l'efficacité de l'effet de dilution.

#### b) Stratégie n°2 : Gestion de la santé par « effet chimique » (tableau 4)

Les agriculteurs 3, 5, 15 et 16 associent leurs légumes d'été à des plantes de service. Leur hypothèse est que ces plantes de service émettent des composés volatils ou racinaires (effet chimique répulsif ou toxique) qui vont permettre de contrôler certains bioagresseurs. L'agriculteur 3 associe *Tagetes minuta* et tomate pour contrôler les noctuelles. Cette association le satisfait car elle n'augmente pas la charge de travail et l'agriculteur n'observe plus aucune noctuelle sur tomate. Il évalue que cette association est plus efficace que l'association basilic et tomate (qu'il avait testé) vis-à-vis des noctuelles, et plus performante au niveau de la charge de travail. L'agriculteur 5 associe depuis 4 ans basilic, *Tagetes spp.* et tomate pour contrôler les nématodes. Il est satisfait de cette association car il n'observe que peu de dégâts (3/150 pieds de tomate attaqués). L'agriculteur 15 associe depuis 5 ans basilic, *Calendula officinalis* et tomate notamment en préventif contre *Phytophthora infestans* (mildiou de la tomate). Il est satisfait car il n'observe pas de *Phytophthora infestans*. L'agriculteur 16 associe *Tagetes spp.* à toutes ses cultures pour contrôler les pucerons. Après une année de test, il est satisfait de cette technique.

Dans les stratégies 2 (et 3, voir paragraphe suivant), l'intégration d'espèces jouant le rôle de plantes de service se fait en *mixed intercropping* où les plantes de service sont positionnées au sein des cultures. Dans cette disposition les espèces sont plantées, irriguées et arrachées simultanément.

**Bilan :** Selon le tableau n°4, le basilic présente au moins deux propriétés intéressantes pour les agriculteurs pour gérer la santé de la tomate : des propriétés nématicides et répulsives des noctuelles. Toutefois, les références scientifiques (De Carvalho, 2010 ; Tringovska & al, 2015) et les observations des agriculteurs (3 et 5) s'accordent pour dire que l'éradication n'est pas complète et la pratique de l'association doit, comme souvent en protection intégrée, être associée à d'autres pratiques dans le système de culture. Le basilic présente l'avantage d'être une plante

Tableau 5 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°3

Plante de service	Hypothèses des agriculteurs	Observations et des agriculteurs	Expérience de l'association	Connaissances scientifiques	Bibliographie « jardiniers amateurs »
Tagetes spp. <i>Calendula officinalis</i> <i>Pelargonium crispum</i> (Géranium odorant)	Agri. 11 : attire <b>les auxiliaires</b> dans le tunnel	En cours...	Agri. 11 : 2015	“Marigold rows next to onion fields resulted in higher number of entomophagous species, potentially enhancing the natural control of onion pests” (Silveira & al, 2009 : plein champ au Brésil) C. officinalis est attractif pour certains insectes auxiliaires (syrphes, coccinelles, punaises prédatrices...) (Kopta & al, 2012 : plein champ en République Tchèque) C. officinalis represents one of the most favorite natural host of M. pygmaeus (Tavella & Goula, 2001)	
<i>Tropaeolum majus</i> (Capucine)	Agri. 11 : attire <b>les auxiliaires</b> dans le tunnel	Agri. 11 : pas d'auxiliaires observés sur la capucine, pas satisfaisant	Agri. 11 : 2014	Le pollen et le nectar de la capucine ne bénéficient pas aux insectes polyphages mais “benefited only the parasitoid” (Baggen & al, 1998 : conditions contrôlées sur <i>P. operculella</i> , ravageur de la pomme de terre et son parasitoïde <i>C. koehleri</i> ) Remarque : la capucine est très appétente pour certains pucerons (plus appétente que la fève pour <i>Aphis Fabae</i> ) (Gorur & al, 2007)	« attire les pucerons » (Vialard, 2007)
<i>Nicotiana tabacum</i> (Tabac)	Agri. 12 et 18 : abrite <b>Macrolophus pygmaeus</b> (utile pour protéger la tomate contre de nombreux ravageurs aériens)	Agri. 12 : NC  Agri. 18 : très nombreux individus toute l'année, satisfaisant	Agri. 12 et 18 : NC	<i>Macrolophus pygmaeus</i> est particulièrement observé sur tabac. (site Ephytia, INRA)	
Haricot	Agri. 18 : abrite <b>Aphidius spp.</b> (utile pour protéger la tomate contre les pucerons)	Agri. 18 : installation rapide, satisfaisante	Agri. 12 : NC	Pas de référence trouvée	



Figure 23 : l'agriculteur 18 montre des *Macrolophus spp.* sur tabac

commercialisable, économiquement intéressante, et la bibliographie des jardiniers amateurs recommande de l'associer à la tomate. Une limite à prendre en compte est l'irrigation couplée du basilic et de la tomate, imposée par l'agencement en *mixed intercropping*, bien qu'aucun stress hydrique n'ait été observé pas les agriculteurs (3, 5 et 15). La tagete (*Tagetes spp.*) présente des propriétés répulsives des nématodes, des noctuelles et de certaines espèces de pucerons évaluées comme performante par la Recherche (Srinivasan & al, 1994 ; Cerruti & al, 2010 ; Blagovesta & al, 2005) et les agriculteurs (3, 5 et 16). C'est une plante non commercialisable mais le coût des semences et de la main d'œuvre est minime car la tagete se ressème ensuite naturellement chaque année dans le tunnel (d'après l'agriculteur 3). Le calendula est recommandé par la bibliographie des jardiniers amateurs mais peu utilisé dans notre échantillon d'agriculteurs (1/18 agriculteurs) et pas référencé pour le bioagresseur cité (*Phytophthora infestans*).

Il semble important de déterminer si l'effet chimique est attractif ou répulsif (ce qui, selon nos recherches, n'est pas clairement déterminé ni par les agriculteurs ni par les scientifiques) car un agencement adapté en conséquence pourrait sans doute améliorer la performance de ces mécanismes biologiques. En effet d'après la théorie du push-pull, initialement développée par Pyke & al (1987) et Miller & Cowles (1990), une des possibilités proposée pour augmenter l'efficacité de cet effet pourrait être de disposer les espèces répulsives au sein des cultures et celles attractives en bordure des cultures.

#### c) Stratégie n°3 : Gestion de la santé par la production de « ressources pour les auxiliaires » (tableau 5)

Les agriculteurs 11, 12 et 18 associent leurs légumes d'été à des plantes de service. Leur hypothèse est que ces plantes de service fournissent des ressources (nourriture -pollen ou proies alternatives, refuge, site de ponte...) qui favorisent la colonisation et dans certains cas l'installation des auxiliaires dans le tunnel et ainsi leur action de contrôle des ravageurs. L'agriculteur 11 a associé en 2014 *Tropaeolum majus* (capucine), concombre et poivron afin que la capucine attire les auxiliaires dans le tunnel. Il n'a pas été satisfait car il n'a pas observé d'auxiliaires sur la capucine. En 2015, il teste d'obtenir cette effet d'attraction des auxiliaires par des *Tagetes spp.*, des *Calendula officinalis* et des *Pelargonium crispum* (géraniums odorants). L'agriculteur 12 associe du tabac à la tomate afin d'abriter des *Macrolophus spp.* venant du milieu naturel, mais n'effectue pas d'observations d'évaluation. L'agriculteur 18 associe tabac, haricot et tomate afin d'abriter *Macrolophus spp.* sur le tabac et *Aphidius spp.* sur le haricot. Il est satisfait de cette association et la pratique depuis de nombreuses années. Des *Macrolophus spp.* étaient observables sur le tabac lors de l'enquête.

**Bilan :** Le nectar et le pollen des plantes aromatiques de la tagete, du calendula, du géranium et de la capucine peuvent potentiellement être une ressource alimentaire pour les parasitoïdes. Des références scientifiques le mettent en évidence pour la tagete et la capucine (Silveira & al, 2009 ; Baggen & al, 1998). Elles peuvent également être des plantes hôtes de ravageurs : la capucine par exemple est très appétente pour beaucoup de pucerons (Gorur & al, 2007 ; Vialard, 2007). Cette propriété attractive de la capucine peut en faire une plante piège intéressante pour gérer la santé des plantes, à condition toutefois de la disposer en bordure des cultures et non au sein des cultures (ce qui été pratiqué en 2014 par l'agriculteur 11) d'après le principe du push-pull (Pyke & al (1987) et Miller & Cowles (1990). Haricot et tabac sont utilisés par des agriculteurs pour améliorer l'efficacité des lâchers d'auxiliaires. Cette stratégie est une piste intéressante pour la Recherche, pour le développement de la lutte biologique. Le haricot, étant commercialisable, permet une diversification de la production économiquement intéressante. A condition toutefois qu'il ne souffre pas d'une irrigation couplée avec la tomate (imposée par l'agencement en *mixed intercropping*) ce qui n'est pas signalé par les agriculteurs 2 et 16 ayant cette pratique.

Pour leur intégration en association, il faudrait avancer sur le rôle de ces espèces « plantes de service » et/ou les modalités de leur intégration dans le peuplement cultivé. Il apparait aussi indispensable de rester vigilant à considérer tous les bioagresseurs dans le choix des plantes de service. **Par exemple, Van den Boom & al (2003) ont mis en évidence que le tabac est très appétent pour *Tetranychus urticae*.**

#### d) Stratégie n°4 : Gestion de la santé par « modification du microclimat » (tableau 6)

Tableau 6 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°4

Agencement	Hypothèses des agriculteurs	Observations et évaluation des agriculteurs	Expérience de l'association	Connaissances scientifiques
Espèce haute aux bords, espèce basse au centre	Agri. 17 : l'ombre portée du concombre en début et fin de journée (haut car palissé sur fil) engendre un microclimat plus frais sur la courgette (rampante), conditions peu favorables au développement de <i>Podosphaera xanthii</i> et <i>Golovinomyces cichoracearum</i> ( <b>oïdium des cucurbitacées</b> )	Satisfaisant car « l'oïdium ne se développait quasiment pas, en comparaison avec [...] d'autres tunnels où la courgette ne bénéficiait pas d'ombre ».	NC	« au contact de l'eau, les conidies sont plus ou moins altérées [...] La température n'est pas un facteur limitant de leur développement qui a lieu entre 10 et 35°C, l'optimum se situant aux alentours de 23-26°C [...] L'oïdium apparaît souvent plus grave sur les plantes et les feuilles situées plutôt à l'ombre ou l'intérieur du couvert végétal [...]. La lumière directe et les fortes températures supérieures à 38°C limite le développement de l'oïdium. » (site Ephytia, INRA)
Gradient de hauteur	Agri. 8 : l'absence d'ombre portée du haricot (au nord du tunnel) permet un « séchage » plus rapide des plantes par le soleil, conditions moins favorables au développement <i>Pseudoperonospora cubensis</i> (mildiou) sur melon	En cours...	2015	Le mildiou du melon <i>Pseudoperonospora cubensis</i> « apprécie particulièrement les fortes hygrométries survenant en périodes de brouillards, de rosées, [...]. La présence d'eau libre sur les feuilles est indispensable à l'infection» (site Ephytia, INRA)

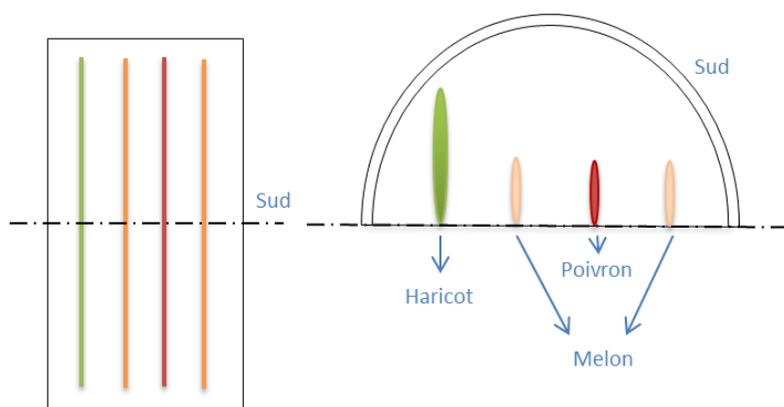


Figure 24 : vue aérienne et coupe transversale du tunnel associé 8

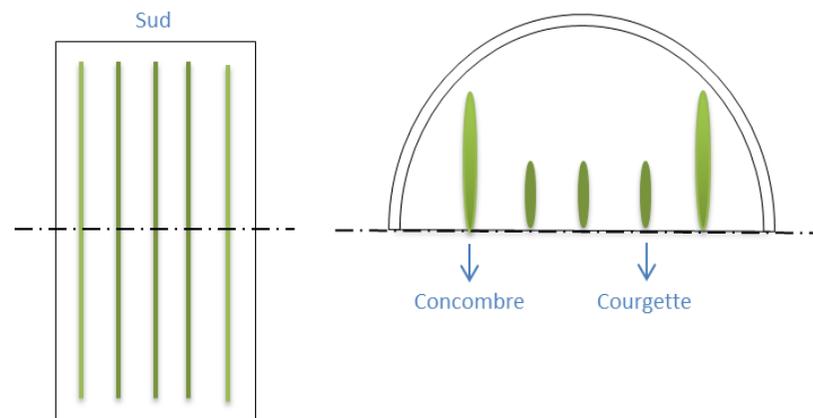


Figure 25 : vue aérienne et coupe transversale du tunnel associé 17

Les agriculteurs 8 (figure 24) et 17 (figure 25) associent des espèces de ports différents (hauteur). L'agriculteur 8 fait évoluer son association en 2015 en positionnant l'espèce la plus haute au nord pour éviter d'ombrer les autres cultures. Son hypothèse est que la lumière directe du soleil permet un « séchage » plus rapide des plantes ce qui crée des conditions moins favorables au développement *Pseudoperonospora cubensis* (mildiou) sur melon. L'agriculteur 17 associe deux rangs de concombre hauts en bordures de tunnel et de la courgette rampante au centre du tunnel. Son hypothèse est que les concombres ombrent les courgettes avant midi et après 15 heures ce qui évite la création d'un microclimat chaud et humide favorable à l'oïdium des cucurbitacées (*Podosphaera xanthii* et *Golovinomyces cichoracearum*) très problématique pour lui sur courgette. Il est satisfait de cette association car il a observé que « l'oïdium ne se développait quasiment pas, en comparaison avec [...] d'autres tunnels où la courgette ne bénéficiait pas d'ombre » (propos de l'agriculteur 17).

Dans la stratégie 4, le choix des espèces et leur palissage (ce qui détermine la hauteur de la plante) est lié à l'agencement en *row intercropping* : les plantes potentiellement hautes sont palissées sur fil et sont disposées de manière à obtenir le microclimat voulu (ombre portée ou non sur les autres espèces). L'agencement en *row intercropping* permet une irrigation dé耦plée et des plantations décalées.

**Bilan :** Les maladies aériennes causées par des champignons sont favorisées par des conditions de feuillage humide, à l'exception de l'oïdium qui n'en a pas besoin pour son développement (site Ephytia de l'INRA). Limiter les périodes où le feuillage est mouillé en agençant les espèces de manière à ce que la lumière directe sèche les feuilles est une stratégie intéressante pour gérer le mildiou par exemple (stratégie de l'agriculteur 8). Toutefois, des conditions plus sèches peuvent favoriser d'autres bioagresseurs comme *Tetranychus urticae* (site Ephytia de l'INRA). La stratégie développée par l'agriculteur 17 semble en revanche contradictoire avec les références scientifiques (site Ephytia de l'INRA) : l'ombrage de la courgette en début de matinée et en fin de journée permet-il un contrôle de l'oïdium ?

Ces exemples mettent en exergue les antagonismes entre pratiques dans la gestion des ravageurs, maladies, ici en lien avec le microclimat. Pour piloter la santé des plantes et décider ou non d'activer un levier modifiant le climat (bassinage, aérer son tunnel, effeuiller ses plants...), faut-il anticiper les impacts qu'il aura sur le cortège de bioagresseurs dominants pour toutes les espèces ? Faut-il hiérarchiser les risques ?

#### e) Stratégie n°5 : Gestion de la santé par « effet barrière » (tableau7)

Les agriculteurs 2 (figure 26) et 10 (figures 27 et 28) associent des espèces de sensibilités différentes et/ou de ports différents (hauteur). Leur hypothèse est que certaines espèces peuvent agir comme obstacle physique à la dispersion de certains ravageurs/maladies. L'agriculteur 2 dispose deux rangs de tomate aux bordures de son tunnel car elle est peu sensible à *Tetranychus urticae*. Son hypothèse et sa motivation sont que ces rangs agiront par effet barrière pour protéger le concombre et le haricot contre *Tetranychus urticae*, venant de l'extérieur via les ouvrants latéraux. L'agriculteur 10 dispose deux rangs hauts de haricot entre des rangs de courgette et de concombre. Sa motivation est de gérer l'oïdium externe des cucurbitacées (*Podosphaera xanthii* et *Golovinomyces cichoracearum*). En effet, son hypothèse est que la présence du haricot sera une barrière physique à la dispersion de maladies, puis le vide laissé entre les deux cucurbitacées après son arrachage (espèce de cycle plus court de deux mois) sera un frein à la transmission de la maladie entre les deux cucurbitacées.

Dans la stratégie 5, le choix des espèces « barrière » et leur palissage (recherche d'une porosité faible et un port haut) est lié à leur agencement en *row intercropping* : les plantes potentiellement barrière sont palissées sur fil et disposées pour perturber le déplacement supposé des bioagresseurs ciblés. Dans les deux cas (agriculteurs 2 et 10), l'espèce « barrière » est d'une famille botanique différente des autres espèces de l'association. Or, des familles botaniques différentes ont souvent des durées de cycle différentes. C'est le cas ici et l'arrachage se fait dans les deux cas (agriculteurs 2 et 10) en décalé pour les différentes familles botaniques de l'association. La plantation en revanche, dans cette stratégie, est réalisée de manière simultanée. L'agencement en *row intercropping* permet une fertirrigation dé耦plée. L'effet barrière pouvant également perturber le déplacement des auxiliaires, les lâchers d'auxiliaires sont réalisés en localisé.

Plante barrière	Hypothèses des agriculteurs	Observations et évaluation des agriculteurs	Expérience de l'association	Connaissances scientifiques
Haricot	Agri. 10 : le haricot va faire obstacle à la propagation de <b>l'oïdium externe des cucurbitacées</b> entre le concombre et la courgette. L'arrachage plus précoce du haricot laisse un vide gênant également la transmission de la maladie	Un peu d'oïdium sur les vieilles feuilles de courgette, maîtrisé par arrachage manuel. Pas de souffre nécessaire. Satisfaisant.	Depuis 2012	Concombre et courgette sont sensibles à <i>odosphaera xanthii</i> et <i>Golovinomyces cichoracearum</i> (oïdium externe) alors que le haricot n'y est pas sensible.  Dissémination de ces 3 maladies par le vent, les courants d'air, la pluie, les éclaboussures d'eau et les ouvriers au cours des opérations culturales. Certains insectes contribueraient à la dispersion locale des conidies de l'oïdium, comme les thrips par exemple. Dissémination jusqu'à 200 km pour l'oïdium. (site Ephytia, INRA)
Tomate	Agri. 2 : la tomate va faire obstacle à <b><i>Tetranychus urticae</i></b> venant des bordures et de l'extérieur ; l'installation de <b><i>Tetranychus urticae</i></b> sur haricot et concombre sera plus progressive	En cours...	2015	Tomate peu appétente pour <b><i>Tetranychus urticae</i></b> Dispersion de <b><i>Tetranychus urticae</i></b> : « par le sol, le long des ficelles de culture, grâce à des fils de soie à partir desquels ils sont dispersés par les courants d'air, [...] par le transport de matériel végétal infesté, par les vêtements, les outils ou d'autres objets. » (site Ephytia, INRA)

Tableau 7 : analyse agronomique multisourcée de la stratégie n°5

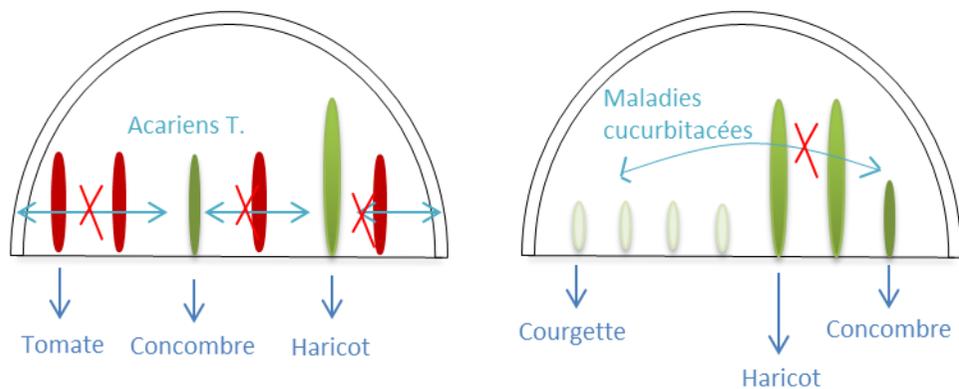


Figure 26 : vue transversale de l'association 2 et schématisation de l'effet barrière supposé

Figure 27 : vue transversale de l'association 10 et schématisation de l'effet barrière supposé



Figure 28 : vue transversale de l'association 10, prise en 2014 (courgette, haricot et concombre de gauche à droite)

**Bilan :** Le haricot en plante « barrière » contre les maladies aériennes des cucurbitacées dont il n'est pas hôte est une piste intéressante, étant donné qu'il a une croissance plus rapide que les autres plantes et un feuillage peu poreux lorsque semé à haute densité (voir figure 28). Après l'arrachage du haricot (qui est de cycle plus court que les cucurbitacées), il est peu probable que l'espace d'un rang vide entre deux cucurbitacées gêne ou empêche la transmission de la maladie, même dans la mesure où les plantes ne se touchent pas (hypothèse de l'agriculteur 10). Concernant la stratégie d' « effet barrière », il faut rester vigilant à ne pas créer une compétition pour la lumière dommageable aux plantes dans l'ombre portée de l'espèce haute « barrière physique ». Il pourrait être intéressant d'expérimenter une plantation anticipée du haricot, afin de le mettre en place plus précocement, avant les premières apparitions de maladies. Il serait intéressant de tester si une 2<sup>ème</sup> plantation consécutive de haricot est techniquement faisable (pratiquée en 2015 par l'agriculteur 1), car cela permettrait de maintenir la « barrière physique ». Mais quelles interactions potentielles entre techniques ? En contre-plantation, les jeunes plants de haricot très appétant ne risquent-ils pas d'être colonisés par les ravageurs/maladies déjà installés sur les autres espèces ? (Cf. résultats essai 4SYSLEG 2014)

*Tetranychus urticae* pouvant hiberner dans le sol et pouvant être disséminé lors des opérations culturales par les ouvriers (site Ephytia de l'INRA), on peut se demander si une plante « barrière » hôte peu appétente (la tomate) ralentira la colonisation par ce ravageur. Ceci est observé par l'agriculteur 20 qui indique que la tomate fait comme un « barrage » entre les deux rangs d'aubergine : *Tetranychus urticae* arrive 1 à 2 semaines plus tard sur le 2<sup>e</sup> rang. C'est à cette interrogation (la tomate fait-elle un effet barrière ?) que tâche de répondre le 2<sup>ème</sup> dispositif mis en place dans ce stage, testé dans l'association tomate-concombre-haricot-oignon de l'agriculteur 2.

De nombreux articles scientifiques s'intéressent aux résultats d'associations d'espèces précises, mais peu cherchent à identifier les mécanismes biologiques expliquant ces résultats. L'article Gomez-Rodriguez & al (2003) cherche à mettre en évidence les mécanismes biologiques en jeu dans la réduction de *A. solani* dans l'association *Tagetes erecta* et tomate. Les effets allélopathiques sont mis en évidence via des tests de germination in vitro. L'effet de modification du microclimat est mis en évidence par des capteurs d'humidité suspendus à mi-hauteur des plants de tomate et des micro-capteurs de température sur les feuilles de tomate. D'autres articles scientifiques comme celui de Kopta & al (2012) mettent en évidence l'effet de « production de ressources pour les auxiliaires » par des comptages, plusieurs fois au cours de la culture, du nombre de visites d'auxiliaires sur les plantes. En revanche, aucun article mettant en évidence isolément les mécanismes d'effet barrière ou de dilution n'a pu être identifié dans la recherche bibliographique de ce travail. Ce sont des mécanismes biologiques complexes à étudier et à identifier rigoureusement. Le suivi mis en place dans le cadre de stage se propose de tester une méthodologie pour étudier le mécanisme biologique d'effet barrière.

## B) Dispositif 2

### 1) Adaptation du protocole à un cas d'étude

L'association sélectionnée pour tester le protocole est mise en place par l'agriculteur 2, maraîcher bio en circuit court (66). Il s'agit d'une association tomate-concombre-haricot réalisée depuis de nombreuses années mais pour la première fois en 2015 selon cette disposition et avec de l'oignon (voir figure 29). Elle est pratiquée dans deux tunnels spatialement proches, avec une mise en place décalée de 8 semaines. Le suivi des 2 tunnels permet de multiplier les stations et d'observer éventuellement des différences liées aux dates de plantation décalées.

En 2014, l'agriculteur avait observé que son rang de concombre situé alors en bordure, avait été infesté très fortement et de manière non contrôlable par *Tetranychus urticae*, alors que son rang de haricot situé au centre avait été touché plus progressivement par des petits foyers ponctuels que l'agriculteur avait pu contrôler. Son hypothèse est que les tomates peuvent protéger concombre et haricot par effet barrière car elles ne sont pas sensibles à *Tetranychus urticae*. En 2015 il a donc placé des rangs de tomate en bordure du tunnel pour qu'elle fasse « barrière » à *Tetranychus urticae* arrivant de l'extérieur. Trois hypothèses sont avancées (voir tableau 8).

Tableau 8 : hypothèses du protocole mis en place dans l'association 2 en 2015

	Description	Espèces concernées	Observations possibles
Hypothèse 1 : Tomate barrière physique	La tomate va être une « barrière physique » entre l'extérieur et les concombres et haricots au centre du tunnel.	<i>Tetranychus urticae</i> ( <b>hypothèse du maraîcher</b> ), thrips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> et <i>Thrips tabaci</i> ), <i>Phytoseiulus permisilis</i> et <i>Amblyseius californicus</i>	Absence sur concombre et haricot ; Population plus importante sur le rang externe de la tomate que sur le rang interne ; Colonisation vers le centre du tunnel très lente. Variabilité entre variétés de porosité et pilosité différentes.
Hypothèse 2 : Haricot + concombre barrière physique	Le haricot et/ou le concombre vont être une « barrière physique » limitant la propagation entre les tomates de part et d'autre.	<i>Tuta absoluta</i> , acariose bronzée ( <i>Aculops lycopersici</i> ), oïdium externe de la tomate ( <i>Oidium neolycopersci</i> ), mildiou de la tomate ( <i>Phytophthora infestans</i> ), oïdium interne de la tomate ( <i>Leveillula taurica</i> )	Présence sur les tomates d'un seul côté et ne se propageant pas à l'autre côté. Propagation accélérée après l'arrachage du haricot et/ou du concombre.
Hypothèse 3 : Haricot barrière physique	Le haricot va être une « barrière physique » limitant la propagation entre les cultures de part et d'autre de lui (tomates ou oignons).	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Nesidiocoris tenuis</i>	Présence d'un côté du haricot et ne se propageant pas à l'autre côté. Propagation accélérée après l'arrachage du haricot.

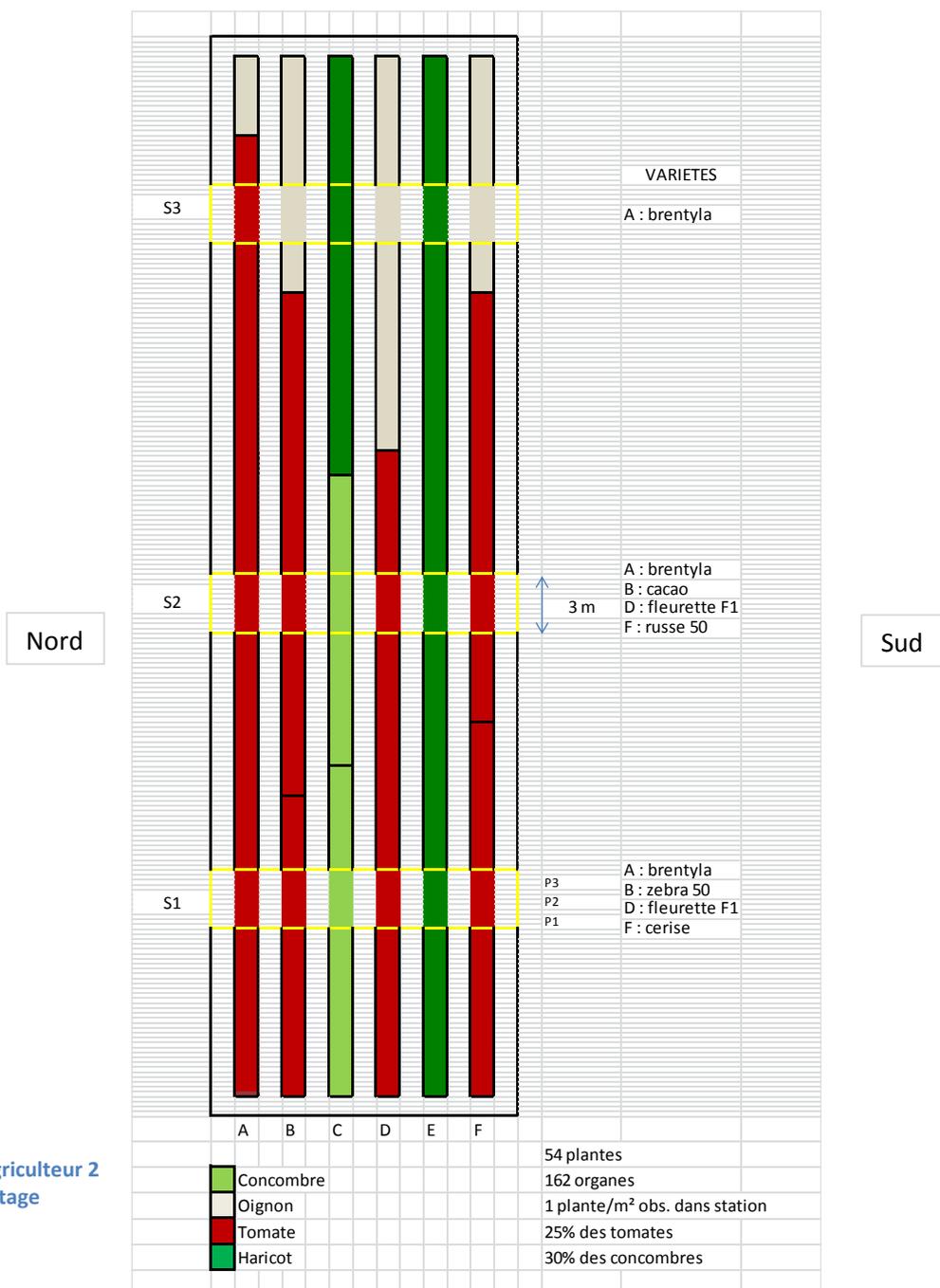
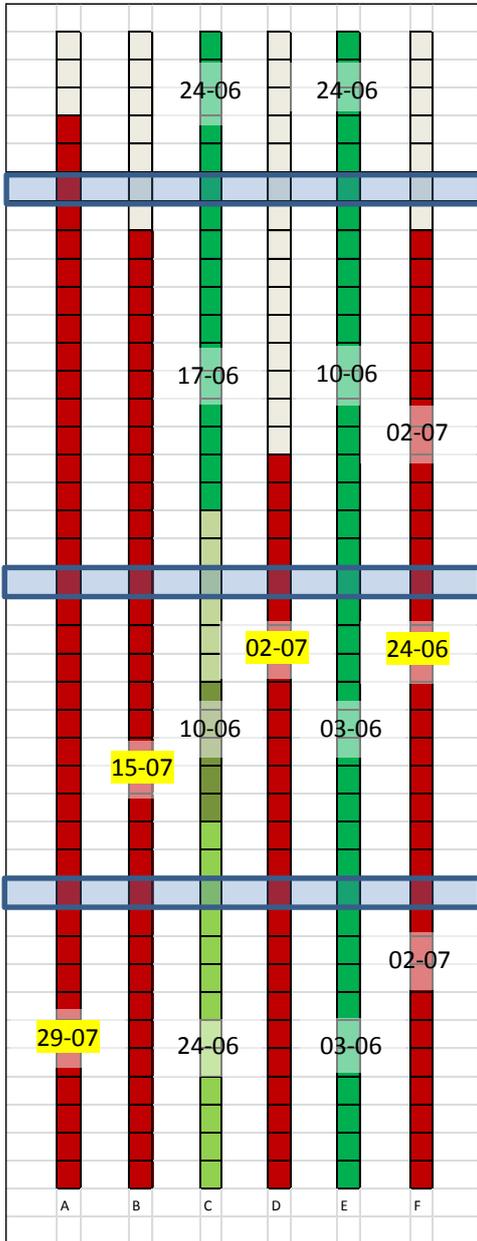
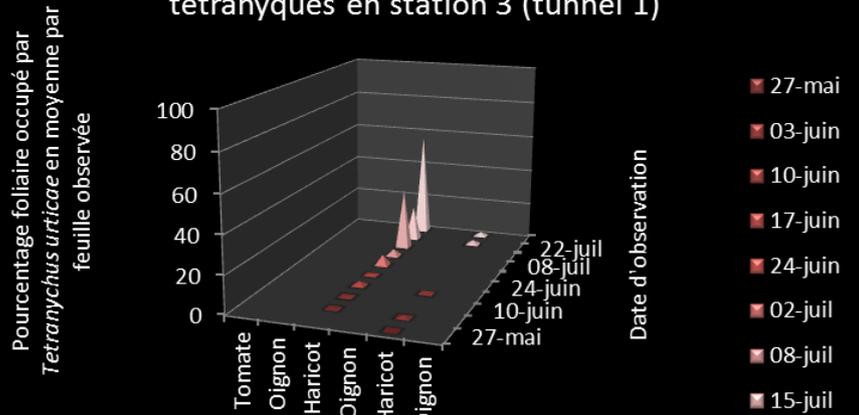


Figure 29 : tunnel 1 de l'agriculteur 2 et stations de comptage

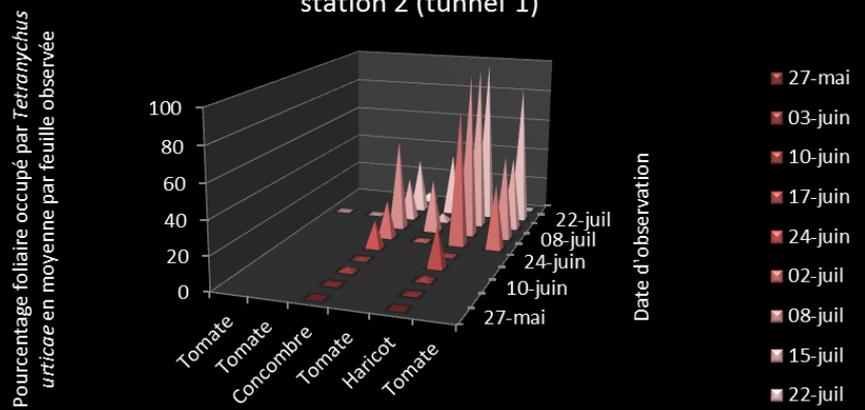
Observations du tour général



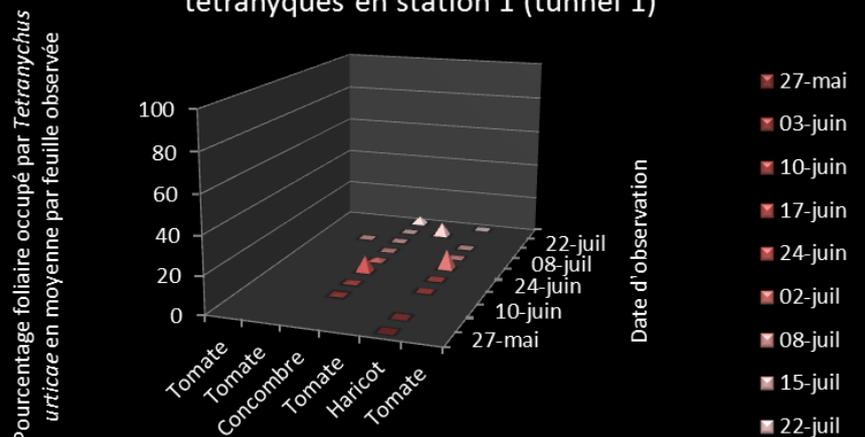
Evolution spatio-temporelle des acariens tétranyques en station 3 (tunnel 1)



Evolution spatio-temporelle des acariens tétranyques en station 2 (tunnel 1)



Evolution spatio-temporelle des acariens tétranyques en station 1 (tunnel 1)



Informations sur l'ITK

⚠ Lâcher de *Phytoseiulus persimilis* (prédateur de l'acarien T.) le 17 Juin

Figure 30 : traitement graphique des évolutions spatio-temporelles observées, exemple de l'acarien T. en tunnel 1

Le protocole modulable a été ajusté à cette association et ces hypothèses (annexe 5). Les tunnels sont suivis pendant 4 mois : du 1<sup>er</sup> Avril (plantation tunnel 1) au 31 Juillet (date de fin de stage).

## 1) Premiers résultats du suivi

La figure 30 illustre les données recueillies sur *Tetranychus urticae* (objet de l'hypothèse 1 (voir tableau 8)). Le schéma de gauche indique les 1<sup>ères</sup> colonisations observées lors des tours généraux dans le tunnel. Sous ce schéma sont signalés les éléments de l'itinéraire technique pouvant interagir avec les populations de *Tetranychus urticae*. Les 3 graphiques de droite représentent par station l'évolution des populations de *Tetranychus urticae* observées selon le rang (axe des abscisses) et dans le temps (axe de profondeur). On observe que les premières colonisations ont eu lieu le 27 Mai dans les 3 stations.

Dans un premier temps, aucun *Tetranychus urticae* n'est observé sur tomate alors que de fortes populations sont présentes sur haricot et concombre. Cette observation confirme la différence d'appétence entre ces espèces vis-à-vis de ce ravageur : *Tetranychus urticae* préfère le haricot et le concombre plutôt que la tomate. Dans un second temps, 5 semaines après l'arrivée de *Tetranychus urticae* dans le tunnel, le ravageur est observé sur tomate, sur les rangs directement proches de ceux de haricot et concombre. Ceci confirme que la tomate est hôte du ravageur, mais très peu appétente pour celui-ci.

NB : Dans la station 3, très peu de *Tetranychus urticae* sont observés sur le rang externe de haricot, ce qui peut être expliqué par le fait que ce rang était infesté de pucerons noirs très rapidement en début de culture.

Ce suivi d'une sole associée permet également de mettre en évidence le comportement de certains auxiliaires en association. Les résultats (voir figures 31 et 32) montrent notamment que *Macrolophus pygmaeus* et *Dicyphus spp.* sont peu présents sur haricot et présentent une nette préférence pour la tomate et le concombre.

38

On peut se poser la question également de savoir si d'autres effets barrière ont affecté la dispersion de ravageurs volants. L'exemple de la dispersion de la *Tuta absoluta* (voir figure 33) ne semble pas indiquer d'obstacle à la dispersion par les rangs non hôtes (haricot et concombre). Si l'effet barrière testé n'a pas été mis en évidence par ces résultats, on peut toutefois poser l'hypothèse que la tomate agit par « effet de dilution » pour le contrôle de *T. urticae* dans l'association.

Les observations du couvert de l'association apportent aussi d'autres résultats. Porosité et hauteur du rang sont deux caractéristiques déterminantes pour la performance d'un rang « obstacle physique ». Les observations montrent que le palissage et le choix des variétés (deux choix techniques de l'agriculteur) influent sur la hauteur et la porosité des rangs. Le palissage du haricot sur filet engendre un rang très bas par endroit (1m30 car le filet ploie sous le poids des plantes) mais un feuillage peu poreux alors que le palissage sur fil engendre un rang très haut très rapidement (jusqu'au fil de culture > 2 m50) mais plus poreux (voir figure 34). Les figures 35 et 36 prises un même jour mais à deux endroits du tunnel où les variétés de concombre et de tomate sont différentes, illustrent la variabilité de hauteur liée à la variété. Ainsi, dans la conception d'une association pour la stratégie n°5 (gestion de la santé des plantes par « effet barrière »), variété et palissage de l'espèce « barrière » sont des leviers d'amélioration de la performance de cette pratique.

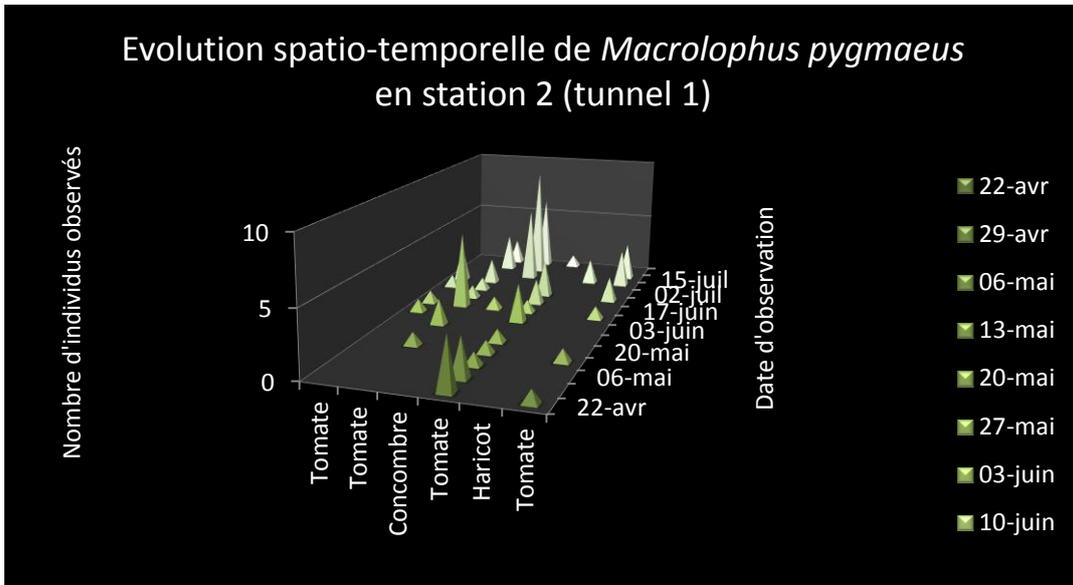


Figure 31 : Evolution spatio-temporelle de *Macrolophus pygmaeus* en station 2 (tunnel 1)

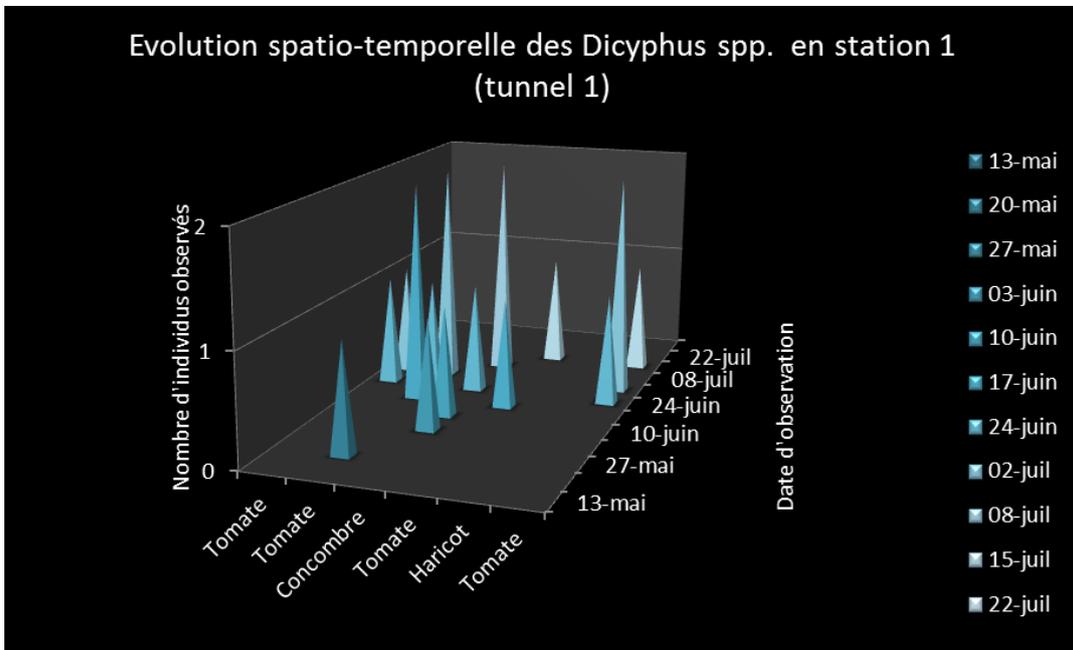


Figure 32 : Evolution spatio-temporelle de *Dicyphus* spp. en station 1 (tunnel 1)

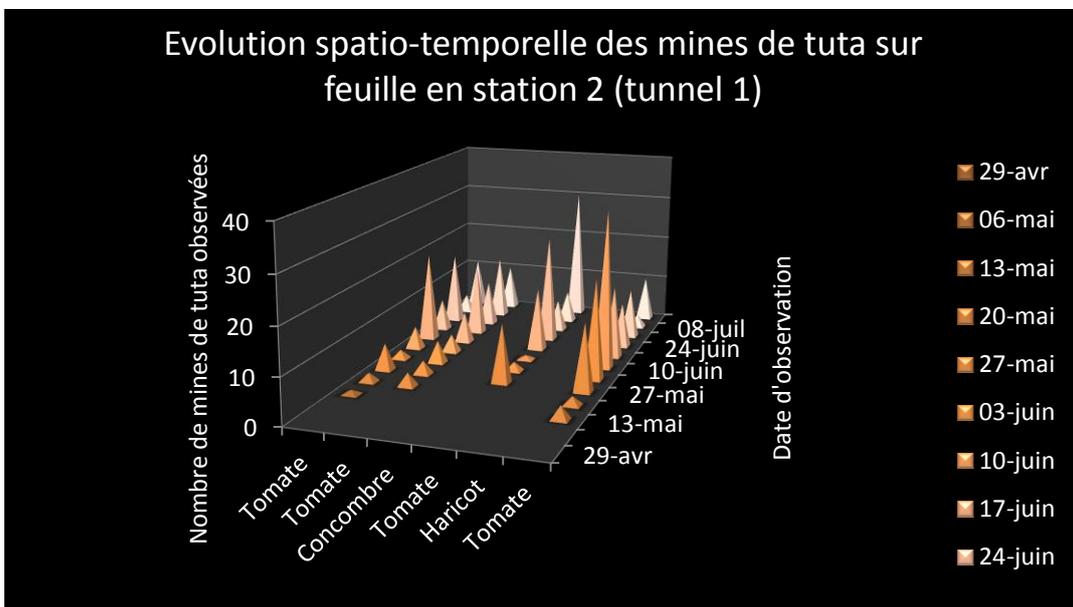


Figure 33 : Evolution spatio-temporelle des mines de tuta sur feuille en station 2 (tunnel 1)



Palissage sur filet  
(haricot)

Palissage sur fil  
(haricot)



Figure 34 : zone 3 du tunnel 1 le 10 Juin en vue transversale et zooms sur les rangs C et E



Figure 35 : zone 2 du tunnel 1 le 27 Mai en vue transversale



Figure 36 : zone 1 du tunnel 1 le 27 Mai en vue transversale

## VII) Discussion transversale

### A) Des pistes pour la Recherche...

Les résultats qui ressortent de ce travail sont (i) la grande inventivité des producteurs : par exemple, neuf types d'agencements très différents ont pu être décrits. Mais également (ii) comment les agriculteurs définissent la conduite de leur association en fonction d'objectifs de production : par exemple l'agriculteur 6 qui plante les espèces en même temps pour avoir une production maximale lors du pic de demande estivale ou l'agriculteur 5 qui plante les espèces en décalé pour produire certaines espèces de manière encore plus précoce. Les résultats montrent aussi (iii) comment les agriculteurs conçoivent des associations qui concilient des exigences paraissant contradictoires : par exemple l'agriculteur 3 parvient à mettre en place une stratégie de gestion de la santé des plantes sans augmenter son temps de travail (semis initial de *Tagetes spp.* qui se ressèment ensuite naturellement et participent au contrôle des noctuelles de la tomate). Ces résultats sont autant de pistes à creuser pour concevoir des systèmes de culture intégrant l'association d'espèces.

Ce travail apporte également des résultats sur « l'effet barrière », mécanisme biologique placé au croisement des deux dispositifs. Il a été identifié grâce au dispositif 1 comme un levier utilisé par les agriculteurs pour gérer la santé des plantes, et a été évalué scientifiquement par le suivi en parcelle du dispositif 2. Le dispositif 1 a fourni des hypothèses au dispositif 2 (hypothèses de l'agriculteur) basées sur des observations des années antérieures (observations de l'agriculteur). En retour le dispositif 2 a permis l'identification des actes techniques de l'agriculteur impactant l'effet barrière (la porosité et la hauteur de la « barrière » sont dépendantes des dates de plantation, de la densité, du palissage...). Si un effet barrière est réellement en jeu dans cette association dans les conditions de l'été 2015, il sera mis en évidence par le dispositif 2 (après traitement des données du cycle complet des cultures).

Les résultats de ce travail rappellent aussi l'urgence de travailler sur les interactions entre les pratiques agroécologiques. En effet, qu'en est-il par exemple de la lutte biologique par lâchers d'auxiliaires en cas d'associations d'espèces (cas de 11/20 agriculteurs)? Si l'association peut parfois s'avérer un atout pour la lutte biologique lorsqu'elle améliore l'habitat des auxiliaires (stratégie n°3), on peut se demander si cette diversification dans le tunnel ne perturbe pas l'action des auxiliaires spécialistes, en ralentissant leur dispersion dans les cultures par exemple.

41

Un des apports de ce travail est de mettre en évidence et illustrer les spécificités des associations d'espèces en maraîchage sous abris. D'éclairer sur les contraintes propres à cette activité agricole non pris en compte dans la recherche sur les associations en grandes cultures par exemple, mais aussi de souligner les marges de manœuvre supplémentaires, permettant une plus grande liberté dans la conception d'associations. Par exemple, le moindre recours à la mécanisation permet une plus grande diversité d'agencement des espèces (par zones, par rangs, en *mixed intercropping*...) ou encore l'utilisation de plantes de service dans la parcelle en culture. D'un autre côté, la complexité de la production des plants maraîchers par exemple apporte des contraintes sur la date de plantation non existantes lorsque l'on travaille avec des semences ou des arbres...

Ce travail apporte également une vision systémique par rapport aux visions plus ciblées des travaux existants sur les associations d'espèces. Les liens entre les pratiques sont étudiés et des éléments à l'échelle du système de culture voire de l'exploitation sont intégrés dans l'analyse de l'association.

Une autre originalité de cette étude est de proposer d'autres « portes d'entrée » alternatives à celle des espèces associées. Comme observé dans l'échantillon, les agriculteurs se basent sur leurs motivations pour concevoir leur association, or de nombreux essais scientifiques se basent sur le choix de deux espèces supposés intéressantes puis étudient éventuellement ensuite les conséquences sociales, économiques... Ces éléments de motivations ne sont souvent pas pris en compte pour concevoir l'association testée. Ce travail a mis en lumière la diversité des motivations liées à la pratique de l'association en ferme, des motivations qu'il apparaît important d'intégrer en

Tableau 9 : récapitulatif des motivations et choix techniques impactés dans les associations

	Nb d'agriculteurs ayant cette motivation	Choix des espèces	Agencement	Rotation	Irrigation	Fertilisation	Plantation	Arrachage	Palissage	Traitement - lâcher	Bassinage - aération
Production diversifiée	19	19									
Limitation bioagresseurs telluriques	19	2	1	19							
Simplification entretien	17	7	6		11	1			3	1	1
Limitation ravageurs aériens	17	4	1							17	4
Simplification installation	16	5	3			12	8	1	1		
Productivité élevée	13	4	5		6	4	1	1	3		
Limitation maladies aériennes	12	3	3		2		1	1	1	9	3
Production continue	11		2				7	6			
Simplification arrachage	9	2	3					7			
Limitation excès d'eau	8		1		8						
Production précoce	6	2	1				6				
Répartition des risques	5	4	1				1				
Attractivité et maintien des auxiliaires	5	3	1							3	
Limitation « coups de soleil/chaud »	4		3						1		2
Autonomie de l'exploitation	4	2		1		2					
Production pour le tourisme estival	3	2					2				
Réduction des coûts	3		1	2		3			1	1	
Protection de l'environnement	3	1		1		2				1	
Production originale	2	2									
Simplification récolte	2	1	1								
Maintien vie biologique du sol	2			1		1					
Limitation compétition pour la lumière	2		2								
Simplification surveillance bioagresseurs	1	1	1						1		
Limitation des adventices	1		1								
Conditions optimales d'hygrométrie	1	1	1								
Valeur esthétique	1	1									

amont, lors du processus de conception et non simplement lors d'une évaluation rétroactive. Un récapitulatif des motivations liées aux associations rencontrées et les choix techniques impactés est présenté en tableau 9.

## B) Originalité de la méthode d'étude et apprentissages méthodologiques

Ce travail s'inscrit dans l'activité scientifique de « traque à l'innovation en ferme ». Son originalité vient de l'expérimentation d'une nouvelle méthode pour évaluer les pratiques/SDC rencontrés : la réalisation d'observations « au champ ». Ceci était proposé comme perspective dans des travaux de traque antérieurs (Salembier & Meynard, 2013 ; Lefèvre & al, 2012), et vise à valider l'intérêt des propositions des agriculteurs. Une autre proposition originale de ce travail est de ne pas réduire la description des pratiques/SDC traqués à un instant t donné mais de recueillir l'évolution de la pratique/du SDC. En effet, les moteurs de changements de l'association (structurels ou de pilotage) sont autant d'observations et d'évaluations des associations pratiquées (ex : association basilic-tomate de l'agriculteur 3 abandonnée car non satisfaisante). Ils nous renseignent aussi sur les critères de satisfaction des agriculteurs. Toutefois, la méthode présente quelques faiblesses à rectifier. (i) Orienter la traque selon des hypothèses sur les exploitations pratiquant l'association d'espèces (AB et circuit-court) introduit un biais dans l'échantillon final et limite la diversité des situations rencontrées. Il apparaît nécessaire de combiner les méthodes pour augmenter la gamme d'inventions découvertes. (ii) Enquêter sur une association de l'année précédente réduit la précision des informations recueillies car les agriculteurs oublient ou confondent les choix techniques et les observations réalisées. L'idéal serait d'enquêter sur l'association de la saison précédente (association de cultures d'hiver pour un stage de Février à Juillet) afin de bénéficier d'une évaluation complète, précise et fiable du cycle de culture. (iii) Construire le protocole expérimental en collaboration avec les agriculteurs pour l'expérimentation « en ferme » permettrait de travailler en conditions suffisamment contrôlées pour la production de connaissances scientifiques. Plusieurs pistes d'amélioration du protocole découlent de ce premier test :

- Observer uniquement les bioagresseurs ou auxiliaires sur lesquelles portent des hypothèses, ce qui permet de gagner du temps à l'observation, mieux cibler la période d'observation, la fréquence d'observation et la strate du couvert observée.
- Multiplier les individus statistiquement indépendants (des plantes fixes, des feuilles prises sur des plantes différentes...).
- Suivre plusieurs tunnels où un effet barrière est supposé et les considérer dans un même jeu de données.

Sans doute serait-il intéressant d'impliquer l'agriculteur dans l'adaptation du protocole à son association afin d'effectuer les quelques ajustements nécessaires à l'expérimentation? Cette méthode semble constituer une solution intéressante pour accélérer la recherche sur les associations, en accédant aux données de multiples associations.

Travailler à des échelles de temps différentes ?

### (i) Inférieures au cycle complet de culture

- Décalages de plantation entre les espèces associées : Par exemple, Rezende & al (2005) ont montré que le LER d'une association tomate-salade varie selon le décalage de date de plantation entre les deux espèces.
- Période de plantation : Le suivi expérimental de 2 tunnels plantés avec 8 semaines de décalage selon une association semblable a permis d'observer que les dynamiques de développement de population bioagresseurs/auxiliaires sont différentes. Les plantes sont en effet à des stades sensibles à des moments différents des cycles des bioagresseurs. (Résultats de ce Mémoire)

### (ii) Supérieures au cycle complet de culture

- Succession de cultures : Par exemple, Marahatta & al (2012) ont pu mettre en évidence que l'effet chimique suppressif des nématodes de *Tagetes spp.* dépend de l'état actif ou non des nématodes, et que ceci dépend du précédent cultural (ils sont actifs après une culture sensible mais en « dormance » après une jachère par exemple).

- Cultures en relais : Par exemple, la station expérimentale SECL (22) a testé de maintenir deux rangs de courgette en bords de tunnels jusqu'à quelques semaines après la plantation de la culture suivante (concombre). Il a été observé que cette pratique permet de ralentir la progression du puceron et maintenir plus longtemps le concombre en culture.

### C) Le défi de l'analyse agronomique « multi-sourcée »

La présente proposition d'analyse agronomique multi-sourcée permet de créer deux types de synergie entre connaissances scientifiques et empiriques (selon la classification de Girard & Navarrete, 2005). (i) Elle permet de « traduire des connaissances empiriques en questions scientifiques pertinentes pour l'action » (Girard & Navarrete, 2005). Par exemple, cette étude montre le besoin de produire des connaissances scientifiques sur l'effet barrière et le déplacement des bioagresseurs au sein du tunnel (utile pour la stratégie n°5 et pourtant correspondant actuellement à un « trou de connaissance » et difficulté méthodologique mise en évidence dans le dispositif 2 de ce travail). (ii) Elle permet également de « fonder scientifiquement des connaissances empiriques, en mobilisant la capacité explicative de l'agronomie dans une démarche mécaniste » (Girard & Navarrete, 2005). Par exemple, l'agriculteur 5 remarque que la population de nématodes sur tomate est contrôlée en association avec des *Tagetes spp.* (Œillet d'Inde). Le mécanisme biologique responsable est expliqué scientifiquement par Cerruti & al (2010) par la sécrétion d'une substance allélopathique répulsive.

Trois limites ont été identifiées durant ce travail : (i) la question de l'identification claire des domaines de validités des connaissances et observations. Par exemple, le suivi réalisé pour ce travail nous a appris que le palissage modifiait l'effet barrière au sein d'une association, et pourtant le palissage n'est pas systématiquement décrit dans les essais techniques et scientifiques. Cette question est importante car le recoupement des domaines de validités est nécessaire pour pouvoir confronter des connaissances. (ii) L'existence de trous de connaissance : par exemple sur les niveaux d'appétence de différentes espèces pour un même ravageur, sur le rôle de différentes plantes de service et leurs modalités d'intégration dans un peuplement cultivé... (iii) la hiérarchisation des sources : que faire en cas de contradiction entre les différentes sources mobilisées ? Comme l'illustre la contradiction entre l'agriculteur 17 qui ombre sa courgette le matin et le soir contre l'oïdium et le site ephytia de l'INRA qui précise que les feuilles les plus touchées sont généralement celle à l'ombre dans le couvert. Laurent & al (2009) rappellent qu'on ne peut mettre « au même plan tous types de savoirs sans poser la question de leur fiabilité ». La transparence de leurs conditions d'établissement devrait rendre les savoirs scientifiques plus fiables. Mais leur domaine de validité inclut-il les conditions dans lesquelles des agriculteurs ont fait des observations les contredisant ?

Dans ce travail, nous avons cherché à analyser, au moins partiellement, les trajectoires d'évolution des pratiques d'association mises en place par les producteurs. Analyser ces trajectoires nous a permis de voir comment et pourquoi les producteurs ont fait évoluer leurs pratiques, de comprendre leurs apprentissages. Ce travail nous aussi permis de juger de la « robustesse » des dires des agriculteurs, que nous avons évalué selon deux points (i) le nombre d'années durant lesquelles une même association a été pratiquée et (ii) les références qu'utilisent les producteurs pour comparer et évaluer leurs pratiques. Nous avons constaté que les producteurs utilisent des références différentes qui peuvent, selon leurs caractéristiques, donner plus ou moins de validité à la comparaison. Le tableau 10 illustre la diversité des références utilisées par les agriculteurs. Nous discutons ici la pertinence des comparaisons des producteurs en lien avec deux points : (i) les caractéristiques de la référence (une autre parcelle, l'année n-1, année n...), (ii) le critère d'évaluation et plus précisément le résultat d'indicateur comparé... Par exemple, certains comparent le comportement et les résultats d'un légume à ceux obtenus les années en précédentes en culture pure ou en association à d'autres légumes avec parfois un pilotage différent. Une comparaison à l'année précédente est « affaiblie » par l'effet « climat » très variable selon l'année mais cette comparaison peut être plus robuste si elle s'appuie sur les données de plusieurs années (ce qui « gommerait » l'effet climat) ou si l'indicateur observé n'est pas ou peu influencé par l'effet climat (ex : le temps de travail). On peut alors s'interroger sur la robustesse de chacune des évaluations d'agriculteurs. Nous pourrions aussi appliquer cette évaluation aux références scientifiques utilisées dans ce travail : à quoi comparent-ils et quels indicateurs regardent-ils ? Où l'essai factoriel a-t-il été réalisé ? Selon le contexte de mise en œuvre, peut-on utiliser les résultats ? ...

Tableau 10 : éléments de référence des agriculteurs pour évaluer la performance de leur association

Référence temporelle	Référence spatiale	Acte comparé		Association évaluée	Critère/indicateur observé
Année n-1	1 seul tunnel	Choix des espèces	culture pure	1	population de <i>Tetranychus urticae</i>
				2	simplicité organisation du travail
				11	population de <i>Tetranychus urticae</i>
				13	niveau d'oïdium des cucurbitacées
		Choix des espèces	autres espèces associées	1	temps de travail
				1	ombre
				3	temps de travail + population noctuelles + nombre de BT appliqués
				4	ravageurs principaux
				9	population de pucerons
				11	population de doryphores
				13	Mauvaise fécondation/rendement de la tomate
				16	population de pucerons
				19	taches sur poivron
				19	pénibilité récolte
				19	niveau d'oïdium des cucurbitacées
				20	coup de soleil poivron
		Agencement	17	niveau d'oïdium des cucurbitacées	
			20	coup de soleil poivron	
			20	retard de maturité aubergine	
			3	population pucerons de l'aubergine	
Pilotage	6	retard de maturité			
	8	taches sur poivron			
	14	feuilles jaunes et fruits mal développés du poivron			
	20	excès d'eau poivron			
Année n à l'instant t	1 seul tunnel	Choix des espèces			
		Agencement	2	cinétique de <i>Tetranychus urticae</i>	
		Pilotage			
	Entre 2 tunnels	Choix des espèces			
		Agencement	8	niveau de mildiou et mûrissement du melon	
		Pilotage	17	niveau d'oïdium des cucurbitacées	
Année n aux instants t et t+1	1 seul tunnel	Choix des espèces			
		Agencement	1	Productivité de la culture	
		Pilotage			

## VIII) Conclusion

Une grande diversité d'associations a pu être décrite dans ce travail. Cette diversité confirme que la recherche sur les associations d'espèces appelle à de nouvelles méthodes de travail : produire des références en stations expérimentales sur l'infinité des associations possibles semble illusoire. L'intérêt de la « traque en ferme », déjà avéré dans des études précédentes, est confirmé, mais la détermination du domaine de validité des pratiques ou combinaisons de pratiques jugées intéressantes par l'agriculteur rencontre de grandes difficultés méthodologiques : la grande diversité des pratiques innovantes ne nous permet pas d'avoir beaucoup de répétitions, et les observations sur le terrain, même avec la mise en place d'un protocole rigoureux, restent complexes à analyser.

Les enquêtes et le suivi nous ont appris que certains choix techniques étaient interdépendants (ex : agencement des espèces et irrigation), et que certains déterminaient la performance de l'association pour gérer la santé des plantes (ex : palissage et choix variétal influent sur l'effet barrière). Cette traque permet également d'estimer les marges de manœuvre des maraîchers en termes de complexification du système (ex : découpler l'irrigation rang par rang en fermant des vanettes est faisable mais installer plusieurs circuits d'irrigation n'a pas été observé) et de voir que certains intègrent des innovations techniques pour y répondre (installation d'asperseurs adaptés pour n'irriguer que la salade par voie aérienne dans l'association). Ce sont des données mobilisables pour la conception de systèmes de culture innovants incluant des associations d'espèces. De même, les cinq mécanismes biologiques qui ont pu être identifiés dans les stratégies de gestion de la santé des plantes des agriculteurs, sont des pistes particulièrement prometteuses pour la conception de systèmes de culture économes en pesticides. « Effet de dilution », « effet chimique », augmentation des ressources pour les auxiliaires, modification du microclimat et « effet barrière physique » sont en effet des mécanismes biologiques à la fois connus de la bibliographie, et observés par des agriculteurs dans certaines configurations d'associations.

Aucun réseau d'échange sur les associations d'espèces n'a été mentionné par les personnes rencontrées lors de cette traque, malgré la proximité géographique des maraîchers expérimentant cette pratique atypique. La création de dynamiques de discussion entre ces maraîchers autour de l'association d'espèces mériterait d'être explorée. D'autre part, les difficultés rencontrées pour la mise en place d'un suivi en ferme invitent à réfléchir à un travail plus collaboratif avec l'agriculteur. Deux des agriculteurs contactés pendant la phase de repérage de la traque se disaient prêts à expérimenter des associations dans leur tunnel en collaboration avec un appui scientifique. Sans doute serait-il intéressant de réfléchir à des parcelles d'essais hybrides entre « ferme » et « station expérimentale » pour avancer sur la compréhension des associations d'espèces.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agreste, 2015. Recensement agricole 2010. Disponible sur Internet : [agreste.agriculture.gouv.fr](http://agreste.agriculture.gouv.fr) [consulté le 16/06/2015]
- Andow, D. (1991). Vegetational Diversity and Arthropod Population Response. *Annu. Rev. Entomol.* 36, 561–586.
- Arrufat, A., Singer, M., Moine, L. and Parent, N. (2009). Cultures de printemps associées sous abri froid : stratégie de protection. CIVAM BIO PO. 6p.
- Baggen, L.R., and Gurr, G.M. (1998). The influence of food on *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera : Encyrtidae), and the use of flowering plants as a habitat management tool to enhance biological control of potato moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera : Gelechiidae). *Biol. Control* 11, 9–17.
- Bettencourt, E. (2013). Traque à l'innovation en réseau d'agriculteurs pour la co-construction de systèmes de grande culture en Agriculture Biologique. Séminaire traque d'innovations, Paris MNE.
- Blanchard, M., Tinguéri, B.L., Meynard, J.M. and Vall, E. (2013). Traque des pratiques innovantes de production de fumure organique dans l'ouest du Burkina Faso : Témoignages pour une intensification écologique des systèmes de production ? Séminaire ASAP, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Boiffin, J., Caneill, J., Meynard, J., and Sebillotte, M. (1981). Yield Elaboration Processes and Nitrogen-Fertilization of Winter-Wheat. *Agronomie* 1, 549–558.
- Boll, R. and Lapchin, L. (1987). Dénombrement visuel du puceron *Macrosiphum euphorbiae* en serre de tomate. Laboratoire de Biologie des Invertébrés INRA Antibes, 4p.
- Bressoud, F. (2009). Produire des tomates pour des circuits courts : Vers de nouveaux critères d'évaluation variétale. *FaçSADe* 29, 1-4.
- Calonnet, A. (2013). Façonner l'architecture végétale pour contrôler les maladies des plantes. *Biofutur* 343, 37-42.
- Chambre d'Agriculture du Morbihan. Disponible sur Internet : [www.sehbs.synagri.com](http://www.sehbs.synagri.com) [consulté le 15/06/2015]
- Collier, R., Finch, S. and Davies, G. (2001). Pest insect control in organically-produced crops of field vegetables. *Proceedings : 53rd International Symposium on Crop Protection, University of Ghent, Belgium*, 259-267.
- De Carvalho, L.M., de Oliveira, I.R., Almeida, N.A., and Andrade, K.R. (2012). The Effects of Biotic Interaction between Tomato and Companion Plants on Yield. *Xxviii International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (ihc2010): International Symposium on Organic Horticulture: Productivity and Sustainability* 933, 347–354.
- De Tourdonnet, S. (1998). Maîtrise de la qualité et de la pollution nitrique en production de laitues sous abri plastique : diagnostic et modélisation des effets des systèmes de culture. Thèse : Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 6–8.
- Demarque, F. (2010). Incidence des systèmes de commercialisation sur le fonctionnement technique des exploitations maraichères en plaine de Roussillon(66). *Mémoire de Fin D'études, Montpellier Supagro*. 51p.
- Feike, T., Chen, Q., Graeff-Hoenninger, S., Pfenning, J., and Claupein, W. (2010). Farmer-developed vegetable intercropping systems in southern Hebei, China. *Renew. Agr. Food Syst.* 25, 272–280.
- Gaba, S., Lescourret, F., Boudsocq, S., Enjalbert, J., Hinsinger, P., Journet, E.-P., Navas, M.-L., Wéry, J., Louarn, G., Malézieux, E., Pelzer, E., Prudent, M. and Ozier-Lafontaine, H. (2015). Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development* 35 (2), 607-623.
- Gómez-Rodríguez, O., Zavaleta-Mejía, E., González-Hernández, V.A., Livera-Muñoz, M., and Cárdenas-Soriano, E. (2003). Allelopathy and microclimatic modification of intercropping with marigold on tomato early blight disease development. *Field Crops Research* 83, 27–34.

Gorur, G., Mononaco, C. and Mackenzie, A. (2007). Phenotypic plasticity in host choice behavior in black bean aphid, *Aphis fabae* (Homoptera: Aphididae). *Athropod-Plant Interactions* 1, 187-194.

Guerin, M. (2014). Attractivité des plantes pour les auxiliaires : synthèse des interactions plante/insecte. 14p

Hooks, C.R.R., Wang, K.-H., Ploeg, A., and McSorley, R. (2010). Using marigold (*Tagetes* spp.) as a cover crop to protect crops from plant-parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology* 46, 307–320.

Hopes, F. (2008). *Jardiner avec la lune*. Paris : Marabout.

Hulle, M., Turpeau-ait ighil, E., Robert, Y. and Monnet, Y. (1999). Les pucerons des plantes maraîchères. Cycles biologiques et activités de vol. Paris : INRA & ACTA. 136p.

Ingrand, S., Devun, J., Pailleux, J., Chauvet, A., and Dujour, E. (2012). Les innovations en élevages bovins et ovins allaitants: analyse de résultats d'entretiens auprès d'éleveurs et de réponses d'experts à un questionnaire. *Rencontres Autour Des Recherches Sur Les Ruminants* 393–396.

Kopta, T., Pokluda, R., and Psota, V. (2012). Attractiveness of flowering plants for natural enemies. *Hortic. Sci.* 39, 89–96.

Landais, E., Deffontaines, J.P., Benoit, M.(1988). Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Etudes rurales* 109, 125-152.

Launais, M., Bzdrenga, L., Estorgues, V., Faloya, V., Jeannequin, B., Lheureux, S., Nivet, L., Scherrer, B., Sinoir, N., Szilvassi, S., Taussig, C., Terrentot, A., Trottin-Caudal, Y., Villeneuve, F. (2014). Guide pratique pour la conception de systèmes de culture légumiers économes en produits phytopharmaceutiques, *Ecophyto*, 177p.

Laurent, C., Baudry, J., Berriet-Sollicec, M., Kirsch, M., Perraud, D., Tinel, B., Trouvé, A., Allsopp, N., Bonnafous, P., Burel, F., et al. (2009). Pourquoi s' intéresser à la notion d'«evidence-based policy»? 48

Lefèvre, V., Capitaine, M., Peigné, J. and Estrade, J.R. (2012). Soil conservation practices in organic farming: overview of french farmers' experiences and contribution to future cropping systems design. 10th European IFSA Symposium, Aarhus, Denmark.

Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., Tourdonnet, S., and Valantin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 43–62.

Manichon, H. and Sebillotte, M., (1973). Etude de la monoculture du maïs. Résultats d'une enquête agronomique dans les régions de Garlin et Navarrenx (P. A.). INA-PG, Chaire d'Agriculture, Doc. Ronéo., 5-7.

Marahatta, S.P., Wang, K.-H., Sipes, B.S., and Hooks, C.R.R. (2012). Effects of *Tagetes patula* on Active and Inactive Stages of Root-Knot Nematodes. *J. Nematol.* 44, 26–30.

Meynard, J.M., Doré, T. and Habib, R. (2001). L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. *Acad. Agric. Fr.* 87, 223-236.

Meynard, J.M. (2014). Traque aux systèmes agricoles innovants : quelques réflexions méthodologiques. *Projet CASDAR VITINNOBIO*, Avignon.

Miller, J.R. and Cowles, R.S. (1990). Stimulo-deterrent diversion: a concept and its possible application to onion maggot control. *J Chem Ecol.* 16, 197–212.

Ministère de l'Agriculture, l'Agroalimentaire et la Forêt. Disponible sur Internet : [agriculture.gouv.fr](http://agriculture.gouv.fr) [consulté le 13/06/2015]

Navarette, M. (1993). Variabilité au sein d'un peuplement de tomate sous serre et répercussion sur la conduite technique. Thèse : Institut National Agronomique, Paris-Grignon. 28-29.

- Paterno Silveira, L.C., Berti Filho, E., Rosa Pierre, L.S., Cunha Peres, F.S., and Cassa Louzada, J.N. (2009). Marigold (*Tagetes erecta* L.) as an attractive crop to natural enemies in onion fields. *Sci. Agric.* *66*, 780–787.
- Petit, M.S., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B. and Josse, S. (2012). Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations Agronomiques* *20*, 79-100.
- Pirlet, M. (2007). Les cultures associées. Jambes (Belgique) : Nature & Progrès.
- Poncet, C., Lemesle, V., Mailleret, L., Bout, A., Boll, R. and Vaglio, J. (2010). Spatio-temporal analysis of plant pests in a greenhouse using a Bayesian approach. *Agricultural and Forest Entomology* *12*, 325-332.
- Pyke, B., Rice, R., Sabine, B. and Zalucki, M.P. (1987). The push–pull strategy—behavioural control of *Heliothis*. *Aust. Cotton Grow. May–July*, 7–9.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., and Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* *32*, 273–303.
- Rezende, B.L.A., Canato, G.H.D., and Cecilio, A.B. (2005). Influence of planting and intercropping establishment time on production of the cultures intercropping of tomato and lettuce. *J. Ciencia e agrotecnologia*, *29*, 77-83.
- Ricard, S. (2014). Traque des pratiques atypiques en production maraîchère sous abri froid, pour alimenter la conception de systèmes de culture. Mémoire de Fin D'études, AgroCampusOuest. 42p.
- Rochat, J., Boll, R., Franco, E. and Lapchin, L. (1996). Variabilité inter-parcellaire de la dynamique des populations du puceron noir du melon, *Aphis gossypii*, en serres de concombre. Actes du Séminaire de l'AIP Serres, Alénia.
- Salembier, C., Meynard, J.M. (2013). Evaluation de systèmes de culture innovants conçus par des agriculteurs : un exemple dans la Pampa Argentine. *Innovations Agronomiques* *31*, 27-44.
- Sebillotte, M. (1974). Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cah. ORSTOM, sér. Biol. 3-25.
- Sebillotte, M. (1978). Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique, *CR Acad. Agric. France* *11*, 906-913.
- Sebillotte, M. (1990). Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : L. Combe et D. Picard coord., *Les systèmes de culture*. Inra, Versailles. 165-196.
- SECL Terre d'essais (2014). La courgette passe le relais. *Aujourd'hui & Demain* (Février).
- Sieffert, A. (2012). Synthèse des résultats expérimentaux portant sur les associations de diverses cultures maraîchères et identification des indicateurs pertinents pour évaluer leur rentabilité. Rapport de synthèse « Conception de vergers-maraîchers », 14p.
- Srinivasan, K., Moorthy, P., and Raviprasad, T. (1994). African Marigold as a Trap Crop for the Management of the Fruit Borer *Helicoverpa-Armigera* on Tomato. *Int. J. Pest Manage.* *40*, 56–63.
- Tavella, L., Goula, M. (2001). Dicyphini collected in horticultural areas of northwestern Italy (Heteroptera Miridae). *Boll. Zool. Agrar. Bachic.* *33*, 93–102.
- Tomova, B.S., Waterhouse, J.S., and Doberski, J. (2005). The effect of fractionated *Tagetes* oil volatiles on aphid reproduction. *Entomol. Exp. Appl.* *115*, 153–159.
- Tringovska, I., Yankova, V., Markova, D., and Mihov, M. (2015). Effect of companion plants on tomato greenhouse production. *Sci. Hortic.* *186*, 31–37.
- Van den Boom, C.E.M., van Beek, T.A., and Dicke, M. (2003). Differences among plant species in acceptance by the

spider mite *Tetranychus urticae* Koch. J. Appl. Entomol.-Z. Angew. Entomol. 127, 177–183.

Vialard, N. (2007). Les bonnes associations au potager. Paris : Editions Rustica.

Wagner, H. (2001). Le poireau préfère les fraises. Terre vivante.

## TABLE DES ANNEXES

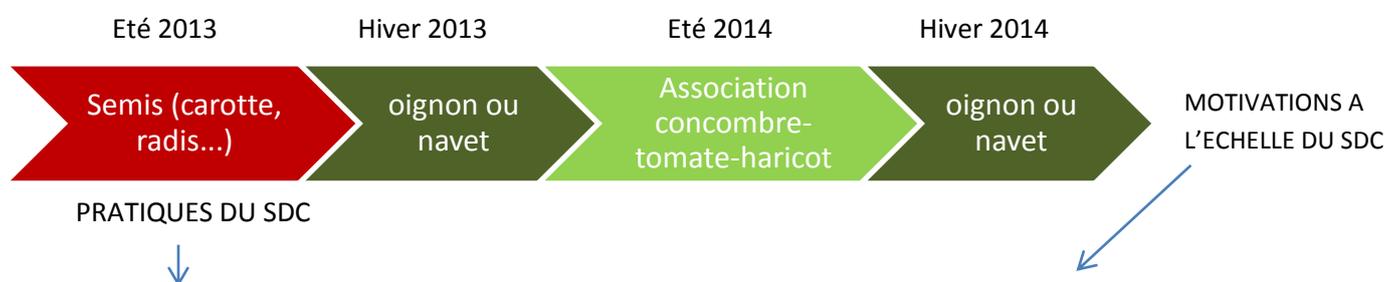
ANNEXE 0 : FICHE SYNTHÈSE, EXEMPLE DE L'ASSOCIATION N°2.....	53
ANNEXE 1 : GUIDE DES ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS .....	59
ANNEXE 2 : PROTOCOLE MODULABLE.....	60
ANNEXE 3 : ILLUSTRATION D'UN TUNNEL DE MARAICHAGE ET DES TYPES DE PALISSAGE RENCONTRES.....	64
ANNEXE 4 : PROTOCOLE AJUSTE.....	65
ANNEXE 5 : ITINÉRAIRE TECHNIQUE RÉALISÉ DANS LE TUNNEL 1 SUIVI.....	

## ANNEXE 0 : FICHE SYNTHÈSE, EXEMPLE DE L'ASSOCIATION N°2

Le producteur 2 travaille en AB à Saleilles, il est issu d'une famille d'agriculteurs. Il travaille toute l'année avec un employé et avec plusieurs saisonniers lors du « pic d'activité difficile » correspondant à la récolte des abricots (en Juin). Son exploitation est en effet partagée entre l'activité d'arboriculture et celle de maraîchage (8 tunnels). L'hiver, il commercialise entièrement sa production via une coopérative bio (Alterbio) et sa production est alors peu diversifiée (oignon, navet et persil). En revanche en été il commercialise la majeure partie de sa production par son stand de vente directe au bord de la route (et même 100% de sa production pour l'été 2015). C'est pour cela qu'il pratique les associations d'espèces : selon lui il n'a « pas le choix d'associer : il faut de la diversité et [il n'a] que peu de tunnels ». Cette commercialisation en vente directe l'amène également à une plus grande exigence pour le goût de ses produits : "les gens se vexent pour un mauvais melon", mais une moindre exigence sur l'aspect des légumes.

### I) Cohérence du système de culture dans lequel s'inscrit l'association étudiée

Exemple de succession dans laquelle s'inscrit l'association étudiée :



*1eres dates de plantation précoces (ex : tomates le 25 Mars)	Précocité de la production
*Pomme de terre sous abris pour gagner 10 jours	
Les mêmes espèces sont plantées avec 3 semaines d'intervalle	Etalement de la période de production
Les tunnels sont remplis entièrement (ex : petit pois sur les bordures du tunnel de pomme de terre)	Optimisation de l'espace
Pas la même culture 2 étés de suite dans le même tunnel : alternance de cultures semées et d'associations plantées (haricot-tomate-concombre ou aubergine-poivron)	Gestion de la santé des plantes
Pas de salade sous tunnel en hiver	*Gestion de la santé des plantes (sinon problèmes de nématodes) *Rentabilité (pas rentable sur de si petites surfaces)
Arrosage des tunnels entre 2 cultures	Maintenir la vie microbienne du sol

### II) Cohérence de la structure de l'association à la mise en place



Figure 6 : Sole associée 2014

PRATIQUES	MOTIVATIONS
*Association	Production diversifiée
*Choix des variétés : 6 variétés de tomates, 3 de concombre (long, court épineux et court lisse), vespérale en haricot	
Choix des espèces : « Les espèces associées sont celles à planter lorsqu'un tunnel se libère. »	Optimisation de l'espace
Choix des espèces : qui s'irriguent au goutte-à-goutte (un autre tunnel est en association avec les espèces irriguées par aspersion)	Simplifier le système d'irrigation
Rangs de tomate répartis dans le tunnel (pas les 4 rangs à côté)	Optimisation de l'espace (après l'arrachage du haricot et du concombre, les tomates auront tout l'espace de la serre)
Haricot au sud du rang de concombre	Conditions optimales de développement (l'ombre portée du haricot protège les jeunes plants de concombre de trop de chaleur et de lumière)

### III) Cohérence du pilotage de l'association au cours de la saison (itinéraire technique)

Rotavator-sous soleuse-rotavator (décompactage du sol et élimination les repousses)		*Gestion des adventices *Amélioration de la structure du sol	
Compost + engrais azoté complet partout			
	Paillage thermique pour le concombre (augmentation température du sol)	Irrigation au goutte-à-goutte avec électrovannes, basée sur les besoins de la tomate (calcul ETP) Irrigation découplée (coupée un jour sur deux au début) pour le concombre : « il ne car il ne lui faut pas trop d'eau au début. »	Conditions optimales de développement
Concombre et tomate sur une tête sur ficelle Haricot sur filet		Gain de temps (simplification de la récolte) Gestion de la santé des plantes	
Aération maximale (lutte contre maladies aériennes)		Aspersions très régulières contre <i>Tetranychus urticae</i> sauf quand de l'oïdium ou du mildiou apparaît sur tomate. Lâchers en préventif de <i>Macrolophus pygmaeus</i> sur la tomate. Autres lâchers sur détection ( <i>Phytoseiulus persimilis</i> lâché contre <i>Tetranychus urticae</i> sur concombre et haricot)	
		Arrachage haricot et concombre : Juillet Tomate : Août	Compromis : Pas de coordination des cycles (pas d'optimisation de l'espace)

#### IV) Evolution de l'association et évaluation par l'agriculteur pour l'année étudiée

##### a) Evaluation de l'association 2014 par l'agriculteur :

En 2014 le concombre (sur le bord) a eu une très forte attaque de *Tetranychus urticae*, elle n'a pas pu être contrôlée ; Le haricot situé au centre n'a eu lui que quelques foyers de *Tetranychus urticae* qui ont pu être maîtrisés.

Il a eu aussi un peu de pucerons noirs dans le tunnel. D'après les observations de l'agriculteur, les auxiliaires ne s'installent pas bien sur haricot et le contrôle de ce puceron sur haricot n'est pas très efficace.

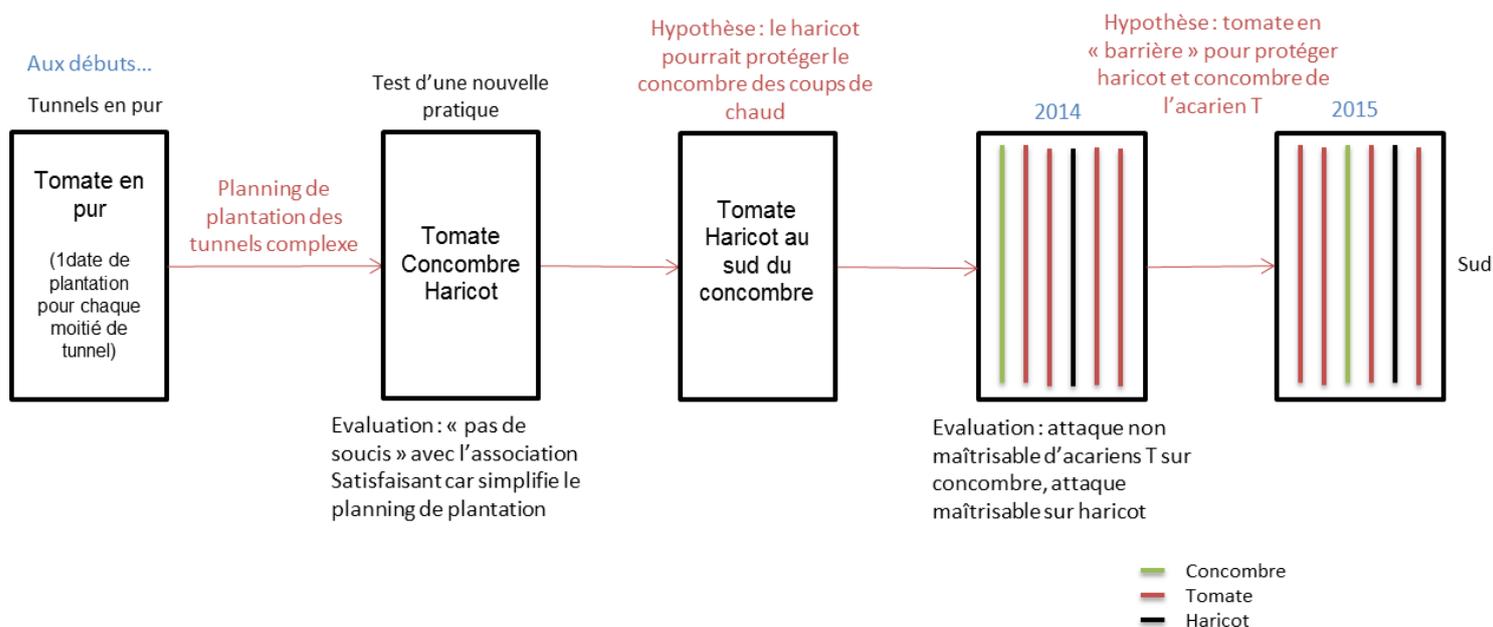
##### b) Apprentissages :

Au tout début, le producteur « faisait un peu comme les autres » : des tunnels monospécifiques quitte à par exemple planter 3 rangs de tomate sur une moitié de tunnel à une date, puis 3 rangs dans l'autre moitié plus tard. Mais quand il s'est « rendu compte qu'il n'y avait pas de souci avec les associations », il a associé les espèces à planter en même temps pour remplir les tunnels au fur et à mesure : concombre-haricot-tomate, aubergine-poivron, pois-pomme de terre... Cette organisation lui convient car elle simplifie l'organisation du travail. Il pratique donc l'association étudiée depuis plusieurs années.

La seule modification apportée est liée à une réflexion (avec un professeur de lycée agricole) sur la lumière : le haricot qui pousse vite va faire de l'ombre au début pour protéger le concombre de coups de chaud. Ainsi, le haricot est disposé au sud du concombre dans l'association.

En 2015, suite à l'attaque très problématique de *Tetranychus urticae* sur le concombre, le producteur déplace le rang au centre du tunnel, car il fait l'hypothèse que les tomates (qui « n'attrapent pas l'acarien (*Tetranychus urticae*) ») avaient protégé le haricot en 2014 (les petits foyers plus progressifs avaient été contrôlables) car celui-ci était au centre du tunnel. Les tomates agiraient comme « une barrière physique » par rapport à *Tetranychus urticae* venant de l'extérieur.

En outre en 2015, des oignons ont été rajoutés parce qu'il lui manquait des plants de tomates pour finir les sillons et qu'il avait des oignons à planter. Les oignons étant irrigués au goutte-à-goutte l'été pour éviter les maladies, ils ont été rajoutés dans l'association.



### V) Analyse agronomique par des sources extérieures

Afin de corroborer les données empiriques recueillies (observations et hypothèses de l'agriculteur), on analyse les sensibilités et interactions possibles au sein de cette association, biotiques et abiotiques. On base cette analyse sur diverses sources techniques et scientifiques. Les points intéressants de l'association sont signalés par une écriture verte, les limites sont, elles, écrites en rouge. Lorsque les effets sont moins évidents, les informations sont notées en noir. Les sensibilités aux bioagresseurs sont décrites selon 4 notes : - répulsif ; 0 non hôte ; + hôte ; ++ hôte et dégâts problématiques.

#### a) Sensibilités et interactions biotiques dans l'association :

	Tomate	Haricot	Concombre	Hypothèses théoriques (sources techniques et scientifiques)	Observations de l'agriculteur (source empirique)
<i>Tetranychus urticae</i>	+	++	++	La tomate, moins appétente pour <i>Tetranychus urticae</i> peut agir par dilution pour protéger concombre et haricot. Toutefois, <i>Tetranychus urticae</i> se déplaçant parfois le long des fils de culture où sont transportés par les ouvriers agricoles, la tomate ne ralentira peut-être pas la colonisation du tunnel par <i>Tetranychus urticae</i> . L'association pourrait aussi créer un climat plus humide dans le tunnel, ce qui serait défavorable à <i>Tetranychus urticae</i> (CA Morbihan)	Très forte attaque sur concombre quand placé au bord. Quelques foyers sur haricot. Pas de <i>Tetranychus urticae</i> sur tomate.
Aleurodes ( <i>Trialeurodes vaporariorum</i> et <i>Bemisia tabaci</i> )	++	+	++	L'association semble très sensible aux aleurodes	
Pucerons	+	++	++	Au moins 6 espèces de pucerons sont communes aux 2 espèces cultivées, et notamment <i>Aphis fabae</i> , <i>Aphis gossypii</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> et <i>Myzus persicae</i> . (source : ouvrage technique INRA/ACTA « Les pucerons des plantes maraîchères »). L'association pourrait avoir un effet protecteur vis-à-vis des espèces de pucerons spécifiques, mais également un effet de dilution et de barrière physique de la tomate qui est peu appétente pour les pucerons.	Un peu de puceron noir
Thrips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> et <i>Thrips tabaci</i> )	0	+	++	Haricot et tomate devrait réduire la pression « thrips » sur les concombres	
<i>Tuta absoluta</i>	++	0	0	Haricot et concombre non hôtes de la tuta pourrait (effet de dilution ou barrière) ralentir le développement de la tuta	
Acariose bronzée ( <i>Aculops lycopersici</i> )	++	0	0	Haricot et concombre non hôtes de l'acariose pourrait (effet de dilution ou barrière) ralentir son développement	
Oïdium interne ( <i>Leveillula taurica</i> )	++	0	0	Haricot (non hôte) et concombre (très peu sensible) pourrait (effet de dilution ou barrière) ralentir le développement de l'oïdium interne sur tomate	
Oïdium externe de la tomate ( <i>Oidium neolycopersci</i> )	++	0	0	Effet de barrière physique par le haricot et le concombre pour la dissémination des spores ?	
Mildiou de la tomate ( <i>Phytophthora infestans</i> )	+	0	0		
<i>Botrytis cinerea</i>	++	0	+		
Oïdium externe des cucurbitacées ( <i>Podosphaera xanthii</i> et <i>Golovinomyces cichoracearum</i> )	0	0	++		
Mildiou des cucurbitacées ( <i>Pseudoperonospora cubensis</i> )	0	0	++		

b) Sensibilités et interactions abiotiques dans l'association :

	Hypothèses théoriques (sources techniques diverses)	Observations de l'agriculteur
Hygrométrie	(6) Tomate : Phase végétative HR 70-80% (au-delà le botrytis se développe), floraison 60-70%, développement des fruits : hygrométrie élevée (3) Le concombre a besoin d'une forte hygrométrie (de 60 à 80%) Concombre et tomate préfèrent tous deux un climat humide, ce qui peut être favorisé par le feuillage dense du haricot et la réalisation d'aspersions tant qu'il n'y a pas de maladies.	
Irrigation	(6) Tomate : 50 à 90% de l'ETP pendant la croissance, 100% du 4ème bouquet jusqu'aux 3/4 de la récolte, 70 à 80% en récolte. (1) Concombre : 40 à 50% de l'ETP jusqu'au stade « début de grossissement des fruits » puis 90 à 100% en récolte. (4) Haricot : 60% de l'ETP du 30 <sup>e</sup> jour après levée à la floraison, 80% jusqu'à la formation des gousses puis 100% jusqu'à la récolte Malgré quelques écarts au cours du cycle qui justifient notamment un arrosage moindre des jeunes concombres, les trois espèces ont globalement des besoins en eau proches et une irrigation couplée basée sur les besoins de la tomate n'est pas aberrante.	Le concombre « il ne lui faut pas trop d'eau au début »
Lumière	(2) Le concombre est sujet à des brûlures sur fruits. (7) Haricot : plante exigeante en lumière (pour la floraison) L'ombre portée du haricot peut effectivement être une alternative au blanchiment pour protéger les jeunes têtes de concombre du dessèchement (comm. Pers. B. Perrin). Sans blanchiment, des brûlures sur le rang de tomate au sud sont possibles.	Plus de « coups de chaud » du concombre grâce à l'ombre portée du haricot
Température	Gammes de températures optimales identiques. (2) « Il est recommandé d'éviter les fortes variations de températures pour le concombre. » Une position excentrée n'est donc pas forcément optimale étant donné que les températures peuvent être plus variables proche de la bâche (De Tourdonnet, 1998)	
Fertilisation	(5) Tomate variétés anciennes: 150 N, 80 P, 250 K, 80 Mg (2) Concombre : 250 N, 100 P, 400 K (5) Haricot : 40 N, 50 P, 100 K et 20 Mg En tant que légumineuse, la fertilisation azotée n'est pas nécessaire sur haricot. La fertilisation des trois espèces gagnerait donc à être fortement découplée du point de vue économique et de gestion de la santé des plantes ((9) « Les excès d'azote favorisent la coulure des fleurs et le botrytis »)	
Allélopathie		

**Qu'en dit la bibliographie amateurs ?** (Hopes, 2008 ; Vialard, 2007 ; Pirlet & al, 2007 ; Wagner, 2001) :

haricot-concombre **association favorable** (4/4 références) ; tomate-haricot : **association favorable** (2/4 références), **association défavorable** (2/4 références) ; tomate-concombre : **association défavorable** (1/4 références), pas d'indications de bon ou mauvais compagnonnage (3/4 références)

**BILAN :** Cette association avec 3 familles botaniques différentes est intéressante vis-à-vis des bioagresseurs spécifiques de la tomate notamment, et peut également s'avérer intéressante grâce à des niveaux d'appétence différents concernant la gestion des acariens tétranyques et des pucerons. En revanche elle semble très sensible à l'aleurode. Sa gestion apparaît comme simple et satisfaisante à l'agriculteur qui conduit les 3 espèces de manière identique (fertilisation & irrigation), toutefois, fertiliser le haricot à hauteur des besoins de la tomate ou du concombre n'est pas une conduite économiquement et agronomiquement optimisée.

**Références techniques :**

(1) CTIFL (2) Agrobio Bretagne (3) CIVAM Bio66 (4) CIRAME (5) GRAB (6) CIVAM Aquitaine (7) CIVAM BIO 33

## ANNEXE 1 : GUIDE DES ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS

Thèmes abordés :

- 1) MAIN D'ŒUVRE, SURFACE, ANCIENNETE, TYPE DE VENTE, AB, ACTIVITES, DIVERSITE DES SDC, ESPECES SOUS ABRIS...
- 2) ROTATION
- 3) STRUCTURE ASSOCIATION
- 4) PILOTAGE ASSOCIATION
- 5) EVOLUTION DE L'ASSOCIATION
- 6) EVALUATION 2014 (différences observées selon la distance entre espèces ? Flux observés après arrachage ?...)
- 7) DEMANDE D'AUTRES CONTACTS PRATIQUANT LES ASSOCIATIONS D'ESPECES

	Quoi, comment ?	Pourquoi ?	Satisfaction ?	Evolution ?
Choix espèces				
Choix variétés				
Greffage				
Choix du tunnel (insertion dans la rotation) (autres espèces sous abris)				
Travail du sol				
Paillage / Lutte mauvaises herbes				
Semis ou repiquage ? (date)				
Organisation dans le tunnel (disposition et espacements)				
Palissage, ébourgeonnage, taille et effeuillage				
Fertilisation				
Irrigation				
Gestion du climat (aération, aspersion, blanchiment)				
Lutte ravageurs				
Lutte maladies				
Gestion des déchets végétaux et de l'extérieur du tunnel				
Récolte (adéquation avec pic de demande ?)				
Arrachage				
Expérience de cette association				
Objectifs généraux de cette association				

## SUIVI D'ASSOCIATIONS D'ESPECES EN TUNNELS DE MARAÎCHERS

### Objectif général :

Etudier l'impact de l'association d'espèces sur la santé des plantes vis-à-vis des maladies, ravageurs et auxiliaires aériens, dans le contexte de tunnels de maraîchers.

### Résumé :

Ce protocole expérimental test s'organise en trois parties : suivi des populations de ravageurs/maladies/auxiliaires aériens, appréciation générale de l'évolution de l'état des cultures et relevé de l'itinéraire technique (ITK) réalisé. Etant destiné à un suivi chez des maraîchers, l'absence de prélèvement ou destruction est une condition essentielle : l'identification et le comptage des populations se font donc à vue et in situ. L'objectif étant d'observer l'effet « association », l'échantillonnage spatial est organisé selon des « stations » (définition page suivante), propres à chaque sole associée rencontrée, et correspondant aux hypothèses de mécanismes biologiques formulées. Les populations dans chaque station sont estimées à partir des observations de quelques organes (définis par espèce) sur X plantes par station, et ceci chaque semaine. Une observation plus générale de l'ensemble du tunnel permet de relever d'éventuels autres stress et de décrire l'évolution du couvert. Le relevé de l'ITK se fait régulièrement et précisément (produits, doses, retrait d'organes, modalités de taille, palissage...) afin de le prendre en compte dans l'interprétation finale des observations.

### I) SUIVI DE POPULATIONS

---

#### Objectif :

Développer des méthodologies d'observation, dans des tunnels de maraîchers, des cinétiques et des flux de populations de ravageurs, maladies et auxiliaires aériens, afin de décrire et comprendre l'effet de l'association d'espèces sur ces dynamiques temporelles (cinétiques) et spatiales (flux).

#### Matériel :

Loupe, gants latex, gel hydro-alcoolique pour les mains, boîtes de prélèvement (flacons transparents à bouchon rouge + boîte en polystyrène pour le transport), bandes chantiers ou piquets (selon l'avis de l'agriculteur), feuille de comptage, appareil photo.

#### Méthode :

##### 1) PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE DES PLANTES OBSERVEES DANS LE TUNNEL

Dans le tunnel on définit plusieurs stations. Une station constitue l'unité de base du suivi. Elle est délimitée selon le(s) mécanisme(s) des hypothèses que l'on cherche à observer.

- Deux stations constituent un **couple** intéressant pour l'étude, si elles ne diffèrent que **d'une ou plusieurs caractéristiques**, toutes liées à la pratique de l'association d'espèces, et porteuses d'une hypothèse sur la santé des plantes. Par exemple la distance à une autre espèce dans l'association, des modalités de palissage différentes en raison de l'association... L'intérêt des couples est, malgré l'absence de témoin, de pouvoir travailler « toutes choses égales par ailleurs » sur une même parcelle (Manichon & Sebillotte, 1973). Avec ce dispositif, les nombreuses variables pouvant influencer sur les populations de maladies/ravageurs/auxiliaires n'ont pas à être quantifiées, dans la mesure où elles sont identiques entre les deux stations. Ainsi, nous pouvons faire l'hypothèse que les divergences dans le couple (cinétiques de populations, dates de colonisation...) correspondent **aux effets des caractéristiques** liées à l'association, pour lesquelles ces couples ont été choisis.

Exemples de couples :

- \* Couple « distance à l'espèce associée X »
- \* Couple « palissage »
- \* Couple « nature des espèces associées »

- Dans certains cas, il n'existera pas de stations couplées au sein du tunnel mais des stations peuvent tout de même se révéler instructives. Par exemple dans le cas d'un mécanisme de barrière physique, une station correspondant à une largeur de tunnel sera adaptée : en effet la chronologie des premières colonisations sur les espèces de part et d'autre de l'espèce supposée « barrière » pourrait permettre d'analyser les flux et d'identifier un potentiel effet « barrière physique ».

La localisation des stations nécessite de prendre en compte les hétérogénéités d'un milieu complexe : le tunnel (De Tourdonnet, 1998). Ainsi, un entretien avec l'agriculteur, préalable au suivi, doit relever les facteurs principaux d'hétérogénéité : par exemple le sol (composition, texture...), la température (plus haute au centre du tunnel), le rayonnement (hétérogénéité largeur (jusqu'à 35% de variations de rayonnement incident) et selon orientation), les opérations manuelles, le travail du sol, l'irrigation, le vent (entrée du tunnel), l'entrée des ravageurs, maladies et auxiliaires par les ouvrants et les portes, les variations de compétition selon l'absence ou la présence de « voisine » (rang simple, double rang)...

Les stations de comptage sont fixées physiquement dans le tunnel en début de culture et repérées visuellement par des bandes chantiers ou des piquets. Dans ces stations de comptage on note X% des plantes chaque semaine (si les plantes sont greffées on considère une tête au lieu d'une plante) de manière aléatoire dans la station. Ainsi les comptages n'ont pas forcément lieu chaque semaine sur chaque plante et l'on capte au mieux les cinétiques de populations de la station.

**Limites/atouts :** Le travail en « stations » permet de diminuer le nombre d'observations par rapport à une observation de l'ensemble du tunnel et donc de gagner en précision sur les zones d'intérêt en respectant la forte contrainte de temps (pas plus d'une heure et demi par tunnel). Cependant, cette échelle de travail n'est pas forcément pertinente pour les ravageurs et auxiliaires les plus mobiles (aleurodes, Macrolophus spp....) et dans tous les cas, amène un risque de passer à côté de foyers.

Conscients de cette dernière limite et en vue d'évaluer la pertinence du travail en station, nous avons chaque semaine réalisé un « tour général » du tunnel en vue de noter, qualitativement, la présence de ravageurs, maladies, auxiliaires qui auraient colonisé d'autres zones du tunnel.

## 2) METHODE D'OBSERVATION DES PLANTES SELECTIONNEES

Le choix des organes dans la plante se fait au hasard (en essayant de ne pas s'orienter vers des organes avec présence de ravageurs/maladies/auxiliaires) mais selon les critères fixés par espèce cultivée (par exemple une feuille jeune, une feuille âgée, qui n'abriteront pas forcément le même pool de bioagresseurs).

Données recherchées sur les populations de ravageurs, maladies et auxiliaires	Espèces ou groupes taxonomiques/station (présence/absence) Nombre d'individu ou surface de feuille occupée/espèce/station Dates de colonisation				
Indicateurs	Précocité, intensité et durée de chaque infestation				
Méthode de collecte des données	Pas de prélèvement, comptage in situ				
Méthode d'identification	A vue, à la loupe si besoin ; accompagnement d'un spécialiste (BS) ; fiches techniques				
Éléments ciblés	Pucerons ; aleurodes	Stades foyers pucerons / aleurodes	Maladies ; acariens ravageurs ; thrips	Auxiliaires	Momies de pucerons et d'aleurodes
Méthode de quantification	Classes logarithmiques	Classes	Classes logarithmiques du % de feuille touchée	Nombre	Classes logarithmiques du % de momies sur momies + L4 vivants
Nature et nombre d'organes observés/plante	IDEM 4SYSLEG				
Nombre de plantes observées/	Calcul en fonction du nombre de plantes dans la station et du temps disponible pour le tunnel				

station/semaine	
Observateur	BS ou MD : 1 seul observateur par station ou couple si possible Prévoir des comptages communs pour se « recaler » : la 1ere station chaque semaine
Echantillonnage temporel (fréquence & durée)	Réalisation d'un point zéro au maximum 15 jours après plantation Observations hebdomadaires le mercredi, au maximum 1h30 par tunnel
Conditions d'observation	Délai après traitement respecté ; observation avant 11h pour éviter la forte chaleur

Limites/atouts :

Il n'y a aucune destruction d'organes ni prélèvement d'auxiliaires, ce qui est une condition essentielle pour un travail en parcelles de maraîchers. On a choisi ici d'observer l'ensemble du cortège de ravageurs car on ne peut prédire les populations qui seront problématiques sachant que chaque année peut varier du tout au tout en matière de bio-agresseurs. On observe même les espèces les plus mobiles (insectes ailés) car ce protocole est justement un test méthodologique, et la cohérence des résultats que l'on obtiendra pour ces espèces mobiles indiquera si ce protocole et son échelle permet de comprendre leurs dynamiques spatiales et temporelles.

Afin de prendre en compte l'erreur de l'observateur (croissante avec le nombre d'individus à compter) on a opté pour un comptage en classes. Et pour faciliter le traitement des données, on a choisi les classes logarithmiques proposées par Boll & Lapchin (1987) :

Indice de la classe	Bornes de la classe
0	0
1	1 – 3
2	4 – 10
3	11 - 30
4	>30

61

Le comptage par le même observateur des stations du même couple ou du même gradient (où les cinétiques seront comparées par la suite) permet d'éliminer « l'effet observateur ». On effectue un « point zéro » afin de pouvoir estimer le potentiel initial des populations observées.

Le choix du suivi hebdomadaire, bien que permettant de suivre moins d'associations, découle des remarques de précédents expérimentateurs de suivis, affirmant être passés à côté de certains processus au sein des populations en raison d'un suivi bimensuel.

## II) OBSERVATIONS GENERALES DE L'ETAT DU COUVERT VEGETAL

---

### *Objectif :*

Décrire l'évolution de l'état physiologique des cultures et des caractéristiques physiques de la sole associée afin de les relier aux cinétiques et flux de populations aériennes dans le tunnel.

### *Matériel :*

Mètre ou étalon pour photos, appareil photo, échelle photo de porosité, boîtes de prélèvement.

### *Méthode :*

#### **Photos :**

- 1 dans l'axe du soleil (observation ombres portées)
- 1 dans l'axe de déplacement entre 2 espèces hôtes (si hypothèse de barrière physique)

- 1 de chaque espèce représentant au mieux l'état physiologique

**Caractéristiques à renseigner en cas d'hypothèse de barrière physique** : hauteur et porosité du rang (notation relative a posteriori par comparaison des photos)

*Définition porosité (Calonnec, 2013) : rapport entre l'espace des trous et l'espace occupé par les organes végétaux. Plus la porosité augmente, plus la proportion de vide augmente dans un volume donné.*

**Stress à surveiller** : stress hydrique à observer par le port des plantes et des indicateurs spécifiques à chaque espèce ; stress de nutrition minérale : comparaison de la couleur des feuilles entre les 2 stations d'un couple. Stress de bioagresseurs telluriques et de virus.

**Précaution** : réaliser quelques prélèvements de pucerons « au cas où » une ambiguïté problématique sur les espèces se présenterai à l'analyse.

### III) ITK REALISE

---

#### Objectif :

Lister et décrire les opérations culturales pouvant potentiellement impacter les populations aériennes dans le tunnel, afin :

- D'interpréter l'effet du pilotage de la sole associée sur les cinétiques et les flux des populations de ravageurs/maladies/auxiliaires dans le tunnel ;
- D'évaluer la pratique d'association d'espèces de ce système, notamment en termes d'usage de pesticides (IFT, Nodu vert, IPP, coût de la protection).

#### Matériel :

Enregistreur vocal, feuille de relevé d'ITK.

#### Méthode :

Si les questions ne peuvent être posées à l'agriculteur directement lors du suivi, on lui demande un point hebdomadaire par mail/sms avec les opérations réalisées, les doses et noms des produits, ainsi que la date de l'opération et sa localisation dans le tunnel.

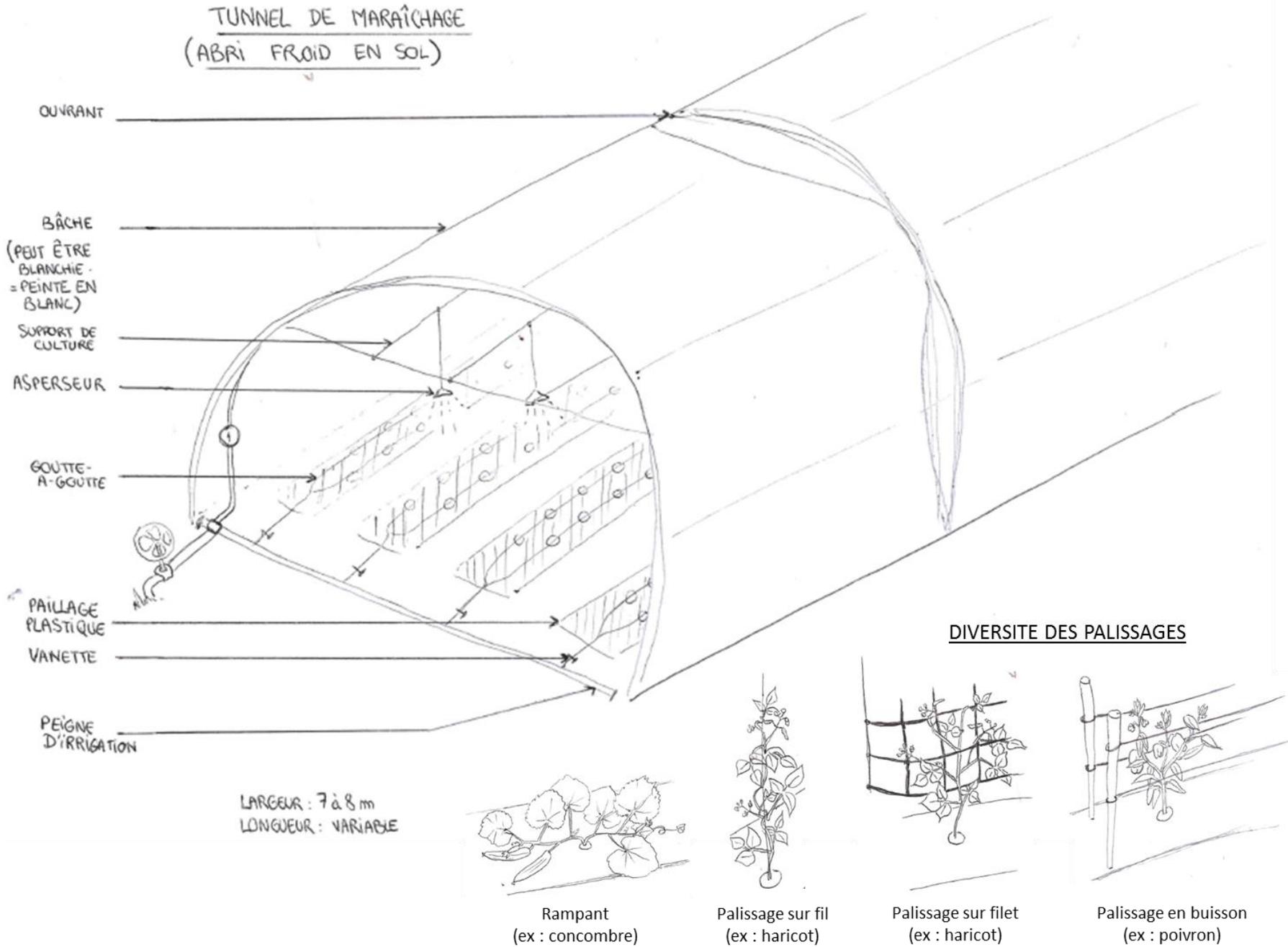
Si le producteur est intéressé et impliqué, l'idéal serait qu'il prête attention aux dommages dans chaque station et leur cause si identifiable, ainsi qu'aux défauts de croissance entraînant l'élimination de fruits.

Le diagnostic de l'agriculteur sur l'état de son tunnel au cours du cycle est recueilli, dans le but de comprendre la cohérence de son pilotage et sa satisfaction vis-à-vis de l'association.

---

#### Adaptation du protocole à chaque cas

- Echantillon (nombre tunnels et temps déplacement) → temps disponible pour chaque tunnel
- Espèces  
→ méthodes d'échantillonnage intra-plante  
→ expression extérieure des stress (bibliographie + avis d'experts)
- Sole + hétérogénéité tunnel → hypothèses → stations (localisation et taille)  
→ nombre de stations → nombre de plantes observées par station (calcul en fonction du temps disponible et de la représentativité)



## SUIVI D'UNE ASSOCIATION TOMATE-CONCOMBRE-HARICOT-OIGNON SOUS TUNNEL CHEZ UN MARAÎCHER

### I) Contexte :

L'association sélectionnée pour l'étude est mise en place par un maraîcher bio en circuit court à Saleilles (66). Il s'agit d'une association testée pour la première fois, dans deux tunnels spatialement proches, avec une mise en place décalée de 8 semaines.

### II) Rappel : objectif de l'étude

Etudier l'impact de l'association sous tunnel tomate-concombre-haricot-oignon sur la santé des plantes vis-à-vis des maladies et ravageurs aériens.

### III) Description de l'association:

Voir figure 29 du Mémoire

### IV) Calendrier du suivi :

TUNNEL 1	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Haricot							
Concombre							
Tomate							
Oignon							
SUIVI							

Figure 1 : cycles des cultures du tunnel et période de suivi

Suivi hebdomadaire le mercredi matin : 17 dates d'observation pour le tunnel 1, 9 pour le tunnel 2 (décalé de 8 semaines). Le protocole est présenté au maraîcher lors de la première semaine de suivi.

### V) Hypothèses :

#### 1) Liste des hypothèses

Voir tableau 8 du Mémoire

#### 2) Définition de stations adaptées à la vérification des hypothèses

Les hypothèses fortes de cette association vis-à-vis de la santé des plantes étant des effets de « barrière physique », on choisit de réaliser le suivi dans des stations correspondant à des largeurs de tunnel en face d'ouvrants comme représenté figure 29 du Mémoire.

### VI) Objectif du suivi :

On cherche à observer puis analyser les dynamiques temporelles (cinétiques) et spatiales (flux) de colonisation et développement de l'ensemble du cortège des maladies/ravageurs/auxiliaires identifiables au sein des stations, pendant la période de suivi, afin de conforter ou réfuter les hypothèses émises précédemment et éventuellement d'observer d'autres processus non envisagés.

## VII) METHODE

### A) POUR LES STATIONS :

Les stations sont repérées dans le tunnel à l'aide de bandes chantiers, installées avant le premier jour de suivi.

#### 1) Comptage hebdomadaire des populations de ravageurs/ maladies/ auxiliaires

La largeur des stations est 3m. On observe 3 plantes par rang soit 1 plante/m, ce qui correspond à environ 25% des plants de tomates et 35% des plants de concombres dans la station.

Les plantes sont choisies au hasard et donc différentes chaque semaine. Sur chaque plante on observe 3 feuilles choisies elles aussi au hasard sur la plante selon la règle : 1 sous l'apex, 1 dans la partie supérieure, 1 dans la partie inférieure. Ce choix est lié à la préférence de certains ravageurs et auxiliaires pour des strates spécifiques dans la plante (ex : partie inférieure plus humide appréciée par les aphidoletes). On observe la face inférieure et la face supérieure et on note (selon la feuille de comptage en figure 2) l'ensemble du cortège de maladies/ravageurs/auxiliaires observable et identifiable à l'aide d'une loupe. Même les auxiliaires objets de lâchers sont comptabilisés afin d'observer d'éventuelles préférences d'habitat.

Une station est notée entièrement par un même observateur sur toute la durée du suivi. Une attention toute particulière est portée à ne pas transporter de bioagresseurs d'une plante à une autre (utilisation de gants ou de gel hydro-alcooliques, contact minimum avec les plantes) et surtout entre les deux tunnels.

Une notation en commun pour le réajustage des 2 observateurs est programmée chaque semaine (1e station du suivi si il y a suffisamment de temps disponible, ou lors de comptage à la station expérimentale d'Alénia à un autre moment de la semaine).

#### 2) Porosité et hauteur des rangs

Tous les 15 jours et dans chaque station, on photographie les rangs dans l'axe des ouvrants en prenant suffisamment de photos pour photographier les plantes entières, et ceci pendant tout le suivi. Pour faciliter le traitement par la suite, on place sur les plantes photographiées un repère avec date/tunnel/station/rang. Ces photos seront classées par la suite sur une échelle de porosité relative.

Chaque semaine, on mesure la hauteur d'une plante représentant la hauteur moyenne du rang, et ce jusqu'à ce que les plantes atteignent les fils de culture.

#### 3) Vigueur des plantes

On cherche à repérer d'éventuelles faiblesses des plantes dans la station (causées par des stress abiotiques ou telluriques), comme élément d'interprétation des dynamiques de populations que l'on observe. Une fois par mois, au sein d'une station on localise les rangs présentant un « défaut de vigueur » en le précisant : étiolement, feuilles mûres n'ayant pas un port horizontal, feuilles vert-jaunes (critères des serristes de tomates selon Navarette 1993), cul noir des tomates, têtes tombantes des concombres (C. Guillaume, ancienne technicienne CA), défauts des fruits... Une photo est prise lorsqu'un défaut de vigueur est observé. Cette observation est qualitative et s'appuie sur la comparaison intra ou inter-station de l'allure des plantes et l'expertise de B. Salvador (technicien INRA, spécialisé en protection biologique intégrée des cultures) présent à tous les comptages.

### POUR L'ENSEMBLE DU TUNNEL :

#### 1) Estimation des populations présentes, leur localisation approximative et la tendance de leur cinétique

Un tour général du tunnel est effectué en 15 minutes par Benjamin Salvador et les informations sont capitalisées sur la feuille présentée en figure 3 :



### 1) Relevé de l'itinéraire technique réalisé

plantation modalités entretien blanchiment aspersions lâchers traitements éliminations manuelles début récolte modalités récolte défauts irrigation fin récolte arrachage	Semaine n°	Date	Qu'est-ce qui a été fait?	Où dans le tunnel? (Totalité du tunnel ou zones précises)	Pourquoi?	GESTION SANTE DES PLANTES		Comment regardez-vous si ça marche?	Ca a marché?
						Nom du produit	Dose (si lâcher : sachet ou vrac?)		

Figure 4 : tableau de capitalisation de l'itinéraire technique pratiqué

L'objectif est de réussir à renseigner précisément ce tableau de relevé d'itinéraire technique. Chaque mercredi matin si le producteur est présent, une brève discussion vise à remplir les actions de la semaine écoulée et revenir éventuellement sur le résultat des actions qui nous intéressent. Si le producteur n'était pas disponible, on lui envoie un mail avec ces mêmes questions sur la semaine écoulée. On lui demande aussi ce qu'il pense de l'état de son tunnel avant de lui communiquer les observations du jour.

Noter code si présence ponctuelle/

Entourer code si présence moyenne à forte/

DATE :

TUNNEL :

Faire une flèche le long du rang pour la répartition sur le rang

15-20minutes

CODES

Al Aleurodes Adultes

L4 Aleurodes L4

Tt Tuta mines

Tt ap tuuta apex

Nes Nesidiocoris tenuis

Nes ap N. tenuis dégât apex

Ac Acariens tétranyques

Ab Acariose bronzée

Puc Pucerons

Mi Mineuse

Noc Noctuelle

Th Thrips

Nv Nezara viridula

Bo Botrytis cinerea

Ob Oïdium blanc

Oi Oïdium interne

Ly Lygus

Adel Adelphocoris

Mp Macro pygmaeus

Di Dicyphus sp

L4p L4 parasitées

PucP Pucrons parasités

Phy Acariens phytoséiides

Sy syrphes

Coc Coccinelles

Csp Chysopes

Fel Feltiella (cécidomyies sur Ac)

Aphido Aphidoletes aphid.(cécido /Puc)

Aeo Aeolothrips (prédateur Th)

Der Deraerocoris

Or Orius

Na Nabis

Het Heterotoma

Dig Diglyphus isaea (sur Mi)

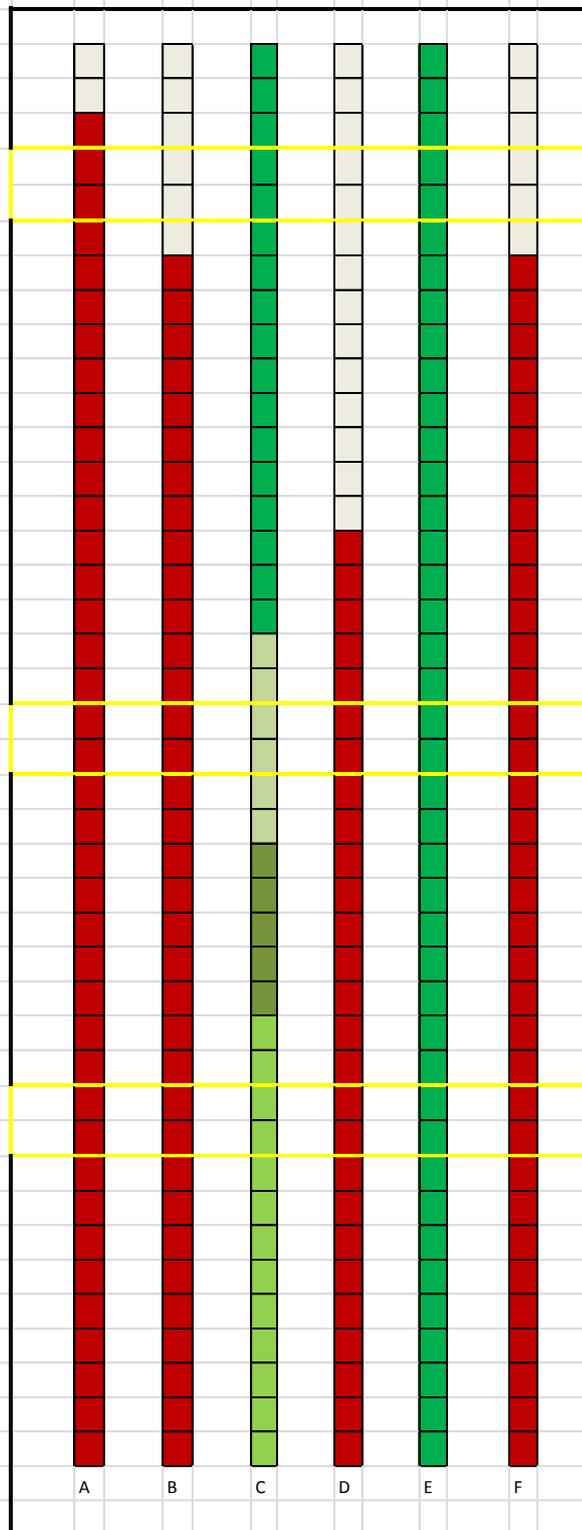
Dac Dacnusa sibirica (sur Mi)

Sw Amblyseius swirskii

P3

P2

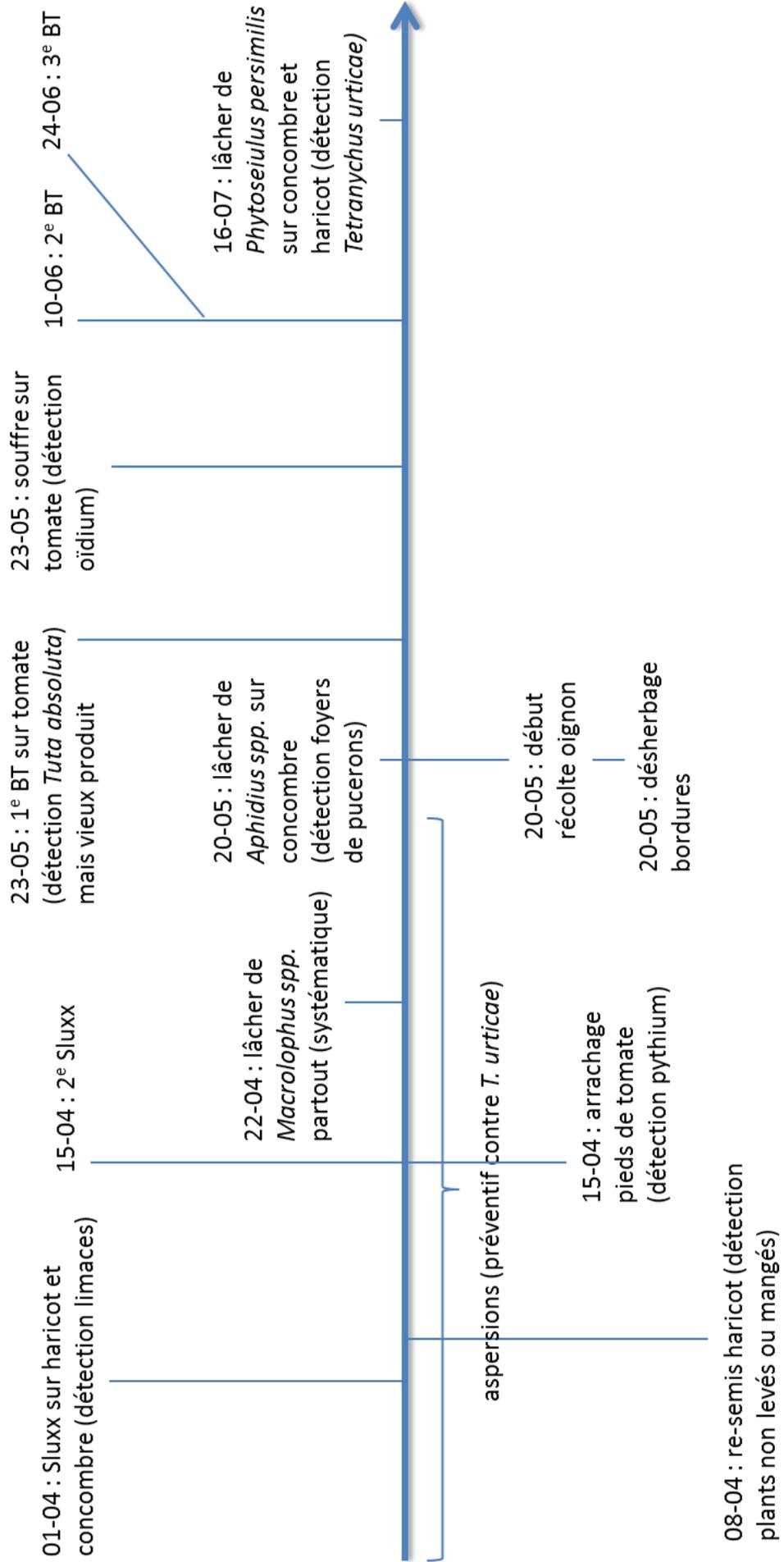
P1



Sud

Figure 3 : feuille de notation pour le tour général du tunnel

## Itinéraire technique pratiqué dans le tunnel 1



## RESUME

Les associations d'espèces apparaissent comme une piste pour diversifier la production et gérer la santé des plantes dans les exploitations maraîchères sous abri. Ce travail, conduit dans le cadre du projet 4SYSLEG (INRA - Ecophyto), vise à « traquer » les associations d'espèces conçues par des maraîchers. L'objectif est de comprendre pourquoi et comment les agriculteurs mettent en place cette pratique atypique, et d'analyser et évaluer la performance de leurs associations pour gérer la santé des plantes.

Via différents réseaux d'acteurs et bases de données, nous avons repéré 18 agriculteurs pratiquant l'association d'espèces dans les Pyrénées-Orientales (66) et l'Aude (11). Les choix techniques des agriculteurs et leurs motivations pour développer cette pratique sont recueillis lors d'enquêtes. Ils sont ensuite confrontés aux connaissances scientifiques disponibles. Un protocole de suivi des bioagresseurs en ferme a également été conçu pour évaluer l'incidence de l'association d'espèces sur la santé des plantes.

Nos résultats montrent que les maraîchers, pour répondre à des motivations d'une grande diversité, mettent en place des associations très variées, au niveau des espèces et de leurs agencements. De nombreuses possibilités de gestion des associations ont été observées. Cinq mécanismes biologiques sont invoqués par les agriculteurs dans leur stratégie de gestion de la santé des plantes. Des études scientifiques confirment les mécanismes d'« effets chimiques » et les ressources pour les auxiliaires apportées par certaines espèces. En revanche, les études manquent pour montrer les mécanismes de modification du microclimat, de « dilution » et de « barrière physique » dans les associations maraîchères. Ce dernier mécanisme biologique est en cours d'observation dans l'association suivie.

En conclusion, la grande inventivité des maraîchers pour concevoir des associations et des modes de conduites qui puissent concilier des exigences parfois contradictoires offre de nombreuses pistes à la Recherche pour la conception de nouveaux systèmes de culture économes en pesticides.

**Mots clés :** maraîchage sous abri, association plurispécifique, traque à l'innovation en ferme, pratiques atypiques, santé des plantes, Ecophyto, Roussillon

## ABSTRACT

Intercropping could be a solution to diversify crop production while helping controlling pests and diseases in protected market gardening. This study, carried out in 4SYSLEG project (INRA), aims at “tracking” intercrops designed by market gardeners. The purpose is to understand why and how farmers design these intercrops, and to diagnose and assess these intercrops' efficiencies to control pests and diseases.

Using several stakeholder networks and data bases, we identified in the Pyrénées Orientales (66) and the Aude (11) eighteen farmers growing intercrops. Farmers' technical choices and motivations are collected during surveys. They are then confronted with current scientific knowledge. An experimental protocol has been designed so as to follow the pests and diseases dynamics within intercrops, and it has been tested on one intercrop.

Our results highlight that farmers implement intercrops with various species and layouts in order to reach a wide range of goals. Numerous possibilities of intercrop management (irrigation, fertilization...) have been noticed. Five biological intercrop processes have been mentioned by farmers in their pests and diseases control strategies. Scientific studies corroborate that some species have a “chemical effect” or “provision resources for natural enemies”. However scientific experiments are still lacking on vegetables potential to “modify the microclimate”, have a “dilution effect” or a “barrier effect”. The “barrier effect” is currently tested with our experimental protocol.

To conclude, market gardeners' inventiveness to design intercrops and grow them so as to fulfill requirements sometimes contradictory open new paths to Research towards pesticide-saving cropping systems.

**Key words:** protected market-gardening, intercropping, tracking innovation on-farm, pests and diseases management, Ecophyto, Roussillon

## EXECUTIVE SUMMARY

### Intercropping systems in protected market gardening farms: innovating systems for pests and diseases management?

Current public policies, such as the French program “Ecophyto”, encourage farmers to reduce pesticide use while maintaining economic performances. The large range of species cultivated in market gardening can be affected by numerous specific pests/diseases. Pest control failures can directly impact incomes as perfect visual and sanitary qualities are required. Under shelters (such as greenhouses) abiotic conditions and pest populations evolve very fast. The 4SYSLEG project (4 SYStèmes LEGumiers) is a six-year program developed by INRA Alénya (National Institute of Agronomic Research). It aims to design, experiment and assess protected market gardening cropping systems aiming to reduce pesticide use, while taking specific objectives and constraints related to diverse food systems into consideration. In short supply chain systems, putting various species in one greenhouse (intercropping) can be a technical option to meet the demand of a small quantity of diversified production. Besides, in different agro-ecosystems, intercropping has proved to be a promising way to reduce pesticide use. It can help pest and disease control by limiting their dispersal (physical or chemical processes) and by diversifying resources for natural enemies. Still, references are lacking to design intercropping systems in protected market gardening farms (data on species behavior in intercropping, on biological processes operating in these agro systems, on management strategies, etc.). However, some market gardeners are already developing intercrops under shelters in diversified farming systems.

My internship is about “tracking” on-farm systems based on intercropping. Tracking consists in looking out for intercropping systems developed by pioneer farmers and analyzing their agronomical logics (practices, objectives inherent to their development) and their performances. The tracking I conducted aims to produce references that could contribute to the design and the management of new cropping systems to be tested in the 4SYSLEG experiment.

#### *Material and methods*

Two complementary schemes are implemented:

- A tracking of on-farm intercropping systems in the Pyrénées-Orientales (66) and Aude (11) departments in the South of France.
- Weekly observations to follow and analyze the spatial and temporal dynamics of development of pest, disease and natural enemy populations in intercrops developed on farms.

The tracking method can be divided into three main steps: (i) identification of farmers developing intercropping, using various networks of actors (extension workers, agricultural cooperatives, INRA’s directory, Organic farmers’ directories, farmers, etc.), (ii) analysis of the agronomical logic of the intercropping practiced in 2014 (description of the link between the technical choices and the producer’s motivations to develop this particular intercrop), (iii) the agronomic assessment of these intercrops to identify their contribution to pest and disease control, using various knowledge resources (farmers’ points of view, scientific literature, experts’ points of view).

We have built and tested an original scientific protocol to be adapted to different intercropping systems which allows us to analyze biological processes operating. Pests, diseases and natural enemies are observed weekly on 324 leaves selected on the different intercrop plant species in chosen areas. These six areas of 24 m<sup>2</sup> are selected in order to observe the expected biological processes. The protocol is tested in a tomato-cucumber-bean-onion “row intercrop”. The farmer’s assumption is that tomatoes will be a physical obstruction to the dispersal of *Tetranychus urticae* into the shelter.

#### *Results*

18 farmers were interviewed. All of them sell their products via short supply chains, and the majority (15/18) are organic farmers. The intercrops encountered combine 2 to 7 different vegetables. The spatial designs encountered are “row intercropping” or “mixed intercropping”. “Mixed intercropping” helps to maximize biological interactions between the different plant species as they are mixed within the row. As irrigation can be different within the rows, “Row intercropping” helps to adapt the amount of water to the species needs. This can be

particularly significant in case crop species have incompatible water requirements. Technical acts (ex: irrigation, plantation, etc.) were shown to be adapted by farmers to the various intercropping situations.

Most of the farmers (14/18) try to enhance intercropping biological processes in order to better manage pests and diseases. Five biological processes have been clearly identified in the sample. The first one is called “dilution effect” and occurs to specific pests since a non-host plant is mixed with an host plant: pests find it more difficult to find host plants.

Four farmers mix crops with companion plants (basil, marigold and calendula) in order to repel pests thanks to chemical effects (deterrent volatiles or root chemicals) which are the second biological process. The same companion plants are sometimes grown by different farmers to repel different pests or diseases. These effects are well referenced by Research on common pests but poorly referenced by Research on diseases.

Three farmers mix crops with companion plants (tobacco, beans, nasturtium...) in order to provide alternative food or shelters to natural enemies (parasitoids and predators). Scientific studies have shown a potential benefit of this third mechanism. Still limits can occur if the companion plants also provide better conditions for pests or diseases.

Two farmers are considering intercrop microclimate alteration to manage diseases (forth biological process). They are studying how plant shadows can create adverse conditions to problematic aerial diseases (ex: the highest plant species is grown in the northern part of the shelter so sunlight can dry dew on leaves faster). However, scientific and farmers’ knowledge on microclimates is still incomplete and contradictory postulates have been highlighted in this study.

Lastly, to control some specific pests or diseases, two farmers are growing a high non-host crop row between two host crops or between the host crops and the natural surroundings of the shelter where pests can come from. Weekly intercrop observations on a farm test the effectiveness of this biological process called “physical barrier effect”. As the crop growing period lasts until August, the weekly observations are still in progress. Therefore results will not be presented in this report but in the oral presentation.

## *Discussion and conclusion*

Many innovative solutions developed by farmers have been highlighted in this study. This large range of intercrops and crop managements are ideas to design new sustainable cropping systems. The two schemes (interviews or in-field observations) are complementary to describe and assess the “physical barrier effect”. It leads to a better understanding of the biological process and how to improve it. Possible methodological improvements can be discussed. Indeed, intercrops grown by farmers rarely offer the possibility to experiment and obtain scientific data. Furthermore, gathering different kind of knowledge (scientific, technical, empirical...) to assess intercrops leads to new issues: what if scientific and empirical affirmations are opposite? How can we assess intercrops with no existing scientific references?