



HAL
open science

**Caractérisation et évaluation de pratiques
agroécologiques en systèmes maraîchers biologiques
diversifiés sur petites surfaces : expérimentations
paysannes dans les Alpes-Maritimes**

Victor Frichot

► **To cite this version:**

Victor Frichot. Caractérisation et évaluation de pratiques agroécologiques en systèmes maraîchers biologiques diversifiés sur petites surfaces : expérimentations paysannes dans les Alpes-Maritimes. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-02987052

HAL Id: dumas-02987052

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02987052v1>

Submitted on 3 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

Année universitaire : 2019 - 2020

Spécialité :

Ingénieur agronome

Spécialisation (et option éventuelle) :

Agroecology

Mémoire de fin d'études

d'ingénieur de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

de master de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage (AGROCAMPUS OUEST), école interne de l'institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Caractérisation et évaluation de pratiques agroécologiques en systèmes maraîchers biologiques diversifiés sur petites surfaces : expérimentations paysannes dans les Alpes-Maritimes

Par : Victor FRICHOT



Soutenu à Rennes le 22 octobre 2020

Devant le jury composé de :

Président : Génola PERES

Maître de stage : Mélanie DESGRANGES

Enseignant référent : Safya MENASSERI

Autres membres du jury :

Hayo Van der Werf (rapporteur)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement ma maîtresse de stage Mélanie DESGRANGES, qui a su m'accompagner au mieux dès le début du stage, me conseiller et me guider lorsque j'en avais besoin, malgré son arrivée très récente dans l'association et une masse de travail conséquente. Merci pour ta gentillesse, ta bonne humeur, ton calme et ton recul sur mon stage.

Merci à ma tutrice Safya MENASSERI-AUBRY, pour ses conseils avisés et sa gentillesse. Un grand merci à Guénola PERES, notre maman à tous dans cette spécialisation Agroecology. Merci pour votre temps et votre bienveillance qui ont contribué à m'émanciper dans cette voie si prometteuse.

Je tiens aussi à remercier Nicolas LASSAUQUE, administrateur d'Agribio 06 et référent du projet MiMaBio. Par son implication malgré un immense travail sur sa ferme, Nicolas a su se rendre disponible pour le projet et répondre à mes multiples questions, je lui en suis très reconnaissant. Merci de m'avoir fait découvrir le kéfir de lait, le monde des microorganismes et le sol. Merci pour tes valeurs et tes convictions, elles raisonnent chaque jour en moi.

Un grand merci à tous les maraîchers du projet avec qui j'ai eu l'immense plaisir de travailler : Mélanie CASSARD, Aymeric et Vanessa NOIR, Xavier BARBE et Emmanuel COLLOMP. Merci pour votre gentillesse, votre implication et votre disponibilité, la réussite de ce stage réside dans chacun de vous. Votre ouverture d'esprit et vos connaissances m'ont énormément appris sur le potentiel que représentent les systèmes en maraîchage bio diversifié sur petites surfaces. La beauté de ces systèmes réside dans leur diversité, que vous représentez si bien, merci.

Une pensée particulière à Mélanie CASSARD, maraîchère touchée de plein fouet par la tempête Alex, nous sommes de tout cœur avec toi pour cette étape que tu surmonteras sans aucun doute.

Je tiens aussi à remercier Catherine MAZOLLIER du GRAB, pour son savoir et sa passion du maraîchage bio. Merci pour tes connaissances, ta disponibilité et ta clairvoyance qui ont grandement participé à la réussite des expérimentations.

Merci à Joël AUBIN, chercheur à l'INRAE, pour son temps et sa gentillesse lors de mon passage à Rennes. Grâce à vous, j'ai pu découvrir le potentiel impressionnant de l'Analyse du Cycle de Vie, la réussite de ce stage vous revient aussi.

Merci à toute l'équipe d'Agribio : Angélyke, Justine et Iréna, votre rigueur et votre travail m'ont toujours impressionné. Merci pour votre bonne humeur, les moments d'égarement au bureau, les goûters et soirées improvisées, je n'en retiens que des moments de bonheur.

Merci aux administrateurs d'Agribio, et tout particulièrement à Christophe COTTEREAU, président d'Agribio 06, pour manier avec sagesse et mesure l'association.

Merci à tous mes amis, qui étaient là dans les moments de joie comme de peine, votre support sans faille m'a beaucoup motivé. Merci à Benjamin et Théodore, mes fidèles acolytes maralpins, vous avez rendu mon séjour ici inoubliable, vos belles personnalités m'ont fait beaucoup avancer.

Merci à ma famille, toujours là pour moi, votre soutien tout au long du stage nous a rapproché malgré la distance, et j'en suis très heureux.

Glossaire

MiMaBio : projet GOPEI initié par la FRAB de PACA, et décliné dans les différents départements de la région, afin de caractériser les systèmes en maraîchage biologique diversifié sur petites surfaces, identifier les clés de réussite ainsi que les leviers techniques. L'objectif du projet est d'améliorer l'accompagnement des maraîchers et porteurs de projets dans la mise en place de ces systèmes, en favorisant les échanges entre les différents acteurs du monde agricole : station expérimentale, recherche, associations de producteurs bio et les producteurs eux-mêmes.

Expérimentation paysanne : processus d'expérimentation qui se déroule dans les conditions de la pratique paysanne. L'agriculteur-paysan rentre dans une démarche de co-construction de l'expérimentation sur un thème et des critères d'évaluation qu'il a lui-même choisis, en interaction avec le chercheur/ingénieur chargé d'élaborer un dispositif expérimental adapté et de superviser l'expérimentation.

Bioagresseurs : ensemble des ennemis des cultures, i.e. les agents pathogènes (virus, bactéries, champignons) et les ravageurs (prédateurs et parasites des plantes).

EM : « Efficient microorganisms » ou microorganismes efficaces, théorie développée par Teruo Higa qui démontre la capacité de certains microorganismes capable d'améliorer la qualité du sol et d'améliorer la croissance et la résistance des plantes aux bioagresseurs (Higa, Parr, 1995).

ACV : outil très répandu pour réaliser une évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux d'un produit tout au long de sa vie (ADEME, 2018).

Abréviations

AB, bio : Agriculture Biologique, selon la réglementation européenne (CE N° 834/2007)

ACV : Analyse du Cycle de Vie

An : Ananas, variété de tomate

ANOVA : Analyse de la Variance

Bt : Bacillus thuringiensis

CDBO : Cœur de Bœuf orange, variété de tomate

CIVAM : Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

C/N : rapport Carbone/Azote

CNRS : Centre Nationale de la Recherche Scientifique

ECV : Etape du cycle de vie

EMP : Expérimentation en Milieu Paysan

EP : Expérimentation Paysanne

Essai(s), Expé(s) = Expérimentation(s)

FNAB, FRAB : Fédération Nationale / Régionale de l'Agriculture Biologique

GAB : Groupement des Agriculteurs Biologiques

GOPEI : Groupe Opérationnel via un Partenariat Européen pour l'Innovation

GRAB : Groupement de Recherche en Agriculture Biologique

GZ : Green Zebra, variété de tomate

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

ITK : Itinéraire technique

JVS : Jardins de la Vallée de la Siagne

LER : Land Equivalent Ratio

MO : Matière Organique

NC : Noire de Crimée, variété de tomate

ORAB : Observatoire Régional de l'Agriculture Biologique

PACA : Provence-Alpes Côte d'Azur

PP : Polypropylène

SAU : Surface Agricole Utile

TBI : Tea Bag Index

Table des matières

Avant-propos.....	
Introduction.....	1
1. Bibliographie.....	3
1.1. L'expérimentation en milieu paysan (EMP).....	3
1.2. Le kéfir de lait : une alternative à la protection des cultures ?.....	4
1.2.1. Les microorganismes en agriculture : protection et développement des cultures.....	4
1.2.2. Le kéfir de lait : composition et variabilité.....	5
1.3. Le paillage en maraîchage.....	6
1.3.1. Effets sur le sol et la culture du paillage plastique et organique.....	6
1.3.2. Le double paillage : complémentarité des effets du paillage plastique et organique ?....	7
2. Matériel et méthode.....	7
2.1. La démarche générale.....	7
2.2. Expérimentation 1 : pulvérisation de kéfir de lait sur 4 variétés de tomate.....	8
2.2.1. Contexte de l'expérimentation.....	8
2.2.2. Obtention du kéfir de lait.....	9
2.2.3. Dispositif expérimental.....	9
2.2.4. Mesures et protocoles associés.....	10
2.3. Expérimentation 2 : Double paillage sur 4 variétés de courges.....	12
2.3.1. Contexte de l'expérimentation.....	12
2.3.2. Dispositif expérimental : modalités, plan et itinéraire technique de l'expérimentation.	12
2.3.3. Mesures et protocoles associés.....	13
2.4. Expérimentation 3 : évaluation de la durabilité de 2 filets à ramer.....	15
2.4.1. Contexte de l'expérimentation.....	15
2.4.2. Dispositif expérimental : modalités, plan et itinéraire technique de l'expérimentation.	15
2.4.3. Bilan de durabilité : mesures, protocoles et méthodes réalisées.....	15
2.5. Les 4 autres expérimentations du projet.....	17
2.6. Traitement des données et analyses statistiques.....	17
3. Résultats.....	18
3.1. Influence du kéfir de lait sur la culture de tomate.....	18
3.1.1. Etat sanitaire de la tomate : <i>Tuta absoluta</i> et oïdium externe.....	18
3.1.2. Croissance de la tomate : vigueur, inflorescences et rendements.....	18

3.1.3.	Le kéfir sur le sol : impact sur l'activité microbienne.....	19
3.2.	Effets du double paillage le sol et impact sur la culture.....	19
3.2.1.	Impact du double paillage sur la qualité du sol.....	19
3.2.2.	Influence du double paillage sur l'humidité et la température du sol.....	20
3.2.3.	Etat général de la culture : vigueur et nutrition azotée.....	20
3.3.	Durabilité de filets à ramer en coton ou plastique.....	21
3.3.1.	Impact économique : prix des filets	21
3.3.2.	Impact social sur le maraîcher et la population.....	21
3.3.3.	L'impact environnemental des filets : zoom sur l'ACV	21
3.4.	Résultats des autres expérimentations du projet	22
4.	Discussion	22
4.1.	Interprétation des résultats des expérimentations.....	22
4.1.1.	Expérimentation 1 : efficacité du kéfir sur tomate.....	22
4.1.2.	Expérimentation 2 : le double paillage pour améliorer le sol et la culture.....	23
4.1.3.	Expérimentation 3 : la durabilité du coton et du plastique en maraîchage	24
4.2.	Expérimenter des pratiques agroécologiques en milieu paysan.....	25
	Conclusion.....	26
	Références bibliographiques	27

Avant-propos

Ce stage a été réalisé au sein du Groupement des Agriculteurs Bio (GAB) des Alpes-Maritimes : Agribio 06, association loi 1901 composée de 3 salariés, située à Carros dans la plaine du Var, à proximité du littoral. L'association appartient aux réseaux de la Fédération Nationale de l'Agriculture Biologique (FNAB) et du Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural (CIVAM). Cette structure réalise de nombreuses actions sur le territoire afin d'accompagner les producteurs bio et porteurs de projet, structurer les filières, mais aussi promouvoir l'agriculture bio et locale sur le territoire à travers des événements grand public. Les producteurs et porteurs de projet versent un certain montant afin d'adhérer à Agribio, ce qui leur permet de bénéficier d'un accompagnement par l'association. L'accompagnement des producteurs adhérents se fait à différents niveaux : conseil sur la réglementation en bio, aide à la conversion, formations et journées techniques, et réalisation de nombreux projets conjointement avec les producteurs, comme le projet MiMaBio dans lequel s'inscrit ce mémoire.

Tableau 1 : Caractéristiques des microfermes et contre-pied aux systèmes modernes (Morel, 2016)
 Table 1 : Micro-farm characteristics and how it deals with conventional systems (Morel, 2016)

	Les microfermes	Remise en cause du système moderne
Surfaces	moins de 1,5ha	<i>inférieure à ce qui est recommandé comme économiquement viable</i>
Diversité de cultures	plus de 30 types de légumes	<i>Une recherche de biodiversité cultivée contrairement à de la monoculture</i>
Commercialisation	passé majoritairement par des circuits courts	<i>indépendance vis-à-vis des marchés globaux</i>
Mécanisation	Peu ou pas mécanisées, les investissements sont faibles au départ	<i>Ne se base pas sur les nouvelles technologies, revalorisation du travail manuel</i>
Biodiversité non cultivée	Chercher à travailler avec et pour la nature	<i>Les pratiques agricoles favorisent les interactions entre les êtres vivants cultivés ou non cultivés</i>
Qualité de vie	le confort de travail, une éthique de vie supérieure, volonté de recréer du lien social	<i>les dimensions sociales et philosophiques sont intégrées dans le système de production</i>

Introduction

Depuis plusieurs années, le monde agricole est en pleine évolution. L'agroécologie et le développement de systèmes aux pratiques agricoles innovantes rencontrent un engouement grandissant auprès des porteurs de projet agricole et des jeunes installés, attirés par ces modes de production plus respectueux du sol, de l'environnement et de leurs valeurs. Cependant, ce type d'agriculture, qui fait souvent face à des rendements plus faibles qu'en conventionnel et nécessitant de bonnes compétences techniques, a besoin de se démarquer, notamment via des certifications comme l'Agriculture Biologique (AB).

L'agriculture biologique, « bio » ci-après, rencontre un vif succès dans le mode de vie des Français, qui le considèrent comme un gage de qualité (Agence BIO, 2020a). L'agriculture bio vise aujourd'hui à promouvoir le respect de l'environnement, la biodiversité, et le bien-être animal, sans utilisation de produits chimiques de synthèse (Agence BIO, 2020b). Régie par un règlement européen (Commission Européenne, 2007), elle est représentée par l'apposition du label « Eurofeuille » en Europe, et par l'ajout facultatif de la marque AB en France. Le contrôle de cette réglementation est réalisé par des organismes certificateurs accrédités et indépendants qui vérifient le respect du cahier des charges par les agriculteurs. En France, l'agriculture bio est en constante progression et représentait 8,3 % de la Surface Agricole Utile (SAU) totale en 2019. La région PACA est celle avec le plus de surface en bio avec près d'un tiers de la SAU régionale en 2019 (Bio de PACA, 2020). Dans les Alpes-Maritimes, la part de la SAU en bio est de 21,4 % (ORAB, 2020a), et le maraîchage bio représente près de la moitié de la SAU maraîchère du département (ORAB, 2020b). Parallèlement à cela, on observe une prépondérance des exploitations de moins de 2,5 ha (78%) dans le département des Alpes-Maritimes, et une diminution de la SAU moyenne par exploitation depuis 2010 (Agreste, 2019). Ces tendances au maintien d'exploitations sur petites surfaces sont en grande partie liées à la topographie très montagneuse du territoire et à la forte pression foncière. A titre d'exemple, le prix des terres agricoles à l'hectare varie selon la distance au littoral de 50 000 € à 400 000 € dans les Alpes-Maritimes (Lassauque, 2020), contre 6 000 € en moyenne en France (SAFER, 2020). Ce contexte foncier particulier des Alpes-Maritimes favorise nettement les activités agricoles nécessitant de petites surfaces telles que le maraîchage bio diversifié, sous la forme de microfermes (tab. 1). Popularisées par des agriculteurs initiateurs comme Jean-Martin Fortier en maraîchage bio-intensif (Fortier, 2014) ou Perrine et Charles Hervé-Gruyer en permaculture (Hervé-Gruyer, Hervé-Gruyer, 2014). Ces systèmes agricoles attirent de plus en plus de jeunes porteurs de projets, souvent non issus du milieu agricole, qui se heurtent à une complexité technique et organisationnelle du maraîchage bio diversifié sur petites surfaces. Parallèlement, les acteurs du monde agricole souffrent d'un manque de données et références sur ce type de systèmes et il leur est parfois difficile d'accompagner les producteurs et porteurs de projets. Il est donc nécessaire de mobiliser tous ces acteurs afin d'acquérir des références technico-économiques sur les systèmes de maraîchage bio diversifié sur petites surfaces tout en favorisant une dynamiques d'échanges pour améliorer ces systèmes. Pour atteindre ces objectifs, le réseau Bio de PACA (Fédération Régionale de l'Agriculture Biologique en PACA) a répondu à l'appel à projet intitulé « Mise en place et fonctionnement des groupes opérationnels (GO) du Partenariat Européen pour l'Innovation (PEI) », ci-après GOPEI.

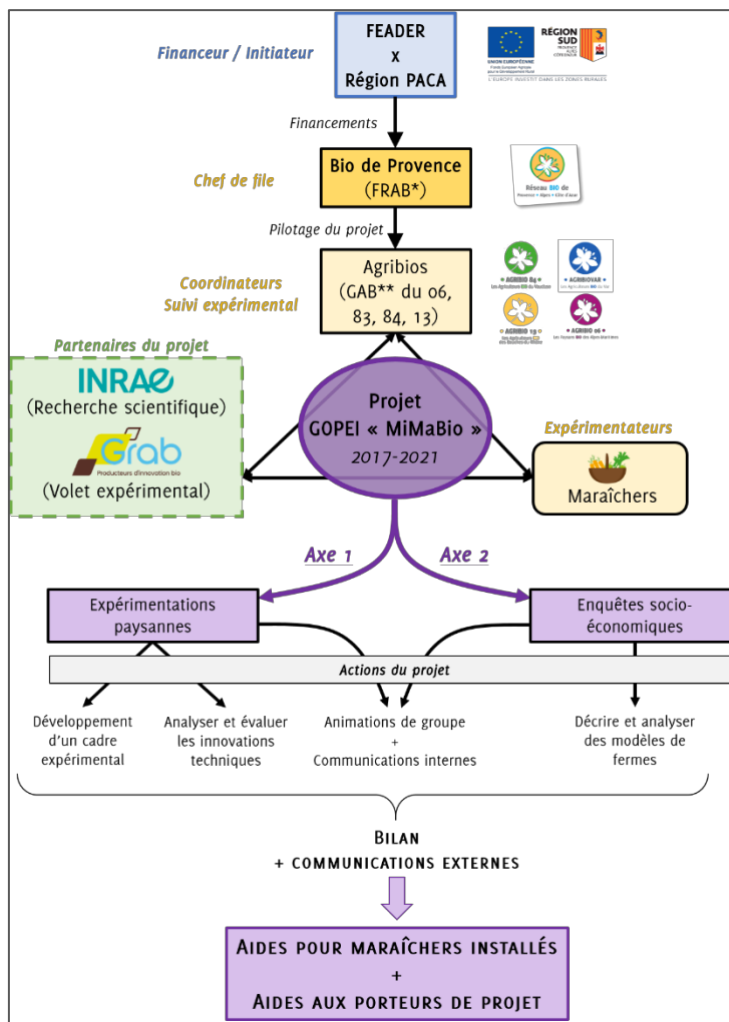


Figure 1 : Organigramme et objectifs du projet MiMaBio « Systèmes maraîchers bio diversifiés sur petites surfaces »
 Figure 1 : Organization and objectives of MiMaBio project « Small-scale diversified organic market gardening »

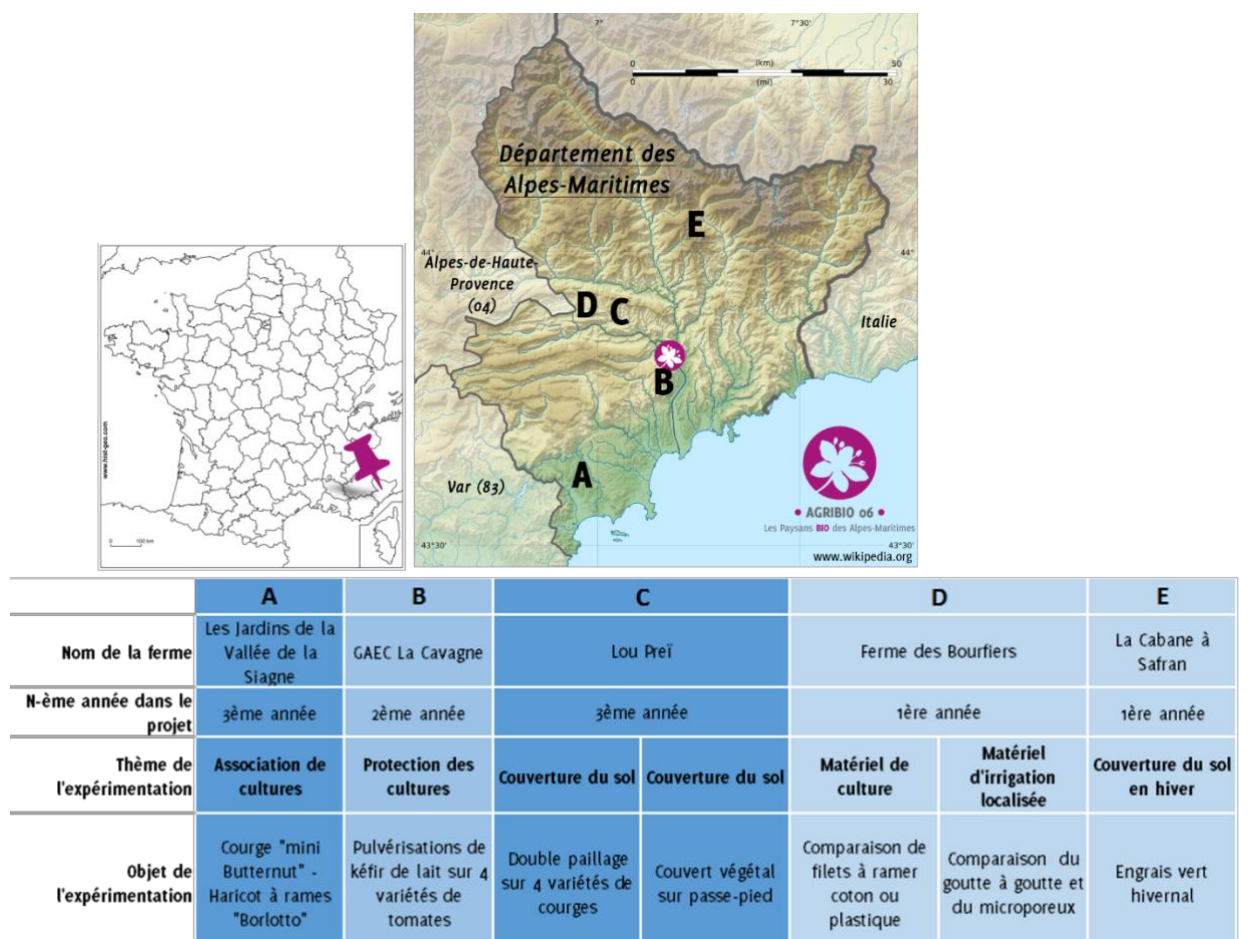


Figure 2 : Présentation des fermes participantes et localisation dans les Alpes-Maritimes
 Figure 2 : Presentation and localization of the farms that are part of the project in the Alpes-Maritimes

Accepté en 2017, le projet GOPEI « MiMaBio : Systèmes maraîchers biologiques diversifiés sur petites surfaces en région PACA » est financé par le programme de développement rural de la région PACA via le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) 2014-2020. L'objectif de ce projet est de mieux caractériser ces systèmes, en identifiant leur fonctionnement ainsi que les facteurs de réussite et d'échec, afin d'améliorer l'accompagnement des maraîchers et porteurs de projets. Ainsi, le projet MiMaBio s'articule selon 2 axes : les expérimentations paysannes et les enquêtes socio-économiques (fig. 1).

L'axe 1 correspond au volet expérimental du projet, qui a pour but de caractériser des pratiques agroécologiques innovantes à travers des Expérimentations en Milieu Paysan (EMP). L'objectif est d'évaluer ces pratiques innovantes, de communiquer sur celles-ci et de produire des outils d'aide à la décision sur ces EMP. L'axe 2 consiste à analyser l'évolution de ce type d'exploitation via la réalisation d'enquêtes socio-économiques et d'analyses comptables de plusieurs fermes sur différentes années. Les partenaires impliqués dans le projet sont : le Groupement de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB) représenté par Mme MAZOLLIER, l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), et les Groupements des Agriculteurs Biologiques (GAB) de la région PACA, ci-après « Agribio ». Le GRAB et l'INRAE apportent des appuis techniques et expérimentaux, tandis que les Agribio déclinent les 2 axes à l'intérieur de chaque département, et constituent le lien direct avec les maraîchers participant au projet. Nous définirons les fermes en maraîchage bio diversifié sur petites surfaces comme des exploitations certifiées AB ou Nature et Progrès, avec une activité principale de maraîchage bio (66% minimum), une importante diversité de légumes (15 minimum), cultivés sur une surface maximale de 2,5 hectares (ha) et priorisant une commercialisation en circuits courts. Ce mémoire vise à développer l'axe 1 du projet sur les expérimentations paysannes, qui se sont étendues sur 3 années de cultures à partir de 2018, l'année 2020 représentant la 3^{ème} et dernière année des expérimentations. Nous serons donc amenés à répondre à la problématique suivante : **comment caractériser et évaluer des pratiques agroécologiques en systèmes maraîchers biologiques diversifiés sur petites surfaces par le biais d'expérimentations paysannes ?**

Cette année, le volet expérimental du projet MiMaBio a permis de suivre 7 expérimentations paysannes dans 5 fermes réparties à travers les Alpes-Maritimes (fig. 2). Dans le cadre de ce mémoire, 3 expérimentations paysannes seront approfondies et détaillées :

- Effet du kéfir de lait en pulvérisations foliaires et au sol sur 4 variétés de tomates en plein champ,
- Impact du double paillage foin-bâche tissée sur le sol et 4 variétés de courges en plein champ,
- Comparaison de la durabilité de 2 filets à ramer en plastique et coton sur haricot grim pant

Les thèmes des 4 autres expérimentations sont présentés sur la figure 2.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les pratiques agroécologiques expérimentées à travers des aspects sociaux, économiques, environnementaux et techniques, afin d'orienter au mieux les maraîchers sur leurs pratiques, de leur permettre de s'appropriier le processus des expérimentations paysannes et *in fine* d'augmenter la durabilité de leur exploitation maraîchère. Nous commencerons par une partie bibliographique afin d'introduire les thématiques des expérimentations, puis nous détaillerons les dispositifs expérimentaux et mesures réalisées. Les résultats seront ensuite exposés, puis interprétés et discutés, en mettant en avant les tenants et aboutissants de l'expérimentation paysanne.

1. Bibliographie

1.1. L'expérimentation en milieu paysan (EMP)

L'expérimentation en milieu paysan (EMP) est une alternative à la recherche agronomique qui vise à réaliser l'essai directement chez le producteur, en l'impliquant dans le processus de l'expérimentation. Philippe Jouve, chercheur et ingénieur agronome, décrit les EMP comme « *un processus d'expérimentation qui se déroule dans les conditions de la pratique paysanne. Ce processus a pour objectif d'évaluer les effets techniques, économiques et sociaux provoqués par l'introduction d'améliorations des modes et conditions d'exploitation agricole du milieu.* » (Jouve, 1990). En effet, la recherche agronomique assurée par les stations expérimentales au début du 20^{ème} siècle était caractérisée par une relation linéaire entre la recherche qui produit les innovations, l'ingénieur qui les conceptualise, et l'utilisateur final (ici le paysan) qui adopte ou rejette l'innovation (Rogers, 2003). Mais la difficulté d'adoption des acquis de la recherche agronomique par le paysan ainsi que l'absence de solutions adaptées aux problèmes rencontrés par les paysans a développé cet intérêt pour l'EMP (Jouve, 1990).

Aujourd'hui, les systèmes de production innovants comme le maraîchage biologique diversifié sur petites surfaces poussent le monde de la recherche à compléter sa démarche expérimentale. En effet, le développement de ces microfermes rencontre un franc succès (Morel, 2016), mais l'absence de données techniques se fait ressentir, et les EMP représentent une démarche intéressante afin d'améliorer la connaissance sur ces systèmes et favoriser le lien entre la recherche, l'ingénieur et l'agriculteur-paysan. La démarche générale de l'EMP cherche à (Jouve, 1990) :

- Favoriser le dialogue entre la recherche agronomique et le monde paysan
- Identifier les problèmes techniques et sociaux des paysans afin d'orienter les programmes de recherche agronomique
- Prendre en compte la diversité du milieu naturel et humain
- Tester et évaluer la faisabilité technique et sociale des innovations et leur impact sur les systèmes de production paysans

Ainsi, l'EMP se veut comme l'essai d'une pratique innovante par l'agriculteur dans des conditions expérimentales réelles, sur son exploitation. Différents types d'EMP sont distingués selon les degrés de participation du chercheur/ingénieur et du paysan dans l'expérimentation (Jouve, 1990). Dans le cadre du projet MiMaBio, on peut définir les EMP comme des expérimentations paysannes (EP) : le thème, les protocoles et critères d'évaluation sont définis par le paysan, avec un appui technique de la part du chercheur/ingénieur (Catalogna, 2018). Les EP se rapprochent donc plus du paysan, qui exprime sa volonté de tester et/ou adapter au contexte local une pratique qu'il adopte parfois déjà, mais dont il aimerait connaître les impacts réels. Toutefois, l'analyse des résultats de ce type d'expérimentation est difficile, puisqu'il est rare de comparer des situations ne différant que par un nombre limité de facteurs, avec un nombre suffisant de répétitions. Pour le chercheur/ingénieur, cela nécessite d'expérimenter la pratique selon un dispositif expérimental rigoureux et adapté au contexte singulier de l'exploitation, élaboré conjointement avec les partenaires du projet et le paysan, selon des mesures qui intéressent ce dernier. De plus, à travers la co-construction des expérimentations, les EP du projet MiMaBio favorisent la participation du paysan via une réflexion personnelle mais aussi via des discussions en groupe, où chacun apporte ses connaissances propres (Jouve, 1990). La caractérisation et l'évaluation de pratiques agroécologiques à travers les EP s'adaptent donc au contexte particulier des exploitations et à la volonté du paysan d'être au cœur de l'innovation.

1.2. Le kéfir de lait : une alternative à la protection des cultures ?

La thématique proposée par Mr LASSAUQUE, maraîcher du projet, a pour but d'évaluer l'efficacité du kéfir de lait à améliorer la résistance des cultures aux bioagresseurs et aux stress abiotiques, et stimuler la croissance. Très peu utilisé par les agriculteurs, peu de preuves tacites existent sur la réelle efficacité d'utilisation du kéfir en agriculture. Cependant, on peut justifier son utilisation grâce à sa composition, comparable aux bactéries lactiques utilisées en protection des cultures (Somers et al., 2007), ou aux microorganismes efficaces (Effective Microorganisms, EM), concept développé par Teruo Higa (Higa, Parr, 1995).

1.2.1. Les microorganismes en agriculture : protection et développement des cultures

Les récentes recherches dans le domaine des interactions plante-microorganismes ont montré l'importance des communautés microbiennes pour améliorer la santé des plantes et la résilience des agroécosystèmes. Les microorganismes favorisant la croissance des plantes (Plant Growth Promoting Microorganisms, PGPM), représentent un concept longtemps focalisé sur quelques rhizobactéries, mais qui tend à s'étendre à d'autres microorganismes (bactéries lactiques, levures, etc.). Leur action se fait par de nombreux mécanismes : augmentation de la disponibilité en nutriments, rôle d'agents de biocontrôle et stimulation de la plante pour gérer les stress biotique et abiotique (Lamont et al., 2017).

1.2.1.1. *Les bactéries lactiques : agents de lutte biologique et PGPM prometteuses*

Dans les agroécosystèmes, les bactéries lactiques se situent dans la rhizosphère, enrichie en exsudats racinaires utiles aux bactéries lactiques comme les sucres et les enzymes (Dennis et al., 2010 ; Lamont et al., 2017). On peut aussi les retrouver dans la phyllosphère et l'endosphère des plantes cultivées (Lamont et al., 2017). Cela suggère donc leur importance dans les interactions plante-microorganismes.

En tant qu'agents de lutte biologique, les bactéries lactiques ont prouvé leur efficacité par leurs actions antagonistes de certains pathogènes. L'intérêt se porte notamment sur des souches d'espèces du genre *Lactobacillus* (*Lb.*). Ces dernières ont montré leur efficacité contre *Pythium ultimum* et *Fusarium oxysporum* sur tomate *Solanum lycopersicum* (Hamed et al., 2011 ; Camps, 2012), et contre *Xanthomonas campestris* sur poivron *Capsicum frutescens* (Kannan et al., 2014). Au-delà de *Lactobacillus*, Trias et Bañeras ont isolé 19 souches d'espèces de bactéries lactiques issues de fruits et légumes frais qui ont été caractérisées comme ayant une activité antagoniste contre les pathogènes *X. campestris*, *Erwinia carotovora*, *Monilinia laxa* et *Botrytis cinerea*. Parmi ces souches efficaces, on retrouve les espèces suivantes : *Leuconostoc* (*Ln.*) *mesenteroides*, *Ln. citreum*, *Lb. plantarum*, *L. lactis*, et d'autres (Trias, Bañeras, 2008). De plus, les bactéries lactiques induiraient des activités anti-oxydatives de défense des plantes, comme *Lb. plantarum* sur le poivron (Nordin et al., 2017). Ces mécanismes s'apparentent à ceux de résistance systémique induite (ISR), ce qui augmenterait la réponse au stress provoqué par certaines maladies (van Loon, 2007 ; Singh, 2013). Une autre piste d'action des bactéries lactiques réside dans leur effet en tant que PGPM, et plus précisément en tant que rhizobactéries. En effet, des bactéries lactiques *Lactobacillus* issues de produits laitiers ont montré une augmentation de la croissance des racines des plantes chez le poivron et la tomate (Hamed et al., 2011 ; Kannan et al., 2014).



Figure 3 : Grains de kéfir de lait de Mr LASSAUQUE, 28 mai 2020
 Figure 3 : Milk kefir grains from Mr LASSAUQUE, 28th may 2020

Tableau 2 : Méta-analyse de la composition microbienne de grains et boissons de kéfir de différentes origines (Prado et al., 2015)
 Table 2 : Metanalysis : microbial composition of milk kefir grains and beverage from different countries (Prado et al., 2015)

Microorganism	Source – Country	Reference
<i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Lactobacillus paracasei</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> , <i>Lactobacillus parakefir</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Saccharomyces unisporus</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Acetobacter</i> sp., <i>Saccharomyces</i> sp., <i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> biovar <i>diacetylactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactobacillus parakefiri</i>	Kefir grains and beverage – Argentina	Garrote et al., 2001; Londero et al., 2012; Hamet et al., 2013; Diosma et al., 2014.
<i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i> , <i>Gluconobacter frateurii</i> , <i>Acetobacter orientalis</i> , <i>Acetobacter lovaniensis</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> , <i>Naumovozyma</i> sp., <i>Kazachastania khefir</i>	Kefir grains and beverage – Belgium	Korsak et al., 2015
<i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus paracasei</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Gluconobacter japonicus</i> , <i>Lactobacillus uvarum</i> , <i>Acetobacter syzygii</i> , <i>Lactobacillus satsumensis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Leuconostoc</i> sp., <i>Streptococcus</i> sp., <i>Acetobacter</i> sp., <i>Bifidobacterium</i> sp., <i>Halococcus</i> sp., <i>Lactobacillus amylovorus</i> , <i>Lactobacillus buchneri</i> , <i>Lactobacillus crispatus</i> , <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> ssp. <i>kefiranofaciens</i> , <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> ssp. <i>kefirgranum</i> , <i>Lactobacillus parakefiri</i>	Kefir grains – Brazil	Miguel et al., 2010; Leite et al., 2012; Zanirati et al., 2015
<i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> ssp. <i>pseudoplantarum</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> var. <i>lactis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Candida inconspicua</i> , <i>Candida maris</i> , <i>Lactobacillus lactis</i> ssp. <i>lactis</i>	Kefir grains and beverage – Bulgaria	Simova et al., 2002
<i>Lactobacillus paracasei</i> , <i>Lactobacillus parabuchneri</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Acetobacter lovaniensis</i> , <i>Kluyveromyces lactis</i> , <i>Kazachstania aerobia</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lachancea meyersii</i>	Kefir beverage – Brazil	Magalhães et al., 2011
<i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Kazachstania unispora</i> , <i>Kazachstania exigua</i> , <i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pichia kudriavzevii</i> , <i>Leuconostoc lactis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Acetobacter fabarum</i> , <i>Pichia guilliermondii</i> , <i>Lactococcus</i> sp., <i>Lactobacillus</i> sp., <i>Acetobacter</i> sp., <i>Shewanella</i> sp., <i>Leuconostoc</i> sp., <i>Streptococcus</i> sp., <i>Acinetobacter</i> sp., <i>Pelomonas</i> sp., <i>Dysgonomonas</i> sp., <i>Weissella</i> sp., <i>Shewanella</i> sp.	Kefir grains (Tibet)– China	Jianzhong et al., 2009; Gao et al., 2012, 2013a
<i>Acetobacter acetic</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Enterococcus durans</i> , <i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>cremoris</i> , <i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i> , <i>Leuconostoc paramesenteroides</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Saccharomyces</i> sp., <i>Brettanomyces</i> sp., <i>Candida</i> sp., <i>Saccharomycodes</i> sp., <i>Acetobacter rancens</i>	Kefir beverage – China	Yang et al., 2007
<i>Lactobacillaceae</i> and <i>Streptococcaceae</i>	Kefir grains and beverage – Ireland	Dobson et al., 2011
<i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Dekkera anomala</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Acetobacter</i> sp., <i>Lactobacillus lactis</i> , <i>Enterococcus</i> sp., <i>Bacillus</i> sp., <i>Acetobacter fabarum</i> , <i>Acetobacter lovaniensis</i> , <i>Acetobacter orientalis</i>	Kefir grains – Italy	Garofalo et al., 2015
<i>Leuconostoc</i> sp., <i>Lactococcus</i> sp., <i>Lactobacillus</i> sp., <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Zygosaccharomyces</i> sp., <i>Candida</i> sp., <i>Candida lambica</i> , <i>Candida krusei</i> , <i>Saccharomyces</i> sp., <i>Cryptococcus</i> sp.	Kefir grains and beverage – South Africa	Witthuhn et al., 2005
<i>Lactobacillus</i> sp., <i>Leuconostoc</i> sp., <i>Lactococcus</i> sp., <i>Zygosaccharomyces</i> sp., <i>Candida</i> sp., <i>Saccharomyces</i> sp.	Kefir grains – South Africa	Witthuhn et al., 2004
<i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Saccharomyces turicensis</i> ,	Kefir grains – Taiwan	Wyder et al., 1999; Chen et al., 2008; Wang et al., 2012;
<i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i>	Kefir grains and beverage – Turkey	Guzel-Seydim et al., 2005; Kesmen and Kacmaz, 2011

1.2.1.2. Les microorganismes efficaces (EM) : concept et efficacité

Dans le domaine des PGPM, les EM ont ouvert un marché florissant à travers le monde agricole. Le concept d'EM a été développé par Teruo Higa en 1991, et consiste à promouvoir l'utilisation d'un mélange de cultures microbiennes contenant des microorganismes bénéfiques et naturellement présents dans le milieu. Ce mix de microorganismes peut ensuite être inoculé sur la parcelle pour augmenter la diversité microbienne du sol et des plantes. L'inoculation d'EM sur la plante et le sol a montré que cela pouvait améliorer la qualité du sol, la croissance et la productivité des plantes (Higa, Parr, 1995).

Parmi ce mix de microorganismes, on retrouve une prédominance de bactéries lactiques et de levures, ainsi que des bactéries photosynthétiques et des champignons (Higa, Parr, 1995). Plusieurs entreprises à travers le monde commercialisent aujourd'hui ces produits. L'entreprise française Synbiovie® commercialise un produit à base d'EM qui contient des bactéries lactiques : *Lb. paracasei*, *Lb. plantarum*, mais aussi une espèce de bactérie photosynthétique : *Rhodospseudomonas palustris*, et une espèce de levure : *S. cerevisiae*. Ajouté à cela on retrouve de l'eau et du sucre (Synbiovie, 2020). Plusieurs publications semblent montrer l'efficacité avérée des EM au champ, notamment en application au sol ou directement sur les feuilles du pois *Pisum sativum* contre *Peronospora viciae* (Okorski et al., 2008) et sur *Pythium* en culture horticole (Breeuwsma, de Boer, 2005).

1.2.2. Le kéfir de lait : composition et variabilité

Le kéfir de lait est un lait fermenté qui proviendrait de la région du Caucase (Zourari, Anifantakis, 1988 ; Ninane, 2008). Par « kéfir », on entend la boisson fermentée à partir de ferments du lait que nous nommerons « grains de kéfir » (fig. 3). Bien que la formation des grains et de cette boisson repose sur une transmission orale de son histoire et des savoirs, son utilisation s'est étendue à travers le monde (Ninane, 2008). Connu empiriquement pour ses vertus bénéfiques sur la santé humaine, ce produit riche en probiotiques a été très largement étudié afin d'en comprendre sa composition, sa variabilité selon son origine, ainsi que ses effets sur la santé (Ninane, 2008 ; Prado et al., 2015 ; Turkmen, 2017).

Les grains utilisés pour fabriquer le kéfir sont composés d'un assemblage relativement ordonné de microorganismes symbiotiques collés à une matrice de polysaccharides (Ninane, 2008 ; Prado et al., 2015). Leur composition microbienne est très variable, mais est composée majoritairement de bactéries lactiques (10^8 CFU/g), de levures (10^6 - 10^7 CFU/g) et de bactéries acétiques (10^5 CFU/g) (Ninane, 2008 ; Prado et al., 2015). Après fermentation en présence des grains puis filtration, la boisson finale contient elle aussi ce cortège de microorganismes. Un récapitulatif de cette diversité de composition des grains et du kéfir est détaillé dans le tableau 2 (Prado et al., 2015). Selon l'origine des grains utilisés, on observe une très forte diversité spécifique de bactéries lactiques : *Lb. kefir*, *Lb. paracasei ssp. paracasei*, *Lb. acidophilus*, *Lb. delbrueckii*, *Lb. plantarum*, *Lb. kefiranofaciens*, *Lactococcus (L.) lactis*, *Ln. mesenteroides*, etc. On observe aussi une importante diversité de levures comme celles du genre *Candida*, ou encore l'espèce *Saccharomyces (S.) cerevisiae*. La composition du kéfir varie selon la région où les grains ont été récupérés et analysés (Ninane, 2008 ; Prado et al., 2015), ce qui dépendrait des procédés liés au maintien de la culture des grains mais aussi aux différents processus de fermentation (Prado et al., 2015).

Tableau 3 : Synthèse bibliographique de différentes alternatives utilisant des microorganismes en agriculture comparées aux effets potentiels du kéfir

Table 3 : Bibliographic synthesis on various alternatives based on microorganisms applied in agriculture compared to kefir potential effects.

Produits / Microorganismes d'intérêt	Composition (non exhaustive)		Effets sur l'agroécosystème	Sources
	Microorganismes	Autres		
Effective Microorganisms (EM)	<u>Bactéries lactiques :</u> <i>Lactobacillus paracasei</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> <u>Levures :</u> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <u>Bactéries photosynthétiques :</u> <i>Rhodospseudomonas palustris</i>	Eau Sucre de canne	*Amélioration de la qualité du sol *Amélioration de la croissance et de la productivité *Lutte biologique contre <i>Pythium</i> et <i>Peronospora viciae</i> (bioagresseurs)	(Higa, Parr, 1995) (Synbiovie, 2020) (Okorski et al., 2008) (Breeuwmsma, de Boer, 2005)
Bactéries lactiques	Souches du genre <i>Lactobacillus</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Leuconostoc mesenteroides</i> <i>Lactococcus lactis</i>		PGPM : *Effet antagoniste sur bioagresseurs <i>Pythium ultimum</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Erwinia carotovora</i> , <i>Monilinia laxa</i> et <i>Botrytis cinerea</i> *Stimulation des défenses naturelles via ISR (Induced Systemic Resistance) *Croissance des racines des plantes	(Trias, Bañeras, 2008) (Hamed et al., 2011) (Camps, 2012) (Kannan et al., 2014) (Lamont et al., 2017) (Nordin et al., 2017) (van Loon, 2007) (Singh, 2013) (Hamed et al., 2011) (Kannan et al., 2014)
Kéfir de lait	<u>Bactéries lactiques :</u> <i>Lactobacillus (Lb.) kefir</i> <i>Lb. paracasei ssp. paracasei</i> <i>Lb. acidophilus</i> <i>Lb. delbrueckii</i> <i>Lb. plantarum</i> <i>Lb. kefiranofaciens</i> <i>Lactococcus (L.) lactis</i> <i>Leuconostoc mesenteroides</i> (entre autres, non cités) <u>Levures :</u> Genre <i>Candida</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <u>Bactéries acétiques</u>	Acide lactique Kéfiran (50% glucose-galactose) Antibiotiques/Bactéricides Lipides Protéines	<u>Hypothèses de l'expérimentation 2020 chez Nicolas LASSAUQUE :</u> *Lutte biologique contre les bioagresseurs de la tomate *Stimulation de la croissance et de la productivité de la tomate *Amélioration de l'activité microbienne du sol	(Zourari, Anifantakis, 1988) (Nimane, 2008) (Prado et al., 2015) (Turkmen, 2017)

Pour conclure, l'analyse comparative entre les microorganismes présents dans le kéfir de lait et ceux utilisés en agriculture, à travers des travaux de recherche ou des entreprises commerciales, nous amène à justifier l'utilisation du kéfir comme alternative aux produits utilisés en lutte biologique et en stimulation de la croissance des plantes. En effet, la ressemblance microbienne du kéfir avec les bactéries lactiques et les EM est assez flagrante, malgré la forte variabilité de composition des grains de kéfir selon leur origine (tab. 3). La flore microbienne du kéfir présente une majorité de bactéries lactiques, dont certaines espèces sont identiques à celles utilisées en lutte biologique et dans les EM comme *Lb. plantarum*, *Lb. paracasei*, *Ln. mesenteroides* et *L. lactis*. De plus, le kéfir présente une grande quantité de levures dont *S. cerevisiae*, aussi présente dans les EM. Cependant, il est important de rappeler que le kéfir a une composition en microorganismes extrêmement complexe et variée, dont une faible proportion a fait l'objet d'études scientifiques en agriculture. Ainsi, l'expérimentation de Mr Lassauque est une première approche pour évaluer les potentiels agronomiques de son kéfir sur la croissance des plantes, la lutte contre les bioagresseurs et la stimulation de l'activité microbienne du sol.

1.3. Le paillage en maraîchage

Les paillages en maraîchage permettent principalement de limiter le développement des adventices, mais aussi d'assurer une couverture du sol permanente afin d'améliorer sa qualité biologique, physique et chimique. Cependant, certains paillages présentent aussi des inconvénients majeurs. Il s'agira donc d'aborder les différents impacts sur le sol et la culture du paillage plastique et organique, afin de comprendre les potentiels effets de l'association de ces deux paillages, thématique centrale de l'expérimentation de Mr et Mme NOIR.

1.3.1. Effets sur le sol et la culture du paillage plastique et organique

Il existe une grande diversité de paillages plastiques, selon leur composition, leur couleur, leur durée d'utilisation (Weill et al., 2009), pour lesquels le contexte d'utilisation et l'efficacité sont variables. De manière générale, le paillage plastique permet à la fois le bon contrôle des adventices, la limitation de l'évaporation de l'eau du sol, et permet dans la plupart des cas d'augmenter la précocité et le rendement des cultures paillées (Bu et al., 2006 ; Weill et al., 2009 ; Singh et al., 2016 ; Dong et al., 2018). En limitant les pertes en eau, cela augmente l'efficacité d'utilisation par les végétaux (Bu et al., 2006). De plus, le paillage plastique réchauffe le sol en sortie d'hiver (Mazollier, 2002 ; Bu et al., 2006), ce qui stimule la biomasse microbienne (Bu et al., 2006 ; Dong et al., 2018) et permet de démarrer la saison plus tôt avec des légumes précoces (Bu et al., 2006). Cependant, la chaleur emmagasinée par un paillage plastique de couleur foncée peut endommager la tige de la culture ou les fruits au sol comme les courges (Weill et al., 2009 ; Paranthoen, 2018), et induire une augmentation de la température du sol qui peut être délétère pour la culture (Singh et al., 2016).

Le paillage organique est défini par l'apport d'une couche épaisse de matière organique (MO) sur le sol : paille, foin, copeaux de bois, etc. Comme le paillage plastique, il limite l'évaporation de l'eau du sol, et contrôle les adventices (Bu et al., 2006 ; Weill et al., 2009 ; Singh et al., 2016). A cela s'ajoute d'autres avantages tels que la diminution de l'érosion et du ruissellement (Jordán et al., 2010). Au bout de plusieurs années d'application, le paillage organique permet d'augmenter significativement la teneur en MO du sol (Bu et al., 2006 ; Jordán et al., 2010 ; Dong et al., 2018). Cela

améliore à long terme les propriétés physiques du sol : la porosité, la stabilité des agrégats, mais aussi la réserve utile en eau, à condition de réaliser un apport suffisant (Mulumba, Lal, 2008 ; Jordán et al., 2010). De plus, le paillage organique augmente l'activité microbienne et la disponibilité des nutriments tels que l'azote N, le phosphore P et le potassium K (Bu et al., 2006). Cependant, un apport de MO à fort rapport Carbone/Azote (C/N) peut induire une mobilisation à court terme de l'azote par les communautés microbiennes pour décomposer cette matière, ce qui peut diminuer la disponibilité de l'azote pour les plantes, c'est la faim d'azote (Weill et al., 2009 ; Singh et al., 2016). En comparaison avec un paillage plastique, le paillage organique limite les amplitudes de température en agissant comme une couche « isolante » (Weill et al., 2009), ce qui peut ralentir le réchauffement du sol en début de saison. En revanche, il peut contribuer à maintenir une amplitude plus basse en été là où les fortes chaleurs peuvent représenter un risque pour le sol et les cultures.

1.3.2. Le double paillage : complémentarité des effets du paillage plastique et organique ?

Lors de fortes périodes de chaleurs en été, Mr et Mme Noir aimeraient limiter la sécheresse et la dureté du sol liés à l'utilisation du paillage plastique. Ils ont donc opté par l'ajout d'une couche de MO sous ce paillage, afin de favoriser la qualité du sol et maintenir son activité biologique. Cette technique de double paillage expérimentée dans le cadre du projet depuis 2 ans chez eux semble prometteuse concernant les effets sur le sol (Karoui, 2018 ; Chavrier, 2019). En 2018, le double paillage a permis de montrer un réchauffement du sol plus rapide en surface en début de saison et un meilleur effet tampon avec des températures plus basses pendant la saison (Karoui, 2018). Cet effet tampon du double paillage a été confirmé en 2019 : les amplitudes de température pendant la saison sont fortement réduites. Pendant la saison, le sol a dépassé 25°C pendant 32 jours en double paillage, contre 72 jours en paillage plastique simple (Chavrier, 2019). L'activité biologique en 2018 semblait plus stimulée en présence du double paillage que pour un sol complètement à nu (Karoui, 2018), mais cela n'a pas été confirmé en 2019 (Chavrier, 2019). Aucun effet n'a été observé sur la vigueur de la culture lors des 2 années précédentes. Mais l'utilisation de paillage plastique, doublé ou non avec de la paille, diminue fortement le temps de désherbage comparé à un sol nu ou à un paillage organique dans lequel les adventices finissent par se développer (Karoui, 2018).

Le double paillage présenterait donc un intérêt chez Mr et Mme Noir pour combiner l'efficacité d'un paillage plastique pour réchauffer le sol et limiter les adventices tout en apportant un paillage organique afin de limiter les amplitudes de température en plein été à court terme et améliorer la qualité du sol à long terme.


2. Matériel et méthode

2.1. La démarche générale


Les thématiques de chaque expérimentation ont été définies lors d'une réunion mi-janvier entre les maraîchers du projet et la conseillère et animatrice en productions végétales à Agrificio 06, qui a supervisé le projet pendant cette 3^{ème} année. A cette réunion, une préfiguration des expérimentations a été réalisée afin de préciser les thèmes, les mesures potentielles, les parcelles à disposition et les cultures envisagées.

Tableau 4 : Extrait du rétroplanning illustrant le début du stage et l'organisation de la préfiguration des expérimentations
 Table 4 : Retroplanning extract showing the beginning of the internship and experiment prefiguration organization


	Avril				Mai				Juin			
EXPERIMENTATIONS												
1ers points téléphoniques												
Préfiguration des expés												
Validation des préfigurations												
Arrivée à Nice												
Visites des fermes												
Mise en place des expés												
Prise de mesures												




Réseau **BIO** de
Provence • Alpes • Côte d'Azur



• **AGRIBIO 06** •
Les Paysans **BIO** des Alpes-Maritimes



UNION EUROPÉENNE
Fonds Européen Agricole
pour le Développement Rural
L'EUROPE INVESTIT DANS LES ZONES RURALES



RÉGION SUD
PROVENCE • ALPES • CÔTE D'AZUR

Journal de bord – GAEC La Cavagne – Nicolas LASSAUQUE

Expérimentation de l'effet du kéfir de lait sur tomates (2^{ème} année)

21 avril 2020 : semis en poquets de 6 variétés de tomates, 400 pots

4 variétés choisies pour l'expé : Green zebra, Ananas, Noire de Crimée, Coeur de boeuf orange

6-7 mai 2020 : transplantation des plants en pots individuels
Inoculation des plants des modalités 2 et 3, dans 2 solutions +/- concentrée en kéfir

14 mai 2020 : appel Nicolas

Confirmation qu'il a bien effectué le protocole d'inoculation des plants, mais attention il y a plus de plants dans modalité témoin et kéfir + que dans kéfir.

Nico n'aura pas le temps de fabriquer le kéfir nécessaire à l'expé, ce sera donc Agribio qui s'en chargera. Il y a 2L de kéfir de lait à réaliser par semaine

18 mai 2020 : première visite chez Nicolas

Questions :
 Parcelle : cb de m linéaire ?
 → Une planche de 35m, une de 32, une de 29m, puis des plus petites de 18 et 16 m

ITK actualisé pour les prochains jours ?
 → Fumier mis en janvier-février

Figure 4 : Extrait de la première page du journal de bord de l'expérimentation de Mr LASSAUQUE
 Figure 4 : Logbook extract of Mr LASSAUQUE experiment.

Le début de la saison et le recrutement du stagiaire début avril ont permis d'approfondir et finaliser la préfiguration des expérimentations afin d'être prêt à démarrer les mesures à la mise en place de la culture vers fin mai. Initialement, les visites de ferme étaient prévues dès la première semaine du stage, afin de débiter la préfiguration avec une première prise de contact en présentiel avec le maraîcher, son exploitation et sa parcelle expérimentale. L'étape de préfiguration a finalement été réalisée pendant la période de confinement d'un mois et demi liée au Covid-19, via des rendez-vous téléphoniques avec les différents acteurs du projet : Agribio 06, le GRAB et les maraîchers. La préfiguration permettait de définir l'objectif de l'expérimentation, le dispositif expérimental, l'itinéraire technique de la culture, les mesures et protocoles à réaliser et la fréquence de ces dernières. Lorsque cela était possible, les facteurs de réussite et d'échec des 2 années d'expérimentations précédentes étaient pris en compte dans la préfiguration. Pour les 7 expérimentations, cette étape a pris la forme de « fiches préfiguration » traitées individuellement et conjointement avec le maraîcher concerné, puis validée par Agribio et le GRAB. Ces fiches ont ensuite été transmises à chaque maraîcher pour le maintenir au courant. Nous détaillerons le contenu des fiches des 3 expérimentations choisies dans le cadre du mémoire, les fiches des 4 autres expérimentations sont disponibles en Annexe II, III, IV et V. A la suite de la période de confinement vers la fin du mois de mai, les visites de ferme ont pu avoir lieu en présentiel, au moment de la mise en place des expérimentations (tab. 4).

Afin de maintenir un suivi efficace des 7 expérimentations du projet, un journal de bord a été tenu pour chaque ferme participante. Il tenait compte de toutes les modifications et évolutions de l'expérimentation, ainsi les mesures, réflexions et discussions issues des différentes visites de terrain effectuées (fig. 4, Annexes VI, VII et VIII). Lors du suivi, des analyses de sol financées par le projet ont apporté un support technique utile pour la compréhension du contexte pédologique de chaque exploitation. Une tournée technique du GRAB a été organisée dans le cadre du projet à la fin du mois de juillet afin d'enrichir le suivi des expérimentations. De plus, des réunions avec les stagiaires responsables du projet dans les autres départements ont permis d'homogénéiser certains protocoles, présenter nos différents résultats et entamer des discussions sur la démarche d'expérimentation paysanne.

Vers la fin de la saison, au mois de Septembre 2020, des entretiens semi-directifs ont été réalisés avec chaque animateur du projet, stagiaire et maraîcher, afin de recueillir leur ressenti : du processus de co-construction des expérimentations aux facteurs de réussite et d'échec, en passant par leur niveau d'implication et leur satisfaction vis-à-vis de cette démarche et ce qu'elle produit. Les guides d'entretien ont été réalisés par Marion, stagiaire MiMaBio chez Agribiovar, et complétés par Agribio 06 (Annexe IX). Ce retour des maraîchers seront essentiels afin de comprendre les dynamiques autour de la démarche d'expérimentation paysanne, et de contribuer à favoriser les facteurs de réussite d'un tel projet. Après l'analyse et l'interprétation des résultats, des « fiches de ferme » ont été réalisées pour récapituler l'ensemble de la démarche et des résultats pour chaque expérimentation réalisée (Annexes X, XI et XII).

2.2. Expérimentation 1 : pulvérisation de kéfir de lait sur 4 variétés de tomate

2.2.1. Contexte de l'expérimentation

Mr Lassauque, ancien chercheur au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), s'est reconverti au maraîchage bio diversifié sur petites surfaces en 2016. Grâce à ses nombreuses recherches

Tableau 5 : Protocole de préparation des solutions de kéfir utilisées en pulvérisation
 Table 5 : Protocol for preparing milk kefir solutions used as sprayings

Protocole pour 30g de grains dans 1 L de lait			
Jour	Etape	Heure de début	Heure de fin
Lundi	Mise en fermentation (T ambiante)	8h30	17h30
	<i>Stockage frigo</i>	<i>Toute la nuit</i>	
Mardi	Remise en fermentation	8h30	14h
	Filtration + Ajout de 30g de glucose dans filtrat	14h	14h15
	<i>Stockage au frigo</i>	<i>de 14h15 à jeudi soir</i>	
Jeudi soir	Préparation solutions + Pulvérisations	17h30	19h

Tableau 6 : Modalités détaillées de l'expérimentation sur le kéfir de lait
 Table 6 : Detailed modalities of milk kefir experiment

Modalités	Composition	Volume total
<i>Pulvérisations hebdomadaires</i>		
Témoin	0,5 L de purin + 7 g de Bt + 4,5 L d'eau	5 L
Kéfir	0,5 L de kéfir + 0,5 L de purin + 7 g de Bt + 4 L d'eau	
Kéfir+	1,5 L de kéfir + 0,5 L de purin + 7 g de Bt + 4 L d'eau	
<i>Inoculation du terreau avant plantation</i>		
Témoin	1 L de purin + 13 L d'eau	14 L
Kéfir	0,5 L de kéfir + 1 L de purin + 12,5 L d'eau	
Kéfir+	1,5 L de kéfir + 1 L de purin + 11,5 L d'eau	

appliquées au maraîchage, il s'est intéressé aux mécanismes physiologiques de défenses des plantes, aux sciences du sol mais aussi à la microbiologie des sols et des plantes. Pour sa 2^{ème} année de participation au projet MiMaBio, Mr Lassauque a voulu expérimenter l'impact de pulvérisations foliaires et au sol de kéfir de lait sur 4 variétés de tomates en plein champ. L'hypothèse de départ décrite dans la partie 1.2.1., est que le kéfir de lait est comparable aux microorganismes efficaces dans la lutte contre des stress biotique et abiotique et la stimulation de la croissance des plantes. On suppose alors que l'utilisation de kéfir favoriserait la résistance aux bioagresseurs, la croissance des plantes et l'activité microbienne du sol.

2.2.2.Obtention du kéfir de lait

Les grains de kéfir utilisés ont été fournis par le maraîcher. Une estimation du temps de fermentation a été réalisée en fonction de la masse de grains et d'un volume de lait, afin de standardiser les préparations qui allaient être utilisées une fois par semaine. Après plusieurs tests, le protocole a été défini (tab. 5) et adapté à des pulvérisations le jeudi en fin d'après-midi. Le protocole est expliqué pour obtenir 1 L de kéfir de lait filtré avec 30 g de grains de kéfir. L'ajout de glucose après filtration avait pour but de prolonger la fermentation en alimentant la communauté microbienne du kéfir. De plus, le but était d'adapter cette communauté au futur milieu à laquelle elle sera confrontée, le sol, par l'ajout d'une molécule présente dans les exsudats racinaires : le glucose (Dennis et al., 2010 ; Ahemad, Kibret, 2014). L'augmentation de la quantité de grains au cours du temps impliquait de diminuer le temps de fermentation, afin de ne pas obtenir une boisson trop fermentée et difficile à filtrer. Un journal de bord de la préparation du kéfir était tenu pour noter les temps et écarts au protocole initial (Annexe XIII).

2.2.3.Dispositif expérimental

2.2.3.1. Modalités et préparation des solutions à pulvériser

Nous avons mis en place 3 modalités différentes : une modalité « Témoin » sans l'ajout de kéfir, et 2 modalités avec des concentrations différentes de kéfir « Kéfir » et « Kéfir+ » car il n'était pas possible d'évaluer la charge microbienne qu'il contient. Ces modalités ont été appliquées selon 2 modes opératoires : l'inoculation du terreau et les pulvérisations en cours de culture.

Avant plantation, Mr Lassauque a inoculé selon les 3 modalités le terreau utilisé pour transplanter les plants de tomate (semés en poquet) en godets individuels (tab. 6).

2 semaines après plantation, les premières pulvérisations au sol et sur les plants de tomate étaient effectuées selon les 3 modalités. Le kéfir était ajouté dans les solutions, que le maraîcher pulvérise habituellement une fois par semaine sur ses tomates et au pied de celles-ci. Initialement, la base de ces solutions est constituée de 10% de purin (ortie, consoude ou les deux selon la période), de *Bacillus thuringiensis* (Bt), et d'eau non chlorée (eau du robinet après quelques heures à l'air libre). Pour chaque modalité, nous préparons chaque semaine les 3 solutions dans un pulvérisateur de 5 L (tab. 6). Pour détailler les protocoles de l'inoculation et de la réalisation des solutions à pulvériser, une fiche « protocole » à destination de Mr Lassauque a été réalisée (Annexe XIV).

La pulvérisation des solutions se faisait une fois par semaine, planche par planche en remplissant le pulvérisateur entre chaque planche. Cette dernière recevait donc 5 L de solution, qu'il fallait répartir de manière homogène sur tous les plants. Pour cela, des tests de volume pulvérisé en 10 secondes ont permis d'adapter le temps de pulvérisation sur chaque plant. Ainsi, chaque plant recevait environ 5 cl

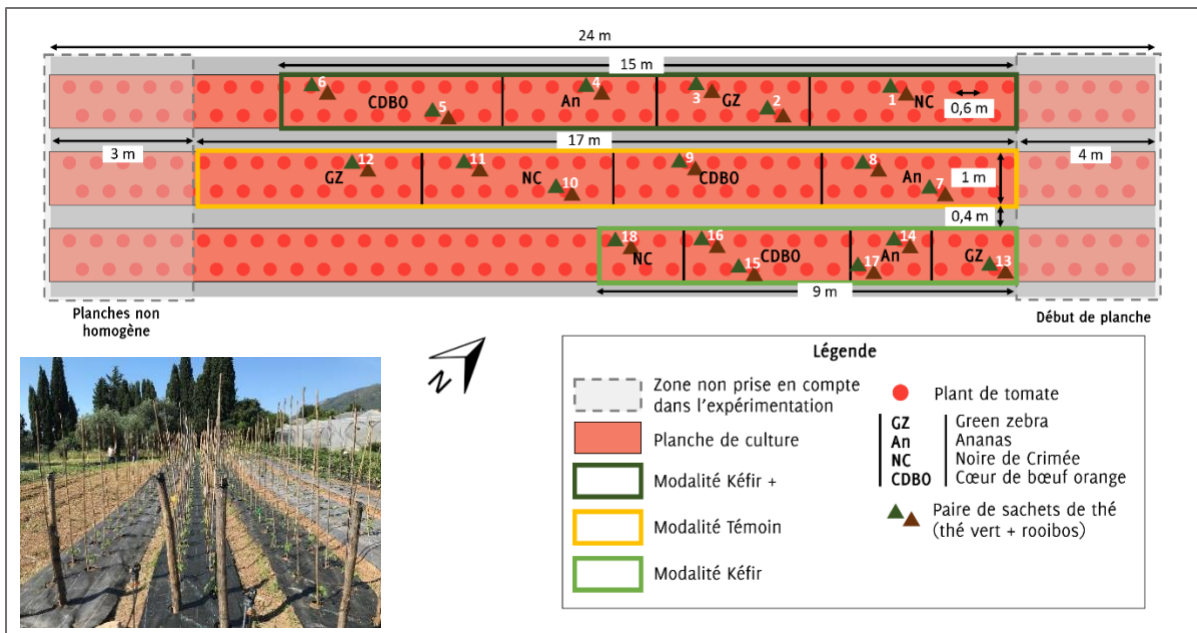


Figure 5 : Plan expérimental de l'expérimentation de Mr LASSAUQUE
 Figure 5 : Experimental design of Mr LASSAUQUE experiment

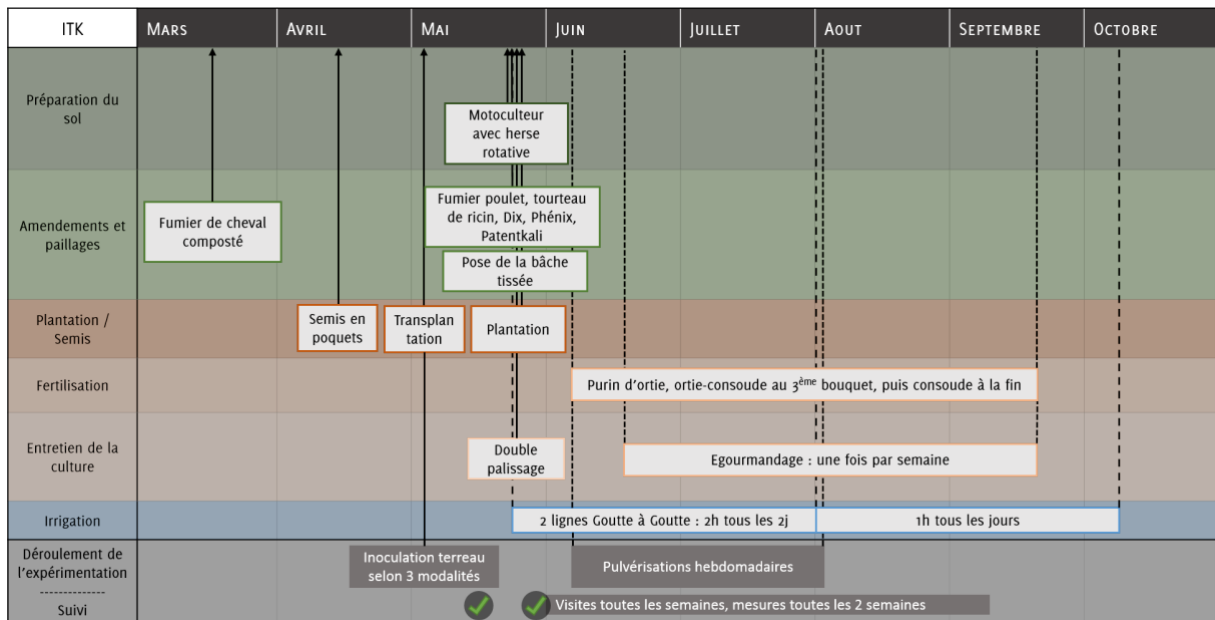


Figure 6 : Itinéraire technique de l'expérimentation sur une culture de tomate en plein champ chez Mr LASSAUQUE
 Figure 6 : Technical itinerary of the experiment on tomato crop in open field at Mr LASSAUQUE's farm

MESURES	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
Etat sanitaire (Incidence et sévérité)			✓	✓	✓	
Vigueur		✓	✓	✓	✓	✓
Nombre d'inflorescences			✓	✓	✓	
Sachets de thé (TBI)	✓	Incubation dans le sol : 84 jours			✓	
Rendements				✓	Tous les 2j	✓
Temps de travail lié au kéfir				✓	✓	
Suivi stagiaire		Pulvérisations toutes les semaines			Mesures toutes les 2 semaines	

Figure 7 : Calendrier des mesures de l'expérimentation de Mr LASSAUQUE
 Figure 7 : Measurement schedule for Mr LASSAUQUE experiment

de solution en 6 secondes, il fallait donc pulvériser 3 secondes sur la partie foliaire, et 3 secondes sur le sol au pied du plant, afin d'utiliser tout le contenu du pulvérisateur. Les variations de pression entre un pulvérisateur plein et presque vide n'ont pas été prise en compte dans l'estimation du volume pulvérisé. Les pulvérisations étaient réalisées en fin de journée pour limiter les effets de l'ensoleillement et de la chaleur sur les microorganismes.

2.2.3.2. *Plan et itinéraire technique de l'expérimentation*

L'expérimentation a lieu sur la parcelle de tomates plein champ du maraîcher, d'environ 100 m². L'expérimentation a été menée sur 4 variétés populations : Noire de Crimée (NC), Green Zebra (GZ), Ananas (An), Cœur de Bœuf orange (CDBO). La levée de ses semis en mottes n'a pas été maximale, cela a donc diminué le nombre de plants par variété initialement prévu. Nous avons fait le choix de conserver un nombre élevé pour les modalités « Témoin » et « Kéfir + », et de restreindre le nombre pour la modalité « Kéfir ». Pour chaque modalité, l'effet bordure a été pris en compte et la répartition des variétés a été réalisée aléatoirement de manière à réduire l'impact de l'hétérogénéité de la parcelle sur les résultats (fig. 5).

L'itinéraire technique de la culture détaille l'organisation au cours de la saison des différentes interventions sur la culture, et distingue les interventions du maraîcher et celles du stagiaire (fig. 6).

2.2.4. Mesures et protocoles associés

Les mesures se sont étalées de fin juin à fin août et la majorité ont été réalisées toutes les 2 semaines, notamment pour la vigueur et l'état sanitaire de la culture (fig. 7). L'activité microbienne était une mesure continue sur environ 90 jours à partir de fin mai. Le temps pris pour la préparation du kéfir et des solutions à pulvériser a lui aussi été calculé par le biais d'une fiche « temps de travail » à remplir selon les différentes étapes de préparation du kéfir, pour quantifier l'aspect temps de travail de la pratique expérimentée. A l'exception de l'activité microbienne et du temps de travail, les mesures étaient réalisées variété par variété pour chaque modalité.

2.2.4.1. *Résistance aux bioagresseurs : mesure de l'état sanitaire*

L'état sanitaire correspond à l'impact d'une ou plusieurs maladies sur la culture. Dans le contexte environnemental de la ferme, les principaux bioagresseurs de la tomate chez Mr Lassauque sont *Tuta absoluta*, dont la larve est une mineuse de la tomate, et l'oïdium externe *Pseudoidium neolycopersici*, champignon parasite qui recouvre le limbe ses mycéliums et pénètre les cellules des feuilles. Pour mesurer l'impact de ces maladies sur chaque variété, des mesures d'incidence et de sévérité de la maladie ont été réalisées au moment de l'apparition de ces dernières durant la saison. L'incidence correspond à la proportion de plants infectés par la maladie sur le nombre de plants total. Cette mesure se fait par l'observation et le comptage des plants infectés pour chaque variété. La sévérité correspond à la quantité de maladie sur un organe touché. Ce paramètre a été mesuré en prenant 6 plants touchés pour chaque variété et modalité, en donnant une note de 1 à 5 selon la quantité de maladie sur l'organe. L'état sanitaire a été mesuré pour ces 2 bioagresseurs qui ont été déterminés avec certitude.



Figure 8 : Exemple de notation de la vigueur sur une culture de tomate par le diamètre de la tige
 Figure 8 : Example of vigor notation on a tomato plant following stem diameter



Figure 9 : Parcelle délimitée par du rubalise pour la récolte, 18/08/2020
 Figure 9 : Field marked out with ribbon for yield measurements, 18/08/2020

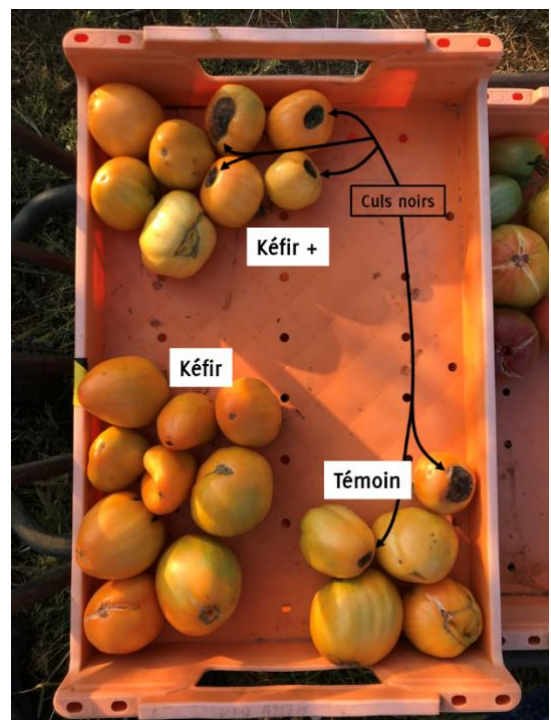


Figure 10 : Exemple de culs noirs sur tomate Coeur de Boeuf orange
 Figure 10 : Exemple of symptoms of « culs noirs » on tomatoes

2.2.4.2. *Développement de la culture et production : vigueur, inflorescences et rendement*

La vigueur est un indicateur d'état global d'une culture, qui permet d'évaluer le développement végétatif et la croissance d'une culture dans un environnement donné. Selon la culture, la mesure prend en compte différents paramètres. Ici, la vigueur des plants de tomate a été mesurée en prenant en compte : le diamètre de la tige, la taille des feuilles, la hauteur, le port des tiges et la couleur des feuilles. Après avoir réalisé un premier tour de parcelle pour une variété donnée, le plant avec une vigueur maximale et celui avec une vigueur minimale servait de base de notation pour le reste des plants. Ensuite, chaque plant était noté individuellement, pour chaque modalité (fig. 8). Le protocole était réitéré pour les 4 variétés. La vigueur est une mesure réalisée sur plusieurs fermes et très répandue dans les expérimentations, ainsi une fiche protocole qui détaille la méthode de mesure générale avec quelques déclinaisons selon les plantes a été produite pour limiter l'aspect « subjectif » de la mesure (Annexe XV).

Pour compléter les mesures de vigueur par une mesure du développement de la partie reproductive des plantes, les inflorescences de tomate ont été comptées. Au sein de chaque variété dans chacune des modalités, 6 plants étaient choisis au hasard et marqués avec une croix grâce au tuteur. Pour chaque inflorescence comptées, une marque était laissée sur la tige, afin de ne pas les recompter la fois suivante. Cela a permis d'évaluer la dynamique de floraison de la culture pendant 3 semaines avant le début des récoltes, pour la relier à la vigueur et à la production de fruits.

Les récoltes ont été réalisées tous les 2 jours pendant 3 semaines, au début de production de la variété CDBO afin de calculer le rendement. Durant cette période, seul le stagiaire récoltait la variété afin de limiter les biais (fig. 9). Les tomates ayant des « culs noirs » légers étaient prises en compte (fig. 10). Ces mesures ont permis de visualiser l'évolution du rendement cumulé par plant de tomate pour la variété CDBO sur 3 semaines.

2.2.4.3. *Activité microbienne du sol : le Tea Bag Index (TBI)*

L'indice des sachets de thé, ou Tea Bag Index (TBI) en anglais, est une méthode standardisée internationale pour évaluer la dynamique de dégradation de la matière dans le sol grâce aux microorganismes et la mésofaune (Teatime4Science, 2020). Cette méthode permettra de voir s'il existe une différence significative d'activité microbienne avec la pulvérisation de kéfir au sol.

La méthode du TBI consiste à laisser incuber pendant environ 90 jours un sachet de thé vert et un sachet de rooibos, ayant des rapports C/N de 12 et 43 respectivement. Le principe de la méthode repose donc sur des fractions labiles décomposables différentes entre ces deux matériaux. On définit la fraction labile comme la somme des matières extractibles non polaires et des composés solubles dans l'acide et l'eau (Teatime4Science, 2020). La durée d'incubation définie est telle que le thé vert aura perdu la totalité de sa fraction labile, contrairement au rooibos. *In fine*, cette méthode permet d'estimer deux paramètres calculés à partir du poids initial et final des sachets : l'indice de stabilisation de la fraction labile (S), et le taux de décomposition de cette fraction (k). Plus précisément, S est compris entre 0 et 1 et correspond à la proportion de fraction labile restante après 90 jours dans le sol, qui s'est stabilisée. Ce paramètre permet d'évaluer le degré de stabilisation de la fraction labile par rapport à la fraction labile théorique. Plus il est élevé, plus la matière labile ne s'est pas complètement dégradée et



Figure 11 : Sachets de thé enterrés de part et d'autre du plant de tomate, 26/05/2020

Figure 11 : Buried tea bags around tomato plant, 26/05/2020



Figure 12 : Pesée des sachets déterrés et séchés, 21/08/2020

Figure 12 : Weighing of extracted and dried tea bags, 21/08/2020

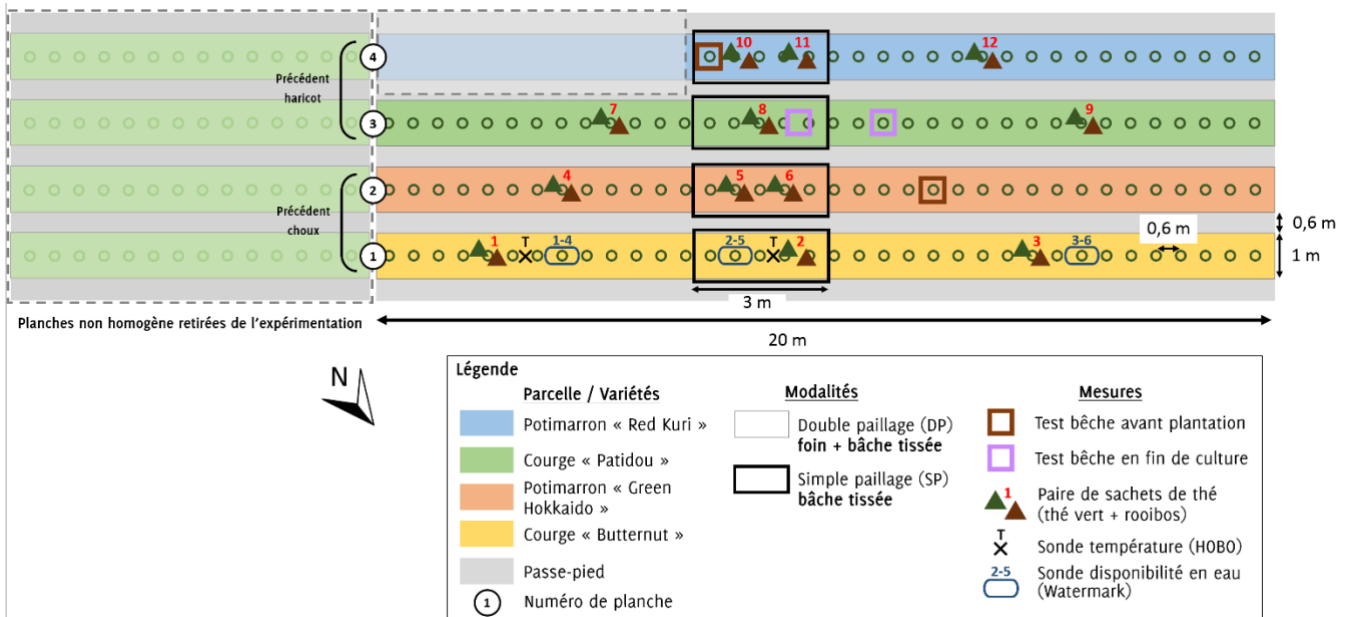


Figure 13 : Plan expérimental de l'expérimentation de Mr et Mme NOIR

Figure 13 : Experimental design of de Mr et Mrs NOIR experiment

plus elle s'est stabilisée, ce qui peut être lié à un contexte environnemental peu favorable ou une communauté microbienne incapable de décomposer l'ensemble des éléments de la fraction labile. Le paramètre k est quant à lui le taux de décomposition de cette fraction labile au cours du temps, compris entre 0 et 1, il permet de modéliser la dynamique de décomposition de la matière labile dans le sol (Keuskamp et al., 2013). Le processus et la méthode de calcul sont détaillés en Annexe XVI.

Dans le cas de l'expérimentation de Mr Lassauque, 6 paires de sachets de thé ont été enterrés dans chaque modalité le 26 mai 2020 (fig. 6). Le protocole utilisé est celui des créateurs de la méthode. Les sachets ont été au préalable pesés, puis enterrés à environ 8 cm dans le sol de part et d'autre d'un plant de tomate sur la ligne de culture (fig. 11). Au bout de 84 jours, les sachets ont été récupérés, séchés puis pesés (fig. 12). Les données ont ensuite été rentrées dans un tableur Excel fourni par le site de la méthode, afin de calculer les paramètres k et S . En plus de ces paramètres, la perte massique du rooibos a été calculée, puisque ce dernier est un matériau dont la fraction labile n'a pas fini sa décomposition et sa perte massique peut constituer un 3^{ème} paramètre à analyser. De la même manière que pour les mesures de vigueur, le TBI est une mesure qui a été réalisée dans plusieurs expérimentations et un protocole général a été rédigé à cette occasion (Annexe XVII).

2.3. Expérimentation 2 : Double paillage sur 4 variétés de courges

2.3.1. Contexte de l'expérimentation

En été, la ferme de Mr et Mme Noir située à 1 000 m d'altitude, est exposée plein Sud, elle reçoit donc un ensoleillement très fort toute la journée en été. Ainsi, les épisodes de sécheresse peuvent rapidement impacter le sol, qui devient sec, peu actif et difficile à travailler. De plus, afin de limiter les adventices, couvrir le sol et le réchauffer plus vite au printemps, ils utilisent des bâches tissées. En plein été, une des conséquences de cette pratique est l'augmentation de la température du sol qui amplifie les phénomènes précédemment cités. Depuis la 1^{ère} année du projet, Mr et Mme Noir cherchent donc à limiter ces impacts par l'utilisation d'un double paillage : une couche de MO comme de la paille ou du foin en dessous la bâche tissée. L'objectif est donc d'évaluer les impacts du double paillage sur la culture par rapport à un simple paillage en bâche tissée. On suppose donc que le double paillage augmente la disponibilité en eau du sol, limite les amplitudes de température, tout en apportant de la MO qui améliore la qualité du sol. Cependant, une hypothèse de faim d'azote liée à l'apport de MO en double paillage n'est pas à exclure. L'année précédente, le double paillage a montré son efficacité pour diminuer les amplitudes de température du sol. Cette 3^{ème} année d'expérimentation a donc permis de continuer à évaluer et approfondir les effets du double paillage sur 4 variétés de courges.

2.3.2. Dispositif expérimental : modalités, plan et itinéraire technique de l'expérimentation

La 3^{ème} année d'expérimentation renouvelle en partie le dispositif expérimental de 2019, avec 2 modalités « simple paillage » (SP) et « double paillage » (DP). La modalité SP correspond à la modalité témoin : bâche tissée, et DP correspond à l'introduction sous la bâche tissée d'une couche de 7-8 cm de foin (1 kg / m²) plutôt que de paille, non disponible cette année.

La parcelle expérimentale utilisée couvre 180 m² et mesure environ 30 m de long sur 6 m de large, dont une zone longue de 10 m plus à l'Est moins bien exposée, retirée de l'expérimentation. (fig. 13). La parcelle est cultivée en planches permanentes, c'est-à-dire que chaque planche constitue

ITK	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
Préparation du sol				Broyage au tracteur					
Amendements et paillages	Apport massif de compost			Lit de compost (Foin) + bâche tissée					
Plantation / Semis			Semis courges en godets	Plantation					
Fertilisation					Mélange de purins 1 x / semaine	1 x tous les 15 jours			
Entretien de la culture									Récolte
Irrigation					Aspersion				
Déroulement de l'expérimentation					05 Juin 2020 : Mise en place des 2 modalités → toile tissée avec foin (DP) ou sans (SP)				
Suivi					Mesures en continu des sondes température et tensiométriques				
					Visites toutes les 3 semaines				

Figure 14 : Itinéraire technique de l'expérimentation sur culture de courges

Figure 14 : Technical itinerary of the experiment on squash crop

MESURES	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
Sondes Températures + Tensiométriques		✓	Mesure en continu			✓
Sachets de thé (TBI)		✓	Incubation dans le sol : 84 jours			✓
Tests bêche (Structure et Vers de terre)	✓				✓	
Nitratest + PIlazo®			✓	✓	✓	
Vigueur			✓	✓	✓	
Rendements (mesures par les maraîchers)						✓
Suivi stagiaire	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Visites toutes les 3 semaines				

Figure 15 : Calendrier des mesures de l'expérimentation de Mr et Mme NOIR

Figure 15 : Measurement schedule for Mr and Mrs NOIR experiment



Figure 16 : Sondes tensiométriques Watermark installées, 05/06/2020

Figure 16 : Set up tensiometric probs Watermark, 05/06/2020

la zone de culture, et reste inchangée d'une année à l'autre. La culture reste la même qu'en 2019, à savoir la courge : 2 variétés de *Cucurbita maxima* « Red Kuri » et « Green Hokkaido », une variété de *Cucurbita pepo* « Patidou » et une variété de *Cucurbita moschata* « Butternut ». Le plan montre certaines mesures effectuées sur la parcelle, elles seront détaillées dans la partie 2.3.3.

Les précédents culturaux de la parcelle pendant la période automne-hiver 2019-2020 sont à distinguer : du chou a été cultivé sur les planches 1 et 2 en double paillage (bâche tissée + paille) et des haricots sur les planches 3 et 4 (simple paillage de paille). Pour la saison 2020, l'itinéraire technique de l'expérimentation est détaillé dans la figure 14.

2.3.3. Mesures et protocoles associés

Afin d'être en cohérence avec les années précédentes et les objectifs des maraîchers, les mesures de vigueur de la culture, d'activité microbienne via les sachets de thé et la température du sol ont été réitérées. A cela s'est ajouté cette année la mesure de disponibilité en eau du sol ainsi que des tests bêche avant et après culture. Le rendement n'a pas pu être mesuré par les maraîchers, faute de temps. Les mesures étaient réalisées toutes les 3 semaines, au moment du passage sur la ferme (fig. 15).

2.3.3.1. Caractéristiques du sol : sondes température et tensiométriques

Cette année, les sondes prêtées par le GRAB ont permis de mesurer disponibilité en eau du sol. Un boîtier central « Monitor » Watermark® mesure la tensiométrie en centibar (cbar) par l'intermédiaire de 6 sondes tensiométriques Watermark® (fig. 16), connectées au boîtier par paire pour mesurer la disponibilité en eau à 20 et 40 cm. Ainsi, il était possible de mesurer jusqu'à 3 points sur la parcelle. Par souci de praticité, la planche 1 a été sondée, 2 paires ont été placées dans la modalité DP, et 1 paire dans la modalité SP (fig. 13). Les sondes ont été mises en place au moment de la plantation le 05 juin 2020, et ont été récupérées le 14 septembre 2020 puis renvoyées au GRAB pour récupération des données du boîtier Monitor. On considèrera une plante en situation de confort hydrique pour des valeurs de tensiométrie comprises entre 25 et 40 cbar. Au-delà, la plante se rapproche d'un stress hydrique avec une faible disponibilité en eau, et en dessous de 15 cbar il y a un risque d'asphyxie racinaire avec une trop forte disponibilité en eau.

Pour la deuxième année consécutive, la température du sol a été mesurée dans les 2 modalités. Le boîtier Monitor du GRAB était aussi composé de 2 sondes température, dont une servait de référence pour les mesures tensiométriques, l'autre a donc été utilisée afin de mesurer la température dans la modalité SP. En plus des sondes Watermark®, le GRAB a aussi prêté une sonde HOBO afin de mesurer la température dans la modalité DP. Les sondes températures ont été implantées à 10 cm de profondeur dans le sol, au même moment que les sondes Watermark® (fig. 13).

2.3.3.2. Qualité biologique et physique du sol : activité microbienne et tests bêche

La méthode du TBI a aussi été réalisée chez Mr et Mme Noir par l'implantation de 6 paires de sachets de thé dans chaque modalité au moment de la plantation le 05 juin. Le même protocole décrit dans la partie 2.2.4.4.b) a été réalisé, avec les sachets de thé enterrés à 8 cm, et retirés au bout de 84 jours. Les paramètres k, S ainsi que la perte massique du rooibos ont aussi été calculés.

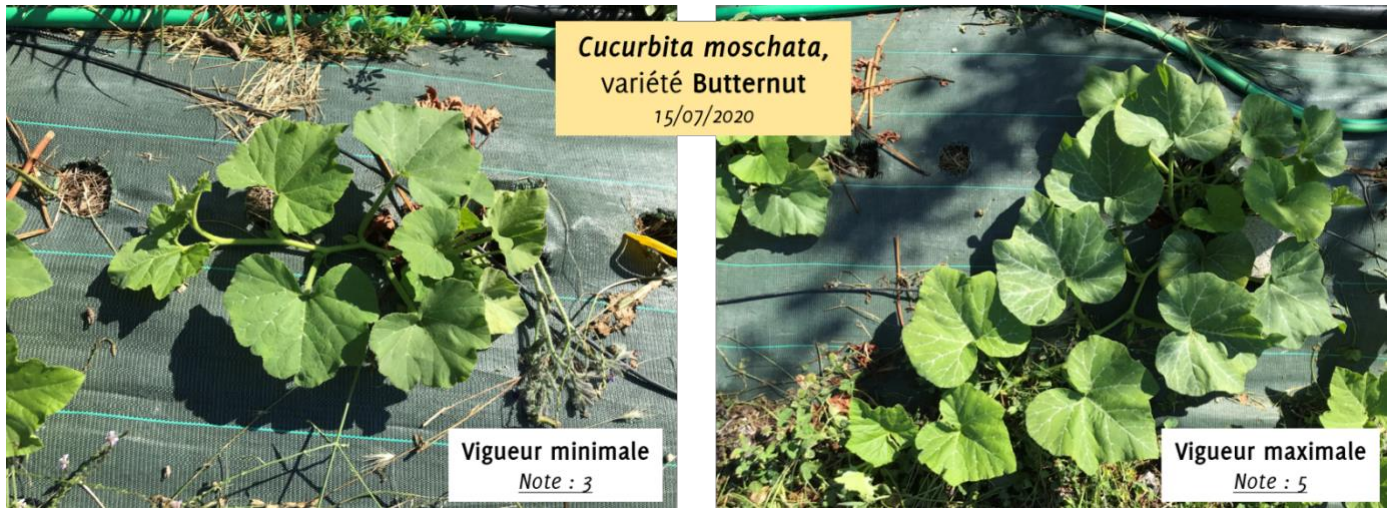


Figure 17 : Exemple de notation de vigueur pour une espèce de courge, basée sur la couleur et la longueur
 Figure 17 : Example of vigor notation of a squash plant based on color and length



Figure 18 : Réalisation du protocole Nitratest chez Mr et Mme Noir, 15/07/2020
 Figure 18 : Nitratest protocol at Mr et Mrs Noir's farm, 15/07/2020

Le test bêche permet de fournir un indicateur d'état du sol à un instant t. Il renseigne notamment sur sa structure, ce dernier a été mis en place par l'ISARA Lyon (Peigne et al., 2016). Il peut être complété par une comptage et une identification des différentes classes écologiques de vers de terre afin d'évaluer la qualité biologique du sol (EcoBioSoil, 2020).

Afin d'évaluer ces différents paramètres du sol, 2 tests bêche ont été réalisés le 20 mai 2020, 15 jours avant plantation de la culture de courge, sur les planches 2 et 4. Pour évaluer l'impact post-culture des modalités DP et SP, 2 autres tests bêche ont été faits le 14 septembre 2020 sur la planche 3. Les tests sont détaillés sur le plan d'expérimentation (fig. 13). Pour chaque prélèvement, la structure était caractérisée selon la tenue des blocs sur la bêche et au sol, puis sur les différents types de motte : Γ (gamma) pour une surface rugueuse/grumeleuse avec forte porosité, Δ (delta) pour une motte lisse sans porosité visible à l'œil nu, et Δb pour une surface relativement lisse avec des porosités visibles. Ces observations ont permis ensuite d'évaluer le mode d'assemblage des mottes (structure du sol ouverte et/ou continue), ainsi que la classe structurale du sol (de 1 « aucun tassement » à 5 « fort tassement ») via un arbre de décision élaboré par l'ISARA (Annexe XVIII) A chaque étape du protocole, les vers de terre étaient mis de côté sur la bêche pour une détermination ultérieure des différentes classes écologiques : épigés, endogés, épi-anéciques et anéciques strictes (Annexe XIX), en différenciant les adultes et juvéniles ainsi que les vers de terre indéterminés.

2.3.3.3. *Fertilité du sol : vigueur des courges et teneur en nitrates du sol*

La vigueur des courges a été mesurée en prenant en compte la taille des feuilles, la couleur, mais aussi le port des plants et leur longueur (fig. 17) Pour la modalité SP qui possédait un faible nombre d'individus pour chaque variété, les notes étaient attribuées individuellement. Pour la modalité DP, les notes étaient attribuées pour 2 plants côte à côte.

Afin d'évaluer la teneur en nitrates (NO_3^-) dans le sol, les mesures ont été effectuées à 3 reprises et analysés selon le protocole « Nitratest » de l'Association Provençale de Recherche et d'Expérimentation Légumière (APREL, 2004). Pour chaque modalité, 6 prélèvements de sol étaient réalisés afin d'avoir des échantillons représentatifs des modalités. Ces échantillons ont été prélevés à une profondeur de 20 cm sur les planches 3 et 4 afin de limiter les effets dus au précédent cultural (fig. 13). Après prélèvement, le pourcentage de terre fine était estimé, puis 100 gr de cette dernière était pesé et mélangé avec 100 mL d'eau distillée, puis filtré (fig. 18). La teneur en nitrates du filtrat était ensuite mesurée avec des bandelettes réactives aux nitrates introduites dans un lecteur électronique, le Nitratek® 404, afin d'améliorer la précision de la mesure. La teneur est donnée en partie par million, ou mg/L de nitrates. Cette mesure est ensuite convertie en unités d'azote / hectare (N/ha) en la multipliant par un coefficient qui dépend du type de sol (entre 0,5 et 2,1), ainsi que par le pourcentage de terre fine estimé. Les mesures finales sont obtenues en unités N/ha. Comme la vigueur et l'activité microbienne, un protocole complet a été rédigé dans le cadre des expérimentations (Annexe XX).

Pour compléter la teneur des nitrates dans le sol, une mesure ponctuelle du taux de nitrates dans le jus pétioleaire de jeunes feuilles de courge a été réalisée. La méthode PILazo, développée par le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL) et l'INRAE, consiste à extraire le jus pétioleaire de jeunes feuilles adultes. Ce dernier dilué au 1/20^{ème} est mesuré selon le même principe que le Nitratest. On peut ensuite comparer les valeurs obtenues avec des grilles de références. Cependant, aucune grille n'existe pour la culture de courge, l'idée était donc de faire des comparaisons



Figure 19 : Parcelle expérimentale de Mr BARBE, 20/05/2020
 Figure 19 : Experimental field of Mr BARBE, 20/05/2020



Figure 20 : Filets à ramer en place, 15/07/2020
 Figure 20 : Trellis on field, 15/07/2020

Tableau 7 : Références des filets à ramer utilisés
 Table 7 : Trellis references used on the field

Références des filets à ramer	Filets coton	Filets en polypropylène
Site fournisseur	Agrifournitures.fr	Agrifournitures.fr
Marque	Lonobio	Lonodis
Composition	100% coton	Polypropylène traité anti-UV
Hauteur	2 m	2 m
Longueur	500 m	50 m
Prix TTC	180 €	26,20 €

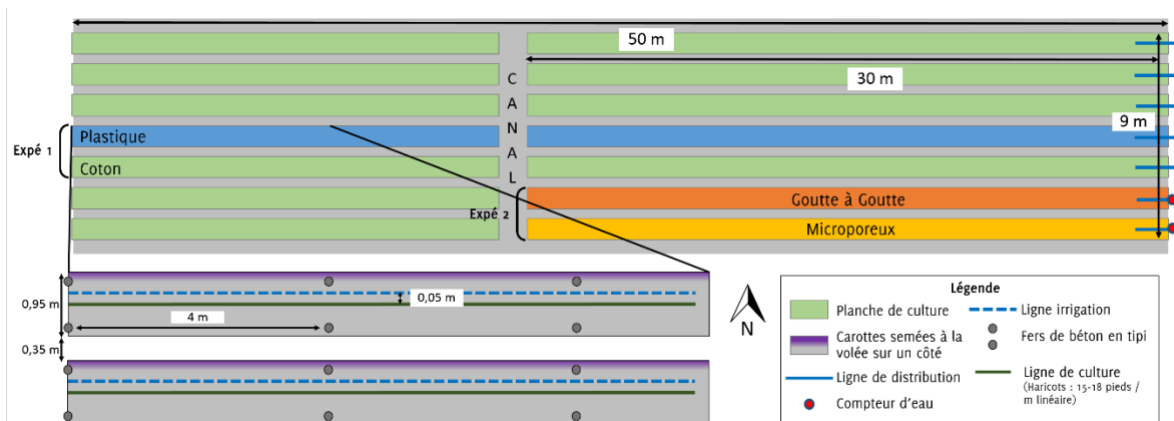


Figure 21 : Plan expérimental des expérimentations chez Mr BARBE, l'expé 1 correspond à celle sur les filets à ramer
 Figure 21 : Experimental design of Mr BARBE experiments, « expé 1 » is the one about trellis

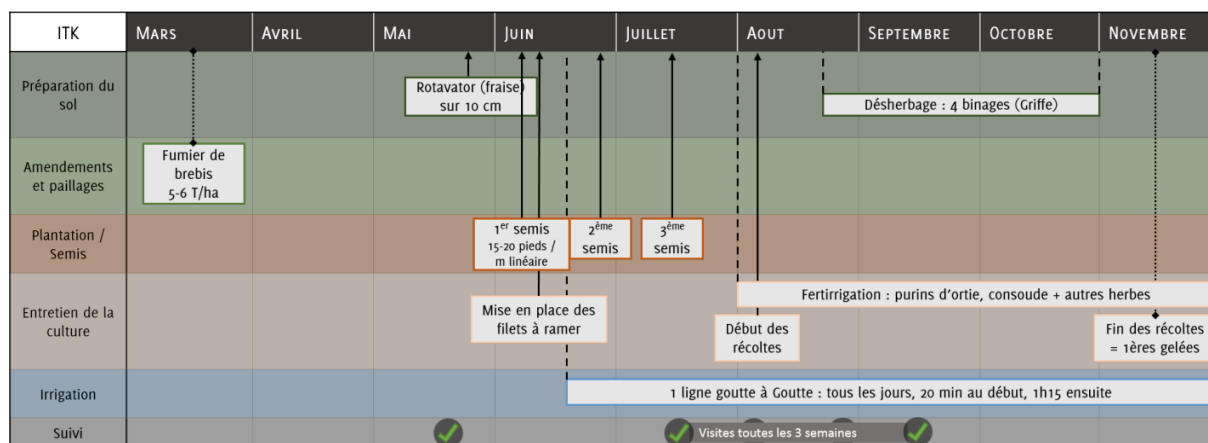


Figure 22 : Itinéraire technique de la parcelle expérimentale de Mr Barbe
 Figure 22 : Technical itinerary of the experimental field of Mr Barbe

entre modalités, et de s'appuyer sur la grille référence du melon (Dumoulin et al., 2002), espèce du même genre *Cucurbita*, proche de la courge.

2.4. Expérimentation 3 : évaluation de la durabilité de 2 filets à ramer

2.4.1. Contexte de l'expérimentation

A la Ferme des Bourfiers, Mr Barbe produit depuis 2016 des légumes bio en plein champ sur 8 000 m² de surface. La ferme est située dans l'arrière-pays à 800 m d'altitude, bien exposée au Sud et fortement impactée par des vents du Sud-Ouest, dommageables pour les cultures comme les variétés grimpantes de haricot *Phaseolus vulgaris*. Cette dernière est une des cultures principales de la ferme, pour lequel Mr Barbe autoproduit les semences de la variété grimpante « Neckarkönigin » depuis 2 ans, cultivée sur un jardin de 500 m² (fig. 19). Auparavant, Mr Barbe réalisait le palissage des haricots à l'aide de ficelles individuelles fixées en haut par un fil de fer tendu le long de chaque planche de la parcelle. Le temps de travail était considérable, ce qui a poussé Mr Barbe à utiliser une alternative moins chronophage : les filets à ramer (fig. 20). Afin de limiter fortement le gâchis de plastique sur l'exploitation, Mr Barbe a choisi l'alternative des filets à ramer biodégradables en coton. L'expérimentation avait donc pour objectif d'évaluer réellement l'impact environnemental des filets à ramer en coton et en plastique. Des mesures au champ ont permis de compléter l'analyse de la durabilité des filets. Les hypothèses de départ suivaient le bon sens du maraîcher à savoir que le coton a un impact environnemental inférieur car compostable et issue de matière végétale, contrairement au plastique issu de l'industrie pétrochimique, pour des efficacités au champ identiques.

2.4.2. Dispositif expérimental : modalités, plan et itinéraire technique de l'expérimentation

Les 2 modalités comparées correspondent à la composition des filets : le filet « coton » utilisé depuis 2 ans par Mr Barbe est un filet 100% coton, et l'alternative expérimentée est un filet « plastique » traité anti-UV en polypropylène (PP), plus communément utilisé en maraîchage (tab. 7).

Pour l'expérimentation, 2 planches de haricot grimpant d'une parcelle de 500 m² ont été utilisées. Chaque planche fait 50 m de long pour 1 m de large, une seule ligne de haricot est semée et donc une seule ligne de filet est mise en place par planche, l'une avec 50 m de filet plastique et l'autre avec 50 m de filet coton. Le plan d'expérimentation détaille en partie la méthode de palissage des haricots : deux fers à béton en tipi sont installés et les tipis sont espacés d'environ 4 m chacun (fig. 21). Ces derniers dirigent un fil de fer horizontal situé environ à 2,20 m de haut, soutenu de bout en bout de la parcelle par deux gros piquets enterrés profondément dans le sol. Les filets sont ensuite déroulés et accrochés au fil de fer horizontal, un écart volontaire de 20 cm est volontairement laissé au pied des haricots, pour limiter l'arrachage des jeunes pieds lors de coups de vent en début de culture. L'itinéraire technique complet de la culture de haricot de la parcelle est détaillé dans la figure 22.

2.4.3. Bilan de durabilité : mesures, protocoles et méthodes réalisées

A l'instar des expérimentations 1 et 2, l'expérimentation de Mr Barbe se rapproche d'une analyse comparative de la durabilité de 2 matériels plutôt qu'une expérimentation sur le terrain pour évaluer une pratique technique et ses effets sur l'agroécosystème local. Ici, l'objectif principal était de comparer l'impact environnemental des filets, afin d'améliorer la durabilité des pratiques de Mr Barbe.

Tableau 8 : Etapes du cycle de vie appliquées aux filets à ramer
Table 8 : Life cycle steps applied to trellis

Etapes du cycle de vie (ECV)	Filet coton	Filet plastique	Filet plastique recyclé
Production de la Matière Première (MP)	Production de la fibre coton	Production des granulats de PP	
Approvisionnement des MP sur lieu de production du produit fini	Aucune donnée sur le transport de la MP vers lieu de production + Une seule matière MP considérée		
Mise en forme des MP			
Production du produit fini	Procédés de transformation de la fibre en fil puis filet	Procédé d'extrusion des granulats en filet	
Distribution du produit fini	Aucun donnée du lieu de production des filets		
Utilisation du produit	Aucun impact environnemental à cette étape		
Fin de vie du produit	Compostage	Mise au "tout venant"	Recyclage

Tableau 10 : Inventaire du cycle de vie et modules SimaPro
Table 9 : Life cycle inventory and SimaPro modules

Etapes du cycle de vie (ECV)	Filet coton (1 kg)		Filet plastique (1 kg)		Filet plastique recyclé (1 kg)	
	Module SimaPro®	Contenu du module	Module SimaPro®	Contenu du module	Module SimaPro®	Contenu du module
Production de la Matière Première (MP)	"Cotton fibre {GLO} market for"	Cycle complet de culture du coton jusqu'à la récolte selon provenance : *25% production chinoise *24% production américaine *51% reste du monde (Inde, etc.)	"Polypropylene, granulate {GLO} market for"	Obtention du propylène, Polymérisation propylène en PP, Production granulats de PP : *34% Europe *66% reste du monde	"Polypropylene, granulate {GLO} market for"	Obtention du propylène, Polymérisation propylène en PP, Production granulats de PP : *34% Europe *66% reste du monde
Production du produit fini	"Textile, knit cotton {GLO} textile production, knit cotton, batch dyed"	Préparation fibre : nettoyage, Ouverture de la fibre : cardage, Etirage des fibres : plus. étapes, Filature des fibres en fils, Tissage puis teinture	"Extrusion, plastic film {RER} production"	Procédé d'extrusion des granulats en film, fils, etc.	"Extrusion, plastic film {RER} production"	Procédé d'extrusion des granulats en film, fils, etc.
Fin de vie du produit	"A. Compost, of green waste"	Compostage de déchets verts	"Waste polypropylene {FR} market for waste PP"	Prise en charge du déchet, du site de production aux usines de traitement, selon mix d'élimination français : *62% Incinération *38% Centre d'enfouissement	"PP (waste treatment) {GLO} recycling of PP"	Filière de recyclage du PP
			"Waste polypropylene {RoW} treatment of waste polypropylene, municipal incineration"	0,62 kg de PP (filets) incinérés		
			"Waste polypropylene {RoW} treatment of waste polypropylene, sanitary landfill"	0,38 kg de PP (filets) enfoui		

Tableau 9 : Catégories d'impact sélectionnées et méthodes associées pour les calculer, ACV
Table 10 : Impact category chosen and associated method to calculate them, Life Cycle Assessment.

Catégorie d'impact	Unité fonctionnelle	Détails	Méthode de calcul de l'ACV via SimaPro®	Méthode de calcul de l'impact	Modèle utilisé et source
Changement climatique	kg CO2 eq	*Emissions de tous les gaz à effet de serre *Masse de CO2 équivalents en kg	ILCD 2011 Midpoint+ V1.10	International Reference Life Cycle Data System (ILCD)	Baseline model of 100 years of the IPCC (2007)
Acidification	molc H+ eq	*Emissions dans l'air de molécules acidifiant les milieux (terre et eaux de surface) comme NH3, NO2, NO, SO2, SO3 *Mole de protons H+ équivalents en mol		ILCD	Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Epuisement de la ressource en eau	m3 water eq	*Quantité totale d'eau consommée *Mètres cubes d'eau équivalents		ILCD	Ecological Scarcity Method (Frischknecht et al., 2008)
Epuisement des ressources fossiles et minérales	kg Sb eq	*Diminution des ressources non renouvelables *Masse d'antimoine (Sb) équivalents		ILCD	CML - Université de Leiden (Guinée, 2002)
Toxicité humaine	CTUh	*Potentiel de toxicité sur l'homme induit par l'émission de substances dangereuses (cancérogènes et non-cancérogènes) *Unité comparative de toxicité pour les humains CTUh		ILCD	Modèle USEtox (Rosenbaum et al., 2008)
Particules fines	kg PM2.5 eq	*Emission des particules fines dans l'atmosphère *Masse de particules fines PM2.5 équivalentes en kg		ILCD	Modèle RiskPoll (Rabl and Spadaro, 2004) and Greco et al 2007
Eutrophisation	kg PO4--- eq	*Dégradation milieux aquatiques via des molécules générant des phénomènes d'eutrophisation *Masse d'ions orthophosphate équivalents en kg	Ecoalm v3.2.2	CML (baseline)	CML - Université de Leiden (Guinée, 2002)
Utilisation des terres	m2a	*Impact de la compétition pour l'utilisation des terres liées au produit analysé *m carré de terre par an		CML (non baseline)	
Demande en énergie cumulée	MJ	*Consommation d'énergie cumulée selon les mix énergétiques des pays de production *Méga Joules		Cumulative Energy Demand (CED)	

Une approche agroécologique de cet objectif nécessitait de prendre en compte tous les piliers de la durabilité du produit utilisé : au niveau environnemental, social et économique. Ainsi, l'étude environnementale devait être complétée par une évaluation « au champ » pendant la culture de haricot. L'impact environnemental des filets a été évalué à travers une Analyse de Cycle de Vie (ACV), l'impact social a été observé via des évaluations du temps de travail, de l'efficacité de palissage et du ressenti de Mr Barbe, et l'impact économique s'est basé sur les références des filets achetés par Mr Barbe.

2.4.3.1. Impact environnemental des filets à ramer : ACV

Dans le cadre de l'expérimentation de Mr Barbe, à l'aide de bibliographie ainsi que de Joël Aubin, chercheur à l'INRAE à Rennes, une Analyse du Cycle de Vie (ACV) a pu être mise en œuvre. L'ACV est aujourd'hui le meilleur outil pour réaliser une évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux d'un produit tout au long de sa vie (ADEME, 2018). Elle est caractérisée par plusieurs étapes clés : définition du champ de l'étude et des étapes du cycle de vie (ECV), puis inventaire de cycle de vie et évaluation des impacts selon une ou plusieurs méthodes de caractérisation (ADEME, 2018).

Le champ de l'étude choisi correspond à 1 kg de filet à ramer, coton ou plastique, pour une durée d'utilisation d'un an, soit un cycle de culture. Par souci de simplification et d'absence d'information de la part des fournisseurs des filets, certaines étapes du cycle de vie n'ont pas été prises en compte (tab. 8). Ainsi, nous avons décidé de nous focaliser sur 3 ECV : la production de la matière première (MP), la transformation de cette MP en produit fini, et la fin de vie du produit. Concernant la fin de vie, l'alternative consistant à recycler le polypropylène a aussi fait l'objet de calculs, ce qui nous a amené à une 3^{ème} modalité qui fera l'objet d'une discussion quant à la gestion des filets en fin de culture.

Une fois les ECV définies, l'inventaire de cycle de vie et l'évaluation des impacts ont été réalisés avec l'aide précieuse de Joël, qui a mis à notre disposition un des plus performants logiciels d'ACV : SimaPro©. Le logiciel a permis d'inventorier et compiler les 3 ECV choisies pour chaque modalité : coton, polypropylène (PP) non recyclé et PP recyclé. Cette procédure est la plus délicate puisqu'il s'agit de sélectionner dans la base de données SimaPro© les objets et processus qui caractérisent les ECV spécifiques aux filets étudiés (tab. 9). Ensuite, la dernière étape est d'indiquer au logiciel quelle méthode de caractérisation des impacts doit être utilisée pour réaliser l'ACV. Sur les conseils de Joël, l'ACV a été réalisée deux fois, afin de combiner plusieurs méthodes de calculs et d'obtenir des impacts qui nous intéressent, et dont les résultats offrent une bonne fiabilité. Ainsi, l'ACV a permis d'évaluer l'impact environnemental des filets selon 9 catégories d'impact, calculés grâce à 3 méthodes (tab. 10) : « l'International Reference Life Cycle Data System » (ILCD) (European Commission, 2012), la « CML » de l'Université de Leiden (Guinée, 2002), et la « Cumulative Energy Demand » (Frischknecht et al., 2007).

2.4.3.2. Impacts social et économique des filets : observations au champ

Afin de compléter l'évaluation de la durabilité des filets utilisés, plusieurs observations ont permis d'évaluer l'impact social des filets. Lors des visites sur la ferme, des observations visuelles étaient effectuées pour vérifier que les 2 filets remplissaient bien leur rôle de palissage de la culture. Notamment, l'exposition aux vents du Sud sur la parcelle expérimentale ou le poids de la culture bien

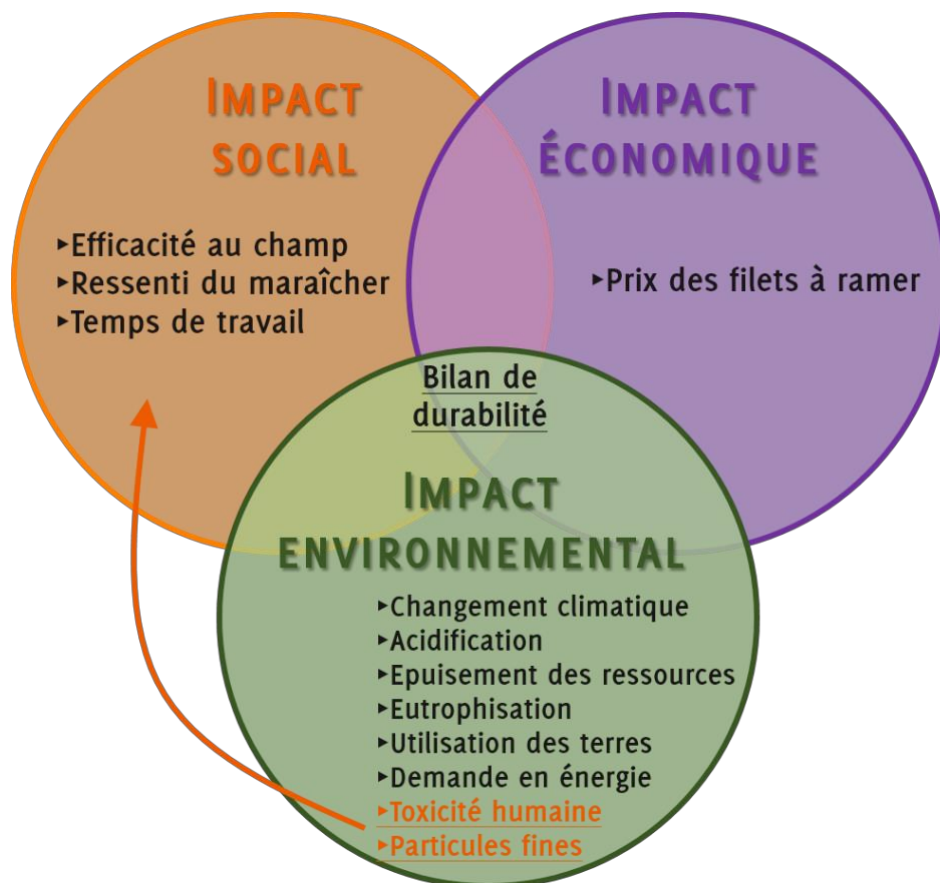


Figure 23 : Schéma du bilan de durabilité réalisé, expérimentation de Mr BARBE
 Figure 23 : Sustainability assessment scheme for Mr BARBE experiment

Tableau 11 : Mesures réalisées dans les 7 expérimentations du projet MiMaBio
 Table 11 : Measurements made for all the experiments of MiMaBio project

Mélanie Cassard - La Cabane à Safran -	Aymeric et Vanessa Noir - Lou Preï -		Nicolas Lassauque - GAEC La Cavagne -	Xavier Barbe - Ferme des Bourfiers -		Emmanuel - JVS -	
Couverts hivernaux	Double paillage sur courge	Couverts passe-pieds	Kéfir de lait sur tomate	Filets à ramer coton ou plastique	Irrigation goutte à goutte et microporeux	Association courge-haricot	Origine des données mesurées
Recouvrement du sol	Disponibilité en eau	Recouvrement du sol	Etat sanitaire	Efficacité de palissage	Volume irrigué	Vigueur	Le producteur
Reprise du sol	Tests Bêche	Activité microbienne	Vigueur	Temps de travail	Recouvrement par les adventices	Recouvrement du sol	Le stagiaire GOPEI (Agribio 06)
Activité microbienne	Activité microbienne	Temps de travail	Nombre d'inflorescences	Ressenti	Temps de travail	Temps de travail	Pas de relève fréquente / Mesure continue
Nitratest	Nitratest	Satisfaction	Activité microbienne	Impact économique	Satisfaction	Rendements / LER	Bibliographie ou récolte d'infos autre
PILazo (si besoin)	Vigueur		Rendement sur une variété	Impact environnemental		Analyse systèmes racinaires	Expérimentations détaillées dans le mémoire
Vigueur générale			Temps de travail kéfir				

développée peut amener les filets à se rompre. Les observations étaient complétées par celles rapportées par le maraîcher. Au mois de Septembre, un entretien sur la satisfaction de Mr Barbe par rapport aux filets a été réalisé, afin de compléter l'approche visuelle au champ par son ressenti personnel sur les filets utilisés. De plus, afin de relever de temps de travail pour chaque type de filet, une fiche « temps de travail » a été fournie au maraîcher afin qu'il chronomètre pour chaque modalité chaque travail effectué sur les filets : de la mise en place au retrait en fin de culture.

L'impact économique des filets a simplement été calculé grâce aux références des filets achetés par Mr Barbe, afin de compléter le 3^{ème} pilier de la durabilité. Le prix des filets a été calculé pour 1 000m.

2.4.3.3. *Bilan de la durabilité des filets*

Le bilan final de durabilité a pu être établi en prenant en compte toutes les mesures et données énoncées dans les deux parties précédentes. Il est important de noter que 2 des 9 impacts de l'ACV ont une portée plus directe sur le pilier social de la durabilité, et seront donc pris en compte dans ce pilier : la toxicité humaine et la pollution aux particules fines. La figure 23 schématise la structure du bilan de durabilité effectué sur les filets à ramer coton et plastique. Pour chaque facteur intervenant dans le bilan, des notes ont ensuite été attribuées, de 0 à 5 avec une note maximale de 5 pour un impact élevé sur la durabilité, et une note de 0 pour un impact négligeable voire nul.

2.5. Les 4 autres expérimentations du projet

Les autres expérimentations du projet se sont déroulées sur la même période et l'établissement des dispositifs expérimentaux, protocoles et mesures ont aussi été réalisés selon les objectifs de chaque maraîcher et de l'expérimentation à mettre en place.

L'activité microbienne a été mesurée selon le même protocole sur 2 autres expérimentations : les couverts végétaux de trèfle et serpolet sur passe-pieds chez Mr et Mme NOIR, ainsi que la couverture du sol (paille ou engrais vert) hivernale suivie d'une culture de 2 variétés de tomate chez Mme CASSARD. L'essai a aussi donné lieu à des mesures de fertilité du sol via le Nitratest et de vigueur de la culture. Cette dernière a aussi été mesurée sur l'expérimentation de l'association de culture courge-haricot chez Mr COLLOMP. Le volume d'eau irriguée sur une ligne de culture a été mesuré pour l'expérimentation de la comparaison de deux systèmes d'irrigation localisée (goutte à goutte et microporeux) chez Mr BARBE. D'autres mesures complémentaires comme le temps de travail, la satisfaction vis-à-vis d'une technique, la reprise du sol en début de saison, les rendements ou les systèmes racinaires ont aussi permis d'appréhender la totalité des problématiques traitées pour chaque expérimentation (tab. 11)

2.6. Traitement des données et analyses statistiques

Le traitement des données mesurées pour chaque expérimentation s'est majoritairement réalisé sur RStudio© version 1.3.1073, après transformation des jeux de données sur Microsoft Excel 2019. Selon la forme des données et le nombre de répétitions, l'analyse était plus ou moins approfondie. Certaines données mesurées comme le rendement étaient des données uniques à une date précise, ainsi aucune analyse statistique n'a été faite, de la même manière pour les mesures d'incidence. Pour les autres données, le nombre de répétitions des mesures restait relativement faible pour la plupart

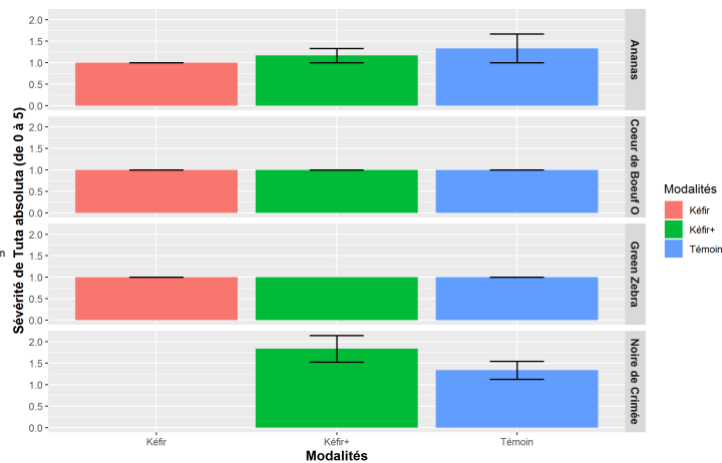
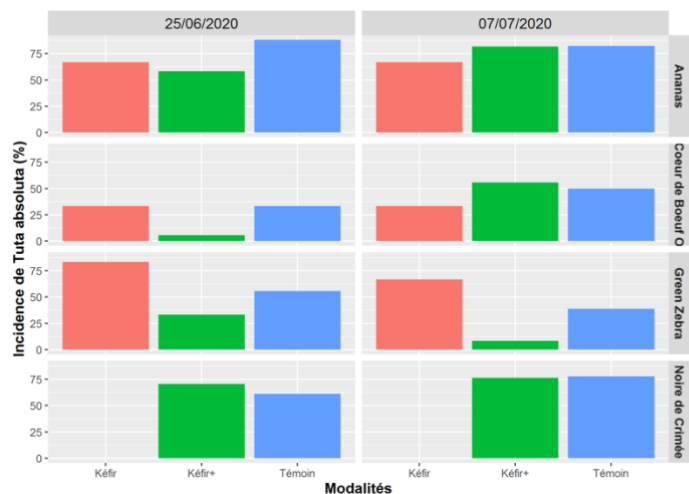


Figure 24 : Graphiques de l'incidence et la sévérité de Tuta absoluta en fonction des variétés et selon chaque modalité. La sévérité a été mesurée le 07/07/2020, les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards.

Figure 24 : Graphs of incidence and severity of Tuta absoluta depending on each varieties and modalities. Severity was measured on 07/07/2020 and error bars corresponds to standard error.

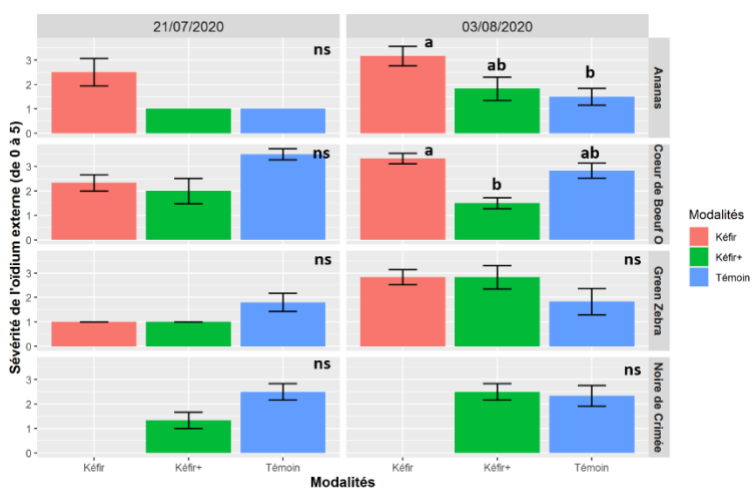
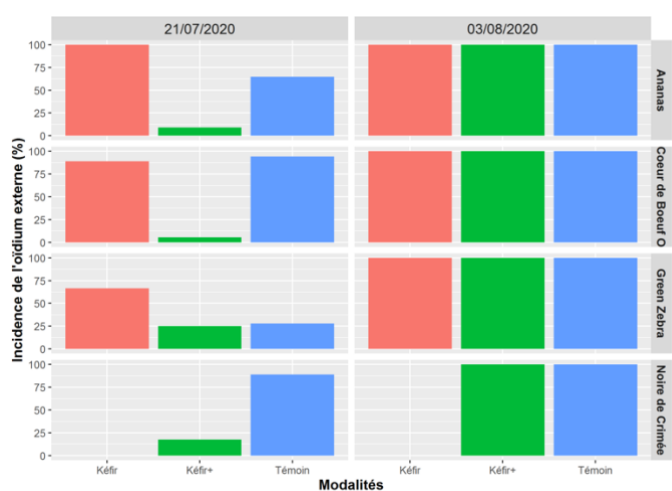


Figure 25 : Graphiques de l'incidence et la sévérité de l'oïdium externe en fonction des variétés et selon chaque modalité. Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standards, les tests de comparaison par paires sont issus d'un test de Dunn.

Figure 25 : Graphs of incidence and severity of powdery mildew depending on each varieties and modalities. Error bars corresponds to standard error, pairwise comparison tests are from Dunn test.



Figure 26 : Dégâts de moisissures liés à la modalité Kéfir+
Figure 26 : Damages from moulds due to Kéfir+ modality

des modalités. Ainsi, des tests de normalité permettaient de valider ou non la distribution normale des données. Un test visuel par un QQplot et une courbe de densité permettait d'avoir une première approche de la répartition normale ou non des données, puis un test de Shapiro-Wilk était réalisé. A l'issue du test, si la p-value était inférieure à 0.05 les échantillons n'étaient pas répartis selon une loi normale et un test non paramétrique était réalisé. Cela a été le cas de la majorité des mesures à cause du faible nombre d'échantillons. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis permettait d'avoir une vue d'ensemble de la significativité des données entre les modalités, puis des comparaisons multiples par paires avec le test de Dunn permettait d'identifier les différences entre les modalités et les autres facteurs. Dans de rares cas, le test de normalité était non significatif, donc un test paramétrique était réalisé via une analyse de variance (ANOVA) à un ou plusieurs facteurs, et des tests de comparaisons multiples

3. Résultats

3.1. Influence du kéfir de lait sur la culture de tomate

3.1.1. Etat sanitaire de la tomate : *Tuta absoluta* et oïdium externe

Le premier bioagresseur identifié sur la parcelle a été *Tuta absoluta*. Dès l'identification des dégâts, deux mesures d'incidence ont été réalisées à 2 semaines d'intervalle, et une mesure de sévérité. La figure 24 représente l'incidence et la sévérité mesurés en fonction des modalités et des variétés. À la suite d'une erreur d'étiquetage de plants, la variété NC de la modalité Kéfir n'était plus la bonne et les plants ont été retirés de l'expérimentation. La sévérité n'a pas montré de différence significative. On peut remarquer que l'incidence des attaques de *Tuta* est plus élevée sur les plants de 3 variétés sur 4 pour les modalités Kéfir et Témoin. La modalité la moins attaquée au départ est Kéfir+. Deux semaines plus tard, cela ne se vérifie que pour la variété GZ, puisque 10% des plants sont touchés contre 40% pour la modalité Témoin et plus de 75% pour la modalité Kéfir. La variété CDBO semble globalement plus résistante à *Tuta*.

Deux semaines après, l'oïdium externe a fait son apparition. Deux mesures d'incidence et de sévérité ont été réalisées à 2 semaines d'intervalle (fig. 25). Au début de l'infection, l'incidence de l'oïdium est supérieure à 60% sur les variétés AN, CDBO et NC pour la modalité Témoin, et sur AN, CDBO et GZ pour la modalité Kéfir. On observe globalement une très faible incidence de l'oïdium sur la modalité Kéfir+. La variété GZ semble globalement plus résistante à l'oïdium. Lors de la seconde mesure, l'oïdium a envahi 100% des plants de la parcelle, ce qui montre un potentiel d'invasion très élevé. La sévérité n'a pas montré de différence significative sauf pour la deuxième date et les variétés AN et CDBO. On observe globalement une sévérité plus importante pour les modalités Kéfir.

Au milieu du mois de juillet, de nouveaux symptômes inconnus sont apparus sur la modalité Kéfir+ (fig. 26) et ont été assimilés à des moisissures liées aux pulvérisations de kéfir. En effet, il est possible que ces tâches noires soient liées à la partie protéique et lipidique du kéfir. Les pulvérisations ont donc été arrêtées fin juillet pour cette raison.

3.1.2. Croissance de la tomate : vigueur, inflorescences et rendements

Les observations du développement végétatif de la culture grâce à la vigueur a permis de constater des écarts significatifs selon les variétés et modalités. La vigueur de la variété CDBO n'était pas significative pour 3 dates sur 6, et ne montre pas de tendance. La variété GZ ne montre pas de tendance visible. La variété AN était plus vigoureuse pour les modalités Kéfir et Kéfir+ durant

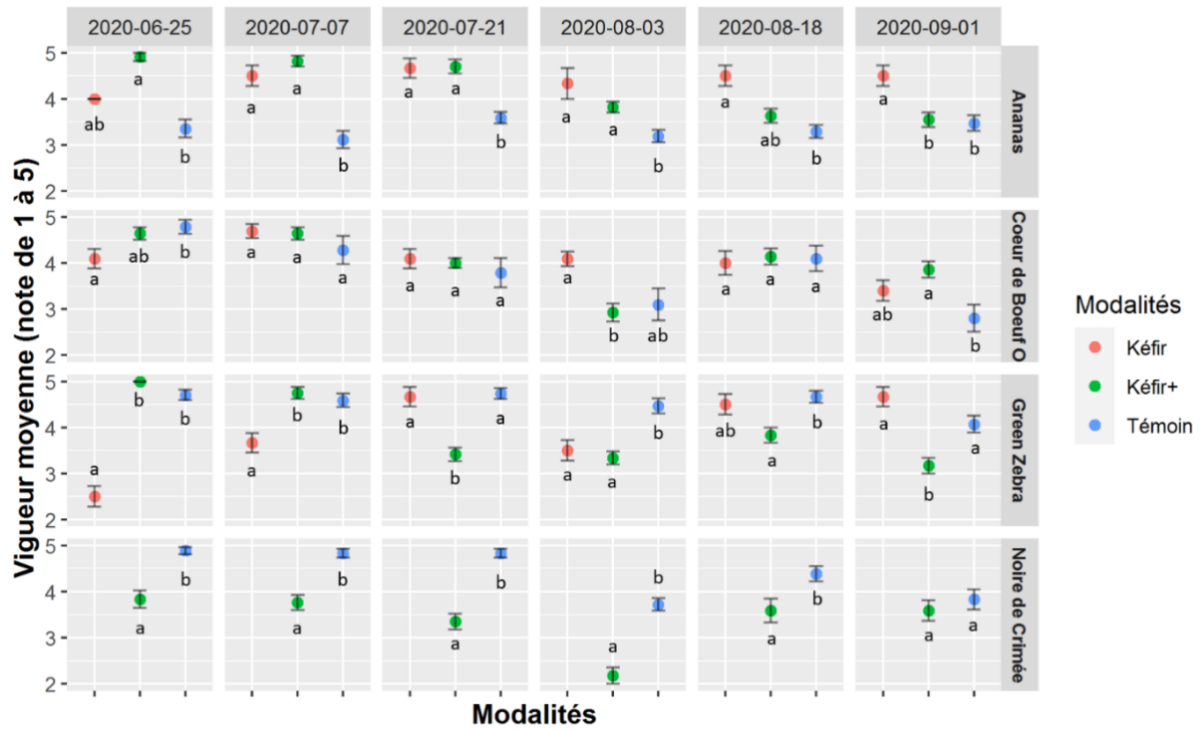


Figure 27 : Graphique de la vigueur de la tomate en fonction des 4 variétés et selon les 3 modalités, sur 6 mesures. Test statistique : Dunn

Figure 27 : Graph of tomato vigor depending on 4 varieties and following each modalities, for 6 measurements. Statistical test: Dunn

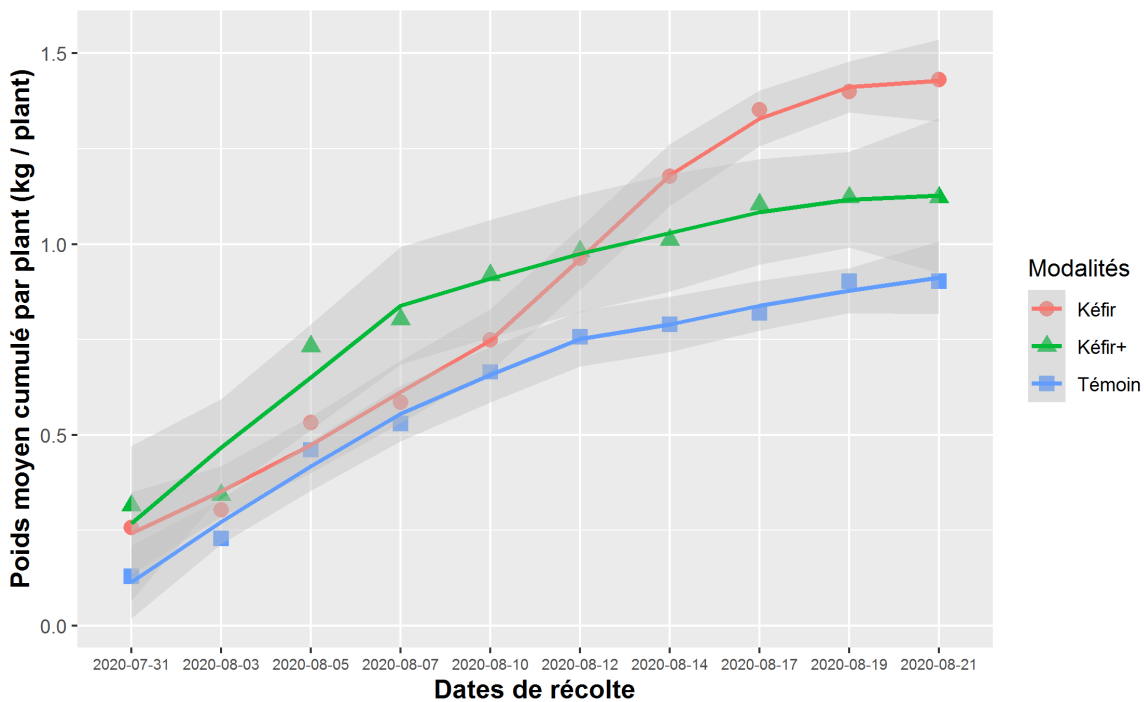


Figure 28 : Graphique du rendement cumulé par plant en fonction des dates de récolte pendant 3 semaines

Figure 28 : Graph of cumulated yield per plant following harvest date during 3 weeks.

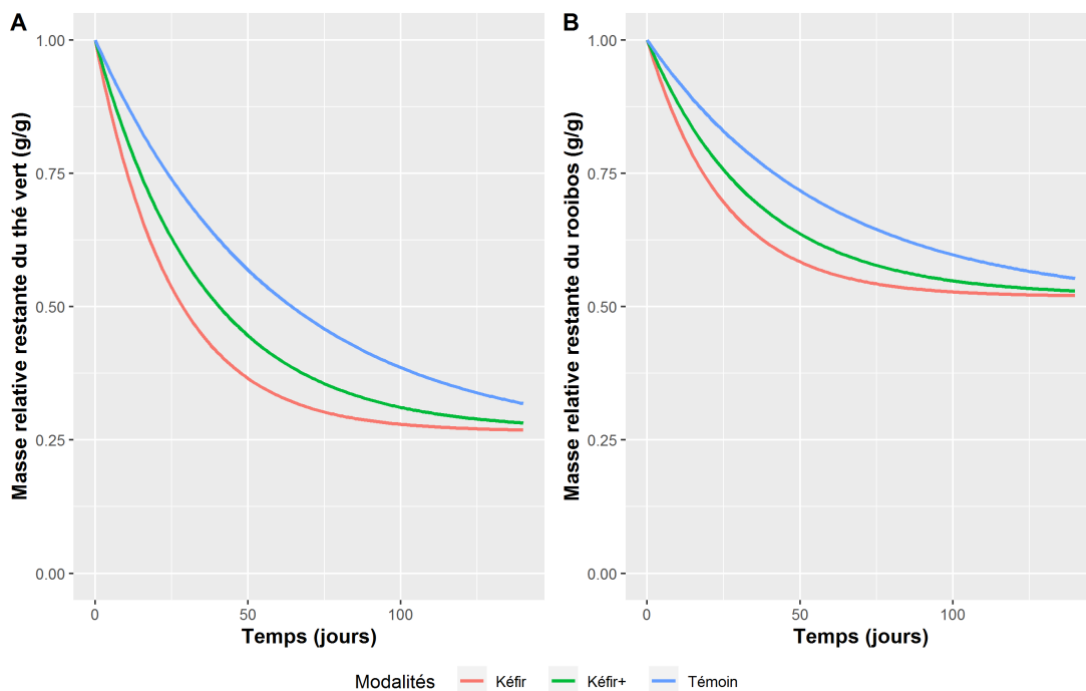


Figure 29 : Graphiques de la décomposition de la matière en fonction du temps, pour le thé vert et le rooibos
 Figure 29 : Graphs of matter decomposition following time for green tea and rooibos

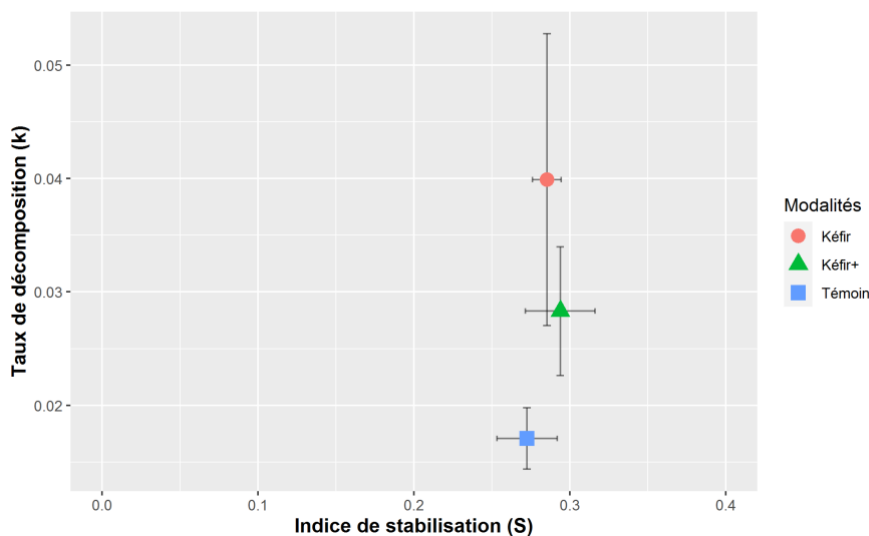


Figure 30 : Graphiques du taux de décomposition k en fonction de l'indice de stabilisation S
 Figure 30 : Graphs of decomposition rate k following stabilisation factor S

Tableau 12 : Calcul du temps de travail pour préparer et pulvériser les solutions de kéfir.
 Table 12 : Calculation of working time for preparing and spraying kefir mixes

Etapes	Explications	Temps de travail estimé
Mise en fermentation	Filtration des grains ("stockés" au frigo dans 1 L de lait)	25 min
	Pesée des grains et répartition dans 2 bouteilles de 1 L	
	Ajout de 1 L de lait dans chaque bouteille	
<i>Fermentation : 2-3 jours</i>		
Filtration	Une fois fermentation finie, filtration des 2 L de kéfir de lait	40 min
	Récupération du filtrat pour pulvérisation, ajout de 30 g de glucose	
	Ajout des grains dans 1 L de lait pour prochaine mise en fermentation	
<i>Stockage du filtrat à pulvériser au frigo : 12-24h</i>		
Préparation solutions	Mélange des solutions dans pulvérisateur de 5 L	5 min
Pulvérisation	Pulvérisation d'environ 6 cL par plant, en foliaire et au sol	30 min par planche 1 h 30 en tout
Total		2 h 35

Tableau 13 : Résultats des test bêche avant et après culture
 Table 13 : Results from spade tests, before and after cultivation cycle

	Avant expérimentation (20 mai 2020)		Après expérimentation (17 Septembre 2020)	
	Zone 1	Zone 2	Simple paillage	Double paillage
Test bêche structure du sol				
Mode d'assemblage	C2R	C2R	O/C	O/C
Type de motte	Γ (75%, 20% TF, 5% Δb)	Γ (75%, 25%)	Δb (80%, 20% TF)	Δb (60%, 40% TF)
Classe	1	1	1	1
Commentaire sur la structure du sol	Bonne : ouverte, poreuse, peu de tassement	Bonne : ouverte, poreuse, peu de tassement	Bonne : ouverte, poreuse, légèrement compacte	Bonne : ouverte, poreuse, légèrement compacte
Commentaire sur l'activité biologique	Beaucoup de racines, macrofaune bien présente	Beaucoup de racines, macrofaune bien présente	Racines (courges), macrofaune présente mais jeune	Racines (courges), macrofaune bien présente
Test bêche vers de terre				
Epigés + juvéniles		0	1	0
Endogés + juvéniles		4 + 1	0 + 5	6
Anéciques strictes + juvéniles	NA	0	0	0
Epi-anéciques + juvéniles		0	0 + 2	0 + 1
Juvéniles indéterminés	NA	4	0	10
TOTAL			8	17

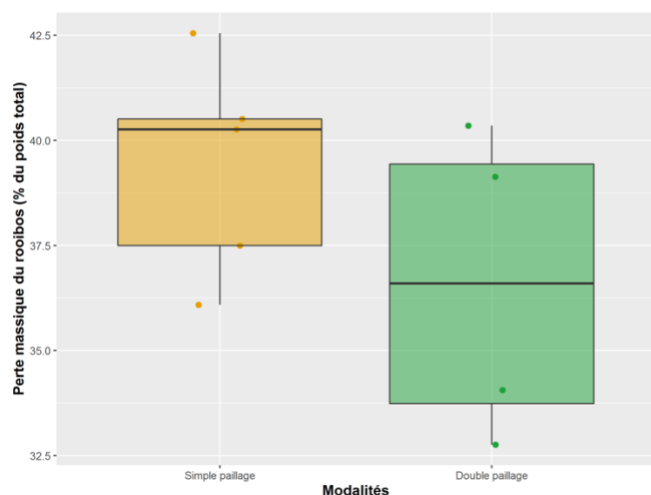


Figure 31 : Perte massique du rooibos en fonction du type de paillage
 Figure 31 : Rooibos mass loss following the type of mulching

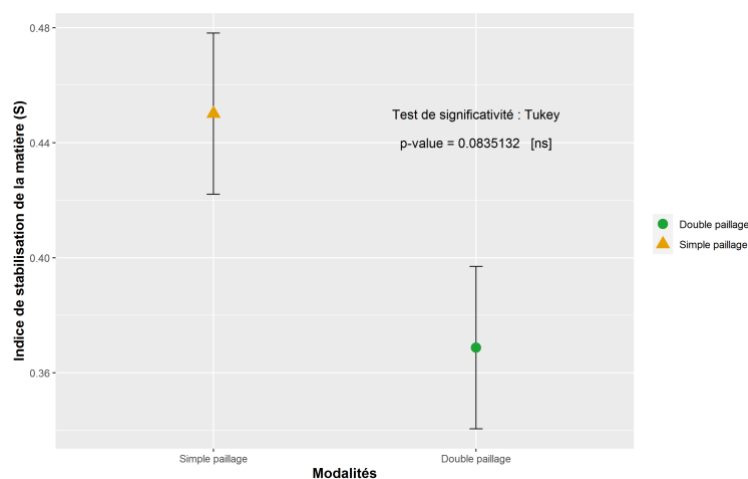


Figure 32 : Indice de stabilisation de la matière en fonction du paillage
 Figure 32 : Stabilisation factor the type of mulching

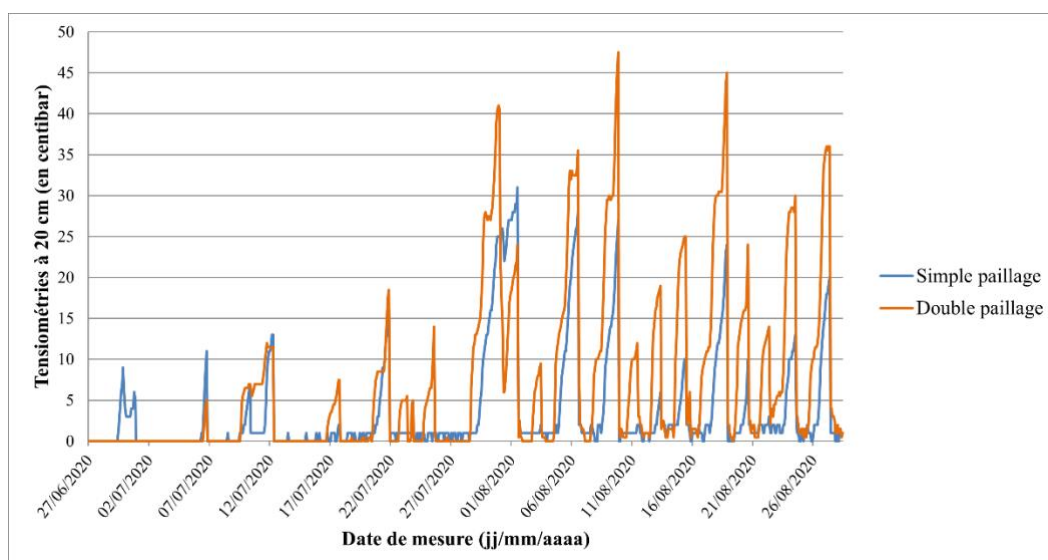


Figure 33 : Evolution dans le temps de la tensiométrie à 20 cm de profondeur en fonction du type de paillage
 Figure 33 : Evolution of tensiometry in time at 20 cm depth following the type of mulching

un mois, puis la vigueur a diminué pour la modalité Kéfir+. L'inverse s'est produit pour la variété NC avec des plants de la modalité Témoin plus vigoureux que la modalité Kéfir+ tout au long des mesures (fig. 27). Ces différences de développement végétatif ont pu être mise en lien avec le développement reproductif, grâce à l'évolution du nombre d'inflorescences cumulé par plant sur 5 semaines : le nombre de fleurs est bien corrélé avec la vigueur des variétés, notamment pour AN et NC.

Le rendement cumulé par plant a été évalué au cours des 3 premières semaines de production de la variété CDBO (fig. 28). On observe que la productivité est légèrement supérieure pour la modalité Kéfir+ les 2 premières semaines, puis le rendement de la modalité Kéfir augmente fortement, avec une différence de 0,5 kg / plant entre Kéfir et Témoin au bout de 3 semaines. *In fine*, la modalité Kéfir produit le rendement le plus élevé et Témoin le plus bas.

3.1.3. Le kéfir sur le sol : impact sur l'activité microbienne

Le calcul du taux de décomposition k a permis de modéliser la dynamique de dégradation de la fraction labile du thé vert et du rooibos pour chaque modalité (fig. 29). De plus, un graphique du taux de décomposition k en fonction de l'indice de stabilisation S permet d'appréhender d'éventuelles différences entre la proportion de fraction labile stabilisée (S) et la rapidité de décomposition (k) (fig. 30). On observe ici que le taux de décomposition de la matière labile est deux fois supérieur pour les modalités Kéfir et Kéfir+ par rapport à la modalité Témoin. La comparaison aux références de la méthode montre que les taux de décomposition des modalités Kéfir et Kéfir+ sont plutôt élevés, de l'ordre de 0.3-0.4, contre des valeurs de référence plutôt comprises entre 0.1 et 0.3 (Keuskamp et al., 2013). L'indice de stabilisation S est identique pour les 3 modalités et concorde globalement avec les références de la méthode. La modalité Kéfir semble avoir l'activité microbienne la plus élevée, cependant les tendances observées ne sont pas significatives. Toutefois, elles permettent de mettre en évidence une différence assez importante de rapidité de dégradation de la matière entre les 2 traitements au kéfir et la modalité Témoin.

Le calcul du temps de travail lié au kéfir a montré que pour 2 L de kéfir préparé chaque semaine, le temps de travail total a été évalué à environ 2h35 par semaine, en minimisant les tâches liées au nettoyage des récipients utilisés (tab. 12).

3.2. Effets du double paillage le sol et impact sur la culture

3.2.1. Impact du double paillage sur la qualité du sol

Les tests bêches ont permis d'appréhender la structure du sol à travers plusieurs observations détaillées dans le (tab. 13). Avant culture, aucune différence de structure a été notée entre les modalités SP et DP lors des tests bêche avant culture. Après culture, la structure est apparue légèrement plus compactée avec une présence plus importante de mottes Δb , une activité biologique bien visible et de nombreuses racines, mais pas de différence entre les 2 modalités.

L'activité biologique a été évaluée d'une part via les vers de terre identifiés lors des tests bêche après culture (tab. 13), et d'autre part grâce à l'activité microbienne mesurée par les sachets de thé. Les populations de vers de terre sont majoritairement composées d'endogés dans les 2 modalités. Cependant, un minorité d'adultes et une population totale plus faible a été observée dans la modalité SP. En effet, la modalité DP comptabilise le double de vers de terre comparé à SP, dont 6 endogés adultes

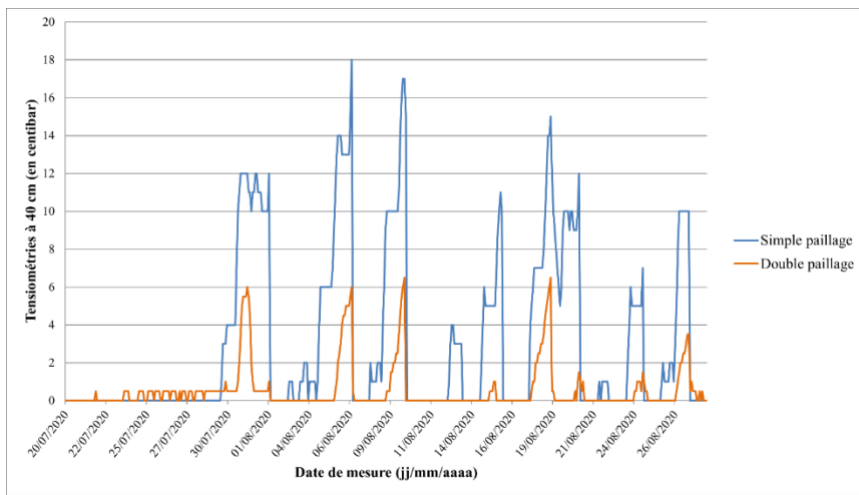


Figure 34 : Evolution dans le temps de la tensiométrie à 40 cm de profondeur en fonction du type de paillage

Figure 34 : Evolution in time of tensiometry at 40 cm depth following the type of mulching

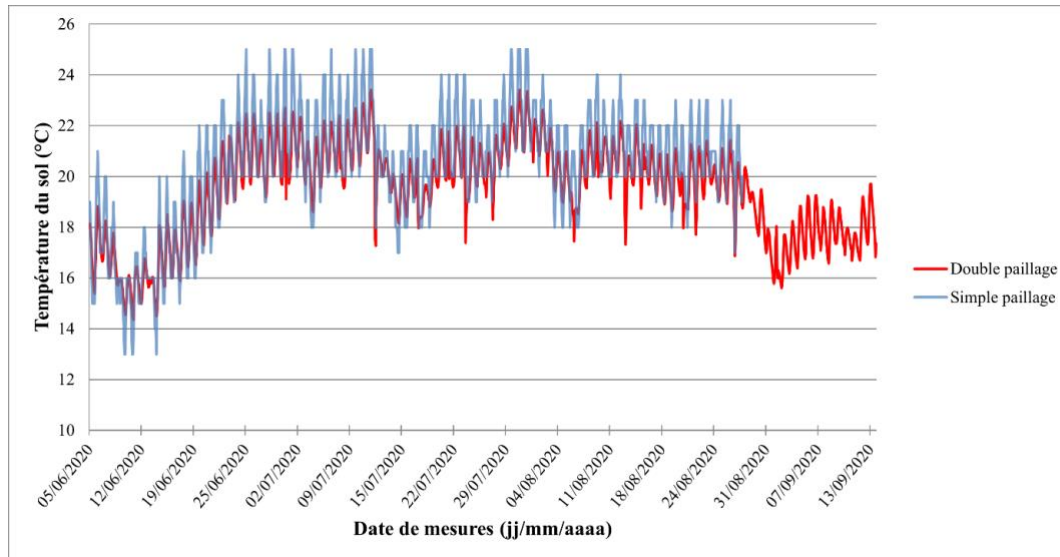


Figure 35 : Evolution dans le temps de la température du sol à 10 cm de profondeur en fonction du type de paillage

Figure 35 : Evolution in time of soil temperature at 10 cm depth following the type of mulching

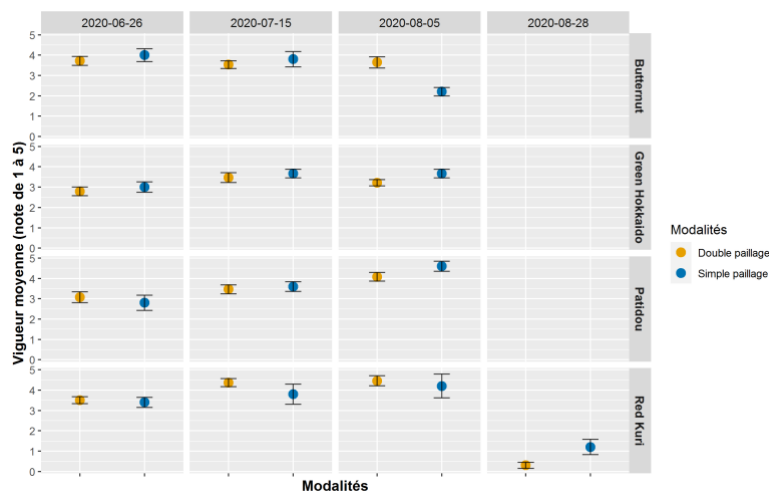


Figure 36 : Vigueur des courges au cours du temps selon 2 paillages

Figure 36 : Squash vigor following time for 2 types of mulching



Figure 37 : Vigueur faible d'un plant de courge, 05/08/2020

Figure 37 : Low vigor of a squash plant, 05/08/2020

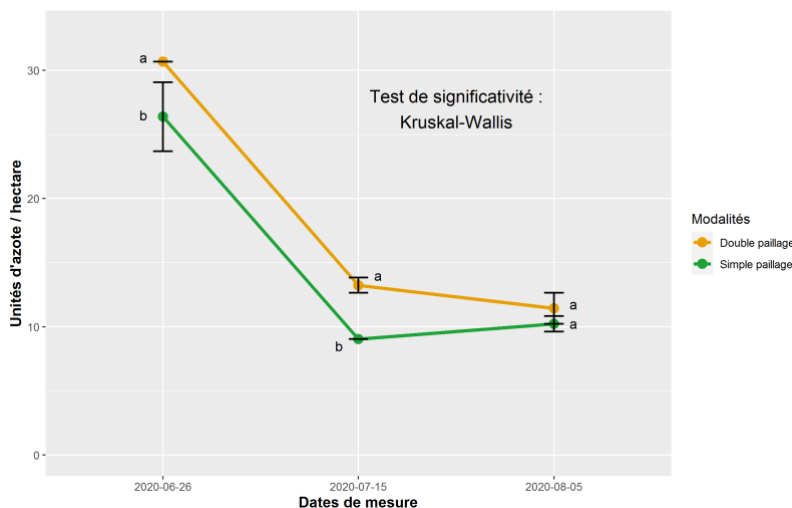


Figure 38 : Evolution de la teneur en nitrates du sol en fonction de 2 paillages

Figure 38 : Evolution of nitrates rate following 2 types of mulching

contre 0 en SP. L'activité des vers de terre est donc nettement supérieure en double paillage.

Concernant l'activité microbienne, 4 sachets sur 6 ont pu être retrouvés dans la modalité DP, et 5 sur 6 dans la modalité SP. La plupart des données de la modalité SP n'ont pas pu aboutir aux calculs de k , car le rooibos a subi une dégradation trop intense dans 4 cas sur 5 ce qui a empêché d'obtenir ce paramètre. Les dynamiques de décomposition via le facteur k ne seront donc pas illustrées, mais le graphe de la perte massique du rooibos selon les 2 modalités a été réalisé (fig. 31). Cette tendance non significative montre que l'activité de décomposition a été plus importante pour la modalité SP que la modalité DP. De plus, l'indice de stabilisation S est aussi plus élevé pour la modalité SP (fig. 32), mais cette différence est elle aussi non significative. Ici, on peut interpréter cette valeur comme une proportion de la matière labile stabilisée plus élevée dans la modalité SP, ce qui peut témoigner d'un contexte environnemental ou d'une communauté microbienne moins favorable à cette décomposition, bien que plus active.

3.2.2. Influence du double paillage sur l'humidité et la température du sol

Les sondes tensiométriques montrent de fortes variations de disponibilité en eau à partir de début août. Globalement, les valeurs très basses témoignent d'un engorgement en eau élevé tout au long du cycle de la culture. A 20 cm, profondeur des systèmes racinaires des plantes, la disponibilité en eau avant le mois de juillet était nulle et n'est pas représentée sur le graphique (fig. 33). Les variations observées traduisent des réductions de la disponibilité en eau plus élevées pour la modalité DP, qui ont lieu plus tôt pour chaque pic. Cela signifie que le double paillage tend à réduire plus rapidement la disponibilité en eau, induisant un stress hydrique plus rapide pour les courges. A 40 cm, le sol est resté globalement en dessous du seuil de confort hydrique, totalement engorgé, avec de légères diminutions de la disponibilité en eau plus prononcées dans la modalité SP (fig. 34).

Malgré une saison estivale assez douce sans excès de chaleur, on constate des amplitudes de température plus élevées pour la modalité SP. Le nombre de jours où la température du sol a dépassé 22°C est de 47 en simple paillage, contre 26 en double paillage (fig. 35). Cela démontre l'effet tampon des températures du sol en double paillage.

3.2.3. Etat général de la culture : vigueur et nutrition azotée

La vigueur des 4 variétés de courges n'a pas permis de dégager une tendance remarquable. Seules 2 mesures sont significativement différentes entre les modalités SP et DP (fig. 36), pour les variétés Butternut et Red Kuri. Les observations sur le terrain ont tout de même permis de suspecter une faim d'azote importante, avec des courges peu développées, un feuillage très clair tirant sur le jaune, et peu de fruits (fig. 37). Cette faim d'azote semblait généralisée sur toute la parcelle, ce qui peut expliquer l'absence de différence de vigueur. Afin de vérifier ce phénomène, les mesures du Nitratetest réalisées au cours de la culture ont permis d'appuyer ces observations visuelles (fig. 38). La teneur en nitrates du sol est rapidement descendue à partir du mois de juillet à 10-15 unités N/ha, ce qui est très faible pour une culture aussi gourmande que la courge. On notera quand même une teneur significativement plus élevée en double paillage, de l'ordre de 5 unités N/ha. Cependant, une faible teneur en nitrates du sol ne témoigne pas obligatoirement de courges carencées, comme cela a pu être montré dans des essais du GRAB sur le melon (Vedie, 2004). Ainsi, nous avons complété les mesures



Figure 39 : Comparaison esthétique des filets à ramer de Mr BARBE
 Figure 39 : Aesthetics comparison of both Mr BARBE trellis

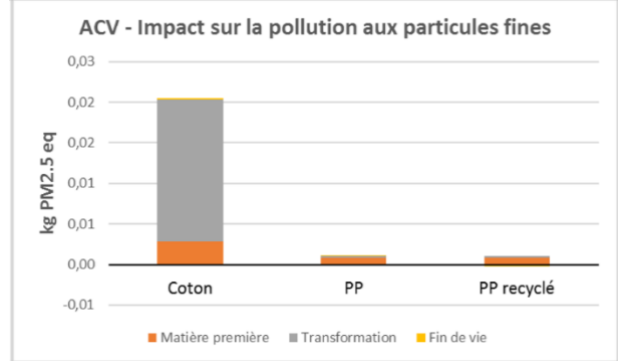
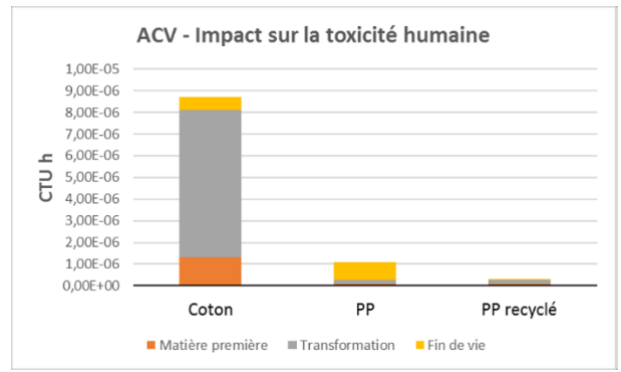


Figure 40 : Impacts sur la toxicité humaine et les pollutions aux particules fines des filets coton et plastique
 Figure 40 : Impacts on human toxicity and fine particles pollution of cotton and plastic trellis

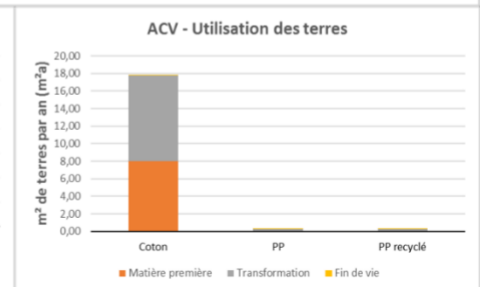
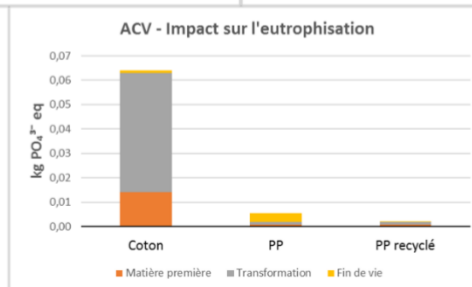
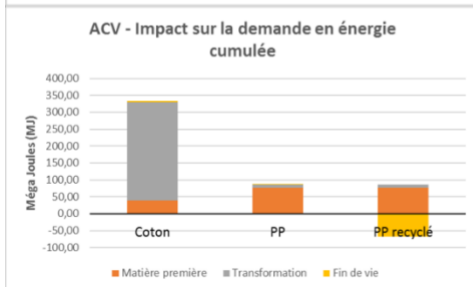
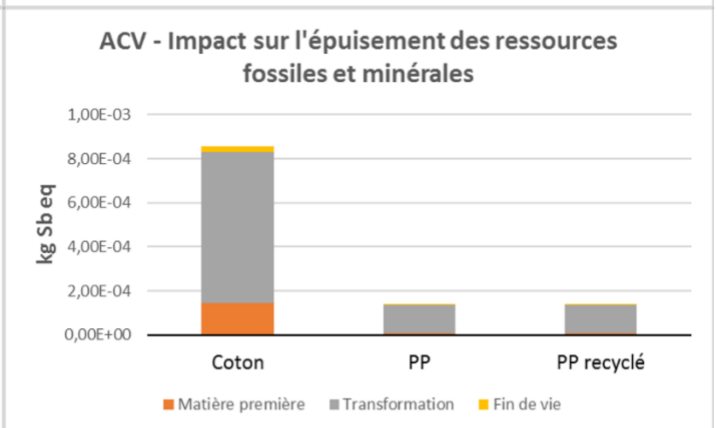
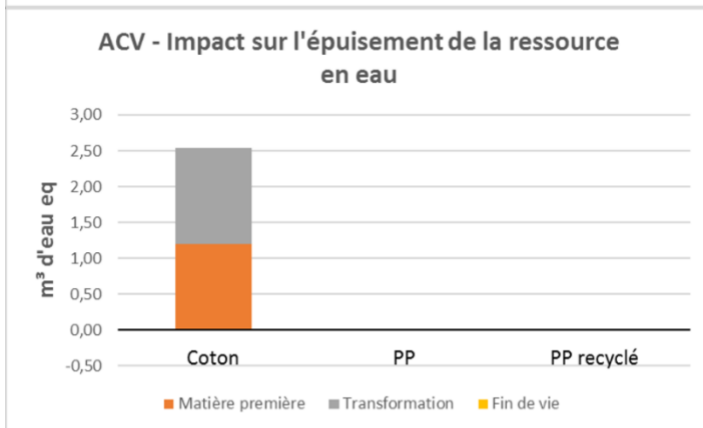
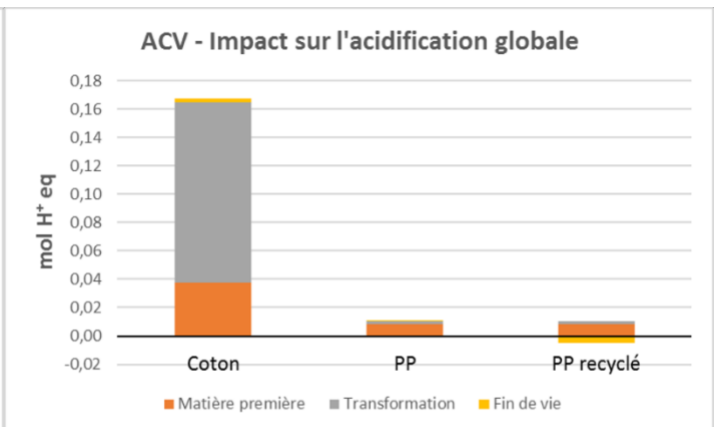
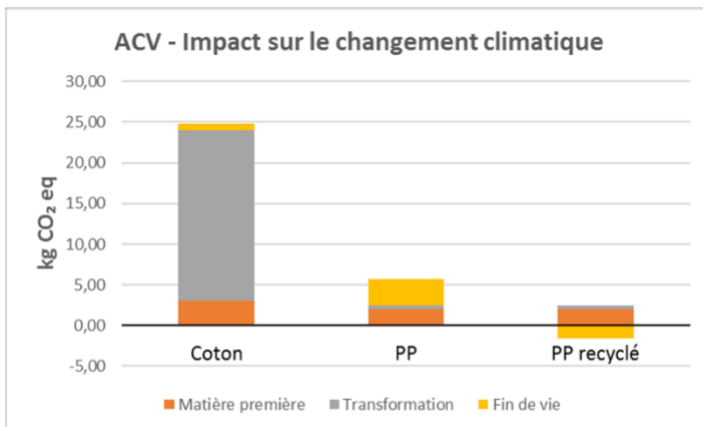


Figure 41 : Impacts environnementaux des filets coton, plastique et plastique recyclé
 Figure 41 : Environmental impacts of cotton, plastic, and recycled plastic trellis

du sol par des mesures des nitrates dans le jus pétioleaire des feuilles de courge (Méthode PILazo), ce qui a confirmé le phénomène en indiquant une teneur en nitrates des feuilles à 100 mg/L, nettement inférieure à des valeurs attendues de 3000 mg/L minimum pour le melon (Dumoulin et al., 2002). Les courges ont donc été victimes d'une faim d'azote, ce qui a nui aux mesures de vigueur de la culture.

3.3. Durabilité de filets à ramer en coton ou plastique

3.3.1. Impact économique : prix des filets

Les prix des références des filets ont été récupérés sur le site fournisseur Agrifournitures.fr, les filets en coton sont disponibles par lot de 500 m, et ceux en plastique PP en différents lots dont 1000 m. Le choix de comparaison a donc été fait pour 1 000 m de filet, avec une estimation pour les filets coton, en simulant une commande pour 2 lots de 500 m. Ainsi, le prix pour 1 000 m de filets coton est de 360 € contre 240 € pour ceux en plastique. Le prix des filets coton est donc 1,5 fois plus cher que les filets plastique.

3.3.2. Impact social sur le maraîcher et la population

L'efficacité au champ des filets a globalement été validée pour les 2 types de filets, cependant il est important de noter que les filets coton sont plus susceptibles de se rompre lors de forts coups de vent en plein champ ou quand la culture devient très lourde. Le ressenti du maraîcher donne plutôt raison au filet coton du fait de l'aspect esthétique plus agréable (fig. 39) mais aussi de la biodégradabilité de ces derniers qui permet un retour au sol de la matière sans exporter le déchet. Le temps de travail est faible dans les 2 modalités si la culture en fin de saison n'est pas séparée des filets (coton et PP), mais il devient tout de suite beaucoup plus important si une séparation est opérée pour un recyclage ultérieur. En effet, des estimations rapportées par Mme Cassard qui réutilise ses filets plastique font état de 3h20 pour 50 m de filet. Mr Barbe compte lui aussi séparer la culture du filet plastique en fin de culture, mais le temps de séparation ne sera estimé qu'aux premières gelées en décembre.

Les 2 catégories d'impact issues de l'ACV concernant la santé humaine sont quant à elles unanimes : le filet coton est beaucoup plus préjudiciable pour la toxicité humaine et la pollution aux particules fines que le filet plastique (fig. 40). Ces impacts sont d'autant plus réduits si le filet plastique est trié puis recyclé. Une part importante de ces impacts semblent liés aux procédés de transformation de la fibre coton en filets.

3.3.3. L'impact environnemental des filets : zoom sur l'ACV

Les 7 impacts environnementaux mesurés pour cette ACV montrent que le filet coton a une empreinte bien plus élevée au cours de son cycle de vie (fig. 41). A titre d'exemple, le filet coton consomme sur son cycle de vie 25 kg de CO₂ équivalent (eq) contre 5 kg pour le filet en PP, et encore moins pour le filet en PP recyclé dont la fin de vie permet d'absorber une partie du CO₂ eq. Dans la majorité des impacts, l'ECV qui influence le plus le résultat du filet coton est celle de la transformation de la fibre coton en filet. La production de la MP montre elle aussi de fortes différences en défaveur du filet coton, notamment pour l'impact sur l'acidification globale, l'épuisement des ressources en eau, minérales et fossiles, l'eutrophisation et l'utilisation des terres. La demande en énergie cumulée est le seul impact dont la MP du filets plastique, le PP, consomme plus d'énergie. Le poids des filets a aussi été pris en compte pour discuter les résultats de l'ACV donnés pour 1 kg de filet. En effet, le kilo de

Tableau 14 : Bilan de la durabilité de filets à ramer coton, plastique et plastique recyclé en fin de vie, détaillé selon les impacts économique, social et environnemental et les facteurs évalués.

Table 14 : Sustainability assessment of cotton, plastic, and recycled plastic detailed following economic, social, and environmental impacts and the different factors assessed

Impacts sur la durabilité	Facteurs évalués	Evaluation pour 1 cycle de culture			Notes de durabilité (0 à 5)		
		Filet coton	Filet plastique	Filet plastique recyclé	Filet coton	Filet plastique	Filet plastique recyclé
Impact économique	Prix des filets pour 1000 m	≈ 360 €	241,08 €		5	3	
Impact social	Efficacité au champ	Efficace mais casse plus facilement	Efficace		5	4	
	Ressenti du maraîcher	Esthétique et biodégradable	Peu esthétique, industrie pétrochimique, déchet plastique		1	5	
	Temps de travail	Faible + compostage sur place	Faible + envoyer le tout à la déchetterie	Elevé car tri nécessaire + recyclage en déchetterie	1	2	5
	Toxicité humaine	Fort	Faible Sauf fin de vie = un peu élevé	Faible	5	2	1
	Particules fines	Fort	Faible	Faible	5	1	1
Impact environnemental	Changement climatique	Très fort	Faible Sauf fin de vie = un peu élevé	Faible	5	2	1
	Acidification	Fort	Faible	Faible	5	1	1
	Epuisement de la ressource en eau	Fort	Nul	Nul	5	0	0
	Epuisement des ressources fossiles et minérales	Fort	Faible	Faible	5	1	1
	Eutrophisation	Fort	Quasi-nul Sauf fin de vie = un peu élevé	Quasi-nul	5	1	0
	Utilisation des terres	Fort	Nul	Nul	5	0	0
	Demande en énergie	Fort	Faible	Quasi-nul car recyclage	5	1	0
BILAN FINAL DE DURABILITE PAR IMPACT							
Impact économique		Fort	Moyen	Moyen	5	3,0	3,0
Impact social		Moyen	Moyen	Moyen	3,4	2,8	3,2
Impact environnemental		Fort	Faible	Faible	5	0,9	0,4

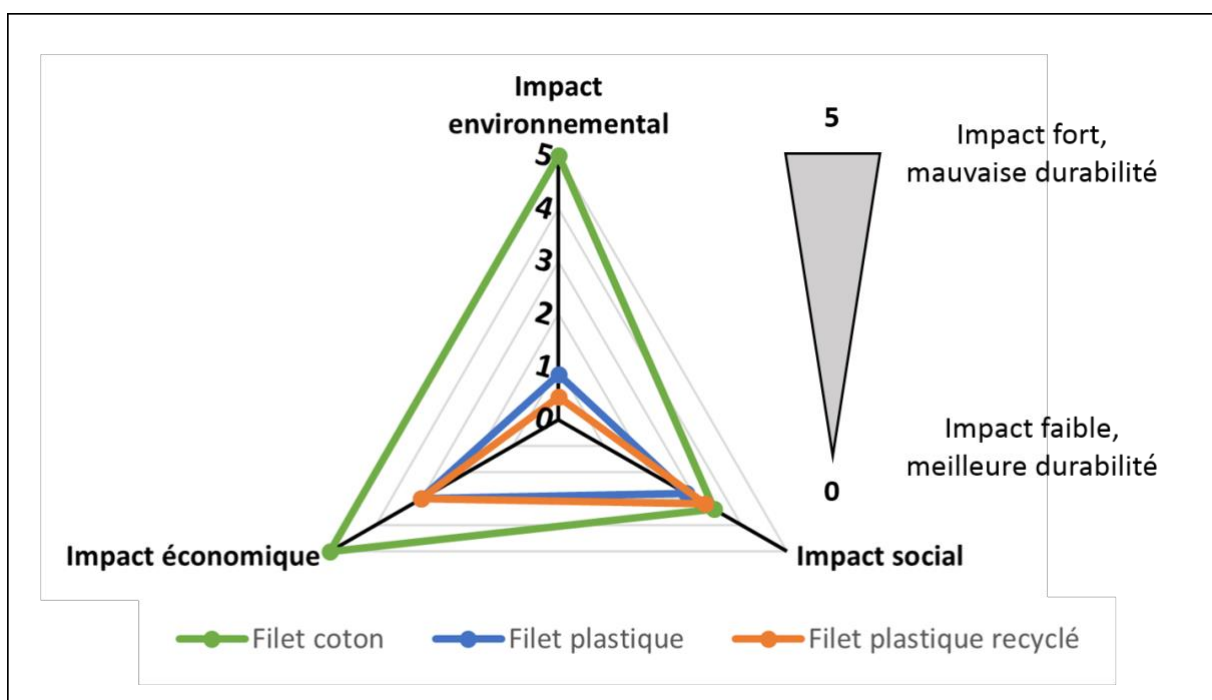


Figure 42 : Graphique en radar de la durabilité des filets à ramer
Figure 42 : Radar graph of trellis sustainability

filet coton représente une longueur de 82 m contre seulement 62 m pour le filet plastique, ce qui réduit légèrement l'impact du coton par rapport au plastique pour 50 m de filet. Les filets coton ont donc un impact environnemental extrêmement plus fort que les filets plastique, et l'alternative la moins impactante correspond à l'utilisation d'un filet plastique recyclé en fin de culture.

Les notes attribuées pour chaque facteur, appartenant à un des 3 impacts de la durabilité, permettent d'établir une comparaison complète des filets coton, plastique et plastique recyclé (tab. 14). La durabilité montre que le filet en coton a des impacts incontestablement plus élevés que le filet en plastique, recyclé ou non (fig. 42). Le filet plastique est l'alternative la plus durable, et son recyclage impacte plus ou moins fortement le temps de travail et donc le pilier social.

3.4. Résultats des autres expérimentations du projet

Le calcul des rendements dans le cadre de l'expérimentation sur l'association courge-haricot a permis d'estimer le Land Equivalent Ratio (LER), i.e. la surface des cultures pures nécessaire pour obtenir la même production qu'un hectare des cultures associées (Mead, Willey, 1980). Ici, le LER était de 1,05 ce qui signifie qu'il n'y a aucun avantage de l'association. Cependant la vigueur a montré que les cultures seules étaient plus vigoureuses (Annexe XXI).

La seconde expérimentation de Mr et Mme Noir sur l'utilisation de trèfle blanc et serpolet pour couvrir les passe-pieds de leurs planches permanentes a montré que le serpolet s'implantait plus lentement que le trèfle, mais que les 2 espèces implantées depuis 2 ans sont très efficaces pour limiter les adventives et donc le temps de travail. La floraison du serpolet représente un très gros avantage en attirant les pollinisateurs mais reste en fleur longtemps et empêche Mr et Mme Noir de marcher dans le passe-pied (Annexe XXII).

La couverture du sol hivernale via un engrais vert ou de la paille a montré que cela permettait de limiter le développement des adventives en sortie d'hiver, mais aussi de favoriser une structure et une humidité plus élevée. Cependant, l'activité microbienne a semblé ralentie, probablement lié à un réchauffement du sol plus lent au printemps par rapport à la modalité « sol nu », où l'activité a repris plus rapidement. Cela a été confirmé par les dynamiques de minéralisation de l'azote plus précoces en sol nu. La vigueur n'a montré aucune différence remarquable (Annexe XXIII).

La comparaison de deux systèmes d'irrigation localisée a montré un coût 10 fois plus élevé du microporeux, mais une meilleure résistance sur le cycle de culture, sans bouchon de calcaire. Le microporeux a un débit plus élevé, ce qui limite le nombre de lignes ouvertes en même temps. De plus, la durabilité dans le temps des tuyaux microporeux est de l'ordre de 6 ans contre 1 an pour le goutte-à-goutte, ce qui diminue par 6 la production de déchets plastique sur l'exploitation (Annexe XXIV).

4. Discussion

4.1. Interprétation des résultats des expérimentations

4.1.1. Expérimentation 1 : efficacité du kéfir sur tomate

Le kéfir à forte concentration semble perturber les bioagresseurs à court terme, sans limiter de manière significative l'intensité des dégâts causés lorsque ces derniers sont installés. Cet antagonisme se matérialiserait plutôt par contact direct et/ou compétition de niche entre bioagresseurs et microorganismes (ou molécules) du kéfir. De plus, les moisissures mentionnées dans la partie 3.1.1. ont

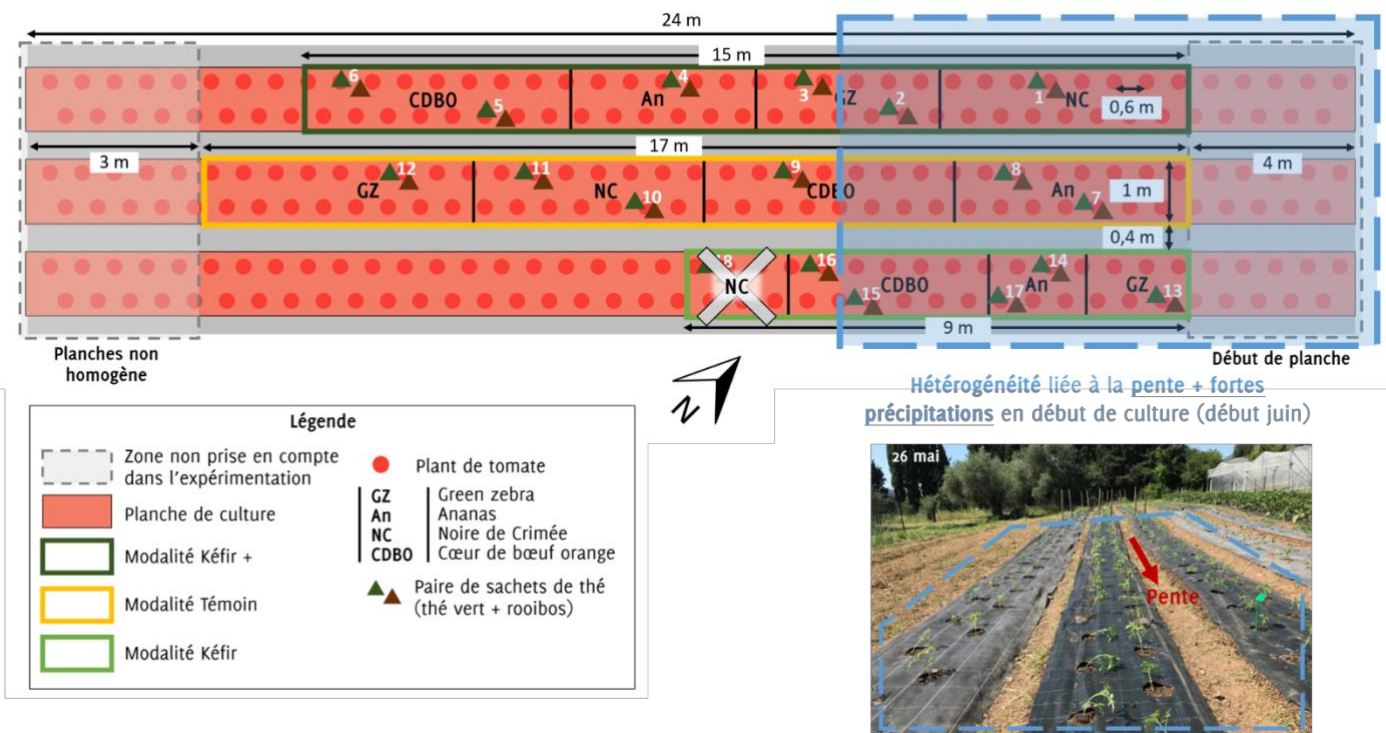


Figure 43 : Mise en évidence d'un biais lié à l'hétérogénéité de la parcelle
 Figure 43 : Origin of the bias linked to field heterogeneity on Mr Lassauque experiment

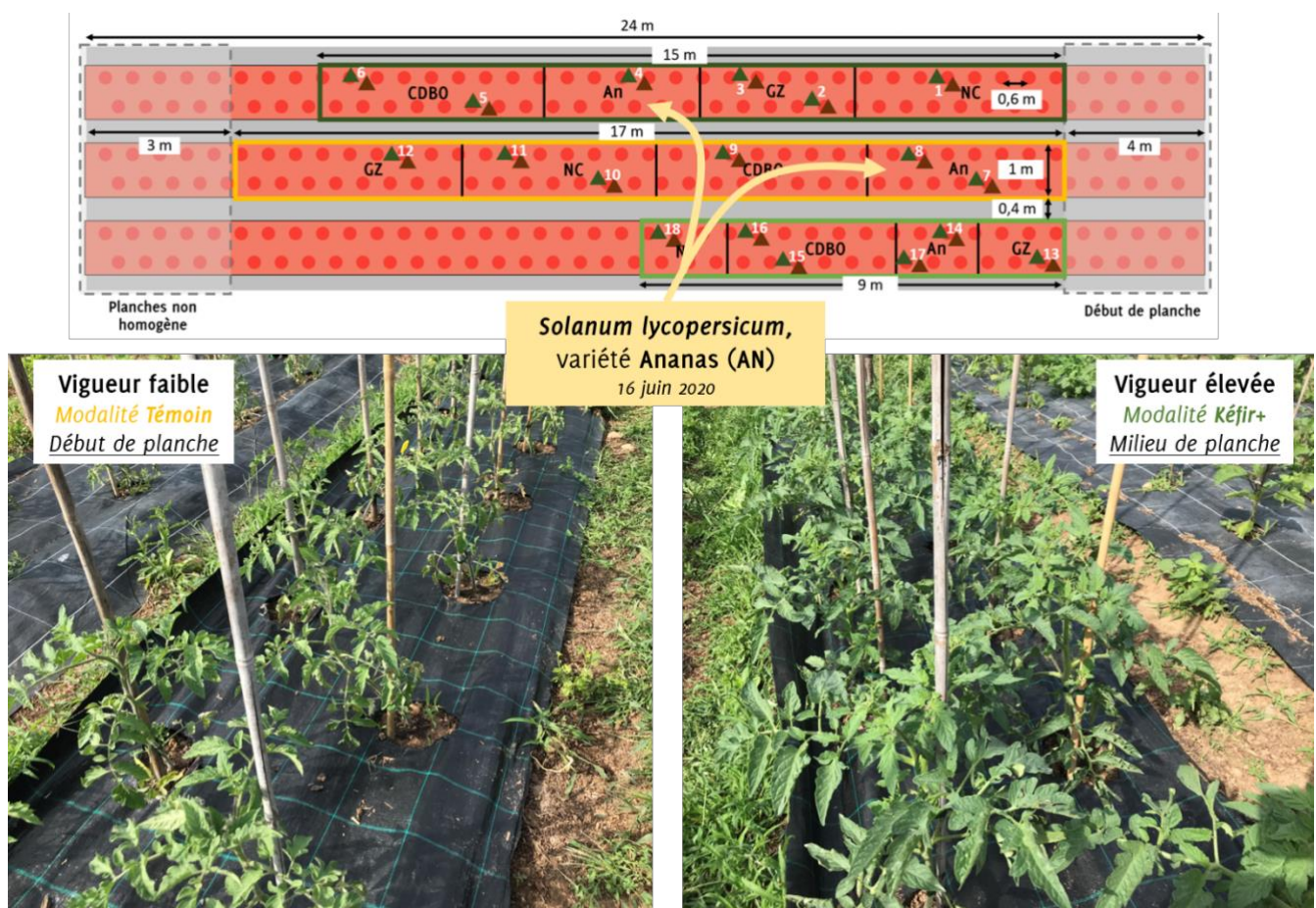


Figure 44 : Différence de vigueur à cause de l'hétérogénéité de la parcelle entre la modalité Témoin et Kéfir+ pour la variété Ananas
 Figure 44 : Vigor difference due to field heterogeneity between Control modality and Kefir+ modality for Ananas variety

montré qu'il y avait bien une colonisation des parties aériennes pour une forte concentration en kéfir, ce qui expliquerait notamment la faible incidence de l'oïdium, moins compétitif que les moisissures du kéfir.

Selon les variétés, le kéfir ne semble pas améliorer le développement végétatif et reproductif de la tomate. Ces dynamiques de développement semblent plutôt corrélées au dispositif expérimental et aux facteurs environnementaux. En effet, des fortes pluies quelques semaines après plantation en juin ont inondé la partie basse de la parcelle en légère pente (fig. 43). Cela a probablement entraîné une asphyxie racinaire, préjudiciable aux plants situés dans cette zone, ce qui a eu pour effet de forts retards de croissance des différentes variétés selon leur emplacement dans la parcelle (fig. 44). La pente n'avait pas été anticipée dans le plan expérimental et cela a donc impacté la vigueur de quasiment toutes les variétés de l'expérimentation. Cela a donc pu influencer les mesures de l'état sanitaire, puisque les variétés affaiblies étaient donc potentiellement plus sensibles aux maladies. Pour la variété CDBO, la moins biaisée par la pente, la production de fruit montre que les modalités ayant reçue du kéfir sont plus productives, notamment pour une concentration faible de kéfir. On peut supposer que la prépondérance des maladies dans cette modalité a provoqué des stress importants ayant favorisé la reproduction au développement végétatif de la culture. Les pulvérisations de kéfir au sol semblent stimuler les communautés microbiennes, ce qui améliorerait la décomposition de la matière et donc la disponibilité des nutriments. Ce mécanisme pourrait aussi être à l'origine de l'augmentation des rendements.

Du fait du contexte environnemental, des différences entre variétés et de la complexité des interactions du kéfir avec le sol et la culture, l'efficacité du kéfir sur la tomate reste donc réduite, avec une forte dose qui permet une meilleure protection de surface aux pathogènes mais favorise les moisissures. Ces moisissures pourraient cependant être réduites si une séparation du filtrat était opérée, afin de garder la phase claire contenant les microorganismes sans la part cellulaire du kéfir générant les moisissures. Malgré la facilité d'autoproduction d'un tel produit, le temps de travail lié à son utilisation est relativement important, ce qui peut représenter une contrainte pour certains maraîchers qui n'achètent pas de lait et ne consomment pas de kéfir quotidiennement. Il serait donc intéressant de limiter l'apport de kéfir sur la culture en réalisant 2 ou 3 pulvérisations en cours de culture afin de limiter l'effet stressant des applications hebdomadaires, ainsi qu'une inoculation des graines avant semis. Le kéfir représente tout de même une alternative agroécologique prometteuse afin de gérer l'arrivée de certains bioagresseurs, favoriser la production des cultures et augmenter l'activité microbienne du sol, à condition d'y consacrer du temps.

4.1.2. Expérimentation 2 : le double paillage pour améliorer le sol et la culture

Le double paillage expérimenté par Mr et Mme Noir a montré cette année des résultats mitigés. L'ajout de MO sous la bâche tissée semble avoir favorisé l'activité des vers de terre, macrofaune indispensable pour la décomposition et le fonctionnement du sol. Cependant, l'activité microbienne est restée plus faible qu'en simple paillage. Il est possible que cette activité ait été ralentie en double paillage par l'effet tampon sur les températures du sol, démontré pour la 3^{ème} année consécutive par les sondes température. De plus, les conditions environnementales n'ont pas été aussi chaudes et séchantes cette année, ce qui n'a pas impacté la structure du sol entre le simple et double paillage. Cela peut s'expliquer par un des impacts de l'apport de MO visibles à plus long terme sur la structure du sol. En effet la MO

ajoutée par le double paillage année après année peut amener à modifier de manière conséquente la structure et le taux de MO du sol (Bu et al., 2006 ; Jordán et al., 2010 ; Dong et al., 2018). Concernant la culture, l'hypothèse d'une potentielle faim d'azote à cause de la MO apportée en double paillage n'a pas été validée, notamment à cause d'une teneur en nitrates initialement très faible sur la parcelle. Cela est à mettre en relation avec l'agroécosystème de la ferme de Mr et Mme Noir, qui ne reçoit aucune fumure de fond mis à part leur compost auto-produit. De plus, la disponibilité en eau a montré des asphyxies racinaires trop fréquentes délétères pour la culture. La gestion de l'irrigation aurait dû être plus fréquente et selon des quantités moins importantes. Les tuyaux de goutte à goutte mis au-dessus du foin ont aussi joué un rôle dans la diminution de la disponibilité en eau en double paillage, puisque le foin absorbait une partie de l'eau irriguée.

Le double paillage en maraîchage semble donc une bonne alternative pour favoriser l'activité des vers de terre et augmenter sur le long terme la MO et donc la structure du sol. Il est cependant nécessaire de bien gérer l'irrigation en prenant en compte l'absorption d'une partie de l'eau par le paillage. Par ailleurs, le simple paillage permet des amplitudes de température plus élevées, ce qui améliore l'activité microbienne et n'est pas préjudiciable au sol si les conditions estivales ne sont pas trop séchantes comme cette année.

4.1.3. Expérimentation 3 : la durabilité du coton et du plastique en maraîchage

Le bilan de durabilité a permis de démontrer que le filet en coton est le moins durable, puisque l'impact économique, social et environnemental est le plus élevé. L'ECV la plus impactante correspond à la transformation de la fibre en filet coton. Comparée au simple procédé d'extrusion pour le filet plastique, l'ECV transformation de la fibre coton comprend de nombreuses étapes industrialisées : nettoyage des fibres, cardage, étirage des fils et filature/tressage.

Les résultats sont d'autant plus intéressants si le recyclage du filet plastique est pris en compte dans la démarche, bien que l'impact social en termes de temps de travail soit plus important. Poussée à son extrême, l'utilisation des filets à ramer plusieurs années d'affilée permet de diviser les impacts environnementaux et économiques par le nombre d'années de réutilisation, ce qui rend l'utilisation de filets plastique incontestable. Il faut cependant garder à l'esprit le temps de travail qu'implique le tri des filets plastiques en fin de culture, notamment pour une exploitation comme celle de Mr Barbe où 450 m linéaire de haricots sont cultivés chaque année. En effet, cela impliquerait 30 heures de travail en tout. De plus, 1 kg de filet représente 82 m pour le coton contre 62 m pour le plastique. Cela réduit légèrement l'impact environnemental du coton pour une distance de filet donnée, mais de manière négligeable par rapport à la différence initiale des impacts environnementaux.

Pour finir, il est important de noter que l'ACV réalisée a pris en compte des modules issus de la base de données SimaPro® qui ne correspondent pas exactement aux processus réalisés pour la fabrication de filets à ramer, notamment en coton. Par exemple, les étapes de teinture de la fibre ne sont pas valables dans le cas des filets mais plutôt dans le cas de fils en coton pour la couture. Ces étapes restent négligeables par rapport à l'ensemble des étapes de transformation de la fibre en filet, ce qui permet de valider l'ACV. Le filet plastique est donc un produit beaucoup plus durable afin d'améliorer ses pratiques agricoles, contrairement aux hypothèses de départ et aux attentes de Mr Barbe.

4.2. Expérimenter des pratiques agroécologiques en milieu paysan

Au cours de ces 3 dernières années, le projet MiMaBio a permis de remettre en avant les expérimentations paysannes comme méthode d'évaluation de pratiques agroécologiques à destination des maraîchers installés et porteurs de projet. La mise en place d'une telle méthode en milieu paysan est complexe, puisqu'un grand nombre de facteurs et d'acteurs sont à prendre en compte pour sa réussite. La réalisation des expérimentations directement sur des parcelles du maraîcher permettent d'impliquer ce dernier, décisionnaire du thème, des objectifs et des mesures à réaliser en fonction de ses propres contraintes. Mais cela implique souvent pour le stagiaire et le maraîcher des compromis techniques vis-à-vis du dispositif expérimental, des modalités, et du nombre de répétitions effectuées. En effet, la plupart des expérimentations ont été confrontées à un faible nombre d'individus et de répétitions par modalité, ce qui diminue le potentiel de validation scientifique, puisque la plupart des différences ne sont que des tendances non significatives. Le maraîcher est aussi moins regardant vis-à-vis de certains détails, ce qui entraîne parfois des erreurs d'étiquetage de plants comme chez Mr Lassauque, ou des désherbages non homogènes qui biaisent ainsi les résultats. A cela s'ajoute la conviction des maraîchers qui sont parfois déjà persuadés de la pratique testée, comme le double paillage sur courges, ce qui n'a pas encouragé ces derniers à augmenter la surface allouée à la modalité témoin 'simple paillage'. Ces aléas sont souvent fortement liés à l'implication du maraîcher dans le projet, ainsi qu'à l'attention qu'il porte aux objectifs du projet. Les entretiens réalisés en septembre ont permis d'appréhender cela, puisque certains maraîchers voient le projet comme une évaluation de pratiques, et d'autres plutôt comme l'élaboration d'un groupe de maraîchers qui échangent sur des pratiques expérimentées sur leurs fermes. La collaboration et la discussion entre Agribio 06, le stagiaire, le GRAB et le maraîcher sont donc des paramètres extrêmement importants pour la validité des expérimentations, mais aussi pour concilier les objectifs du projet avec ceux du maraîcher.

Les contraintes environnementales liées à des facteurs biotiques et abiotiques ont aussi leur importance lors de la préfiguration des expérimentations, puisqu'elles conditionnent parfois la réussite ou non d'une expérimentation. Lorsque ces dernières sont négligées, ou simplement très indirectes, elles biaisent fortement certains paramètres, comme cela a pu être le cas chez Mr Lassauque avec les fortes pluies qui ont engendré une asphyxie racinaire. Chez Mme Cassard, la présence d'un chêne très imposant à côté de la modalité 'engrais vert' a entraîné une forte compétition racinaire diminuant la vigueur de la culture pour la modalité concernée. Ces contraintes environnementales inattendues sont souvent absentes lors d'essais en station expérimentale, ce qui augmente la complexité des expérimentations en milieu paysan. Ces dernières rentrent donc parfaitement dans une démarche agroécologique où les pratiques expérimentées se doivent d'être adaptées à l'environnement dans lequel elles sont mises en œuvre. Chaque ferme expérimentée possède un contexte pédo-climatique, un fonctionnement intrinsèque, des pressions de ravageurs, et des pratiques agricoles qui leur sont propre, il est donc nécessaire de se réappropriier les pratiques. Le kéfir chez Mr Lassauque est lié à son fort attrait pour l'étude des microorganismes en agriculture, sa volonté d'optimiser son système en minimisant les intrants extérieurs. La ferme de Mr et Mme Noir est très exposée au sud ce qui engendre de fortes chaleurs sur le sol en été avec une simple bâche tissée, mais cela ne sera pas forcément le cas dans toutes les conditions climatiques auxquels fait face un maraîcher dans son propre contexte.

L'expérimentation paysanne représente néanmoins une méthode vertueuse pour favoriser le lien entre les maraîchers. Dans des contextes géographiques comme les Alpes Maritimes, où les maraîchers

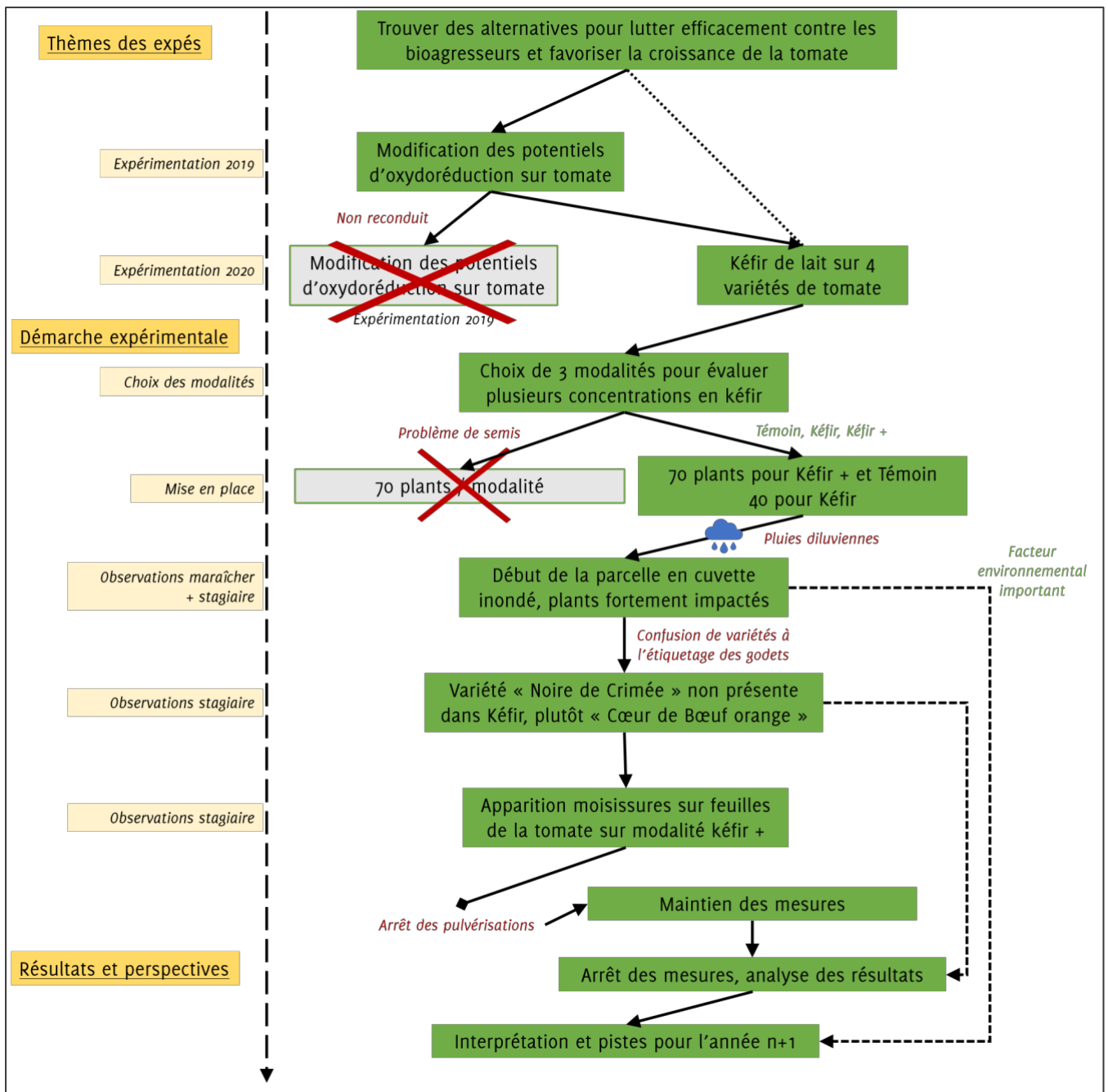


Figure 45 : Schéma représentant la démarche évolutive de l'expérimentation chez Mr LASSAUQUE
 Figure 45 : Schéma de l'approche évolutive de l'expérimentation de Mr LASSAUQUE

sont très enclavés et éloignés les uns des autres, ce type de projet les rapproche et les amène à échanger sur leurs pratiques, bien au-delà des expérimentations. Cette création de lien est très importante pour tous les maraîchers du projet, et conditionne aussi sa réussite. Lors des enquêtes auprès des maraîchers, cette notion de réussite s'est déclinée selon le volet expérimental : réussir à mettre en avant des pratiques agroécologiques innovantes, mais aussi selon le volet social, par la création de lien entre des personnes aux objectifs communs : faire avancer ensemble la connaissance et contribuer à améliorer la durabilité des systèmes agricoles actuels.

La démarche d'expérimentation paysanne est donc complexe et multifactorielle, ancrée dans des contextes environnementaux, sociaux et économiques différents. Elle amène les acteurs du monde agricole à se regrouper et repenser ensemble les méthodes expérimentales. Elle est aussi évolutive, ce qui nécessite d'adapter constamment le plan de l'expérimentation, mais aussi les mesures réalisées, les protocoles, ainsi que les interprétations des résultats (fig. 45). En ce sens, la démarche promeut l'importance de l'agroécosystème dans les systèmes agricoles, et la nécessité de se rapprocher des agriculteurs pour avancer ensemble sur les pratiques agroécologiques de demain.

Conclusion

Face au manque d'accompagnement et de données techniques des agriculteurs en maraîchage bio diversifié sur petites surfaces, les expérimentations paysannes du projet MiMaBio cherchent à emmener conjointement les différents acteurs du monde agricole vers le développement de pratiques agroécologiques, pour améliorer la durabilité des systèmes agricoles.

L'utilisation du kéfir de lait à forte dose en protection des cultures a montré l'efficacité des pulvérisations pour limiter l'arrivée des ravageurs. Mais le kéfir semblerait surtout une alternative pour augmenter la production de tomates et l'activité microbienne du sol de l'agroécosystème. Le coût en termes de temps de travail reste cependant élevé pour des pulvérisations hebdomadaires. Dans un contexte environnemental en constante évolution, le double paillage en protection du sol est une alternative agroécologique intéressante afin d'augmenter la résilience des systèmes de culture impactés par la sécheresse, en limitant l'impact des températures sur le sol et en favorisant la structure et l'activité de la macrofaune. La comparaison des impacts sociaux, environnementaux et économiques de 2 filets à ramer a montré que le sens commun de privilégier les filets en coton est une alternative faussement durable. Malgré l'aspect biodégradable de ces derniers, les filets plastique s'intègrent davantage vers des pratiques agroécologiques pour améliorer la durabilité de son exploitation.

Aujourd'hui, l'agroécologie réunit de nombreux concepts qui nécessitent la prise en compte de nouveaux objets ou compartiments comme le sol, la biodiversité ou encore les microorganismes. Ces notions se heurtent à beaucoup d'incertitudes liées à leur complexité et aux multiples interactions qui entrent en jeu. De plus, les résultats issus des pratiques expérimentées dépendent fortement des conditions biotiques et abiotiques de l'agroécosystème, et donc du contexte environnemental singulier de la ferme. Il est donc important de collaborer afin de multiplier ces initiatives d'expérimentations paysannes, dont la force de frappe réside dans la place centrale que reprend l'agriculteur. Il en résulte un rayonnement de pratiques agroécologiques innovantes ainsi que des échanges entre acteurs impliqués, sources de connaissances et de liens, vers une meilleure résilience des systèmes agricoles. A travers ce projet, l'agroécologie est donc le choix de tous, et se décline selon des pratiques différentes, adaptées au contexte de chacun afin d'améliorer l'agriculture de demain.

Références bibliographiques

ADEME, 2018. Qu'est-ce que l'ACV ? In : *Agence de la transition écologique* [en ligne]. 18 juin 2018. [Consulté le 25 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-l'action/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv>.

AGENCE BIO, 2020a. *Baromètre de consommation et de perception des produits biologiques en France - Edition 2020* [en ligne]. Etude Spirit Insight pour l'Agence BIO. S.l. Agence BIO. [Consulté le 24 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.agencebio.org/wp-content/uploads/2020/02/Rapport-Barom%C3%A8tre_Agence-Bio_Spirit-Insight-Edition-2020.pdf.

AGENCE BIO, 2020b. Le bio en quelques mots – Agence Bio. In : [en ligne]. 2020. [Consulté le 3 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.agencebio.org/decouvrir-le-bio/quest-ce-que-lagriculture-biologique/>.

AGRESTE, 2019. *Mémento de la statistique agricole de la forêt et des industries agroalimentaires - Provence-Alpes-Côte d'Azur* [en ligne]. Synthèse statistique agricole régionale. S.l. Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt. [Consulté le 24 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : http://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/DRAAF-PACA-Memento-2019-12Mo_cle8abee6.pdf.

AHEMAD, Munees et KIBRET, Mulugeta, 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. In : *Journal of King Saud University - Science*. janvier 2014. Vol. 26, n° 1, p. 1-20. DOI 10.1016/j.jksus.2013.05.001.

APREL, 2004. *Le Nitratest - Outil de conduite de la fertilisation azotée* [en ligne]. Guide d'utilisation. S.l. Association Provençale de Recherche et d'Expérimentation Légumière. [Consulté le 29 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://aprel.fr/pdfClasse2/0nitratestMIFFEL2004.pdf>.

BIO DE PACA, 2020. Chiffres clés de la bio en PACA - Les agriculteurs Bio de PACA. In : [en ligne]. 2020. [Consulté le 24 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.bio-provence.org/Chiffres-clés-de-la-bio-en-PACA-120>.

BREEUWSMA, Suzanne et DE BOER, Marjan, 2005. Testing of the Bokashi/EM concept for the control of Pythium root rot in hyacinthus. In : *Applied Plant Research* [en ligne]. 2005. [Consulté le 21 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://cdn-asset-mel-1.airsquare.com/emnz/library/pdfs/EM-1_%20Hyacinth_research_on_roots.pdf.

BU, Yu-shan, MIAO, Guo-yuan, ZHOU, Nai-jian, SHAO, Hai-lin et WANG, Jian-cheng, 2006. Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility. In : *Scientia Agricultura Sinica*. 2006. Vol. 39, n° 5, p. 1069-1075.

CAMPS, Cédric, 2012. Souche de Lactobacillus utilisée comme agent de lutte biologique contre Pythium ultimum sur tomate. In : *ResearchGate*. 2012. Vol. 44, n° 6, p. 344-348.

CATALOGNA, Maxime, 2018. *Expérimentations de pratiques agroécologiques réalisées par des agriculteurs : proposition d'un cadre d'analyse à partir du cas des grandes cultures et du maraîchage diversifié dans le département de la Drôme* [en ligne]. thesis. S.l. : Avignon. [Consulté le 31 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.theses.fr/2018AVIG0705>.

- CHAVRIER, Caroline, 2019. *L'accompagnement d'expérimentations paysannes sur 3 ans : Amélioration des systèmes de production de cinq fermes maraîchères biodiversifiées sur petites surfaces*. Document ressource du mémoire de fin d'études. S.I. ISARA Lyon.
- COMMISSION EUROPÉENNE, 2007. *Règlement (CE) n° 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n° 2092/91* [en ligne]. 20 juillet 2007. S.I. : s.n. [Consulté le 10 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://data.europa.eu/eli/reg/2007/834/oj/fra>.
- DENNIS, Paul G., MILLER, Anthony J. et HIRSCH, Penny R., 2010. Are root exudates more important than other sources of rhizodeposits in structuring rhizosphere bacterial communities?: Root exudates and rhizosphere bacteria. In : *FEMS Microbiology Ecology*. 8 mars 2010. Vol. 72, n° 3, p. 313-327. DOI 10.1111/j.1574-6941.2010.00860.x.
- DONG, Qin'ge, YANG, Yuchen, YU, Kun et FENG, Hao, 2018. Effects of straw mulching and plastic film mulching on improving soil organic carbon and nitrogen fractions, crop yield and water use efficiency in the Loess Plateau, China. In : *Agricultural Water Management*. mars 2018. Vol. 201, p. 133-143. DOI 10.1016/j.agwat.2018.01.021.
- DUMOULIN, J. ((Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, LE BOT, J., MOUNIER, A. et FEVRE, P., 2002. Nitrogen content of melon: using the nitrogen management tool, 2. part. In : *Infos Ctifl (France)* [en ligne]. 2002. [Consulté le 29 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2003002523>.
- ECOBIO SOIL, 2020. Protocole - Test Bêche Vers de Terre. In : *EcoBioSoil* [en ligne]. 2020. [Consulté le 29 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page/protocole-participatif-test-beche-vers-de-terre>.
- EUROPEAN COMMISSION, 2012. *Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods* [en ligne]. Joint Research Centre Technical Notes. Luxembourg. Institute for Environment and Sustainability. [Consulté le 26 septembre 2020]. Database and Supporting Information. Disponible à l'adresse : <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/LCIA-characterization-factors-of-the-ILCD.pdf>.
- FORTIER, Jean-Martin, 2014. *The Market Gardener: A Successful Grower's Handbook for Small-scale Organic Farming*. New Society Publishers. Gabriola Island : s.n.
- FRISCHKNECHT, R., JUNGBLUTH, N., ALTHAUS, H.-J., BAUER, C., DOKA, G., DONES, R., HIRSCHIER, R., HELLWEG, S., KÖLLNER, T., LOERINCIK, Y., MARGNI, M. et NEMECEK, T., 2007. 3 : *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods* [en ligne]. Dübendorf. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. [Consulté le 26 septembre 2020]. Rapport EcoInvent. Disponible à l'adresse : https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/028/41028089.pdf?r=1.
- GUINÉE, J. B. (éd.), 2002. *Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards*. Dordrecht ; Boston : Kluwer Academic Publishers. Eco-efficiency in industry and science, v. 7. ISBN 978-1-4020-0228-1. TS161 .H362 2002
- HAMED, Hoda A., MOUSTAFA, Yomna A. et ABDEL-AZIZ, Shadia M., 2011. In vivo Efficacy of Lactic Acid Bacteria in Biological Control against *Fusarium oxysporum* for Protection of Tomato Plant. In : *Life Science Journal*. 2011. Vol. 8, n° 4, p. 462-468.
- HERVÉ-GRUYER, Perrine et HERVÉ-GRUYER, Charles, 2014. *Permaculture - Guérir la Terre, nourrir les Hommes*. Actes Sud. S.I. : s.n. Domaine du Possible.

- HIGA, T. et PARR, J. (University of Ryukyus Okinawa (Japan)), 1995. Beneficial and effective microorganisms in a sustainable agriculture and environment. In : *TechnoTrends (Philippines)* [en ligne]. 1995. [Consulté le 20 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PH9610388>.
- JORDÁN, Antonio, ZAVALA, Lorena M. et GIL, Juan, 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. In : *Catena*. avril 2010. Vol. 81, n° 1, p. 77-85. DOI 10.1016/j.catena.2010.01.007.
- JOUVE, Philippe, 1990. L'expérimentation en milieu paysan : démarches et méthodes. In : *Cahiers de la Recherche-Développement* [en ligne]. 1990. [Consulté le 23 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agritrop.cirad.fr/428050/>.
- KANNAN, N. Murugalatha, ABHIRAMY et RAJVANSKI, Prinyanka, 2014. Efficacy of a probiotic Lactobacillus as a biocontrol agent and plant growth promoting Bacteria by controlling Xanthomonas campestris infection in Chili plant. In : *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry*. 2014. Vol. 3, n° 4, p. 1016-1027.
- KAROUI, Lou, 2018. *L'accompagnement de l'expérimentation paysanne : entre production de références et capacitation des agriculteurs, le cas du maraîchage biodiversifié sur petite surface dans les Alpes-Maritimes*. Mémoire de fin d'études. S.I. Montpellier SupAgro.
- KEUSKAMP, Joost A., DINGEMANS, Bas J. J., LEHTINEN, Taru, SARNEEL, Judith M. et HEFTING, Mariet M., 2013. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. In : MULLER-LANDAU, Helene (éd.), *Methods in Ecology and Evolution*. novembre 2013. Vol. 4, n° 11, p. 1070-1075. DOI 10.1111/2041-210X.12097.
- LAMONT, John R., WILKINS, Olivia, BYWATER-EKEGÄRD, Margaret et SMITH, Donald L., 2017. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production. In : *Soil Biology and Biochemistry*. août 2017. Vol. 111, p. 1-9. DOI 10.1016/j.soilbio.2017.03.015.
- LASSAUQUE, Nicolas, 2020. *Prix des terres agricoles dans les Alpes-Maritimes*. Téléphone. 24 septembre 2020. S.I. : s.n.
- MAZOLLIER, Catherine, 2002. Les paillages biodégradables en maraîchage biologique. In : *Alter Agri* [en ligne]. avril 2002. n° 52. [Consulté le 23 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://abiodoc.docressources.fr/docnum/alteragri_52_2002_p16-18.pdf.
- MEAD, R. et WILLEY, R. W., 1980. The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. In : *Experimental Agriculture*. juillet 1980. Vol. 16, n° 3, p. 217-228. DOI 10.1017/S0014479700010978.
- MOREL, Kevin, 2016. *Viabilité des microfermes maraîchères biologiques* [en ligne]. Theses. S.I. : Université Paris-Saclay. [Consulté le 23 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02801554>.
- MULUMBA, Lukman Nagaya et LAL, Rattan, 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. In : *Soil and Tillage Research*. janvier 2008. Vol. 98, n° 1, p. 106-111. DOI 10.1016/j.still.2007.10.011.
- NORDIN, Nor Aniza, YUSUF, Norhayati et LANI, Mohd Nizam, 2017. Lactic acid bacteria (*Lactobacillus plantarum*) induced changes on the antioxidative activities of chilli (*Capsicum frutescens*). In : *Malaysian Applied Biology*. 2017. Vol. 46, n° 4, p. 149-156.

- OKORSKI, Adam, OLSZEWSKI, Jacek, PSZCZÓŁKOWSKA, Agnieszka et KULIK, Tomasz, 2008. Effect of Fungal Infection and the Application of the Biological Agent EM 1™ on the Rate of Photosynthesis and Transpiration in Pea (*Pisum Sativum* L.) Leaves. In : *Polish Journal of Natural Science*. 2008. Vol. 23, n° 1, p. 35-47. DOI 10.2478/v10020-008-0003-5.
- ORAB, 2020a. *L'agriculture biologique dans les départements de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur - Alpes-Maritimes - Edition 2020* [en ligne]. Chiffres clés au 31/12/2019. S.l. Observatoire Régional de l'Agriculture Biologique PACA. [Consulté le 24 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.bio-provence.org/IMG/pdf/2020_dep06.pdf.
- ORAB, 2020b. *Les filières agricoles biologiques de Provence-Alpes-Côte d'Azur - Maraîchage - Edition 2020* [en ligne]. Chiffres clés au 31/12/2019. S.l. Observatoire Régional de l'Agriculture Biologique PACA. [Consulté le 24 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.bio-provence.org/IMG/pdf/2020_maraichage.pdf.
- PARANTHOEN, Fanch, 2018. Lutte contre les adventices : Se passer du plastique en paillage maraîcher. In : *Journal Paysan Breton* [en ligne]. 19 novembre 2018. [Consulté le 23 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.paysan-breton.fr/2018/11/lutte-contre-les-adventices-se-passer-du-plastique-en-paillage-maraicher/>.
- PEIGNE, Joséphine, GAUTRONNEAU, Yvan, VIAN, Jean-François, ACHARD, Perrine, CHIGNIER-RIBOULON, Maxime, RUFFE, Lysiane et VASKOU, Claire, 2016. *Test Bêche - Guide d'utilisation* [en ligne]. Guide d'utilisation. Lyon. ISARA Lyon. [Consulté le 29 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://orgprints.org/31137/1/peigne-et-al-2016-GuideTestBeche-ISARA_Lyon.pdf.
- ROGERS, Everett M., 2003. *Diffusion of innovations*. Fifth edition, Free Press trade paperback edition. New York London Toronto Sydney : Free Press. Social science. ISBN 978-0-7432-2209-9.
- SAFER, 2020. *L'essentiel des marchés fonciers ruraux en 2019* [en ligne]. Synthèse. S.l. [Consulté le 24 septembre 2020]. Le prix des terres. Disponible à l'adresse : <https://www.safer.fr/app/uploads/2020/05/3-2020-SYNTHESEPDT2019-BD.pdf>.
- SINGH, Indu Shekhar, AWASTHI, O.P et RAI, N., 2016. Mulching in vegetable crops. In : *ResearchGate* [en ligne]. janvier 2016. [Consulté le 23 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/288808087_Mulching_in_vegetable_crops.
- SINGH, Jay Shankar, 2013. Plant Growth Promoting Rhizobacteria - Potential Microbes for Sustainable Agriculture. In : *Resonance*. mars 2013. p. 275-281.
- SOMERS, E., AMKE, A., CROONENBORGHS, A., OVERBEEK, L. S. van et VANDERLEYDEN, J., 2007. Lactic acid bacteria in organic agricultural soils. In : *Rhizosphere 2* [en ligne]. S.l. : s.n. 2007. [Consulté le 20 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://research.wur.nl/en/publications/lactic-acid-bacteria-in-organic-agricultural-soils>.
- SYNBIOVIE, 2020. Synbiovie, micro-organismes pour le jardinage et le potager. In : *Synbiovie* [en ligne]. 2020. [Consulté le 21 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.synbiovie.fr/boutique/maisons-et-jardins/test/em-fermente.html>.
- TEATIME4SCIENCE, Tea Bag Index, 2020. Teatime4Science – Teabag Index. In : [en ligne]. 2020. [Consulté le 21 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.teatime4science.org/>.
- TRIAS, Rosalia et BAÑERAS, Lluís, 2008. Lactic acid bacteria from fresh fruit and vegetables as biocontrol agents of phytopathogenic bacteria and fungi. In : *International Microbiology*. 2008. n° 11, p. 231-236. DOI 10.2436/20.1501.01.66.

VAN LOON, L. C., 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. In : *European Journal of Plant Pathology*. novembre 2007. Vol. 119, n° 3, p. 243-254. DOI 10.1007/s10658-007-9165-1.

VEDIE, Hélène, 2004. Raisonner sa fertilisation en maraîchage biologique. In : *Alter Agri*. 2004. n° 68, p. 19-22.

WEILL, Anne, DUVAL, Jean, ÉQUITERRE (ORGANISME) et BIO-ACTION (CLUB-CONSEIL), 2009. Module 8 - Chapitre 16 : Paillis, couvertures flottantes, mini-tunnels et grands tunnels. In : *Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée* [en ligne]. Montréal : Équiterre. [Consulté le 23 septembre 2020]. ISBN 978-2-922563-22-1. Disponible à l'adresse : https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=MARAI_table_des_matiere&op=pdf&app=Library.

Annexe I : Résumé du mémoire en anglais – Report summary

Context and objectives of the project

In France, organic farming is constantly evolving and represented 8,3% of the usable agriculture area in 2019. The Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) region has the most important organic farming area with nearly a third of the region itself (Bio de PACA, 2020). In the Alpes-Maritimes, usable agriculture area is about 21 % (ORAB, 2020a), and organic market gardening accounts for half of the area used for market gardening (ORAB, 2020b). At the same time, we observed that most farms (78 %) had a usable agriculture area under 2,5 hectares (ha) in the Alpes-Maritimes. These tendencies to maintain relatively small surfaces are linked to the very mountainous topography of the territory and the strong land pressure. As an example, 1 ha of lands is around 6 000 € in average in France (SAFER, 2020), versus 50 000 to 400 000 € in the Alpes-Maritimes (Lassauque, 2020). This land context of the territory clearly favors agricultural activities requiring small surfaces such as diversified organic market gardening, in the form of micro-farms (tab. 1). These agricultural systems are attracting more and more young project leaders, often from outside the agricultural sector, who are confronted with the technical and organizational complexity of small-scale diversified organic market gardening. At the same time, actors in the agricultural world suffer from a lack of data and references on this type of system and it is sometimes difficult for them to support producers and project leaders. It is therefore necessary to mobilize all these actors to acquire technical and economic references on small-scale diversified organic market gardening systems, while promoting exchange dynamics to improve these systems.

To reach these objectives, the organic farmer network of the PACA region launched the project “MiMaBio: small-scale diversified organic market gardening systems in the PACA region”, financed by the Agricultural European funds for rural development. The objective of this project is to better characterise these systems, by identifying how they work and the factors of success and failure, to improve the support of market gardeners and project leaders. Thus, MiMaBio project is based on 2 axes: peasant experiments and socio-economic surveys (fig. 1). Axis 1 corresponds to the experimental part of the project, which aims to characterise innovative agro-ecological practices through Farmer Field Experiments (FFE). The objective is to evaluate these innovative practices, to communicate about them and to produce decision-making tools for these FFEs. Axis 2 consists in analysing the evolution of these farming systems through socio-economic surveys and accounting analyses of several farms over different years. Farms of the project can be defined as labelled organic farms with most of its activity on market gardening, a high vegetable diversity (at least 15 species) cultivated under a 2,5-ha area and sold through short circuits. This report aims to develop axis 1 of the project on peasant experiments, which extended over 3 years of cultivation starting in 2018, with the year 2020 representing the 3rd and final year of the experiments. We will therefore have to answer the following question: **how can we characterise and evaluate agroecological practices in small-scale diversified organic market gardening systems through peasant experiments?**

This year, the experimental part of MiMaBio project made it possible to follow 7 peasant experiments in 5 farms spread across the Alpes-Maritimes (fig. 2). Within the framework of this report, 3 peasant experiments will be deepened and detailed:

- Effect of milk kefir in foliar and soil sprays on 4 varieties of tomatoes *Solanum Lycopersicum*,
- Impact of double mulching (hay-woven mulch) on the soil and 4 varieties of squash,
- Comparison of the sustainability of 2 trellis composed of cotton or plastic used for pole beans

The 4 other experiments are about crop association, irrigation systems and different soil covers (fig. 2).

The objective of this report is to evaluate the agroecological practices experimented through social, economic, environmental and technical aspects, in order to better guide market gardeners on their practices, to enable them to take ownership of the process of peasant experiments and ultimately to increase the sustainability of their farming system.

The first peasant experiment was about assessing the impact of foliar and soil sprays of milk kefir on tomato plants. As a start, we linked together several concepts about using microorganisms in agriculture: lactic acid bacteria, efficient microorganisms (EM), and more generally a concept around Plant Growth Promoting Microorganisms (Lamont et al., 2017). In fact, milk kefir microbial composition is very similar to the composition of the microorganisms studied and used in agriculture (tab. 3). Therefore, we supposed that spraying milk kefir would improve pests and disease resistance and plant development and increase microbial activity in soil. The experimental design of the experiment has been set up following 3 different factors: without kefir or with 2 different concentration of kefir (fig. 5). Several measurements have been made such as disease impact and severity, tomato plants vigor and production and microbial activity.

The second experiment aimed at reducing the impact of a strong exposition in summer combined with the use of plastic mulching (woven mulch) on soil quality. The farm of Mr et Mrs Noir is exposed to high temperatures during summer, and they feel that the soil biodiversity and structure is strongly impacted. That is why they started to add organic mulching underneath their plastic one, to keep a good soil structure, moisture, temperature and add organic matter (OM). For their 3rd year in the project, they kept experimenting this agroecological practice. Thus, the objective is to assess the impact of double mulching on the soil and the crop. It is therefore assumed that double mulching increases the soil water availability and reduces temperature variations, while at the same time providing OM that improves soil quality. We tested 2 factors across 4 planches of squash: double mulching with hay under the plastic woven mulch, and a simple mulching with only plastic mulch (fig. 13). We measured biological activity through earthworms and microorganisms, soil temperature and water availability, soil fertility and squash vigor.

The third experiment at Mr Barbe's farm aimed at comparing the sustainability of two trellis for pole beans *Phaseolus vulgaris*. To strongly limit plastic waste on the farm, Mr Barbe chose the alternative of biodegradable cotton trellis. The aim of the experiment was therefore to really evaluate the environmental impact of cotton and plastic trellis. Field measurements were used to complete the analysis of the trellis' sustainability through social and economic impact. The initial hypotheses followed the market gardener's common sense, namely that cotton has a lower environmental impact because it is compostable and made from vegetable matter, unlike plastic from the petrochemical industry, for identical efficiency in the field. We tested both trellis on a 50 m planche of pole beans. To assess the 'social' impact of trellis, we compared the field efficacy through fragility, working time and personal satisfaction of Mr Barbe. Then the 'economic' impact was assessed thanks to trellis prices. The 'environmental' impact has been assessed through a Life Cycle Assessment (LCA) of the trellis, where 9 impacts were estimated, and 2 were used for the social part of the sustainability (fig. 23). One factor

was added to the LCA, which corresponds to recycling of the plastic trellis at the end, because it is made from polypropylene (PP) which is 100% recyclable.

Main results

Milk kefir on tomato

It can be noted that the incidence of *Tuta absoluta* attacks is higher on plants of 3 varieties out of 4 for the Kefir and Control modalities. At the beginning, the least attacked modality is Kefir+. Two weeks later, this was only the case for the GZ variety, since 10% of the plants were affected, compared to 40% for the Control modality and more than 75% for the Kefir modality. The CDBO variety seems to be generally more resistant to *Tuta* (fig. 24). Two weeks after, *Pseudoidium neolycopersici* appeared and attacked more than 60% of tomato plants of 3 out of 4 varieties for the Kefir and Control modalities, and almost nothing for the Kefir+ modality. In the middle of July, we observed new unknown symptoms on the Kefir+ modality and were assimilated to moulds related to Kefir sprayings (fig. 26). Indeed, it is possible that these black spots are linked to the protein and lipid part of the kefir. Spraying was stopped at the end of July for this reason.

Plant vigor showed significant differences but no similar trends between varieties, we even observed opposed trends between NC and AN, and less significant results for CDBO. The cumulative yield per plant was evaluated during the first 3 weeks of production of the CDBO variety (fig. 28). It was observed that the Kefir modality produced the highest yield and Control the lowest.

Kefir modality seems to have the highest microbial activity, however the trends observed are not significant, but they do show a particular trend in the speed of degradation of the material between the 2 kefir treatments and the Control modality (fig. 29 and 30).

Calculation of the working time related to kefir preparation showed that for 2 L of kefir prepared each week, the total working time was evaluated at approximately 2 hours and a half per week, minimizing the tasks related to cleaning the containers used (tab. 12).

Double mulching on soil and squash

Compared to Control (simple mulching), double mulching showed the highest number of earthworms, after the cultivation cycle in September. The population is mainly from endogeic ecological category, with most adults in double mulching (tab. 13). Earthworm activity is therefore higher in double mulching. The microbial activity showed the opposite effect: Control showed faster decomposition of the matter than double mulching.

Concerning soil water availability, the tensiometric probes showed important waterlogging during the cultivation cycle, which may have induced root asphyxia. However, at 20 cm some parts of the graph show high values which means that water was missing at some point (fig. 33). Here we see that water is missing faster for double mulching than Control. For soil temperature, we observed higher temperature variations in the Control modality, where soil temperature was above 22°C during 47 days versus only 26 days in double mulching (fig. 35). This demonstrates the buffering effect of soil temperatures in double mulching. It also shows that Control modality may have increased the stimulation of microbial activity thanks to its higher soil temperatures.

However, the impact of double mulching on crop vigor showed no trends at all. It is linked to a poor development of the squash during the cultivation cycle all over the field. The nitrate content of the

soil rapidly decreased from July onwards to 10-15 N/ha, which is very low for a crop as greedy as squash. Measurements of nitrates in the petiolar juice of squash leaves (PILazo method) confirmed the trend by indicating a nitrate content of 100 mg/L in the leaves, which is much lower than the expected values of 3000 mg/L minimum for melons, same gender than squash (Dumoulin et al., 2002). The squashes were thus victims of nitrogen hunger, which was detrimental to crop vigor measures.

Trellis from cotton or plastic on pole beans

The economic impact of trellis is higher for cotton: 1 000 m of cotton trellis are 360 € versus only 240 € for plastic trellis.

The social impacts were measured through field efficiency, working time and two social categories from the LCA. Field efficiency of trellis has been globally validated for both types, however it is important to note that cotton trellis are more likely to break during strong winds in the field or when the crop becomes very heavy. The working time is low in both modalities if the crop at the end of the season is not separated from the trellis (cotton and PP), but it immediately becomes much more important if a separation is made for later recycling. The 2 categories of impact resulting from the LCA concerning human health are unanimous: cotton trellis is much more harmful to human toxicity and fine particle pollution than plastic (fig. 40).

The 7 environmental impacts measured by the LCA show that cotton trellis has a much higher life-cycle footprint (fig. 41). In most of the impacts, the LCA that most influences the outcome of cotton trellis is the transformation of the cotton fiber into trellis. The production of raw material also shows strong impacts of cotton, including the impact on global acidification, depletion of water, mineral and fossil resources, eutrophication, and land use.

For each factor within the economic, social, and environmental impacts, notes have been given to synthesize the results and give a clear comparison of trellis' sustainability (tab. 14). The final assessment has been summarized to visualize the durability of cotton, plastic, and plastic recycled trellis (fig. 42).

Discussion

Milk kefir on tomato

Due to the environmental context, the differences between varieties and the complexity of the interactions of kefir with the soil and the crop, the experiment struggled to show the effectiveness of kefir on tomatoes (fig. 45), but a high dose seems to provide better surface protection against pathogens but favors moulds. These moulds could however be reduced if a separation of the kefir beverage was carried out, in order to keep the clear phase containing the microorganisms without the cellular part of the kefir generating the moulds. In spite of the ease of self-production of such a product, the working time linked to its use is relatively important, which can represent a constraint for some market gardeners who do not buy milk and do not consume kefir on a daily basis. It would therefore be interesting to limit the contribution of kefir to the crop by carrying out 2 or 3 sprays during cultivation in order to limit the stressful effect of weekly applications, as well as an inoculation of the seeds before sowing. Moreover, the impact of kefir on the crop could not be analyzed because of a bias introduced a few weeks after planting: the rain. A slight slope at the beginning of the plot led to root asphyxiation of the young plants, which biased vigor and production measurements. We tried to take this bias into account when

calculating the yield for the least impacted variety: CDBO, which showed that the production was higher with low concentrated kefir sprayings. Kefir also increased microbial decomposition of the matter; more repetitions should be implemented to increase the strength of the results. Kefir seems to be nevertheless a promising agroecological alternative to manage certain pests and diseases, promote crop production and increase the soil's microbial activity, if time is devoted to its preparation.

Double mulching on soil and squash

Adding OM underneath the woven plastic mulch seems to have increased earthworms' activity, essential for soil functioning. However, higher microbial activity with simple mulching shows a trade-off between the advantages of both practices. One hypothesis for this trend is the increase of soil temperature with simple mulching, that displays higher variation, which may have helped microbial community to be more stimulated. In addition, climate conditions have not been as hot and drying this year, which has not impacted the soil structure between single and double mulching. This can be explained by the fact that soil structure is a longer-term soil pattern that reacts slowly to OM inputs.

Concerning the crop, the hypothesis of a potential nitrogen hunger due to the OM provided by double mulching has not been validated, in particular because of an initially nitrate hunger on the plot. This is related to the agroecosystem of Mr et Mrs Noir's farm, which does not receive any manure apart from their self-produced compost. Moreover, the availability of water has shown too frequent root asphyxia, which is harmful to the crop. Irrigation management should have been more frequent and in smaller quantities. The drip pipes placed above the hay also played a role in reducing water availability in double mulching, since the hay absorbed part of the irrigated water.

Trellis from cotton or plastic on pole beans

The sustainability assessment showed that cotton trellis is the least sustainable, as it has the highest economic, social, and environmental impacts. The most impacting life cycle step corresponds to the transformation of the fiber into cotton trellis. Compared to the simple extrusion process for plastic trellis, cotton fiber transformation includes many industrialized steps: fiber cleaning, carding, drawing, roving, and spinning / winding. It is important to note that the LCA used some modules from the SimaPro® database which do not correspond exactly to the processes carried out for the manufacture of trellis. But these stages remain negligible compared to all the stages in the transformation of the fiber into trellis.

The results are even more interesting if the recycling of plastic trellis is considered in the approach, although the social impact in terms of working time is higher. Taken to its extreme, the use of trellis for several years in a row makes it possible to divide the environmental and economic impacts by the number of years of reuse, which makes the use of plastic trellis indisputable. However, we must keep in mind the working time involved in sorting plastic trellis from crop at the end of the cultivation season, especially for a farm such as Mr Barbe where 450 linear meters of beans are grown each year. Indeed, this would involve 30 hours of work in all.

Conclusion

Facing a lack of support and technical data, small-scale diversified organic market gardeners are struggling to succeed in these systems. That is why peasant experiments from project like MiMaBio

are trying to bring back together all the actors from the agricultural world towards agroecological practices to improve farm sustainability.

The use of concentrated milk kefir decreased pests and diseases arrivals, and kefir itself seems to be an innovative alternative to increase microbial activity as well as tomato production. In a changing environmental context, double mulching protects the soil from drying conditions while increasing biological activity. Comparing the overall environmental impacts of two trellis is also an innovative way to apply LCA to current questions raised by market gardeners, to increase their farm sustainability.

Nowadays, agroecology brings together several concepts that needs to consider new objects from the agroecosystems: soil, biodiversity, microorganisms, etc. Moreover, the results obtained from new practices strongly depend on biotic and abiotic conditions, but also on the agroecosystem of the farm. That is why we need to multiply initiatives like peasant experiments, where farmers take back the central place they have in the functioning of our society. Behind this project, agroecology is thus a choice to make for everybody, by adapting each practice to our own context, for tomorrow agriculture.

Annexe II : Préfiguration de l'expérimentation « couverture du sol hivernale et impact sur le sol et la culture de tomate » chez Mme CASSARD

Préfiguration de l'expérimentation à la Cabane à Safran (Mme CASSARD)

Evaluation de l'impact de 2 types de couverts hivernaux (paille et engrais vert) sur la culture de tomates et sur le sol

❖ Contexte et objectifs

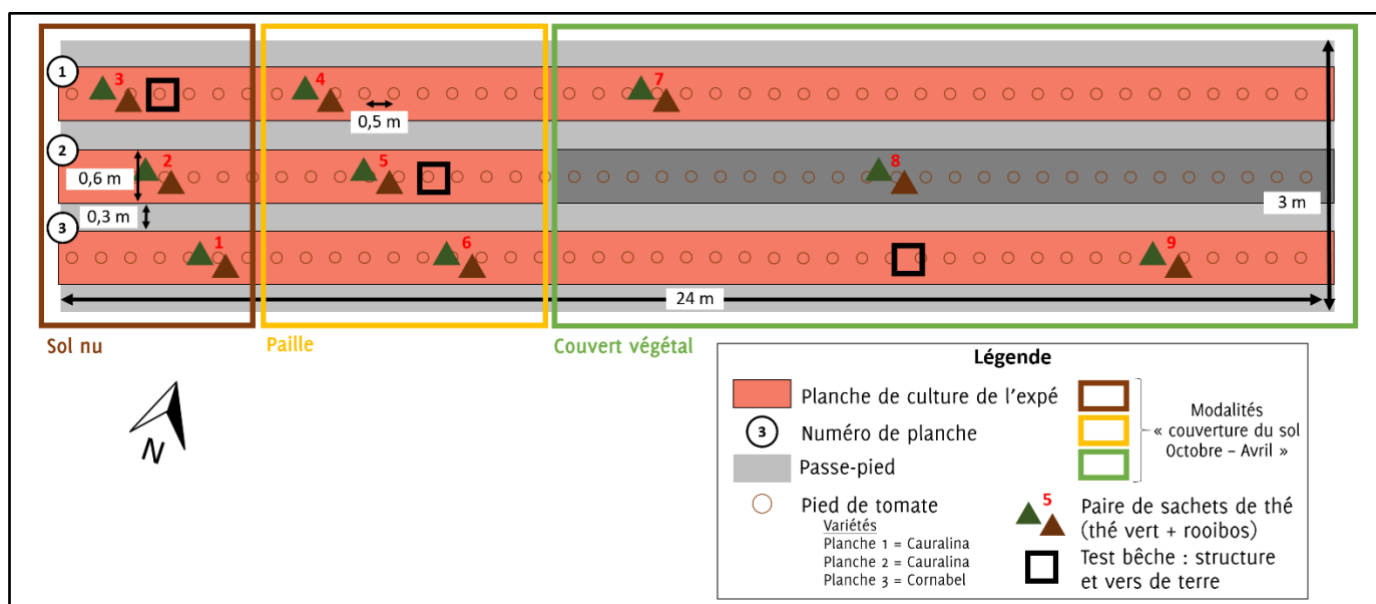
La ferme 'La Cabane à Safran' est située à Venanson dans l'arrière-pays Niçois, à proximité du Parc National du Mercantour. La ferme est positionnée dans la vallée de la Vésubie à 940 m d'altitude, encaissée entre 2 montagnes, ce qui lui confère un climat particulier. En effet, durant la période hivernale la ferme est peu exposée aux rayons du soleil à cause d'une montagne au sud, ce qui réduit considérablement les possibilités de culture maraîchère. Les sols sont donc à nu pendant cette période, et sont susceptibles de se dégrader via l'érosion et les phénomènes de gel/dégel.

L'objectif de cette expérimentation est donc d'évaluer l'effet des couvertures de sol en hiver, pour préserver le sol des contraintes climatiques telles que le gel et la neige, améliorer la reprise de ce dernier au printemps, et limiter la pression des adventices. On suppose que cela permettrait d'améliorer la qualité biologique du sol, la disponibilité en azote (N), et donc la culture du printemps suivant, ici la tomate.

❖ Itinéraire technique (ITK) et calendrier de l'expé

ITK	2019			2020								
	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	
Préparation du sol	Couverture du sol : sol nu, engrais vert ou paille						Motoculteur à dent		Grelinette			
Amendements et paillages	Pose de la paille 1,5 kg/m ²						Broyage	Occultation (bâche)		Toile de jute		
Plantation / Semis	Semis d'engrais vert 2/3 orge 1/3 pois							Plantation tomate				
Fertilisation						Bouchons (Riegel + Duetto)			Purin ortie-prêle-consoude 3 fois			
Entretien de la culture									Egourmandage 2 fois		Récolte	
Irrigation									1 ligne Goutte à Goutte : tous les 2j pendant 3h			
Suivi	✓											✓ Visites toutes 2 semaines

❖ Plan de l'expé et modalités



2 variétés : Cauralina et Cornabel → *Une variété / rang*

La modalité 1 est la modalité 'témoin', elle correspond à l'absence de couverture du sol *i.e.* à un sol laissé à nu entre 2 saisons maraîchères.

Hyp : On s'attend à observer un développement plus important des adventices, une couche supérieure du sol plus tassée, sèche et fissurée, et donc un fonctionnement du sol ralenti car directement exposé aux températures plus froides durant l'hiver.

La modalité 2 "paille" permet de comparer la couverture d'un sol avec de la matière organique sèche, qui peut être mise en place tardivement l'hiver.

Hyp : On s'attend à observer un sol dont la température baisse moins que la modalité témoin, plus riche en matière organique, avec une vie du sol mieux protégée, qui n'a pas laissé trop d'adventices se développer. La culture devrait alors pouvoir s'implanter et se développer plus rapidement. Il y a cependant un risque de faim d'azote potentielle.

La modalité 3 "Couvert végétal" est la modalité d'intérêt, qui semble la plus efficace et permet une couverture du sol qui mobilise les éléments nutritifs en plus d'enrichir le sol et de conserver son humidité, sa structure et sa biodiversité

Hyp : On s'attend à observer un sol dont la température baisse moins. L'association céréale-légumineuse permet à la fois de structurer le sol (céréales), d'enrichir le sol en azote (légumineuse) et d'enrichir le sol en matière organique. Le sol devrait avoir conservé sa structure, son humidité et sa qualité biologique, permettant une meilleure vigueur tout au long du cycle de la culture. Les besoins d'N devraient être moins importants. Les adventices devraient être moins présentes pendant la saison. Il y a cependant un risque de faim d'azote potentielle liés aux résidus.

❖ Données mesurées : protocoles

1) Recouvrement du couvert, des adventices, et de la culture

Déjà fait par Mme Cassard suivant le protocole fourni par Agribio06

Dans le but de connaître l'impact d'une couverture du sol sur le développement des adventices entre 2 saisons maraîchères (Octobre-Avril), le **recouvrement du couvert et des adventices a été évalué**. En effet, si le couvert se développe moins rapidement que les adventices, alors son efficacité escomptée sera réduite pendant et après la période.

Remarque : ces estimations de recouvrement ont été réalisées par Mme Cassard à la fin de l'hiver, avant broyage de l'engrais vert et passage au motoculteur.

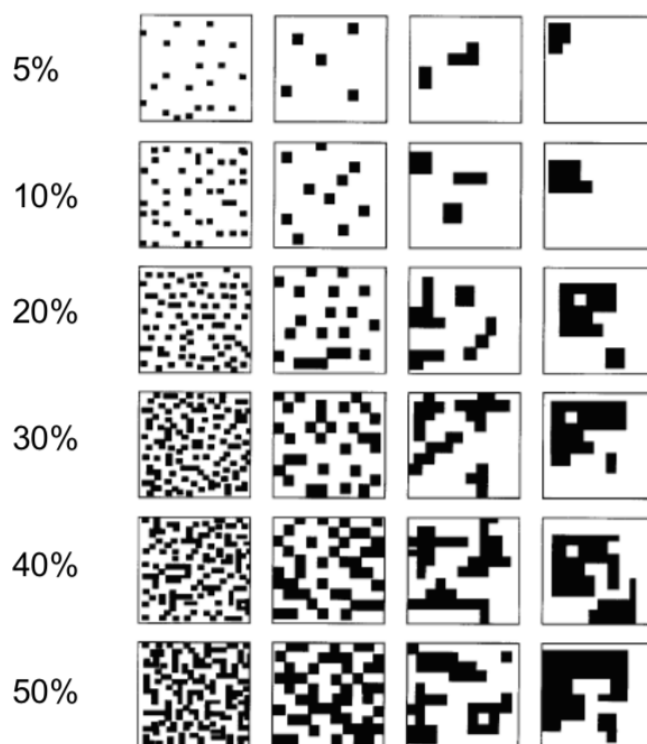
Principe : mesurer le recouvrement en % de la culture et des adventices.

Méthode dans le cadre de l'expé :

A l'aide de l'échelle de Braun-Blanquet ci-après :

- Déterminer le recouvrement de chaque **modalité**, faire une moyenne des 3 planches
 - Déterminer le recouvrement des **adventices** pour les 3 planches de chaque modalité, faire une moyenne des 3 planches
- Déterminer les adventices majoritaires pour chaque modalité et leur proportion

Fiche d'estimation du recouvrement du sol par les cultures et les adventices et/ou le mulch ainsi que par les cailloux



Bayley, D (2001) Efficient Weed Management. NSW Agriculture Paterson NSW.

2) Reprise du sol

La reprise du sol est un terme peu précis pour caractériser le comportement du sol lors du démarrage de la nouvelle saison, au printemps. En sortie de l'hiver, le sol se réchauffe petit à petit, et

permet l'implantation des cultures. Cette vitesse de reprise est importante puisqu'elle permet des conditions plus ou moins optimales lors de l'implantation de la culture.

Par définition, la reprise du sol doit donc être mesurée idéalement pendant la transition hiver-printemps (période mars/avril), et après (période mai à août). En plus de cela, on cherche à évaluer l'humidité du sol, sa température, sa structure et sa qualité biologique. Malheureusement les circonstances actuelles ne nous permettent pas de réaliser ces mesures sur le terrain, nous utiliserons donc les **ressentis et appréciations de Mme Cassard elle-même**. Il sera donc question de caractériser la reprise du sol selon des critères qualitatifs grossiers, mais tout de même importants :

Méthode :

> En début de matinée (9h-10h) et pour chaque modalité de la parcelle, prélever des mottes de terre à au moins 3 endroits différents choisis au hasard. Utiliser une bêche ou fourche-bêche, et prélever à environ 10 cm de profondeur.

> Pour chaque variable mesurée (qualitativement), il s'agira de travailler sur ces mottes prélevées au préalable

Humidité ressentie :

> Apprécier l'humidité des mottes :

Humidité : 1 (sec) - 2 - 3 - 4 - 5 (très humide)

Caractéristiques physiques du sol :

> Sur les mottes prélevées, décrire leur texture :

Dur - Moyennement meuble - Meuble → comparer les modalités entre elles

Caractéristiques biologiques : présence de petits vertébrés, de vers de terre

> Au moment du prélèvement des mottes :

Observe-t-on une différence au niveau de la macrofaune ?

3) Vie du sol

Activité microbienne du sol : sachets de thé (vert et rooibos)

L'Indice du Sachet de Thé, Tea Bag Index en anglais (TBI) est un indicateur de l'activité de dégradation de la MO par les microorganismes et la mésofaune du sol.

Principe : Cette technique consiste à implanter des sachets de thé vert et rooibos dans le sol. Les données extraites de ce protocole amènent à calculer le **pourcentage de perte massique** de thé, et à le comparer avec les différentes modalités pour quantifier l'activité microbienne du sol.

Cf. fiche "Sachets de thé" dans le dossier "Protocoles"

Méthode dans le cadre de l'expé :

On implante 3 paires de sachets de thé / modalité, idéalement en diagonale et une paire (thé vert et rooibos) sur chaque planche de tomates. Voir dans plan d'expé.

NB : On implante en plus une paire de sachets de thé dans la modalité engrais vert pour évaluer l'état de décomposition des sachets après 45j.

4) Teneur en azote nitrique

Principe : Mesurer la teneur en nitrates d'un sol, pour évaluer si les teneurs en nitrate du sol sont suffisantes, et adaptées aux besoins de la culture.

Cf. fiche "Nitratest" dans le dossier "Protocoles"

Méthode dans le cadre de l'expé :

Pour les 3 modalités, prélever les 8 carottes aléatoirement et de manière homogène dans la parcelle, et procéder comme indiqué dans le protocole.

5) Vigueur générale

Principe : La vigueur générale d'une culture est un indicateur d'état global d'une culture, qui permet de mesurer son bon développement dans un environnement donné. Elle prend en compte de nombreux paramètres : la couleur des plantes, leur port, leur développement, le diamètre des tiges, etc.

Cf. fiche "Vigueur générale" dans le dossier "Protocoles"

Fréquence de mesure : toutes les 2 semaines

Méthode dans le cadre de l'expé :

1- On réalise un tour complet d'une variété de la parcelle, afin de noter les plants les moins vigoureux (note minimale) et les plus vigoureux (note maximale) au sein de cette variété.

2- Une fois le tour complet d'une variété réalisé, on passe ensuite dans chaque modalité, et on donnera une **note par zone**. Cette zone sera définitive pour la suite de l'expé, ici elles seront délimitées par les arceaux du tunnel, qui sont aussi les points de référence qu'a choisi Mme Cassard pour mettre en place ses couverts durant l'hiver. Dans le cas des modalités sol nu et paille, la note sera unique, puisque la zone en question ne regroupe que 2-3 plants (sol nu), ou 7-8 (paille).

Remarque : ce mode opératoire doit s'effectuer variété après variété, toutes modalités confondues. En effet, chaque variété ne va pas forcément répondre de la même manière à l'expérimentation, et n'aura donc pas la même vigueur.

!/! ATTENTION !/! La vigueur est une mesure relative à la parcelle. Ainsi, des cultures de différentes exploitations peuvent avoir la même note bien que leurs vigueurs diffèrent complètement.

Annexe III : Préfiguration de l'expérimentation « couverture des passe-pieds : trèfle et serpolet » chez Mr et Mme Noir

Préfiguration de l'expérimentation 2 à la ferme de Lou Preï (Mr et Mme NOIR)

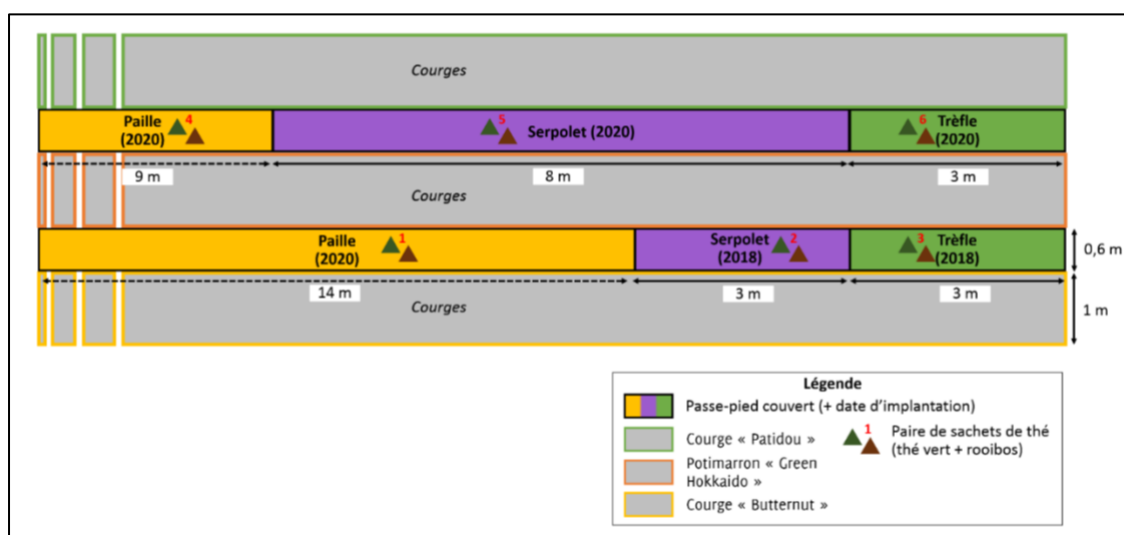
Expé 2 : Gestion de l'enherbement des passe-pieds par la mise en place d'un couvert végétal (trèfle ou serpolet)

❖ Contexte et objectifs

Dans une démarche d'autonomie, Mr et Mme Noir cherchent à diminuer au maximum leur achat d'intrants à l'extérieur et à protéger leur sol. Ils améliorent constamment leur système, tout en prenant en compte l'environnement dans lequel ils se trouvent, leur rentabilité et leur bien-être au travail.

Afin d'optimiser leur temps de travail pendant la saison, ils aimeraient **limiter l'enherbement des passe-pieds**, très chronophage en temps de désherbage. Ainsi, ils ont mis en place en 2018 deux couverts végétaux : le **trèfle blanc**, plante légumineuse vivace, et le **serpolet**, plante rustique et locale. Tous les deux ont prouvé leur efficacité afin de limiter l'enherbement et les temps de désherbage en 2019. Mr et Mme Noir ont donc implanté un second passe-pied identique en avril 2020, et décidé de poursuivre l'étude sur ces 2 passe-pieds.

❖ Plan de l'expé et modalités



Sur 2 passe-pieds autour d'une planche de courges

Un premier passe-pied a été implanté en mai 2018, le second passe-pied début avril 2020

Modalité 1 : **Paille** ; apportée au printemps 2020

Hyp : On s'attend à observer un bon maintien de l'humidité du sol, mais un plus grand recouvrement par les adventices que dans les modalités 1 et 2.

Modalité 2 : **Trèfle** ; repiqué en 2018 et 2020

Hyp : -passe-pied implanté en 2018 → peu d'adventices et bon recouvrement

-passe-pied implanté en 2020 → recouvrement plus rapide et avec moins d'adventices que dans le serpolet

Modalité 3 : **Serpolet** ; repiqué en 2018 et 2020

Hyp : -passe-pied implanté en 2018 → peu d'adventices et bon recouvrement

-passe-pied implanté en 2020 → recouvrement plus lent, avec plus d'adventices que le trèfle

❖ Données mesurées : protocoles

1) Recouvrement du sol par le couvert et les adventices

Principe : évaluer la vitesse de recouvrement des couverts et leur capacité à étouffer les adventices dans les passe-pieds.

Fréquence de mesure : toutes les 3 semaines, à chaque passage

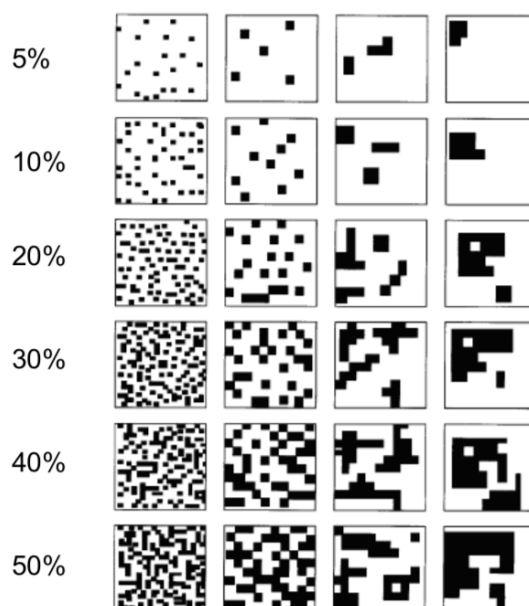
Méthode dans le cadre de l'expé :

!/ Bien différencier le passe-pied où les couverts ont été implantés en 2018, et celui où ils ont été implantés cette année !/

A l'aide de la fiche d'estimation du recouvrement ci-après :

- Déterminer le recouvrement de chaque **modalité** : paille-serpolet-trèfle
- Déterminer le % de sol nu
- Déterminer le recouvrement des **adventices** pour les 3 modalités, puis identifier les adventices majoritaires pour chaque modalité et leur proportion
- Observer aussi si les passe-pieds **envahissent la culture** / interfère sur la planche

Fiche d'estimation du recouvrement du sol par les cultures et les adventices et/ou le mulch ainsi que par les cailloux



Bayley, D. (2001) Efficient Weed Management. NSW Agriculture Paterson NSW.

2) Structure et vie du sol : sachets de thé, tarière et tassement

Activité microbienne du sol : sachets de thé

Cf. fiche "Sachets de thé" dans le dossier "Protocoles"

Méthode dans le cadre de l'expé :

On implante 2 paires de sachets de thé / modalité, une paire (thé vert et rooibos) sur chaque passe-pied.
Voir dans plan d'expé.

Ressenti sur l'humidité et la structure du sol sur la couche supérieure

Mesure qualitative afin d'estimer les différences d'humidité du sol entre les modalités.

Les observations se feront sur chaque passe-pied, dans les 15 premiers cm du sol. Prélever à la tarière, à raison de **3 prélèvements / modalité / passe-pied**

3) Satisfaction des producteurs

Temps de travail

Principe : afin d'évaluer l'impact des couverts sur le temps de travail, il sera estimé en considérant l'implantation des couverts, et l'entretien (désherbage principalement).

Méthode dans le cadre de l'expé :

Chronométrage du temps d'entretien de la parcelle, pour chaque modalité, bien différencier les 2 passe-pieds du fait de leur implantation respective en 2018 et en 2020.

Une **fiche d'estimation du temps de travail** sera fournie aux producteurs pour qu'ils puissent noter et évaluer ce temps de travail.

Satisfaction personnelle

Il est important que le ressenti des maraîchers soit pris en compte sur des aspects plus qualitatifs comme le bien-être, l'aspect visuel, l'odeur (pour le serpolet surtout), etc.

4) Vigueur générale et rendement

Principe : un potentiel lien sera évalué entre le développement de la culture (vigueur et rendement mesurés dans l'expé 1 double paillage) et les passe-pieds en fonction de la proximité de ces derniers par rapport à la culture.

Annexe IV : Préfiguration de l'expérimentation « Comparaison de 2 systèmes d'irrigation localisée : goutte à goutte et microporeux » chez Mr BARBE

Préfiguration de l'expérimentation 2 à la Ferme des Bourfiers (Mr BARBE)

Expé 2 : Evaluation de deux types de systèmes d'irrigation sur culture de haricot : le goutte à goutte et le microporeux

❖ Contexte et objectifs

Mr Barbe, propriétaire de la Ferme des Bourfiers, aimerait améliorer ses techniques de cultures, notamment pour diminuer son utilisation de plastique, sa consommation d'eau. C'est dans ce contexte qu'on peut comprendre les objectifs de Mr Barbe, qui sont d'optimiser la durabilité de son système.

Pour cette **première année de GOPEI**, Mr Barbe a voulu travailler sur une de ses cultures majoritaires : le haricot vert à rames. Ici, on travaillera sur la comparaison de 2 types de filets à ramer : coton ou plastique, ainsi que sur 2 systèmes d'irrigation : goutte à goutte ou microporeux/suintant.

L'expérimentation 2 permet d'évaluer quel système d'irrigation est le plus adapté pour la culture de haricots verts à rames de Mr Barbe. En effet, il a constaté l'année dernière que le microporeux utilisé sur carottes était bien plus efficace que le goutte à goutte (GaG). Cela serait dû à l'hétérogénéité de l'irrigation du GaG, qui irrigue via des goutteurs tous les 20 cm, il serait donc moins adapté pour irriguer une ligne continue de culture telle que la carotte, où les espacements sont faibles. De plus, le microporeux semble plus adapté à la configuration de son réservoir d'eau qui délivre une pression relativement basse, et ne pas subir d'obstruction par le calcaire, contrairement au GaG jetable ou permanent.

❖ Itinéraire technique de l'expé

!! Les 2 expés de Mr Barbe se font sur la même parcelle !!

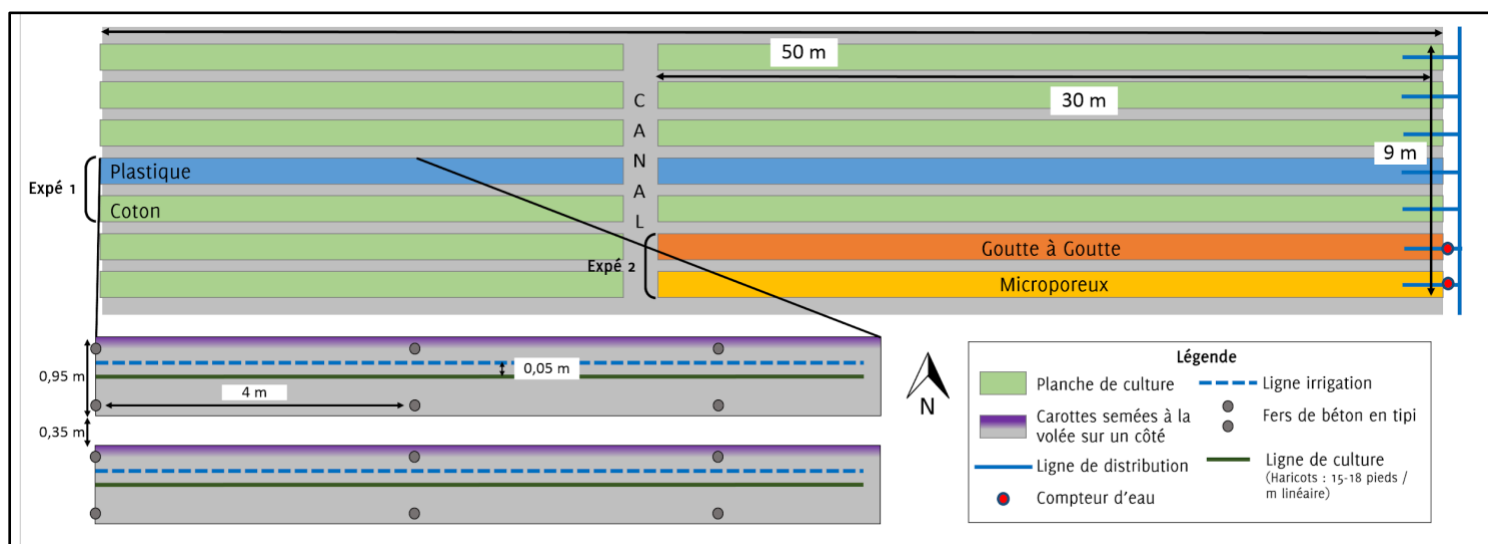
ITK	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE
Préparation du sol				Rotavator (fraise) sur 10 cm			Désherbage : 4 binages (Griffe)		
Amendements et paillages	Fumier de brebis 5-6 T/ha								
Plantation / Semis				1 ^{er} semis 15-20 pieds / m linéaire	2 ^{ème} semis	3 ^{ème} semis			
Entretien de la culture			Mise en place des filets à ramer			Début des récoltes	Fertirrigation : purins d'ortie, consoude + autres herbes		Fin des récoltes = 1ères gelées
Irrigation				1 ligne goutte à Goutte : tous les jours, 20 min au début, 1h15 ensuite					
Suivi			✓	✓ Visites toutes les 3 semaines			✓		

❖ Plan de l'expé et modalités

Parcelle

Surface : 350 m linéaires de haricots verts à rames, variété Neckarkönigin

7 planches de 80 cm de large x 50 m de long, séparées en 2 par un chemin / canal



La modalité 1 “Goutte à Goutte (GaG)” est la modalité “témoin”, elle correspond à l’utilisation d’un système d’irrigation par goutte à goutte, avec goutteurs espacés de 20 cm

Hyp : Le système GaG n’est pas adapté à la culture de haricots plantés en ligne avec un faible espacement, du fait de l’hétérogénéité de l’irrigation sur la ligne. De plus, leur durée dans le temps est limitée à cause de la haute dureté de l’eau dans la région. La consommation d’eau est aussi accrue avec ce système

La modalité 2 “Microporeux” est le système d’irrigation que Mr Barbe aimerait développer, c’est un tuyau suintant sur toute sa longueur, via des microporosités.

Hyp : Le système microporeux serait plus adapté à l’irrigation de cultures plantées en ligne avec un faible espacement. Leur durée dans le temps serait plus longue, mais il faut cependant vérifier cette efficacité vis à vis de la dureté de l’eau. Le microporeux semble aussi réduire la consommation d’eau.

Modalité 1 : GaG T-Tap, goutteurs à 20 cm, de la marque Rivulis

Modalité 2 : Microporeux / Tuyau suintant Visa Reg (anciennement Poritex), de la marque Ventas Internacionales

❖ Données mesurées : protocoles

Fréquence de passage à la ferme : toutes les 3 semaines

1) Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques des systèmes sera mesurée, afin d'évaluer si chaque système fonctionne correctement, dans les bonnes conditions, et si il n'y a pas de problèmes lors de l'irrigation, ou de tuyau bouchés, notamment en fin de saison.

Méthode dans le cadre de l'expé :

On évaluera,

- Le volume irrigué à chaque entrée d'eau (compteurs)
- La pression appliquée pour les 2 systèmes
- L'homogénéité de l'irrigation entre le début et la fin de la planche (possibilité de perte de charge)
- L'état des tuyaux à la fin de la saison

2) Recouvrement des adventices et de la culture

On pourra mesurer le **recouvrement de la culture et des adventices**, afin d'évaluer l'impact des modalités sur la pression des adventices.

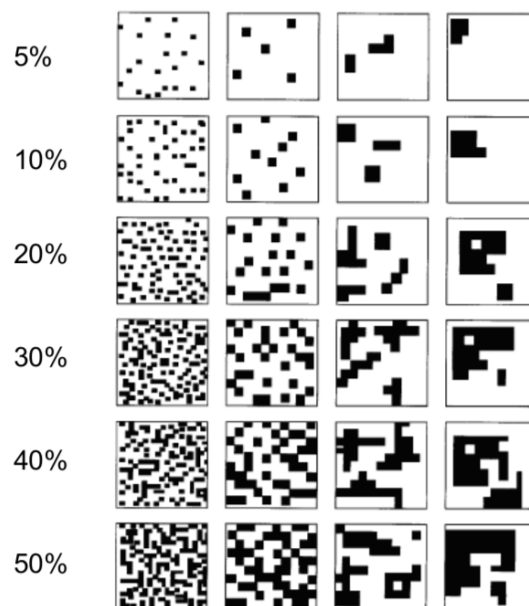
Principe : mesurer le recouvrement en % de la culture et des adventices.

Méthode dans le cadre de l'expé :

A l'aide de l'échelle de Braun-Blanquet ci-après :

- Déterminer le recouvrement de chaque **culture**,
 - Déterminer le recouvrement des **adventices** de chaque modalité, faire une moyenne par zone de 4 m de long (car la planche est longue de 50 m)
- Déterminer les adventices majoritaires pour chaque modalité et leur proportion

Fiche d'estimation du recouvrement du sol par les cultures et les adventices et/ou le mulch ainsi que par les cailloux



Bayley, D (2001) Efficient Weed Management. NSW Agriculture Paterson NSW

3) Temps de travail

Principe : Mesurer le temps de travail alloué à l'installation et désinstallation des 2 systèmes, ainsi que celui lié au désherbage.

Méthode dans le cadre de l'expé :

Chronométrage du temps d'entretien de la parcelle, pour chaque modalité.

Une **fiche d'estimation du temps de travail** sera fournie à Mr Barbe pour qu'il puisse noter et évaluer ce temps de travail.

4) Satisfaction personnelle

Il est important que le ressenti de Mr Barbe soit pris en compte sur l'efficacité des systèmes, la praticité, etc.

Méthode dans le cadre de l'expé :

Une série de questions sera posée afin d'évaluer la satisfaction de Mr Barbe pour l'une et l'autre des modalités, selon ses critères personnels.

5) Coûts économique

Les coûts économiques des systèmes d'irrigation et leur durée d'utilisation dans le temps seront évalués.

Méthode : les coups seront estimés par des recherches biblio, et par les factures de Mr Barbe.

Annexe V : Préfiguration de l'expérimentation « Association courge-haricot grimpant » chez Mr COLLOMP (JVS)

Préfiguration de l'expérimentation aux Jardins de la Vallée de la Siagne (JVS)

Evaluation de la performance d'une association courges-haricots à rames

❖ Objectifs

Mr Collomp (responsable de l'expé aux JVS) souhaite optimiser sa surface en associant les cultures. Ainsi, il aimerait intensifier ses cultures de courges et haricots, en les cultivant sur une même planche.

❖ Contexte de l'étude

Aujourd'hui, les associations reposent sur la complexification des systèmes de cultures, en essayant d'associer des cultures sans avoir d'effets négatifs sur leur développement respectif. En effet, la courge est une culture rampante, qui ne s'étend pas en hauteur, tandis que le haricot à rames va spécialement chercher la lumière en hauteur. Cette association "**haricot (légumineuse) - courge (culture gourmande)**" est d'autant plus intéressante qu'elle offre de potentiels bénéfiques à la courge. Cependant, la compétition reste tout de même plus probable qu'en monoculture, elle est donc aussi à prendre en compte.

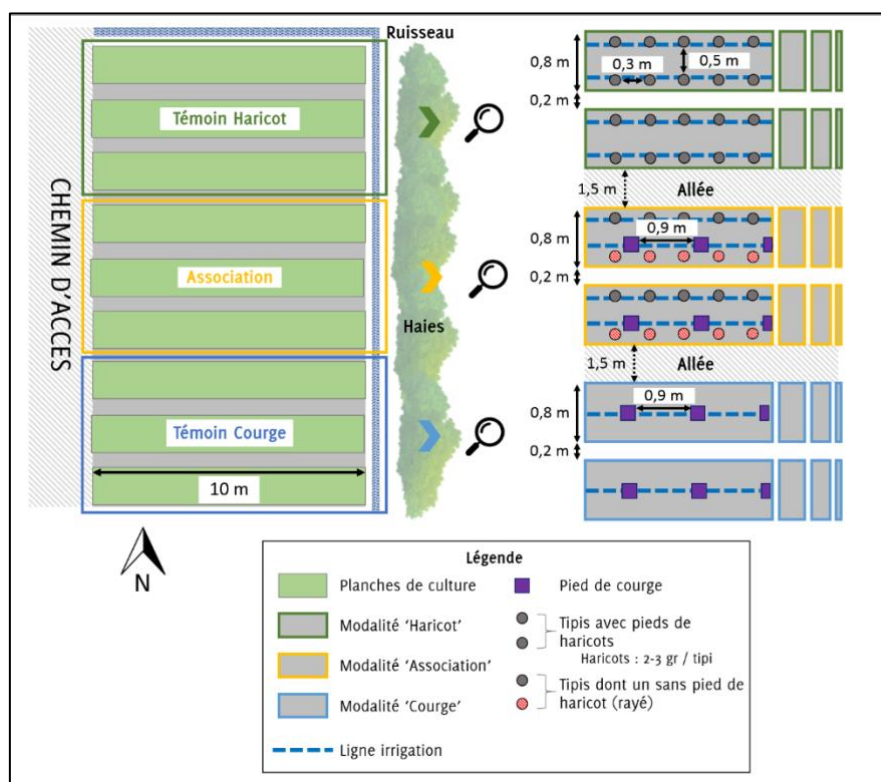
Dans un contexte où Mr Collomp doit gérer une main d'oeuvre importante et souvent peu en cours d'apprentissage, la **3ème année du projet GOPEI** a amené à simplifier l'expé. En effet, le dispositif passe de 4 associations en 2018, à 3 en 2019, puis 2 cultures associées en 2020, afin de **mieux contrôler chaque paramètre**.

❖ ITK et calendrier de déroulement de l'expé

ITK	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE
Préparation du sol		Rotobèche				
Amendements et paillages		Fumier de cheval				
Plantation / Semis	Semis courges en mottes	Plantation courges + Semis Haricots				
Entretien de la culture			Désherbage		Récolte Haricots	Récolte Courges
Irrigation		1 ligne de goutte à goutte par ligne de culture : 2x / semaine, ½ journée				
Suivi		✓	✓	✓	✓	✓

Fréquence de passage dans l'exploitation : toutes les 2-3 semaines

❖ Plan de l'expé et modalités



Les modalités 1 et 2 sont les modalités “témoins”, elles correspondent aux cultures respectives des courges seules et des haricots seuls.

Hyp : On s'attend à observer des cultures qui se développent de manière similaire à de la monoculture

La modalité 3 “Association” permet d'évaluer l'efficacité de l'association courge-haricot, au niveau du rendement et du temps de travail.

Hyp : On s'attend à observer des cultures qui se développent bien, et donnent un rendement à la surface au moins égal à celui des cultures seules, ou supérieur. On s'attend également à plus de compétition avec les cultures. De plus, l'espace pris par les cultures associées permettrait de réduire la pression des adventices.

❖ Données mesurées : protocoles

1) Vigueur générale

Principe : La vigueur générale d'une culture est un indicateur d'état global d'une culture, qui permet de mesurer son bon développement dans un environnement donné. Elle prend en compte de nombreux paramètres : la couleur des plantes, leur port, leur développement, le diamètre des tiges, etc.

Cf. fiche “Vigueur générale” dans le dossier “Protocoles”

Fréquence de mesure : toutes les 2 semaines

Méthode dans le cadre de l'expé :

1- On réalise un tour complet pour chaque espèce (courge et haricot) de la parcelle, afin de noter les plants les moins vigoureux (note minimale) et les plus vigoureux (note maximale) au sein de cette variété.

2- Une fois le tour complet réalisé, on passe ensuite dans chaque modalité, et on donnera une **note par plant pour la courge (il n'y en a qu'une dizaine / planche)**, puis une **note par zone pour les haricots (zone d'environ 1 m délimitée)**.

Remarque : ce mode opératoire doit s'effectuer espèce après espèce, toutes modalités confondues.

2) Taux de recouvrement de la culture et des adventices

Principe : mesurer le recouvrement de la culture ainsi que celui des adventices, afin d'évaluer l'effet de l'association sur la pression des adventices.

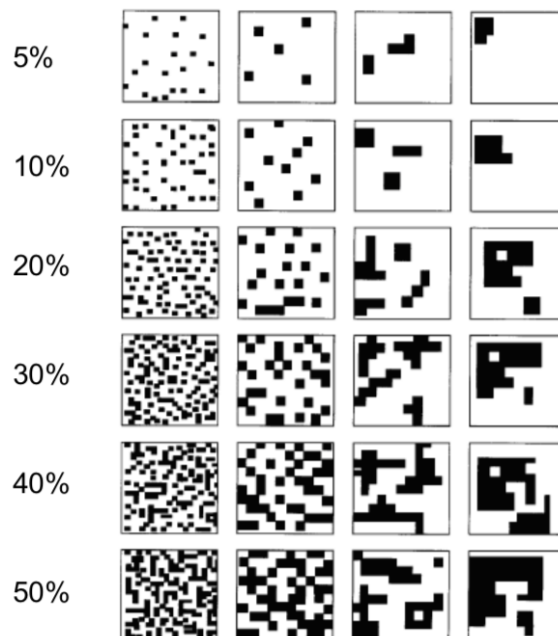
Fréquence de mesure : toutes les 2 semaines

Méthode dans le cadre de l'expé :

A l'aide de l'échelle de Braun-Blanquet ci-après :

- Déterminer le recouvrement de chaque **modalité**, faire une moyenne des 3 planches
 - Déterminer le recouvrement des **adventices** pour chaque planche de chaque modalité, faire une moyenne des 3 planches
- Déterminer les adventices majoritaires pour chaque modalité et leur proportion

Fiche d'estimation du recouvrement du sol par les cultures et les adventices et/ou le mulch ainsi que par les cailloux



Bayley, D (2001) Efficient Weed Management. NSW Agriculture Paterson NSW.

3) Temps de travail

Principe : afin d'évaluer l'impact de l'association de culture sur le temps de travail, il est nécessaire de mesurer le temps alloué à l'entretien durant le cycle des cultures et à la récolte. Ici, il correspondra surtout au désherbage et à la récolte.

Remarque : Ce temps de travail restera dans tous les cas très faible et l'entretien peu fréquent, afin d'éviter les passages à répétition dans la parcelle.

Fréquence des mesures : dès qu'un entretien est nécessaire

Méthode dans le cadre de l'expé :

Chronométrage du temps d'entretien de la parcelle, pour chaque modalité.

Une **fiche d'estimation du temps de travail** sera fournie à Mr Collomp pour qu'il puisse noter et évaluer ce temps de travail.

4) Rendements : calcul du Land Equivalent Ratio (LER)

Principe : Le calcul du LER permet d'évaluer l'**efficacité de l'association** en comparant les rendements des cultures associées avec les rendements des cultures seules. Le LER s'interprète comme étant la surface de cultures pures nécessaire pour obtenir la même production (même quantité et même proportion) qu'un hectare de mélange (Willey, 1979).

$$\text{LER} = (\text{Rdt asso leg1} / \text{Rdt seule leg 1}) + (\text{Rdt asso leg2} / \text{Rdt seule leg2})$$

Dans le cas présent :

$$\text{LER} = (\text{Rdt asso Cou} / \text{Rdt seule Cou}) + (\text{Rdt asso Har} / \text{Rdt seule Har})$$

Si LER = 1, il n'y a aucune différence entre les deux modes de cultures

Si LER < 1, il y a une perte de rendement en association

Si LER > 1, il y a un gain de rendement en association

Fréquence des mesures : au moment de la récolte, soit entre fin août et début septembre.

Méthode dans le cadre de l'expé :

*Récolter les fruits en prenant soin de bien **séparer les récoltes de chaque modalité**.

!\ ATTENTION, vérifier que la récolte se fait bien sur le même nombre de plants

*Mesurer le rendement après récolte (en kg/m²)

*En plus du rendement, évaluer aussi l'état des fruits : état, taille, couleur et forme (le nombre de courges pourra éventuellement être déterminé).

5) Enracinement des cultures

Principe : comme décrit précédemment, l'association de cultures peut être sujette à la compétition entre les espèces. Ainsi, afin de l'évaluer, les systèmes racinaires des cultures vont être comparés.

Fréquence des mesures : après récolte, au moment de l'arrachage (mi-septembre)

Méthode dans le cadre de l'expé :

Prélever **6 plants** de chaque culture pour chaque modalité, **sur sol bien humide**.

Nettoyer les systèmes racinaires soigneusement avec de l'eau, puis les étaler côte à côte afin de les comparer.

Proposition de disposition afin de comparer les modalités : de gauche à droite, mettre les modalités par COLONNE

→ Les 6 plants de courge seuls

→ Les 6 plants de courge issus de l'association

→ Les 6 plants de haricot issus de l'association

→ Les 6 plants de haricot seuls

Puis prendre en photo chaque ligne

Annexe VI : Extrait du journal de bord de l'expérimentation chez Mr Lassauque

07 juillet 2020 : mesures

Etat sanitaire

- Quelques restes de Tuta absoluta, mais impact très limité, du coup pas forcément pertinent pour la sévérité. Et nuancer l'incidence car la faible sévérité peut engendrer l'omission de certains plants. L'incidence peut être plus faible d'une semaine à l'autre, cela est du au fait que je regarde majoritairement les dégâts sur la partie haute de la plante, qui est en développement
- Apparition d'une autre maladie sur modalités témoin et kéfir, sur CDBO à chaque fois, voir photos :

Analyse de Mme Mazollier : ressemble à **des nécroses physiologiques**, qui peut-être due à un coup de chaud, à un sol trop sec, il faut vérifier l'évolution sur les jeunes feuilles.

Sur e-phytia : tâches nécrotiques indéterminées → <http://ephytia.inra.fr/fr/C/5349/Tomate-Taches-necrotiques-foliaires-indeterminees>

Cela serait peut-être dû à une sécheresse temporaire qui se répercute sur le feuillage plutôt bas.

21 juillet 2020 : mesures

EVOLUTION DANS L'EXPE

Doutes vérifiés : la variété qui était censée être de la NC dans la modalité témoin est en fait de la CDBO, ainsi on annule la variété NC dans la modalité kéfir.

Vigueur : mesures réalisées, additionnées par des mesures de diamètre de tige + largeur/longueur de feuilles sur NC, GZ, AN

NC : Diamètre : 0,6 cm pour vigueur min., 1 cm pour vigueur max.

Feuilles : 11,5x5 vig min., 8,5x4,5 pour vig max.

GZ : Diamètre : 0,8 vig min, 1,3 vig max

Feuilles : 9x4 vig min, 10x5 vig max

AN : Diamètre : 0,8 vig max, 0,5 vig min

Feuilles : 11x6 vig max, 8,5x4,5 vig min

Bouquets floraux et Cie. : tout est ok, bien vérifier qu'on a tous les plants et qu'ils sont marqués

Etat sanitaire : des nouvelles

- Tuta absoluta : dégâts faibles, peu impactant → arrêt des mesures pour cette maladie
- Acariose : début de dégât ; visible sur un seul plant, bas de la plante
- Oïdium externe : dégâts forts sur beaucoup de plants, sur le bas du plant → mesures incidence et sévérité
- Moisissures dans modalité Kéfir + → liées probablement aux protéines du lait (caséine etc.) qui sont contenues dans la phase solide du kéfir, et qui moisissent sur le plant, notamment le bas du plant. Incidence de 100% pour modalité kéfir +, rien pour le reste
- Nécroses physio au milieu du plant : cela ressemble à des maladies bactériennes type Pseudomonas syringae (moucheture bactérienne) et/ou Xanthomonas vesicatoria (gale bactérienne). A décider avec GRAB le 29 juillet. Si nécroses physio sont avérées, on rentrera cela dans la vigueur, car ce n'est pas du à une maladie.

29 juillet 2020 : Journée technique avec Mme Mazollier

Observations :

*Beaucoup de cul noir sur GZ et CDBO

Annexe VII : Extrait du journal de bord de l'expérimentation chez Mr et Mme Noir

5 août 2020 : Mesures

Sondes : ELLES FONCTIONNENT

SP (sondes 2 ; 5) → plus d'eau à 20 cm que DP, mais moins d'eau à 40 que DP

PILazo sur courges

Résultat très moyen, le jus pétiolaire a été prélevé sans souci, mais l'analyse montre qu'il y a une très faible proportion d'N nitrique dans les 2 modalités → < à 5 ppm, ie. $5 \times 20 = 100$ mg / l de nitrates

→ Si on compare avec le melon (seul cucurbitacée pour laquelle on a des références), il faut plus de 3000 mg/l, ainsi les courges sont carencées en azote. Et cela se voit avec les tests d'N sol.

Nitrachek : problème d'étalonnage !!!

Après utilisation de la solution étalon qui dose à 100 ppm, je mesure des concentrations de 75-85 avec le lecteur nitrachek, ce qui n'est pas du tout une bonne nouvelle, puisque cela biaise les mesures. Le pb a été détecté la première fois quand j'ai utilisé la bandelette témoin mardi 4 août, pour réaliser les mesures de N sol de Mme Cassard. La bandelette a affiché un chiffre non contenu dans la plage annoncée au dos du lecteur.

Vigueur

Mesures plus difficiles sur les courges rampantes, car elles s'entremêlent et ce n'est vraiment pas facile d'estimer plant / plant ou 2 plants / 2 plants

Recouvrement Passe pied :

Fort enherbement sur les passe pieds. Courges empiètent sur le passe pied ce qui gêne aussi les mesures.

28 août 2020 : Mesures

Retrait des sachets de thé

Irrigation : bouchés après 2 ans d'utilisation, mais ils avouent ne pas avoir un système de filtration optimal, mais plutôt un système classique.

Plantés le	05/06/2020	84 jours	x
Retirés le	28/08/2020		4 j
Pesés le	01/09/2020	x	

Vigueur : courges peu vigoureuses, feuillages jaunes, avec peu de fruits. SUSpection de faim d'azote justifiée par les tests nitrate très faible depuis la dernière fois.

Enherbement PP :

Très enherbé, certaines modalités sont complètement recouvertes → serpolet 2020

Nitratest :

Problème de mesures sur DP, le filtrat a été jeté avant mesure... Mais les valeurs du SP semblaient déjà très basses avec 2 indications LOW sur les 3 mesures.

EVOLUTION DANS L'EXPE

Mr et Mme Noir autoproduisent une bonne partie de leurs semences, y compris les semences de courges et courgettes. Lorsqu'ils cultivent les courges, ils ont pour habitude de cultiver les 3 familles d'espèces différentes : cucurbita → pepo, maxima, moschata. Mais lors de leur dernière saison, il est possible que leur patidou (cucurbita pepo) se soit croisé avec une de leur courgette (cucurbita pepo aussi). On a donc 2-3 pieds qui ne ressemblent pas phénotypiquement à du patidou.

Annexe VIII : Extrait du journal de bord de l'expérimentation chez Mr Barbe

Journal de bord – Ferme des Bourfiers – Mr BARBE

Expérimentations sur filets à ramer coton ou plastique et irrigation en GaG ou microporeux

17 avril 2020 : [Photos] et appel

Bandes de culture actuellement (17/04/2020) très enherbées, avec pas mal d'armoise sur la gauche (cf photos)

Autres photos (année 2019) :

Exemple de comparaison entre GaG et suintant avec les semis de carotte → GaG tout à gauche, le reste est en suintant, on voit bien la diff entre arrosage ponctuel et homogène. Les photos ont été prise après 1h d'arrosage.

Photos des filets : ils ont passé tout l'hiver 2019-2020 dehors, enlevés au printemps → encore bien en forme et pas trop dégradés.

20 mai 2020 après-midi : première visite chez Mr Barbe

Questions :

Compteur d'eau : comment procéder ?

A indiquer sur le plan de l'expé, mais globalement il sera en entrée de tuyau, juste après la ligne de distribution, il permettra de mesurer l'irrigation sur 30 m de planche.

Pression et débit dans la ferme : détails ?

Mr Barbe parle de 700g en bas de parcelle, soit 0,7 bar puisque son irrigation se fait en gravitaire et son bassin est environ 7 m plus haut (à vérifier)

Référence poritex :

Tuyau suintant PORITEX bobine de 200m : vendue par Triangle, PUHT = 154.90 euros

EVOLUTION DE L'EXPE

Suite à la visite et à une discussion avec Mr Barbe, nous avons décidé de changer les planches sur lesquelles nous allons travailler, pour limiter les facteurs externes. Notamment, un excès d'eau au nord de sa parcelle a augmenté la pression de l'armoise (espèce à définir), donc ses 2-3 premières planches sont infestées, et cela risque de biaiser les résultats et d'empêcher un bon développement de la culture. Ainsi, nous avons décidé de sélectionner les 4 planches les plus au sud → modification du plan d'expé De plus, le ruisseau au milieu de la parcelle empêche d'irriguer d'une traite la planche de 50m, ainsi pour l'expé sur l'irrigation, on travaillera sur la partie de la planche de 30 m, en légère pente vers l'ouest (point haut à l'est, là où partira l'irrigation)

Filets

Filet coton 2019 : voir photos, mais décomposition bien engagée, décomposition similaire s'ils sont retirés tout de suite et laissés au sol, ou laissés accrochés l'hiver puis décrochés ensuite.

Filets plastiques : voir avec Mme Cassard pour le temps de travail au retrait des filets, mais a priori chiant d'enlever les haricots du filet une fois la saison terminée → **2h pour 30 m**

Remarque pour aller plus loin

Mr Barbe essaye actuellement la culture de carottes en comparaison T-tap et microporeux. Pour l'instant on n'observe rien de concluant. Il y a des zones où il y a eu très peu de levées, d'un côté comme de l'autre (voire photos dans dossier « test irrigation carotte ». On peut aussi mettre en cause les adventices, qui sont nombreuses sur les lignes.

8 juin 2020 : travail du sol → fraise sur rotovator à 10 cm sur une largeur de 95 cm

9 juin 2020 : semis + mise en place irrigation

Semaine du 15 juin 2020 : Installation des filets, tipis etc.

15 juillet 2020 : 2^{ème} semis dans les endroits où la levée n'a pas eu lieu au 1^{er} semis

Annexe IX : Guide d'entretien à destination des maraîchers du projet

MiMaBio Expérimentations Paysannes

Guide d'entretien

Maraîcher·ère·s participant au projet MiMaBio

Agribio 06 - Essais 2020

Objectifs – Questions auxquelles on souhaite répondre

Quelle est la pertinence des résultats des essais pour les maraîcher·ère·s impliqué·e·s ?

Quels sont les bénéfices et coûts de la démarche de co-construction d'expérimentations à la ferme pour eux·elles ?

Quels critères d'évaluation les maraîcher·ère·s utilisent-ils·elles pour décrire la démarche ?

La démarche de co-construction d'expérimentations à la ferme est-elle transposable à d'autres contextes selon eux·elles ?

Quels facteurs de réussite ou d'échec, quels points de vigilance les maraîcher·ère·s identifient-ils·elles ?

Sont-ils·elles satisfait·e·s de leur participation au projet ?

Hypothèses

H1 : L'expérimentation paysanne menée à la ferme et co-construite avec des chercheur·e·s, ingénieur·e·s, ou technicien·enne·s permet de produire des résultats technico-économiques et sociaux situés, pertinents pour alimenter la prise de décision du producteur ou de la productrice et pour créer des connaissances valorisables par d'autres producteur·trice·s.

H2 : L'expérimentation paysanne accompagnée, permet de renforcer les liens des paysan·anne·s expérimentateur·trice·s entre eux·elles et fait évoluer les rapports avec la structure qui les accompagne. Elle est une source d'inspiration et de sécurisation des risques pour les producteur·trice·s.

H3 : L'expérimentation paysanne accompagnée fait évoluer les apports des accompagnant·e·s depuis la technique vers plus de conseils méthodologiques et organisationnels.

H4 : La démarche d'expérimentation paysanne co-construite est transposable dans différents contextes agricoles et différents systèmes de production et y produit des résultats pertinents, à condition que les objectifs soient clairement définis par tous·tes les participant·e·s, que son protocole soit approuvé (jugé réalisable), soit aussi simple et rigoureux.

Guide de l'entretien

Questions/Remarque rajoutées par Agribio 06 en violet

Introduction de l'entretien

- But de l'entretien : recueillir tes réactions, ressentis, avis et ton évaluation de la démarche de co-construction d'expérimentations à la ferme du projet, et savoir comment tu intègres dans ton travail la connaissance produite.

- Objectifs connexes : le but plus global de cet entretien est de générer de la connaissance sur le processus même de l'expérimentation en milieu paysan (EMP) en intégrant les ressentis des différents acteurs du projet. L'objectif est de proposer des améliorations à la démarche mise en œuvre depuis 3 ans et de concevoir un guide méthodologique pour mener une expérimentation paysanne dans les meilleures conditions.

- Cet entretien fera partie de mon mémoire de fin d'études en tant qu'analyse de la démarche de co-construction d'expérimentations à la ferme.

- Qu'est-ce que j'attends de l'interrogé·e ? Que tu me donnes ton avis personnel sans peur du jugement.

- Durée prévue de l'entretien : 1h

- Anonymat ?

- Enregistrement audio et prise de quelques notes

- Présentation rapide des thèmes à aborder – Manque-t-il un thème qui te paraît important ?

I. Questions générales sur le projet

Peux-tu me décrire avec tes mots le projet MiMaBio (ou GO PEI) dans lequel tu es intégré·e ?

Selon vous, comment définiriez-vous les expérimentations paysannes ?

Que trouvez-vous d'intéressant dans la démarche des expés paysannes ?

Comment et pourquoi t'es-tu intégré·e à ce projet ?

Qu'est-ce que tu en attendais alors ? As-tu toujours les mêmes attentes cette année ?

II. Co-construire des essais à la ferme (méthode et satisfaction)

Comment se sont construites les expérimentations ? Quelles étapes ?

Quel a été ton niveau d'implication tout au long du projet ? En es-tu satisfait ?

- **Au démarrage, définition des objectifs, construction du protocole**
- **Entretien des essais et élaboration des résultats**

Avis : **Comment s'est passée la prise de décision (choix des essais, des modalités, etc.) ?**

Qu'as-tu aimé ou non de cette organisation depuis 2018 ?

Qu'aurais-tu fait autrement, pourquoi ?

Aimerais-tu ajouter/supprimer quelque chose à la démarche ?

Etes-vous satisfaits du niveau d'implication pendant le déroulement du projet ?

Etes-vous satisfait du niveau de sollicitation du projet vis-à-vis des essais ? Peu/Suffisamment/Trop sollicité ?

Globalement, la démarche s'est-elle bien déroulée au cours des différentes saisons ?

Le fait d'être en groupe avec les autres maraîcher·ère·s expérimentateur·trice·s était-il un plus ou un poids ?

Connaissais-tu les autres maraîcher·ère·s avant le projet ? → permet d'interpréter la q d'avant

Quels avantages/inconvénients vois-tu à participer à un projet de co-construction d'expé à la ferme ?

III. La démarche et ce qu'elle produit

Menais-tu déjà des expérimentations dans ta ferme avant le projet ?

Qu'est-ce que le projet t'a apporté, appris ? **Quelles sont les sources de ces apprentissages ?**

La participation au projet va-t-elle modifier ta manière d'expérimenter ?

Quel est le rôle, selon toi, de chaque intervenant (maraîcher·ère, conseillère Agribio, stagiaire, Catherine Mazollier du GRAB) ?

Quelles sont les relations entre eux ? Tous les acteurs avaient-ils le même poids dans la prise de décision ? Cela a-t-il évolué au cours des 3 ans du projet ?

Pour toi, quels sont les principaux résultats et produits de tout ce processus ?

Aurais-tu réalisé ces essais sans le projet ? Pourquoi ?

Qu'est-ce qui fait, selon toi, que l'expérimentation et l'expérience de co-construction dans son ensemble est réussie ou non ?

IV. Problèmes rencontrés, facteurs de réussite ou d'échec

Les expérimentations ont-elles pu suivre le protocole établi sans difficulté ? + justification

Quels sont les problèmes que tu as rencontrés ?

Comment les éviter ? Quelles solutions à mettre en œuvre ?

Reformulation en facteurs de réussite et points de vigilance → Tout est dit ?

Cela te paraît-il possible et intéressant de développer cette démarche dans d'autres contextes agricoles, de la promouvoir comme source de connaissances pertinentes ?

V. Appropriation des connaissances

Connais-tu les résultats des **autres expérimentations du projet dans les Alpes-Maritimes** ? Et dans les autres départements (Var, Vaucluse et Bouches-du-Rhône) ?

As-tu adopté les pratiques testées (par toi ou d'autres) ou fait évoluer tes pratiques en fonction des résultats ? En quoi les essais vous ont-ils été utiles ?

Qu'en tirez-vous ? En êtes-vous satisfaits ?

Les résultats des essais des années précédentes correspondaient-ils à tes attentes ?

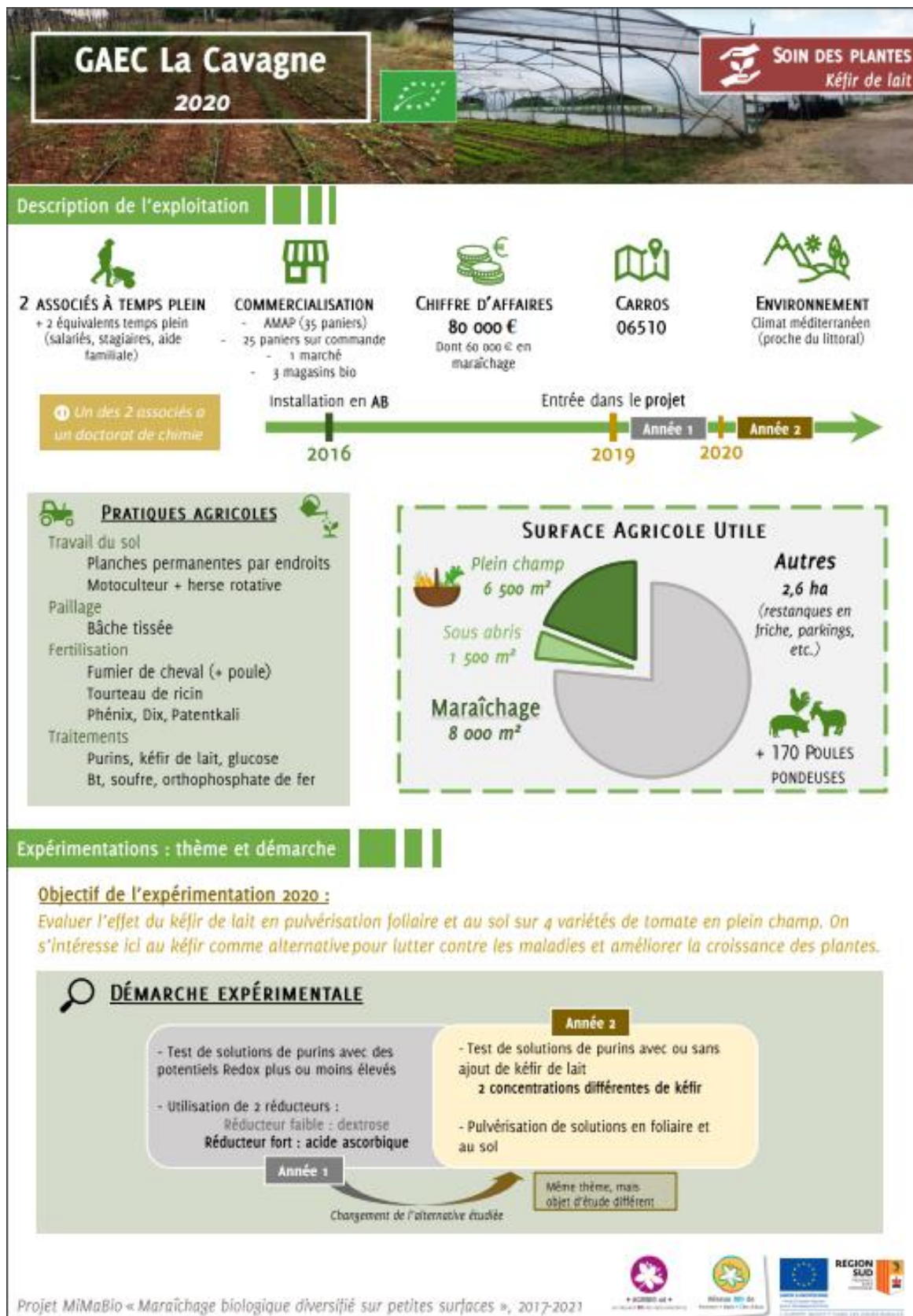
Cela a-t-il influencé la construction de l'essai suivant ?

Si pratiques modifiées : Aurais-tu fait ce changement sans avoir fait l'expérimentation au préalable ?

Penses-tu que les résultats de tes essais seront utiles à d'autres ? En parles-tu autour de toi ?

Y a-t-il un thème, un élément que nous n'avons pas abordé dont vous voudriez me parler ?

Annexe X : Fiche de ferme de l'expérimentation chez Mr LASSAUQUE





Bibliographie

Le **kéfir de lait** est une boisson à base de lait fermenté grâce à des grains (fig.1) constitués de microorganismes en symbiose : bactéries lactiques et levures. Son utilisation majoritairement alimentaire en fait une boisson riche en probiotiques très utilisée, issue d'Europe de l'Est. Pour s'alimenter et croître, les grains consomment le lactose du lait, produisant de l'acide lactique et des exopolysaccharides.



Figure 1 : Grains de kéfir de lait

L'utilisation du **kéfir en agriculture** est un **concept innovant** puisqu'il fait le lien entre l'augmentation de la commercialisation de **solutions à base d'EM** (microorganismes efficaces, concept développé par Teruo Higa), et les travaux de recherche scientifique sur les **bactéries lactiques** et leur effet en protection des cultures.

En effet, la composition du kéfir se rapproche fortement de ces deux approches, et pourrait constituer une **innovation efficace et peu coûteuse** :

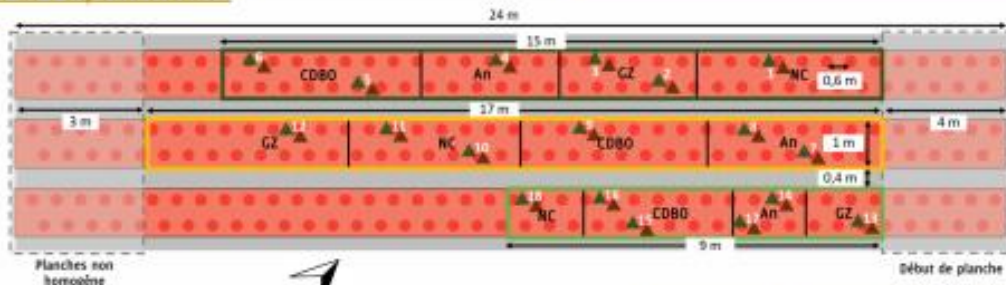
Kéfir de lait <i>(contient d'autres bactéries et levures non citées)</i>	Lactobacillus plantarum (bactérie lactique), L. paracasei, Saccharomyces cerevisiae (levures)
Microorganismes efficaces	L. plantarum, S. cerevisiae, sucre
Bactéries lactiques en recherche	L. plantarum, L. paracasei, L. casei

Protocole expérimental

Objet de l'étude : Pulvérisations (foliaires et au sol) de kéfir de lait sur 4 variétés de tomate plein champ : Green Zebra, Noire de Crimée, Ananas et Cœur de Bœuf orange.

Modalités testées (pour 5 L de solution)
• Témoin → 0,5 L de purin + Bt + eau (Base)
• Kéfir → Base + 0,5 L de kéfir de lait
• Kéfir + → Base + 1,5 L de kéfir de lait

Plan de l'expérimentation



Légende	
	Zone non prise en compte dans l'expérimentation
	Planche de culture
	Modalité Kéfir +
	Modalité Témoin
	Modalité Kéfir
	Plant de tomate
	Green zebra
	Ananas
	Noire de Crimée
	Cœur de bœuf orange
	Paire de sachets de thé (thé vert + rooibos)



Figure 2 - Parcelle expérimentale, le 29 juillet 2020



Protocole expérimental (suite)

Caractéristiques de la parcelle expérimentale

Précédent culturel	Salade
Texture	Limono-argilo-sableux
Hétérogénéité	Non pour le sol, mais petite cuvette en début de planche sur 7-8 m (fig.2)
Surface	3 planches de 1 m x 24 m, 100 m ² au total
Pente	Non



Figure 3 : Plantation sur la parcelle expérimentale



Figure 4 : Implantation des sachets de thé

Observations et mesures

- Etat sanitaire (incidence et sévérité)
- Vigueur (note de 1 à 5)
- Evolution du nombre d'inflorescences
- Activité microbienne du sol (Sachets de thé)
- Rendement d'une des 4 variétés
- Temps de travail (préparation + pulvérisation)

Itinéraire technique de l'essai

ITK	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
Préparation du sol				Motoculteur avec herse rotative				
Amendements et paillages	Fumier de cheval composté		Fumier poulet, tourteau de ricin, Dia, Phénix, Patenkali	Pose de la bâche tissée				
Plantation / Semis		Semis en poquets	Transplantation	Plantation				
Fertilisation					Purin d'ortie, ortie-consoude au 3 ^{ème} bouquet, puis consoude à la fin			
Entretien de la culture				Double paillage		Egourmandage : une fois par semaine		
Irrigation					2 lignes Goutte à Goutte : 2h tous les 2j		1h tous les jours	
Déroulement de l'expérimentation		Inoculation terrain selon 3 modalités				Pulvérisations hebdomadaires		
Suivi								Visites toutes les semaines, mesures toutes les 2 semaines

Annexe XI : Fiche de ferme de l'expérimentation du double paillage chez Mr et Mme Noir

« Lou Preï »
2020

COUVERTURE DU SOL
Double paillage

Description de l'exploitation

2 EXPLOITANTS PRINCIPAUX

COMMERCIALISATION
- 20 paniers
- Epicerie locale

CHIFFRE D'AFFAIRES
20 000 €

ASCROS
06260

ENVIRONNEMENT
1 000 m d'altitude, forte exposition au soleil l'été

Installation en bio Certification AB Arrêt d'apports d'intrants extérieurs Entrée dans le projet

2002 2004 2016 2018 2019 2020

Année 1 Année 2 Année 3

PRATIQUES AGRICOLES

Inspirations

- Autonomie en intrants fertilisants et amendements
- Travail du sol 50% en planches permanentes
- Paillage Double paillage (toile tissée + foin)
- Fertilisation et amendements Purins, compost et foin auto-produit
- Période de production Mars-Novembre

SURFACE AGRICOLE UTILE

Maraîchage
1 ha

- Plein champ 9 000 m²
- Sous abris 1 000 m²

Autres
2 ha
(Arbres fruitiers, petits fruits, bâti, prés)

Expérimentations : thème et démarche

Objectif de l'expérimentation 2020 / des expérimentations :

Evaluer l'impact du double paillage (foin + toile tissée) pour améliorer la qualité du sol et le développement de la culture de courges, en conditions séchantes durant l'été.

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

Année 1

- 3 modalités de paillage Sol nu (témoin), Paille et Double paillage (toile + paille)
- 2 planches pour Paille et Double paillage

Année 2

- 2 modalités de paillage Simple paillage (toile tissée) Double paillage (toile + paille)
- 4 planches avec les 2 modalités

Année 3

- 2 modalités de paillage Simple paillage (toile tissée) Double paillage (toile + foin)
- 4 planches avec les 2 modalités

*Sol nu peu convaincant, *Plus de répétitions

*Pas de paille disponible, utilisation de foin autoproduit

Projet MiMaBio « Maraîchage biologique diversifié sur petites surfaces », 2017-2021



Protocole expérimental

Objet de l'étude : Culture de 4 variétés de courges en double et simple paillage

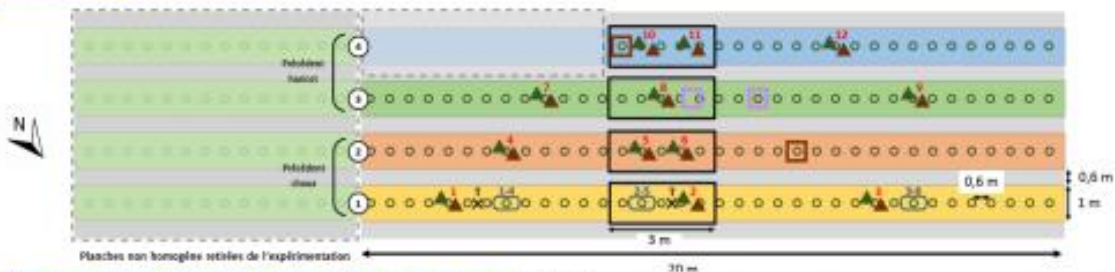
Modalités testées

- Double paillage (DP) → couche de 7-8 cm de foin + toile tissée
- Simple paillage (SP) → toile tissée seule



Fig. 1 : préparation des planches avant toiles

Plan de l'expérimentation



Observations et mesures

- Température du sol (HOBO)
- Disponibilité en eau du sol (Watermark®)
- Activité microbienne du sol (Sachets de thé)
- Structure du sol et vers de terre (Test bêche)
- Vigueur (note de 1 à 5) + Rendement
- Fertilité du sol (Nitrate)

Légende		Mesures
 Poïmanon + Red Kurl =	 Double paillage (DP) foin + bêche tissée	 Test bêche avant plantation
 Courge + Padille =	 Simple paillage (SP) bêche tissée	 Test bêche en fin de culture
 Poïmanon + Green Hokkaido =		 Paire de sachets de thé (thé vert + rooibos)
 Courge + Butternut =		 Sonde température (HOBO)
 Passe-pied		 Sonde disponibilité en eau (Watermark)
 Numéro de planche		

Itinéraire technique de l'essai

ITK	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Préparation du sol				Broyage au tracteur					
Amendements et paillages	Apport manuel de compost			Lit de compost (foin) + bêche tissée					
Plantation / semis			Semis courges en godets	Plantation					
Fertilisation					Mélange de purin 1 x / semaine	1 x tous les 15 jours			
Entretien de la culture									Récolte
Irrigation					Arpension				
Déroulement de l'expérimentation									
Suivi									

Annexe XII : Fiche de ferme de l'expérimentation sur les filets chez Mr BARBE

« Ferme des Bourfiers »

2020

MATÉRIELS ET TECHNIQUES
 Filets à ramer (haricot)

Description de l'exploitation

1 EXPLOITANT PRINCIPAL
+ 2 ETP
(wwoofing, aide familiale)

COMMERCIALISATION
- Magasins bio
- Magasin de producteur local

CHIFFRE D'AFFAIRES
< 25 000 €

LA PENNE
(06260)

ENVIRONNEMENT
800 m d'altitude,
exposition sud assez
ventée

PRATIQUES AGRICOLES

Inspirations
- Limiter le plastique sur la ferme

Particularités du système
- Culture de plein champ

Travail du sol
- Rotovator (fraise), griffe et herse
- étrille maraîchère

Irrigation
- Localisée (goutte à goutte)

Période de production
- Toute l'année

Cultures principales
- Haricot grimpant, carotte, chou,
- courge et courgette

Installation Conversion AB Entrée dans le projet

2016 2019 2020

SURFACE AGRICOLE UTILE

Maraîchage
7 500 m²

Autres
500 m²
(Jeunes arbres (fruitiers
entre les parcelles
maraîchères))

Expérimentations : thème et démarche

Objectif de l'expérimentation en 2020 :
Dans un souci de cohérence environnemental de la ferme des Bourfiers, l'objectif est de comparer 2 types de filets à ramer : plastique ou coton, par l'évaluation des différences de conduite au champ, et par une analyse des impacts environnementaux des 2 produits.

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

Année 1

Une ligne de filet à ramer **COTON**

Une ligne de filet à ramer **PLASTIQUE**

Comparaison au champ pendant la période de culture

+ Analyse du Cycle de Vie des produits (Logiciel SimaPro®)

↓ **BILAN DE DURABILITÉ**

Projet MiMaBio « Maraîchage biologique diversifié sur petites surfaces », 2017-2021

« Ferme des Bourfiers » 2020



MATÉRIELS ET TECHNIQUES Filets à ramer (haricot)

Protocole expérimental

Objet de l'étude : 50 m de filets à ramer (plastique ou coton) pour palisser un haricot grimpant, variété « Neckarkönigin », pendant un cycle de culture.

Tableau 1

Filets testés (tableau 1)

- 100% Coton (« témoin ») → mise en place du filet coton
- Polypropylène traité anti-UV → mise en place du filet plastique

Références des filets	Filets coton	Filets en polypropylène
Site fournisseur	Agrifournitures.fr	Agrifournitures.fr
Marque	Lonobio®	Lonodis®
Composition	100% coton	Polypropylène traité anti-UV
Hauteur	2 m	2 m
Longueur	500 m	50 m
Prix TTC	180 €	26,20 € (=150 € pour 500 m)



Figure 2 : Parcelle expé (06/08/2020)

Caractéristiques de la parcelle

Texture	Limono-argileux
Hétérogénéité	Parcelle coupée en 2
Surface	7 planches de 65 m ²
Orientation	Nord-Sud
Pente	Vers le sud, faible

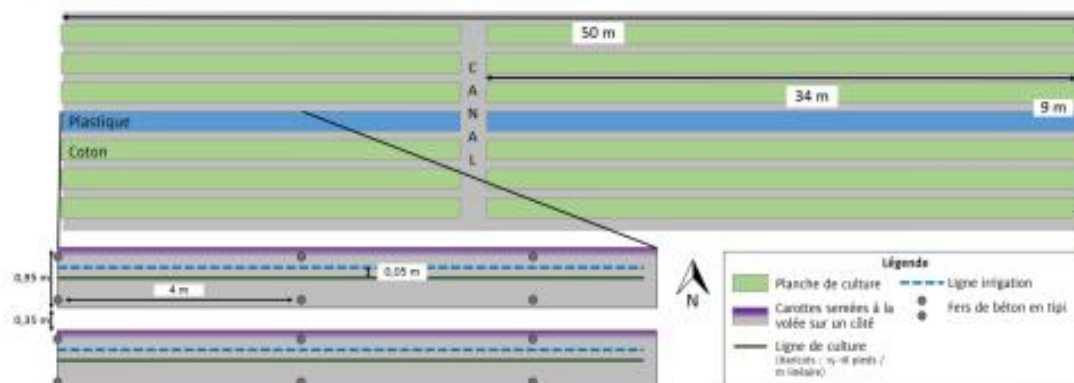


Figure 1 : Parcelle expérimentale (15/07/2020)

Observations et mesures

- Temps de travail lié aux filets
- Satisfaction
- Etat général des filets
- Impact environnemental (ACV)

Plan de l'expérimentation



« Ferme des Bourfiers » 2020



MATÉRIELS ET TECHNIQUES Filets à ramer (haricot)

Protocole expérimental (suite)

Itinéraire technique de l'essai

ITK	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	Août	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE
Préparation du sol				Rotavator (trasse sur 30 cm)				Désherbage : 4 brayages (Griffe)	
Amendement et paillages	Faucher de brebis 5-6 T/ha								
Plantation / Semis				1 ^{er} semis 15-20 plants / m ² en linéaire	2 ^{ème} semis	3 ^{ème} semis			
Entretien de la culture			Mise en place des filets à ramer			Début des récoltes	Fertiligation : purin d'ortie, comoude + autres herbes		Fin des récoltes - rames gelées
Irrigation						1 ligne goutte à goutte : tous les jours, 30 min au début, 1h15 ensuite			
Sol									

ACV et bilan de durabilité : explications

L'expérimentation vise à établir un bilan de durabilité selon différents critères, qui suivent chacun un des 3 piliers de la durabilité : l'impact économique, l'impact social et l'impact environnemental.

-Les critères environnementaux ont été évalués par l'approche de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) selon 9 impacts, dont 2 seront classés dans les critères sociaux car ils impactent directement la santé humaine (fig.3).

① L'ACV est un outil pour réaliser une évaluation globale des impacts environnementaux d'un produit tout au long de sa vie : de l'extraction des matières premières qui ont permis l'élaboration du produit fini à la fin de vie de ce produit.

Figure 3 : Schéma du bilan de durabilité



-Le critère économique est basé sur une comparaison du prix des filets pour 1 000 m de filet.
-Les critères sociaux se basent sur l'efficacité de palissage des filets, la satisfaction de Xavier et le temps de travail.

➔ Bilan de durabilité

Pour chaque critère, une note de 0 à 5 a été attribuée afin de comparer les filets entre eux.

⚠ Afin d'approfondir le bilan, une modalité « filet plastique recyclé » a été ajoutée, elle correspond au filet plastique nettoyé en fin de culture puis jeté dans les plastiques recyclables ⚠

Annexe XIII : Extraits du journal de bord des préparations de kéfir de lait

Journal de bord des préparations du kéfir et pulvérisations

Dimanche 31 mai – Lundi 1^{er} juin

1^{er} test : 40 g de grains de kéfir dans 1 L de lait, à T ambiante de 15h30 à 1h du matin, soit pendant 9h30.

- Le lait a beaucoup fermenté, voire trop car cela commençait à biphaser. Une fois ce seuil atteint, le filtrat s'est aussi biphasé quand je l'ai mis au frigo jusqu'au surlendemain.
- **Proposition** : mettre 30 g de grains pendant 10h à T ambiante avec 1L de lait, puis filtrer. Cela fonctionne si on a suffisamment de grains, or je n'en ai pas autant. À adapter donc.
- **Organisation pour semaine du 8 au 12 juin** :
 - Jeudi 4 juin : mettre à fermenter du kéfir à T ambiante pour augmenter la quantité de grains.
 - Lundi matin 7h15 : mise en fermentation en séparant les grains en 2, puis mettre dans chaque bouteille les grains et 1 L de lait. Laisser fermenter à T ambiante
 - Lundi après-midi 17h15 (10h après mise en fermentation) : vérifier l'état du kéfir, filtrer si besoin ou laisser fermenter au frigo et voir cela le lendemain (mardi). Si on filtre, mettre 30g de glucose pour 1 L de lait.
 - Mardi matin : filtrer et ajouter 30g glucose

Mardi 21 juillet

Observations de moisissures dues probablement au surplus de kéfir sur les plants de la modalité kéfir +, ainsi nous allons essayer de régler cela en filtrant une seconde fois le kéfir avant pulvérisation, en utilisant une passoire + torchon, afin de ne garder que la phase liquide type 'lactosérum' qui est aussi censée contenir les microorganismes, et ne contiendra plus les molécules susceptibles de moisir.

Lundi 27 juillet

CALCUL DU TEMPS DE TRAVAIL lié à l'utilisation de kéfir

Temps de mise en fermentation = 25 min

- *Filtration des grains contenus dans 1 L de kéfir (80gr de grains)
- *Mise de côté du filtrat obtenu (environ 1 L)
- *Mise en fermentation de 2x 1 L dans 2 bouteilles, en répartissant 40gr de grains dans une bouteille et 40gr dans l'autre.

Mardi 27 juillet

Temps de filtration + remise en fermentation des grains + ajout de sucre dans filtrat = 40 min

- *Filtration des 2 bouteilles d'1L, récupération des grains
- *Ajout d'1L de lait pour remettre à fermenter les grains pour la semaine pro
- *Ajout de 30g de glucose dans les filtrats
- (*Récupération du jus transparent type lactosérum du kéfir dans une autre bouteille)
- *Remise au frigo des bouteilles
- *Lavage du matériel

Jeudi 30 juillet

Dernière pulvérisation – ARRÊT des pulvés

Annexe XIV : Fiche protocole à destination de Mr Lassauque

Protocole réalisé par Victor Frichot, instructions à destination du maraîcher

❖ Partie 1 - Inoculation du terreau

Inoculation du kéfir dans le terreau avant transplantation (réalisé par Nicolas) :

L'inoculation du kéfir intervient au moment de la préparation du terreau qui servira à transplanter les plants semés en poquet dans des godets individuels. Pour respecter une certaine cohérence dans les modes opératoires, on préparera 3 terreaux :

Modalité 1 "témoin" → Un terreau où on aura ajouté 13 L d'eau et 1 L de purin d'ortie.

Modalité 2 "kéfir" → Un terreau où on aura ajouté 0,5 L de kéfir, complété avec 12,5 L d'eau et 1 L de purin d'ortie.

Modalité 3 "kéfir +" → Un terreau où on aura ajouté 1,5 L de kéfir, complété avec 11,5 L d'eau et 1 L de purin d'ortie.

ATTENTION, le volume de liquide total ajouté à chaque mélange de terreaux doit rester le même → 14 L de liquide total

Pour chaque variété, transplanter un nombre égal de pieds dans les 3 terreaux réalisés.

Exemple : 90 pieds de la variété Ananas → mettre 30 pieds dans des pots avec la modalité 1, puis 30 pieds pour la modalité 2, puis 30 pieds pour la modalité 3

On réalisera le protocole sur les 4 variétés choisies pour l'expé : Green zebra, Ananas, Noire de Crimée et Coeur de Boeuf orange.

❖ Partie 2 - Fabrication des solutions à pulvériser de kéfir

Préparation des solutions à pulvériser :

Dans un pulvérisateur de 5L, on y introduit initialement 500 mL de purin d'ortie (10% du volume), puis on complète avec de l'eau. Ici, nous ajouterons 2 volumes de kéfir différents pour réaliser les modalités souhaitées :

Modalité 1 "témoin" : 0,5 L de purin + 7 g de Bt complété avec 4,5 L d'eau

Modalité 2 "kéfir" : 0,5 L de kéfir + 0,5 L de purin + 7 g de Bt + 4 L d'eau

Modalité 3 "kéfir +" : 1,5 L de kéfir + 0,5 L de purin + 7 g de Bt + 3 L d'eau

Ces solutions seront pulvérisées en fin de journée vers 18h, sur les 4 variétés choisies pour l'expé : Green zebra, Ananas, Noire de Crimée et Coeur de Boeuf orange.

Annexe XV : Protocole de mesure de la vigueur réalisé pour Agribio 06



Protocole expérimental de la vigueur générale d'une culture

Dans le cadre du projet GOPEI, Victor FRICHOT, Agribio 06

Principe

La vigueur générale d'une culture est un indicateur qui qualifie l'état global et le bon développement de la culture à travers plusieurs paramètres : la couleur des plantes, leur port, leur développement, le diamètre des tiges, etc.

*Remarque : *Il pourra être complété au moment de la fructification du nombre de bouquets floraux et de l'état des fruits (grosseur, forme, quantité).*

**La notation de vigueur est bien distincte de la notation de l'état sanitaire.*

Fréquence des mesures

Toutes les 2 semaines.

Les mesures peuvent commencer à partir du moment où la culture est bien implantée, à savoir 3 semaines - 1 mois après plantation environ.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Carnet pour noter les différentes mesures et remarques, voire un tableau
- Téléphone ou appareil photo : pour illustrer la vigueur notée

1) Système de notation

La vigueur est notée sur une échelle de 1 à 5, selon les observations suivantes, par ordre décroissant d'importance :

- ⇒ Longueur et volume du feuillage (en prenant les feuilles en dessous de la première grappe de fruits généralement)
- ⇒ Diamètre de la tige (différence entre le haut et le bas, si le haut est large c'est bon signe)
- ⇒ Le développement des plants : le nombre de niveau de feuilles développés
- ⇒ La couleur des feuilles : du vert foncé au jaune
- ⇒ Le port des plants : bien érigé ou peu soutenu

Remarque : ces observations varient selon l'espèce cultivée, les caractéristiques intrinsèques des différentes variétés sont à prendre en compte lors des observations.

Exemple : Haricot à rames = très vigoureux quand il est très haut

Echelle :

- 1 : plant très peu vigoureux
- 2 : plant peu vigoureux
- 3 : plant assez vigoureux
- 4 : plant vigoureux
- 5 : plant très vigoureux

2) Méthode

Dans un premier temps, il s'agit de faire un tour de parcelle pour déterminer la diversité de vigueur de cette parcelle.

!! Dans une parcelle expé avec plusieurs variétés et plusieurs modalités, il est plus judicieux de faire ce "tour ce parcelle" variété après variété, toutes modalités confondues !!

Dans un second temps, une note de vigueur est attribuée aux extrêmes observés au sein d'une même variété, on peut prendre en photo ces extrêmes pour appuyer les futurs diagnostics. Selon l'état de la culture, les notes extrêmes peuvent être assez rapprochées.

Ensuite, il conviendra d'adapter la notation au dispositif de l'expérimentation :

- La quantité de plants / variété / modalité est assez faible : on peut donner une note individuelle à chaque plant, cela limitera la perte d'information sur la variabilité intra-groupe, qui serait occasionnée si on note la zone en question.
- La quantité de plants / variété / modalité est plutôt élevée, et ne permet pas en termes de temps de noter individuellement chaque plant : on peut donner une note par zone / variété / modalité, en mentionnant si la zone est homogène ou non. On délimitera des zones dans la parcelle qui seront fixées pour toute la durée de l'expérimentation, et permettront de limiter la perte d'information sur la variabilité intra-groupe.

Remarque : ces adaptations sont nécessaires pour analyser plus précisément les résultats, en ayant non seulement la moyenne des notes données, mais aussi l'écart-type. Cela permettra ensuite d'affiner d'éventuelles analyses statistiques sur les résultats.

3) Remarques et points de vigilance

Une note de vigueur est :

→ Valable à une date donnée et pour une modalité de l'expérimentation.

→ Une observation qualitative, elle doit donc être attribuée par la même personne tout au long de l'expé, pour ne pas biaiser les résultats.

Les résultats pourront être présentés sous forme d'histogramme, afin de valoriser l'évolution de la vigueur au cours de la saison.

→ **ATTENTION**, une vigueur trop élevée peut aussi influencer négativement sur la productivité. Une plante qui est dans un environnement très confortable développera davantage son système végétatif au détriment du système reproductif. Il faudra donc associer cette mesure à d'autres mesures axées sur la partie reproductrice (fleurs, fruits, rendements)

Sources : *Protocole de mesure de vigueur, Agribio 84

*Protocole de mesure de vigueur, MFE de Caroline Chavier, Agribio 06

*Tomaviso, culture de la tomate : <http://devel.tomaviso.com/culture-tomate/page.php?cat=1&rub=2&ssrub=9&pg=25>

*Fiche Tom'pousse : comment prendre les mesures sur un plant de tomate, Agri-Réseau

Annexe XVI : Explications détaillées et schématisées de la méthode du TBI

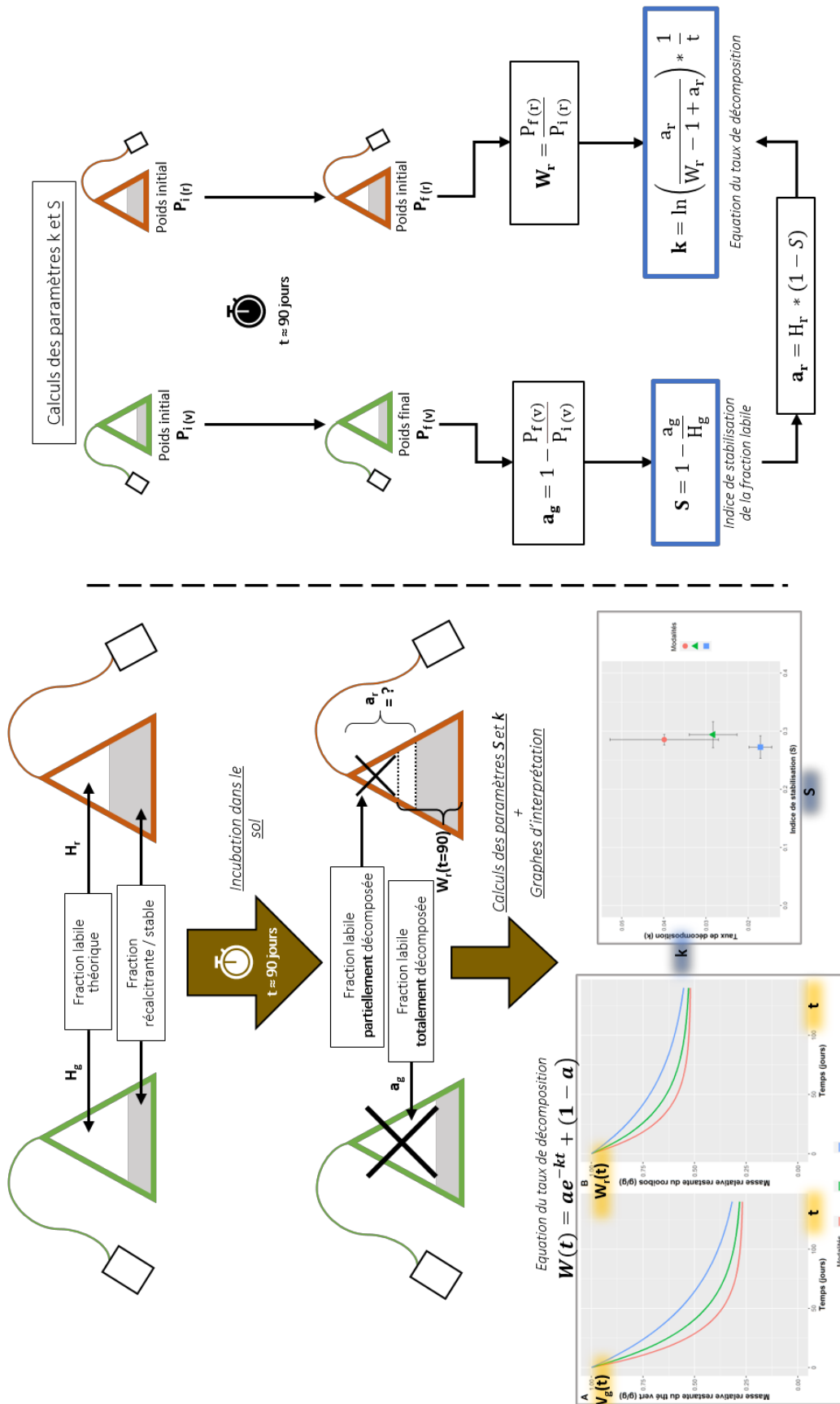


Schéma explicatif de la méthode de calcul du Tea Bag Index de Keuskamp et al., calcul des paramètres k et S, Victor FRICHOT, Agrificio 06

Annexe XVII : Protocole de mesure de l'activité microbienne par les sachets de thé, réalisé pour Agribio 06

Protocole expérimental du Tea Bag Index (TBI), ou Indice du Sachet de Thé Dans le cadre du projet GOPEI, Victor FRICHOT, Agribio 06

Principe :

L'Indice du Sachet de Thé, Tea Bag Index en anglais (TBI) fournit des informations sur la capacité du sol à transformer la matière organique (MO) en nutriments disponibles pour les plantes et à contribuer à l'accumulation d'humus dans le sol (FIBL). Le TBI est ainsi un **indicateur de l'activité de dégradation de la MO par les microorganismes et la mésofaune du sol.**

Cette technique consiste à implanter des sachets de thé vert et rooibos dans le sol. En effet, le thé vert se décompose plus facilement et plus rapidement que le rooibos, car moins riche en carbone. Le rapport C/N du thé vert est de 12, contre 43 pour celui du rooibos. Ce protocole est à la fois facile à mettre en place et peu invasif. Il est cependant nécessaire de bien comprendre la méthode pour en interpréter les résultats.

Les données extraites amènent à calculer le **pourcentage de perte massique** du thé vert et rooibos, ainsi que 2 paramètres : le **taux de décomposition k** et **facteur (ou indice) de stabilisation S**.

Cf fin du document pour l'interprétation liée aux différents paramètres.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Sachets de **thé vert Lipton®** (code barre EAN 87 10908 90359 5 ou EAN 87 22700 05552 5)
- Sachets de **rooibos Lipton®** (EAN 87 22700 18843 8)
- Une balance précise au millième (à 0,001 g ou 0,01 g)
- Une tarière → pour faire les trous dans le sol
- Des piquets → pour indiquer l'emplacement des sachets
- Un marqueur permanent → pour numéroter les étiquettes des sachets
- Une petite pelle ou transplantoir → pour déterrer les sachets

1) Préparation des sachets de thé

> Prendre **au moins 5 paires** de sachets de thé, une paire se compose d'**un sachet de thé vert et d'un sachet de rooibos**

Remarques : *Utiliser cinq paires de sachets de thé vert et rooibos comme répétitions minimales pour obtenir de meilleures estimations (FIBL).

*Le nombre de répétitions dépendra aussi de la surface attribuée à la modalité à évaluer.

> Peser chaque sachet avec la ficelle et l'étiquette.

⇒ P = **Poids sec**

> Numéroter les sachets de thé sur le **côté blanc de l'étiquette** au marqueur.

*Par exemple V1, V2, V3... pour le thé vert et R1, R2, R3... pour le rooibos

> Afin de connaître le poids du sac en nylon, de la ficelle et de l'étiquette, ouvrir au moins 10 sachets de chaque type et les peser séparément. Faire la moyenne de ces mesures.

⇒ P = **Poids moyen sachet vide**

2) Enterrer les sachets de thé

> Enterrer les sachets par paire, à une quinzaine de cm l'un de l'autre et à environ 8 cm de profondeur.

**Réaliser des trous à la tarière. Ne pas compacter le sol et maintenir la perturbation aussi faible que possible.*

> Remplir le trou avec le sol du carottage

> Laisser l'étiquette visible au sol

> Marquer le site avec un piquet facilement visible

> Prendre note dans un carnet de :

- la date,
- l'emplacement des sachets dans la parcelle,
- des numéros des sachets enterrés,
- l'ombre (1-5, de aucune ombre à ombre complète),
- l'impact humain (1-5, sans impact à complètement influencé par l'homme),
- la végétation ainsi que les autres paramètres du site (type de sol, opérations réalisées sur la parcelle, ...)

3) Déterrer les sachets de thé (environ 90 jours après)

> 90 jours après : sortir les sachets de thé, en prenant soin de ne pas tirer sur la ficelle

> Ne pas hésiter à RE-noter au marqueur les numéros potentiellement effacés, et toute autre information utile au moment du déterrage.

> Retirer manuellement le sol adhérent au sachets, sans mettre d'eau

> Sécher soigneusement les sachets de thé au soleil pendant 3-4 jours.

> Peser les sachets de thé après séchage, avec la ficelle et l'étiquette

⇒ P = **Poids sec**_{t=90}

4) Résultat

> Pour calculer le % de perte massique des sachets de thé, on prend les pesées avec sachets, ficelle et étiquettes (à t=0 et t=90j), puis on y soustrait le poids sans le thé (pesé à l'étape 1) :

$$\%Perte = 1 - (\text{Poids sec}_{t=90} - \text{Poids moyen sachet vide}) / (\text{Poids sec}_{t=0} - \text{Poids moyen sachet vide})$$

5) Calcul de k et S : explication de la méthode

- La méthode du TBI a été initialement réalisée afin d'évaluer le **taux de décomposition k** de la fraction labile décomposable du substrat (ici le thé/rooibos). Durant la décomposition, une partie des composés facilement décomposables vont se stabiliser et devenir récalcitrants, on distinguera alors :
 - La **fraction décomposable théorique** (chimiquement labile) des substrats : **H**, estimée avec les substrats de référence Lipton® indiqués ci-dessus.

o **La fraction réellement décomposée : a**

A partir de ces 2 fractions, on peut estimer un **facteur de stabilisation de la matière S**, qu'on supposera identique pour les 2 types de substrats, et compris entre 0 et 1.

Plus S est élevé, plus le substrat est dit « stable », c'est-à-dire que sa fraction labile réelle n'a pas été entièrement décomposée comparé à la fraction labile théorique. Ce décalage entre la théorie et la pratique peut être interprété comme un effet inhibiteur des conditions environnementales ou microbiennes vis-à-vis de la décomposition de la matière, les composés dits labiles deviennent alors « récalcitrants ».

- L'utilisation de 2 substrats à rapports C/N différents et la durée de 90 jours permettent plusieurs choses. Le **thé vert (C/N = 12) va subir une décomposition totale de sa fraction labile durant cette durée**, ce qui va permettre d'évaluer sa fraction labile a_0 :

$$a_0 = 1 - (\text{poids final thé vert} / \text{poids initial thé vert})$$

Le **rooibos (C/N = 43) ayant une décomposition plus lente, la décomposition de sa fraction labile continue au-delà des 90 jours**, on pourra donc estimer le **taux de décomposition k** grâce à l'équation reliant le poids relatif de la fraction labile en fonction du temps, qui correspond à une exponentielle décroissante :

$$W(t) = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a)$$

On isole le k de l'équation et on peut calculer $W_r(t=90)$ la fraction restante du rooibos (Poids final / poids initial) :

- A partir de cela et de différentes équations, on pourra déterminer la constante k, le facteur de stabilisation S, et les différentes fractions labiles des substrats, notamment a. Cela permettra de situer chaque modalité testée selon ces 2 paramètres, et aussi de construire les 2 droites d'équation de la décomposition du thé vert et du rooibos, en fonction de chaque modalité.
- Il est possible de simplifier l'interprétation en calculant qu'un paramètre : le pourcentage de perte massique du rooibos. En effet ce dernier n'a pas terminé sa décomposition et une éventuelle différence d'activité microbienne pourrait être visible par le calcul de ce paramètre.

!!! Autrement, il est possible de rentrer directement les données dans un tableau de données fourni par le site teatime4science.org, dans la rubrique « Data » > « Submit one/multiple datapoints ». Ce dernier calculera automatiquement les paramètres décrits ci-dessus.

6) Interprétation de k et S

Le paramètre S permet d'évaluer l'efficacité de la dégradation de la fraction labile des matériaux dans le sol, par rapport à la fraction labile théorique.

S est compris entre 0 et 1, et plus il est élevé, plus la matière partiellement dégradée se stabilise et devient récalcitrante. Ces composés labiles devenus partiellement décomposés (devenus récalcitrants) sont soit

- Trop récalcitrants pour être décomposés d'une manière énergétiquement favorable compte tenu du contexte environnemental,
- Ou alors la communauté microbienne du milieu n'est pas en mesure de traiter l'ensemble des composants de la fraction labile.

Le paramètre k correspond à la rapidité à laquelle cette fraction labile est décomposée.

Remarques

On peut publier les résultats sur : <http://www.teatime4science.org>

Sources :

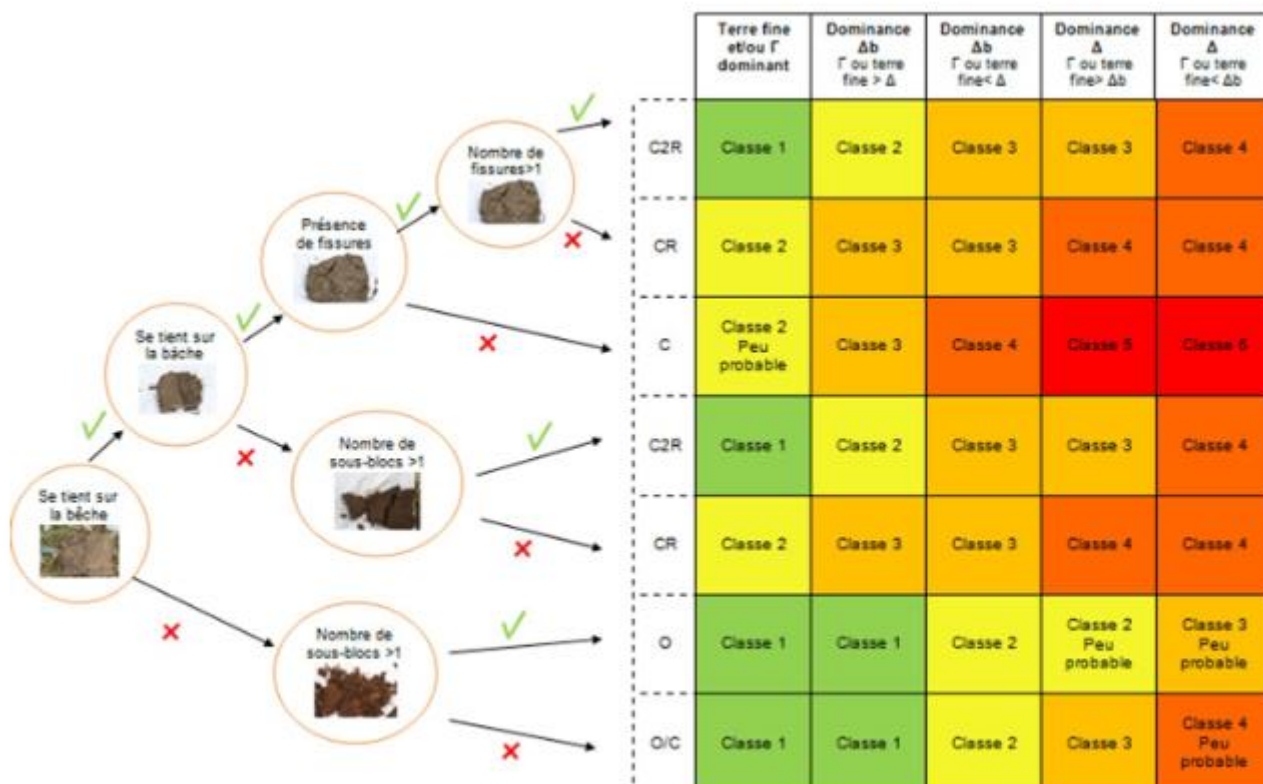
*Plateforme officielle de la méthode : <http://www.teatime4science.org/>

*FIBL : Institut de recherche d'Agriculture Biologique

*Article Tea Bag Index : <http://www.terr-avenir.com/archives/5052>

*Keuskamp et al., 2013 - Tea Bage Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems

Annexe XVIII : Détermination de la structure du sol, extrait du protocole ISARA



Fiche d'interprétation des résultats

Classe 1 : structure du sol ouverte, très poreuse, aucun tassement ; Classe 2: léger tassement ; Classe 3: tassement modéré, à surveiller
 Classe 4: tassement, à surveiller, envisager une action corrective; Classe 5 : structure compactée, peu de porosité, tassement sévère, action corrective nécessaire
 En cas de classe 4 ou 5, il est conseillé de réaliser un profil cultural pour approfondir le diagnostic et déterminer la cause du tassement.

Les rappels théoriques

Mode d'assemblage des mottes

La première étape consiste à déterminer le mode d'assemblage des mottes et de la terre fine du sol grâce à un arbre de décision. Le mode d'assemblage renseigne sur l'état de la macroporosité du sol par laquelle l'eau s'infiltré et les racines du sol pénètrent dans le sol en profondeur.

Selon la tenue du bloc sur la bêche et la bêche on peut rencontrer 3 modes d'assemblage : structure ouverte = O (sol poreux, pas ou peu de tassements), structure continue = C (sol plus ou moins compacté), ou structure ouverte à tendance continue = O/C (une structure ouverte en train de se reprendre en masse).

On peut rajouter un ou deux suffixes « R » aux mode d'assemblage C lorsque l'on repère sur la bêche ou la bêche une (R) ou plusieurs (2R) fissures ou sous-blocs. Plus il y a de fissures ou de sous-blocs moins le tassement est important (effet du gel-dégel ou des activités biologiques).



Modes d'assemblage de gauche à droite : O puis C2R puis C

Tassement global du sol

Ensuite, le tassement global du sol est déterminé grâce à l'état interne des mottes. L'état interne des mottes renseigne sur la macroporosité du sol que les racines vont explorer pour assurer l'alimentation hydrique et minérale du sol. Il se décompose en plusieurs types: motte Δ avec une surface plane, sans porosité visible à l'oeil nu, motte Δb mêmes caractéristiques que les mottes Δ avec présence de macroporosité d'origine biologique (racines, vers de terre et autres macroorganismes), motte Γ arrondie contenant de la terre fine agglomérée, poreuse. Selon la proportion des différentes mottes dans le volume de sol observé, on détermine le niveau de tassement global du sol.

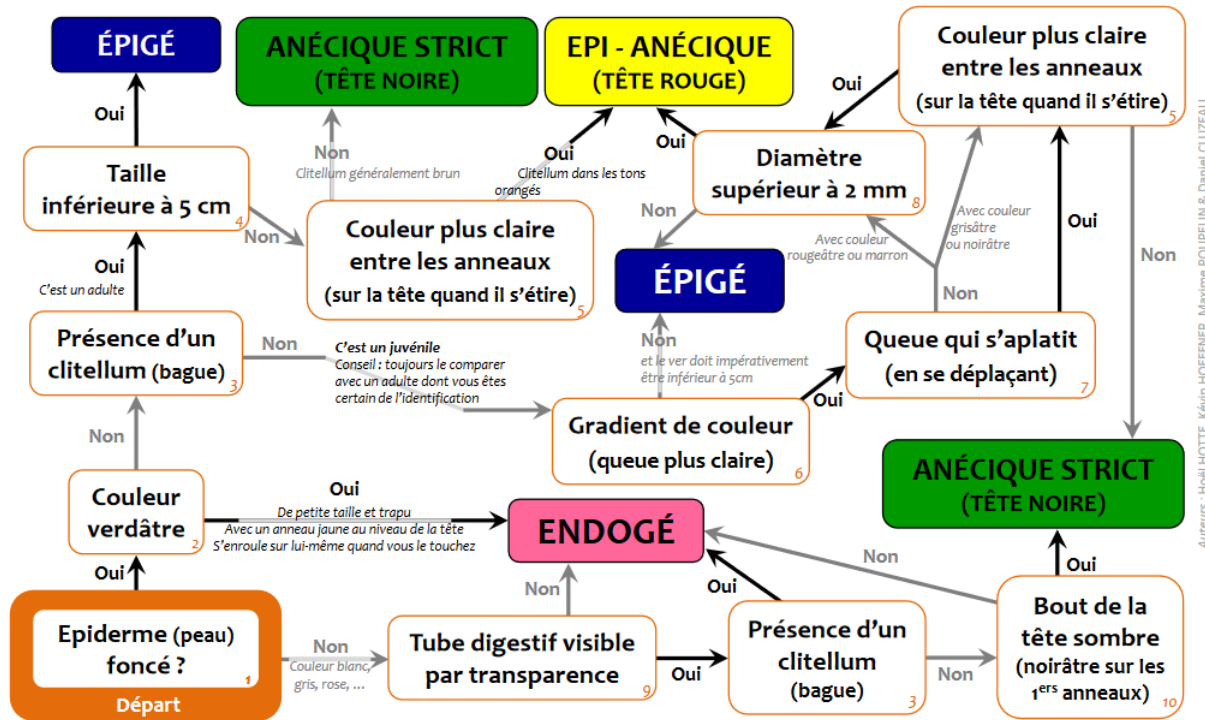


Les 3 types d'état interne des mottes

Annexe XIX : Clés d'identification des vers de terre issue de l'OPVT



Clé d'identification de lombriciens - en 4 groupes fonctionnels - (1/2)



Toute utilisation de ce document devra faire état de la référence suivante : OPVT, 2015 - Clé d'identification de lombriciens en 4 groupes fonctionnels. Université de Rennes 1/CNRS - OSUR - UMR Ecobio



Clé d'identification de lombriciens - en 4 groupes fonctionnels - (2/2)



Illustrations pour chaque critère de décision (1 à 10)

<p>1 Epiderme (peau) foncé ?</p> <ul style="list-style-type: none"> Faire attention que la couleur ne soit pas due à l'intérieur du ver (le mettre à la lumière) Regarder la pigmentation sur le premier tiers du ver 	<p>7 Queue qui s'aplatit (en se déplaçant)</p>
<p>2 Couleur verdâtre</p> <ul style="list-style-type: none"> Petit et trapu Plusieurs types de vert possibles S'enroule sur lui-même quand le ver est posé sur la main 	<p>8 Diamètre supérieur à 2 mm</p> <ul style="list-style-type: none"> Taille d'un individu au repos (ni étiré, ni contracté) Vous pouvez vous référer à l'échelle sur votre gauche
<p>3 Présence d'un clitellum (bague)</p> <p>S'il est de même couleur sur l'épiderme, cela peut être due à un pincement</p>	<p>9 Tube digestif visible par transparence</p> <p>Vous pouvez le placer devant la lumière pour l'observer par transparence</p>
<p>4 Taille inférieure à 5 cm</p> <ul style="list-style-type: none"> Taille d'un individu au repos (ni étiré, ni contracté) Vous pouvez vous référer à l'échelle sur votre gauche 	<p>10 Bout de la tête sombre (noirâtre sur les 1ers anneaux)</p>
<p>5 Couleur plus claire entre les anneaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Quand il est sur le ventre Couleur claire dans les tons orangés 	<p>+ Anéciques</p> <ul style="list-style-type: none"> Anécique strict Epi - Anécique
<p>6 Gradient de couleur (queue plus claire)</p>	

Toute utilisation de ce document devra faire état de la référence suivante : OPVT, 2015 - Clé d'identification de lombriciens en 4 groupes fonctionnels. Université de Rennes 1/CNRS - OSUR - UMR Ecobio

Annexe XX : Protocole Nitratetest pour mesurer la fertilité du sol rédigé pour Agribio 06

Protocole expérimental du Nitratetest, avec lecture Nitrachek® Dans le cadre du projet GOPEI, Victor FRICHOT, Agribio 06

Principe : le Nitratetest est un outil de conduite de la fertilisation azotée élaboré par l'APREL (Association provençale de recherche et d'expérimentation légumière), il permet de mesurer la teneur en nitrates dans le sol. Bien que pratique, cet outil n'est pas fiable à 100%, ainsi il est nécessaire de réaliser plusieurs lectures de la teneur, afin d'affiner le résultat.

Fréquence des mesures : on privilégiera des mesures toutes les 2-3 semaines.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Le matériel utilisé doit être propre et réservé à l'usage exclusif du Nitratetest.

- une tarière et un seau pour les prélèvements de sol,
- un tamis de maçon avec une maille de 5 millimètres (pour les sols caillouteux),
- une petite balance pour peser 100 grammes de terre (précision au gramme),
- une mesure de 100 ml,
- un flacon (en plastique de préférence) de 300 ml environ muni d'un couvercle étanche, pour le mélange terre et eau,
- un récipient pour la filtration (une petite bouteille en plastique d'eau minérale de 300 ml coupée aux 2/3 convient),
- un paquet de papier filtre, de laboratoire de préférence, ou filtre à café,
- une montre, minuteur ou chronomètre pour décompter 60 secondes,
- un tube de bandelettes "Test nitrates" (vérifier la date de validité),
- de l'eau déminéralisée (sans nitrates),
- un appareil de lecture Nitrachek® (plus précis)
- une glacière

1) Prélever l'échantillon

À l'aide d'une tarière, prélever 10 carottes de terre minimum*, bien réparties sur une parcelle homogène et représentative, sur la profondeur de sol à étudier, 30 cm.

Remarques :

- *Le nombre de prélèvements dépend de la taille de la parcelle, on peut diminuer ce dernier si la surface par modalité est faible. Le minimum calculé par la Chambre d'Agriculture du 29 est de 8 prélèvements / modalité.
- L'idéal est de prélever la terre dans un sol ressuyé : presser la terre dans sa main, si la main reste un peu humide alors le sol est ressuyé.
- Les manipulations suivantes doivent être réalisées dans un local à 20°C environ.

! ATTENTION, le délai entre les manipulations et le nitratetest doivent être les plus courts possibles. Si le test n'est pas réalisé sur place, conserver l'échantillon dans un glacière ou au réfrigérateur !

2) Préparer l'échantillon et filtrer

- Émietter les mottes et mélanger la terre, tamiser, enlever les cailloux.
- Peser 100 grammes de terre fine exactement, les verser dans un flacon mélangeur.

- Ajouter 100 ml d'eau déminéralisée.
- Fermer le flacon et agiter énergiquement pendant au moins 4 minutes, de façon à obtenir une boue homogène.

Remarque : si les prélèvements ont été faits sur sol caillouteux, penser à estimer/peser le % de cailloux.

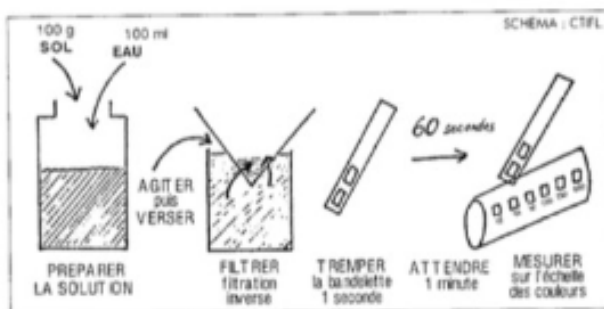
- La filtration peut se réaliser dans le flacon mélangeur, ou dans un autre gobelet.
- Introduire le filtre dans la boue, pointe en bas, pour réaliser une filtration inverse.
- Au bout de quelques minutes, on obtient le filtrat (liquide clair au centre du filtre).

Remarque : Certains sols lourds demandent plus de temps. Pour gagner du temps, on peut réaliser une filtration normale.

3) Doser les nitrates : bandelettes et Nitrachek®

- Prélever une bandelette du tube Nitratest et le refermer aussitôt.
- Tremper la bandelette dans le filtrat pendant 2 secondes (bien tremper les 2 zones réactives).
 - > Il faut bien respecter le temps de 2 secondes pour retirer la bandelette du lecteur, puis les 2 secondes pour le trempage. **Pour compter 2 secondes, il faut compter à haute voix « 1 ... 2 ... 3 ».**
- Ôter l'excès de liquide en secouant la bandelette.
- Au bout de **60 secondes exactement**, réaliser la lecture avec l'appareil à lecture directe (NITRACHEK), qui améliore la précision de la lecture
 - > Dans les 10 dernières secondes de séchage de la bandelette, l'introduire dans la fente du lecteur Nitrachek
- Réaliser la lecture avec **3 bandelettes**, pour limiter le risque d'erreur.
 - > Le résultat de la lecture est exprimé en ppm ou mg/litre de nitrates NO_3^-
 - > Si le résultat diffère de plus de 10% de la moyenne, faire une 4ème mesure
- Il faut se référer uniquement à la zone réactive située à l'extrémité de la bandelette. L'autre zone réactive de la bandelette doit rester blanche, si elle est colorée en rose, il y a présence de nitrites (manque d'oxygénation du sol).

Déroulement schématique du Nitratest



Le NITRACHEK améliore la précision de lecture du Nitratest

4) Analyse du résultat obtenu

En multipliant par **un coefficient** la valeur de la lecture Nitratest, on obtient directement le résultat en unités (ou kg) d'azote N disponible par hectare.

Ce coefficient est de 1,3 lorsqu'il s'applique pour les sols courants (densité apparente 1,4 ; humidité proche de 15%, 100% de terre fine et 30 cm de profondeur de sol). Si ce n'est pas le cas, il faut le recalculer avec une formule adéquate (voir tableaux ci-dessous).

Exemple : une valeur de lecture Nitratest de 50 correspond à : $50 \times 1,3 = 65$ unités N/ha (azote disponible sous forme nitrique).

Observation : dans les sols caillouteux, tenir compte du pourcentage de terre fine.

Exemple : dans un sol à 20% de cailloux, (qui contient donc 80% de terre fine), il faut multiplier le résultat du test par 0,8 (soit, pour l'exemple précédent $65 \times 0,8 = 52$ unités d'N disponible).

Tableau des coefficients pour avoir le résultat en unités d'N disponible / ha (Challenge Agriculture manuel Nitratest®) :

8 - TABLEAU

Type de sol épaisseur horizon ↓ ↓	Eau du sol : → Excès trempé		Excès collant	Excès collant	Ressuyé collant	Ressuyé plastique	Ressuyé plastique	Asséché s'effrite	Asséché s'effrite	Asséché s'effrite
	Aspect de sol : →									
Sol argileux horizon de 30 cm	% humidité	35	34	33	32	30	29	28	27	26
	Coefficient	2,11	2,08	2,01	1,97	1,93	1,85	1,81	1,77	1,73
Sol argileux horizon de 15 cm	% humidité	35	34	33	32	30	29	28	27	26
	Coefficient	1,06	1,03	1	0,98	0,96	0,92	0,9	0,88	0,86
Sol limoneux horizon de 30 cm	% humidité	25	24	23	21	20	17	16	15	12
	Coefficient	1,69	1,66	1,62	1,56	1,52	1,43	1,40	1,37	1,29
Sol limoneux horizon de 15 cm	% humidité	25	24	23	21	20	17	16	15	12
	Coefficient	0,84	0,83	0,81	0,78	0,76	0,71	0,7	0,68	0,64
Sol sableux horizon de 30 cm	% humidité	14	11	10	10	9	9	8	8	8
	Coefficient	1,35	1,27	1,24	1,23	1,22	1,2	1,19	1,18	1,17
Sol sableux horizon de 15 cm	% humidité	14	11	10	10	9	9	8	8	8
	Coefficient	0,67	0,63	0,62	0,61	0,61	0,6	0,59	0,59	0,58

Exemple : sol limoneux juste ressuyé, horizon de 30 cm : $N = C \times 1,56$
une lecture de 40 au Nitratest donne $N = 40 \times 1,56 = 62,4$ unités dans le sol.

Tableau des coefficients pour avoir le résultat en unités d'N disponible / ha (CA 29) :

Type de sol	Boueux	Très humide	Moyennement humide	Sec	Très sec, poussière
Sol limoneux (le plus fréquent en Bretagne)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Sol sableux	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15
Sol argileux	2,1	2	1,9	1,8	1,7

Exemple d'analyse de résultat (CETA et CA 13 et 84) :



5) Remarques

Conserver l'échantillon :

Conserver au froid si le délai entre prélèvement et test est trop long

Humidité du sol

Attention à avoir un sol ressuyé au moment du prélèvement et du test, sinon, noter l'humidité du sol. Un sol ressuyé laisse la main légèrement humide quand il est pressé dans cette dernière.

Conservation des bandelettes

- Les tubes non entamés sont à conserver au réfrigérateur (entre 2 et 8°C).
- Laisser réchauffer le tube à température ambiante avant le premier usage.
- Un tube entamé doit être remis au frigo si il n'est plus utilisé avant plusieurs jours.
- S'assurer de la validité des bandelettes : la date de péremption est indiquée sur le tube.
- Ne pas utiliser un tube ouvert depuis plus d'un an.
- Veiller au bon étalonnage de l'appareil de lecture Nitrochek en effectuant des contrôles réguliers avec une solution étalon (voir le conseiller).

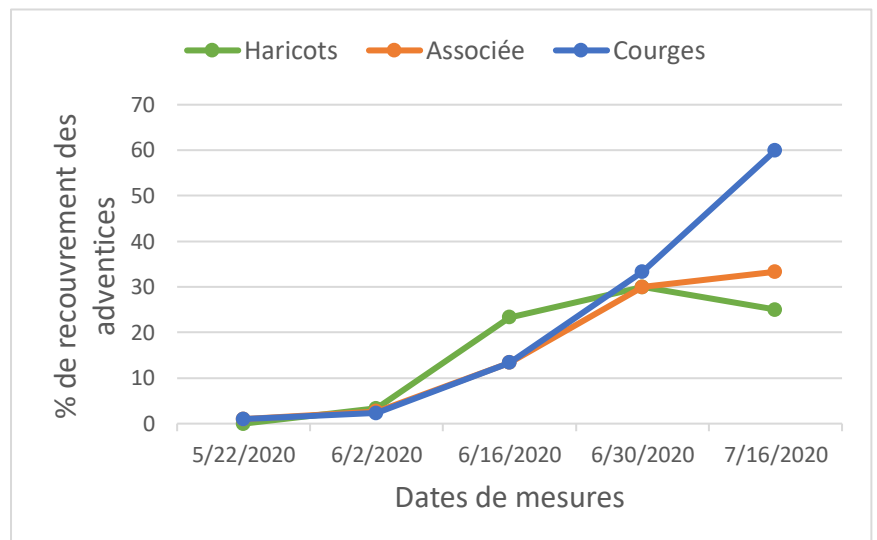
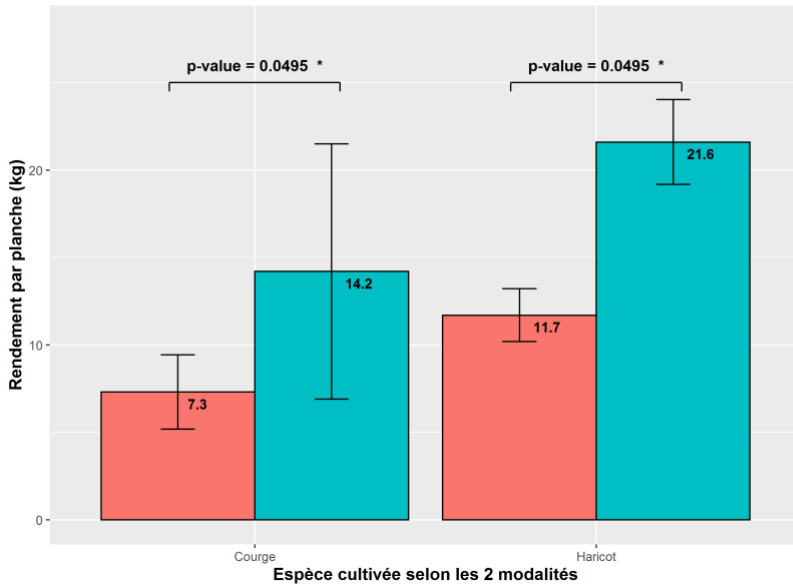
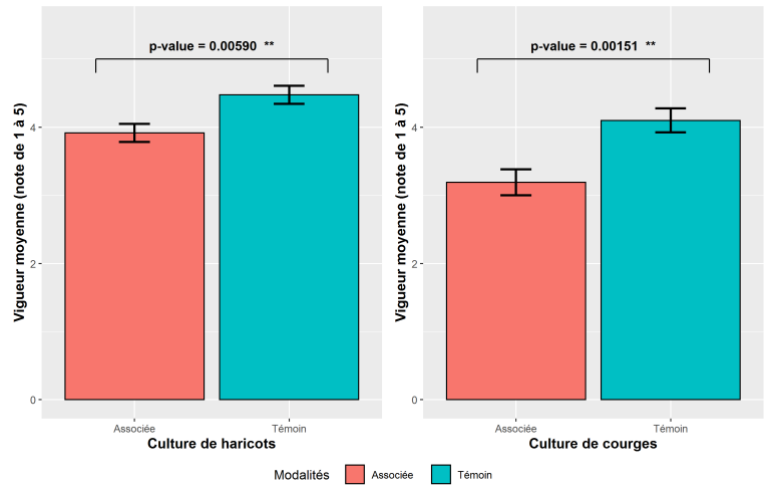
Sources : Nitratest, APREL 2004

CETA des Serristes du Vaucluse, 2013

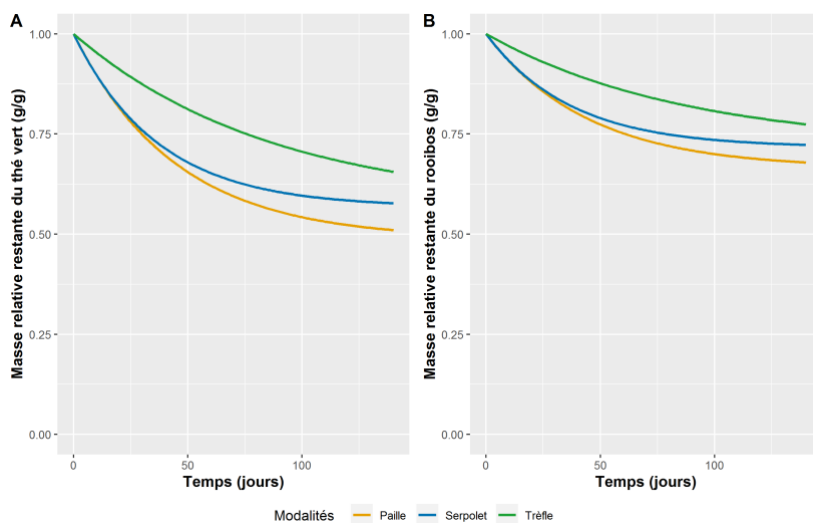
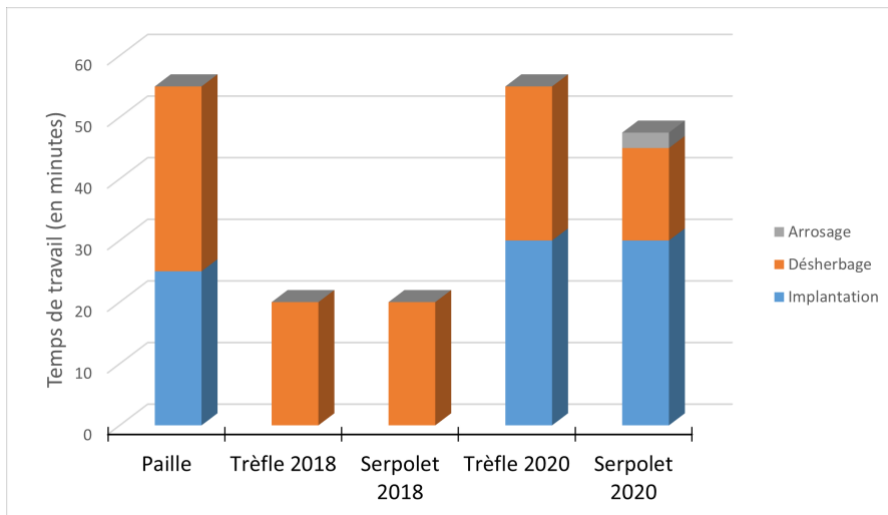
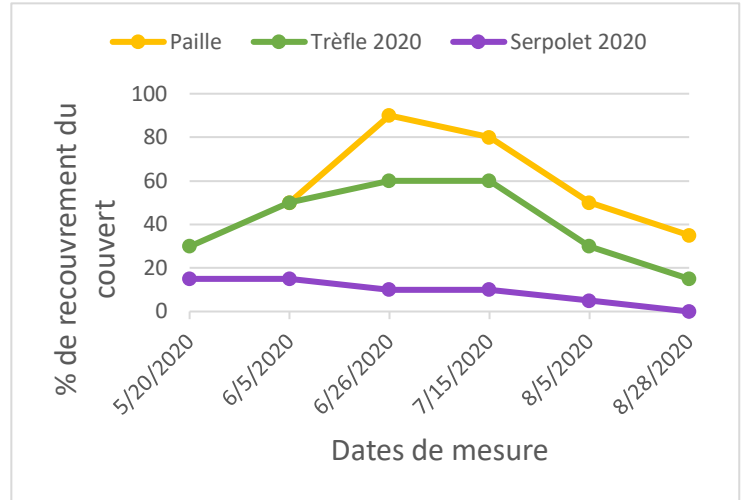
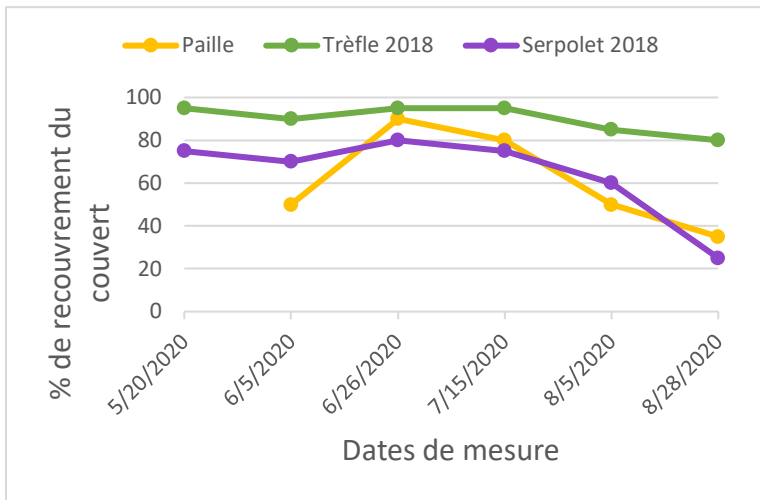
Nitrochek®, un outil rapide et fiable, Chambre d'Agriculture 29

Manuel d'utilisation du Nitrochek 404, vendu par Challenge Agriculture



Annexe XXI : Présentation des résultats de l'expérimentation sur l'association de culture courge-haricot grimpant chez Mr COLLOMP



Annexe XXII : Présentation des résultats de l'expérimentation sur la couverture des passe-pieds pour limiter l'enherbement chez Mr et Mme NOIR



Trèfle blanc	Serpolet
-Implantation <u>rapide</u> donc meilleure couverture du sol	-Implantation lente, mais bonne couverture au bout de 2 ans
-Développement végétatif important qui nécessite un contrôle plus précis	-Floraison dure 3-4 mois : attire beaucoup les pollinisateurs, mais gêne au passage du maraîcher
-Adapté si conditions du sol sèches, difficile à gérer en conditions plus humides	-Bien adapté aux conditions sèches du milieu
-Peut-être broyé après retrait des bâches pour enrichir les planches adjacentes	-Potentielles propriétés répulsives contre la mouche de l'ail, à vérifier.

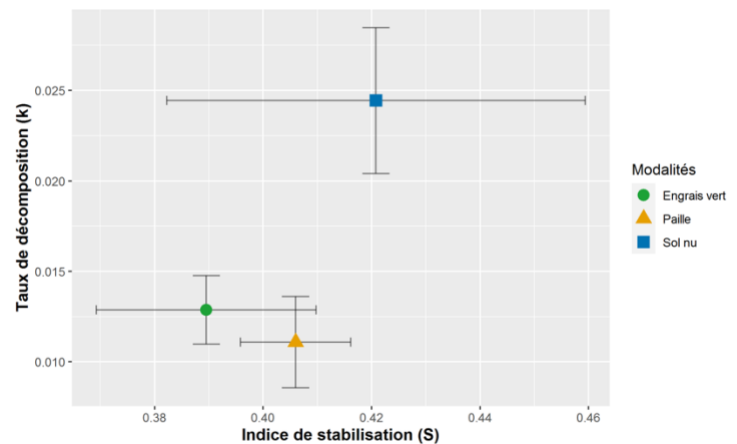
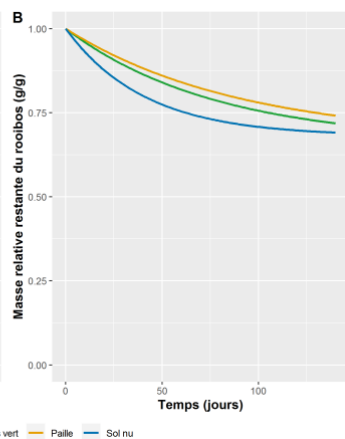
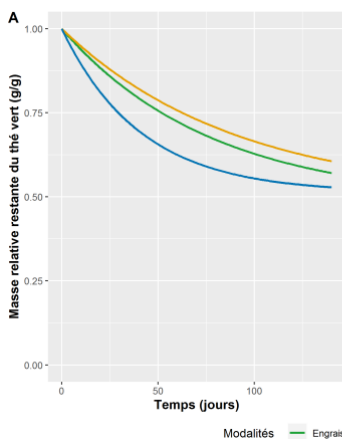
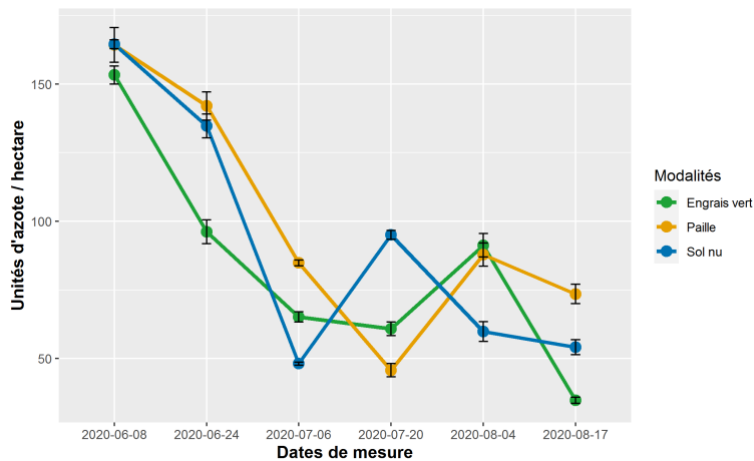



Annexe XXIII : Présentation des résultats de l'expérimentation sur la couverture du sol en hiver (engrais vert ou paille) chez Mme CASSARD

	Sol nu	Paille	Engrais vert
Structure du sol	Grumeleux mais plus tassé	Grumeleux	Grumeleux
Vie du sol	Racines VdT : 0 Absence p-ê liée à sécheresse	Racines VdT : 1	Racines (++) VdT : 2
Couleur du sol	Gris/marron clair	Marron foncé	Marron foncé (- que paille)
Humidité	Sec en surface, un peu humide en prof	Bien humide (++)	Humide (+)

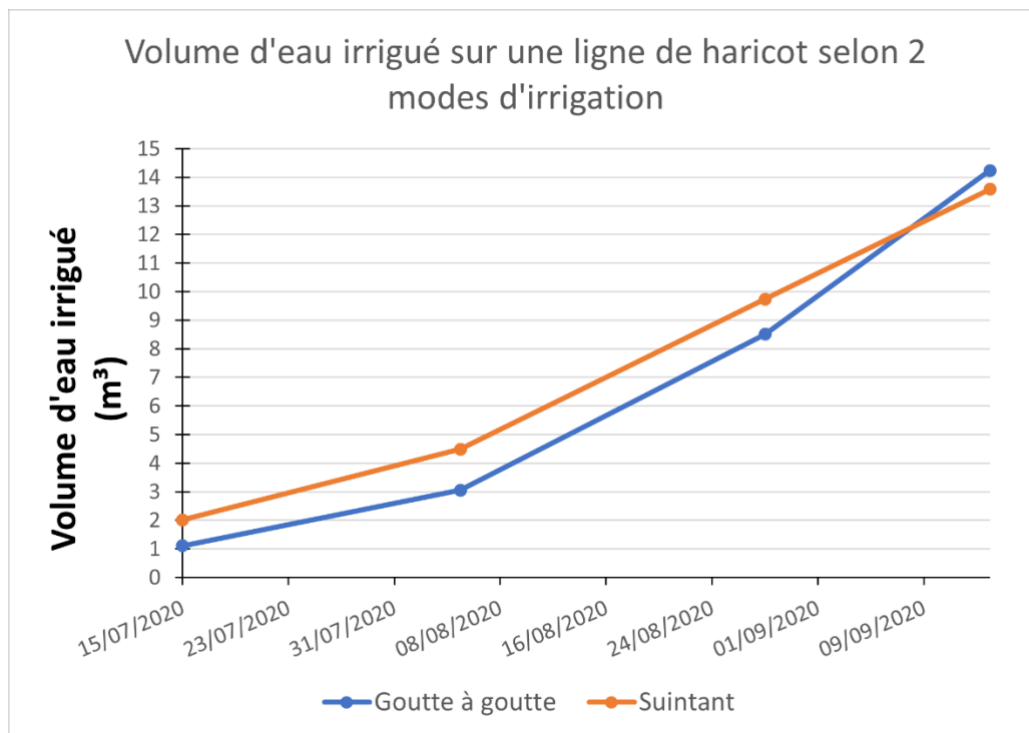


22 avril (sol sous bâche) → 1^{ère} mesure





Annexe XXIV : Présentation des résultats de l'expérimentation sur la comparaison de 2 systèmes d'irrigation (goutte à goutte et microporeux chez Mr BARBE

		Visa Reg Maille Rouge	T-Tape 508-20-500
<u>Caractéristiques générales</u>	Marque	Ventas Internacionales	Rivulis
	Site fournisseur Xavier	Triangle Outillage	Equipement Serre
	Type d'irrigation	Irrigation localisée	Irrigation localisée
	Mode d'écoulement	Par suintement	Par goutte à goutte (20 cm)
<u>Caractéristiques produits</u>	Diamètre intérieur gaine (mm)	16	16
	Pression minimale-maximale (bar)	0,1 - 1	0,3 - 2
	Pression de service (bar)	0,1 - 1	0,55 - 1,24
	Débit à la pression de service (l / h par mètre linéaire)	4 - 8	5 - 7,5
	Pente maximale	2-3 %	faible
	Longueur d'irrigation maximale à pression de service (m)	100	115
	Ferti-irrigation	Oui	Oui
	Durée d'utilisation garantie (années)	5	1
<u>Caractéristiques dans le cadre de l'expé</u>	Coût fournisseur (€)	185,88 € pour 200 m	106,25 € pour 2300 m
	Coût Marque (€)	NA	NA
	Coût au mètre linéaire (€ / ml)	0,93 € / ml	0,05
	Praticité / satisfaction	bien	fragile / se perce
	Efficacité sur culture	bien	bien
	Durée réelle d'utilisation (selon témoignage)	6 - 7 ans	2 ans max
	Obstruction calcaire	Non	Oui
<u>Caractéristiques liées à l'utilisation / au contexte environnemental de la ferme</u>	Type de sol privilégié pour diffusion latérale	Limono-argileux ou sableux	Limono-argileux
	Irrigation conseillée sur sol sableux (pour éviter drainage et favoriser diffusion latérale)	Augmenter fréquence irrigation	* Limiter le débit * Augmenter fréquence irrigation
	Irrigation en gravitaire	+++	+
	Type de culture adaptée	* Culture semée dense * Culture semées avec faible espacement (15-20 cm)	* Culture avec faible espacement * Culture avec espacement plus grand (>20 cm)



Comparaison systèmes	Goutte à goutte	Microporeux / suintant
Débit au champ	Faible	2x plus élevé, divise par 2 la durée d'irrig
Fragilité	*Elevée, se perce facilement *Se dilate au soleil et bouge, donc nécessite de le fixer au sol + en bout de ligne *Taupins peuvent percer le tuyau	*Faible *Pas besoin de le fixer
Durée d'utilisation (selon témoignages)	2 ans max Très courte avec une eau dure, que le système soit jetable ou non	6-7 ans Même pour une eau dure, sans besoin de nettoyage <i>a priori</i>
Mode d'irrigation	*Irrigue sur toute la ligne à condition d'avoir un sol peu drainant + durée irrigation long	*Irrigue sur toute la ligne et rapidement *Efficace pour cultures denses
Dénivelé	Pas trop dérangerant si pression suffisante	Nécessite faible variation de niveau sur la ligne, car le suintement fonctionne en partie par tension cohésion avec le sol
Pression	Fonctionne à basse P	Fonctionne à très basse P

 	Diplôme : Master 2
	Spécialité : Ingénieur agronome
	Spécialisation / option : Agroecology
	Enseignant référent : Safya MENASSERI
Auteur(s) : Victor FRICHOT	Organisme d'accueil : Agribio 06
Date de naissance* : 25/06/2020	Adresse : E.COL.E. Paul Eluard 10-10 rue des arbousiers
Nb pages : 26 Annexe(s) : 24 (57 pages)	
Année de soutenance : 2020	Maître de stage : Mélanie DESGRANGES
Titre français : Caractérisation et évaluation de pratiques agroécologiques en systèmes maraîchers biologiques diversifiés sur petites surfaces : expérimentations paysannes dans les Alpes-Maritimes	
Titre anglais : Characterization and assessment of agroecological practices in small-scale diversified organic market gardening systems : peasant experiments in the Alpes-Maritimes	
Résumé (1600 caractères maximum) :	
<p>Le projet MiMaBio 'Systèmes maraîchers biologiques diversifiés sur petites surfaces en région PACA' a pour but d'évaluer différentes pratiques agroécologiques afin de développer ce type de système. Pour la 3^{ème} année du projet, 7 expérimentations paysannes ont été mises en place, dont 3 seront développées. L'effet de pulvérisations de kéfir de lait en protection de la tomate <i>Solanum lycopersicum</i>, l'utilisation d'un double paillage sur des espèces de courges <i>Cucurbita</i>, et la comparaison de la durabilité de 2 filets à ramer coton ou plastique ont été évaluées. Différentes mesures ont été mises en place comme la vigueur, l'activité microbienne, l'état sanitaire, la structure du sol, la teneur en nitrates du sol, la température et la disponibilité en eau du sol, entre autres. Les données récoltées ont été analysées statistiquement par des tests de comparaison par paire de Tukey ou de Dunn selon leur normalité, et des tendances étaient dégagées sinon. Ces pratiques agroécologiques nous amènent à montrer la tendance du kéfir de lait à stimuler l'activité microbienne, l'effet tampon des températures du sol en double paillage ou encore l'impact environnemental élevé du filet à ramer en coton. De plus, la démarche d'expérimentation paysanne associée aux contraintes environnementales a permis de mettre en lumière les avantages et inconvénients de la méthode pour évaluer des pratiques agroécologiques.</p>	
Abstract (1600 caractères maximum) :	
<p>MiMaBio project 'Small-scale diversified organic market gardening systems in the PACA region' aims at assessing agroecological practices to develop this kind of system. For the third year of the project, 7 peasant experiments have been set up, of which 3 are explained. The effect of milk kefir sprayings on tomato plants <i>Solanum lycopersicum</i>, the impact of double mulching on squash <i>Cucurbita</i>, and the sustainability comparison of 2 trellis made from cotton or plastic have been assessed. Several measurements have been done such as crop growth, microbial activity, pest and disease impact and severity, soil structure, nitrate content in soil, soil temperature and water availability, among others. Data obtained from the field have been statistically analyzed thanks to Tukey or Dunn pairwise comparison tests, trends were identified when tests weren't significant. Some results from these experimented practices led us to show trends in the increase of microbial activity with milk kefir, buffering effect on soil temperature of double mulching, high environmental impact of cotton trellis. Moreover, the peasant experiment approach associated to environmental constraints highlight the advantages and drawbacks of this method to assess agroecological practices.</p>	
Mots-clés : maraîchage biologique, bio, petites surfaces, tomate, kéfir de lait, courge, paillage, ACV, filets à ramer, haricot, expérimentations paysannes, expérimentation en milieu paysan GOPEI, MiMaBio, agroécologie, durabilité	
Key Words: market gardening, organic, small surfaces, small-scale, tomato, milk kefir, squash, mulching, LCA, trellis, pole bean, peasant experiment, MiMaBio, agroecology, sustainability	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires