



**HAL**  
open science

# Étude comparative de l'effet de différents couverts permanents et apports exogènes de matière organique sur la vigueur de plants de tomate

Charles Rampaer

► **To cite this version:**

Charles Rampaer. Étude comparative de l'effet de différents couverts permanents et apports exogènes de matière organique sur la vigueur de plants de tomate. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04439620

**HAL Id: dumas-04439620**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04439620v1>

Submitted on 21 Mar 2024

**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.

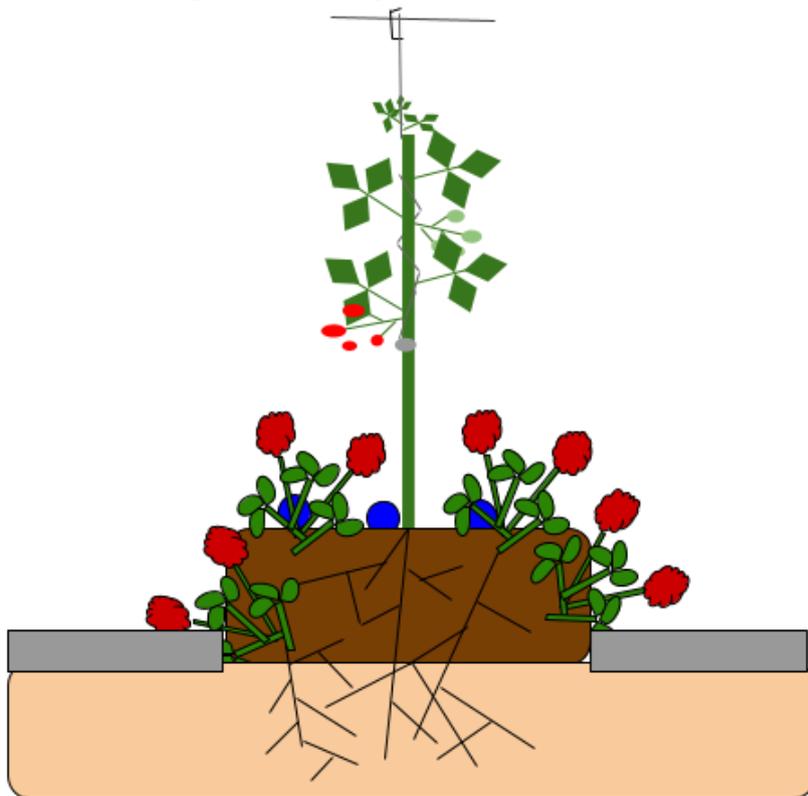
Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome

Spécialité : Agronomie

Option : Production Végétale Durable

Étude comparative de l'effet de différents **couverts permanents et apports exogènes** de matière organique sur la **vigueur de plants de tomates.**



Par Charles Rampaer - Année de soutenance : 2023

Structure d'accueil : Ver de Terre Production



**Mémoire de fin d'études**

**Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome**

**Spécialité : Agronomie**

**Option : Production Végétale Durable**

**Étude comparative de l'effet de différents **couverts permanents et apports exogènes** de matière organique sur la **vigueur de plants de tomate.****

Par Charles Rampaer

Année de soutenance : 2023

Mémoire présenté le 11 septembre à 10h30

**Structure d'accueil : Ver de Terre Production**

**Mémoire préparé sous la direction de : Brigitte Brunel**

**Membres du jury :**

**Président de jury : Léo Garcia**

**Rapportrice : Gaelle Damour**



*L'Institut Agro Rennes-Angers  
Site d'Angers*

<p><i>Année universitaire : 2022-2023</i></p> <p><i>Spécialité :</i> <b>Horticulture</b></p> <p><i>Spécialisation (et option éventuelle) :</i> <b>Production Végétale Durable</b></p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <i>de l'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</i></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <i>de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</i></p> <p><input type="checkbox"/> <i>de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</i></p> <p><input type="checkbox"/> <i>d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</i></p>
---	--

## Étude comparative de l'effet de différents **couverts permanents et apports exogènes** de matière organique sur la **vigueur de plants de tomates.**

*Soutenu le à Montpellier*

*Devant le jury composé de*

*Président de jury : Léo Garcia*

*Maître d'apprentissage : François Mulet*

*Enseignant référent : Brigitte Brunel (tuteur enseignant)*

*Autre.s membre.s : Gaëlle Damour (Rapportrice)*

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

*Page de garde d'après le modèle de l'institut agro Rennes-Angers*



Résumé : étude comparative de l'effet de différents couverts permanents et apports exogènes de matière organique sur la vigueur de plants de tomates.

En maraîchage sur sol vivant, deux principes essentiels sont la couverture permanente du sol et l'apport adéquat de la ration du sol, visant à favoriser la vitalité des plantes et la structure du sol. Une étude a été menée sur deux ans aux Serres de Marcel (France, Eure), comparant divers couverts permanents dans la culture de tomates (*Lycopersicon esculentum* L.). Les sept modalités étudiées ont reçu des apports de matière organique et de fiente de poules en année 1 formant ainsi des andains de culture. Toujours en année 1, quatre modalités d'andains ont été ensemencées chacune avec un couvert permanent (CP) de menthe, trèfle, luzerne ou féтуque et n'ont plus reçu d'apport (en année 2) hormis les résidus de tonte restant sur place. Trois modalités sans couvert (ni en année 1, ni en année 2), ont eu différents apports de bois raméal fragmenté (BRF) en année 2 : aucun apport (0 BRF), une dose (1 BRF), deux doses (2 BRF). Dès le début, le couvert de menthe a conduit à des plants de tomates avec une largeur de tige nettement inférieure aux autres modalités (24 à 27 % de moins que les autres modalités avec couvert, et 32 % de moins que 2 BRF). En fin de culture, les modalités sans apport de matière organique exogène (CP et 0 BRF) présentent une largeur des tiges de tomates inférieures à la modalité 2 BRF (environ 30 %). La croissance en longueur des tiges issues des modalités sans apport est inférieure aux modalités 1 BRF et 2 BRF de 8 à 15 %. Le taux de recouvrement des couverts évolue dans le temps. Le trèfle passe de 70% à 20 % en fin de saison, la luzerne passe de 50 à 35%, la féтуque passe de 25 à 80 %, le recouvrement de la menthe est assez stable, de 75-80%. Il n'y pas de corrélation entre la vigueur et le taux de recouvrement. La tonte des couverts permanents n'a pas permis d'assurer un développement satisfaisant des plants de tomates. Dues à des conditions de culture suspectées hétérogènes dans la serre, les valeurs de tiges de tomates sont plus faibles à proximité des parois vitrées donnant sur l'extérieur. En retirant ces valeurs du jeu de données, les conclusions de l'effet des CP restent similaires. En conclusion, les CP au bout de 2 ans ne permettent pas un apport suffisant de ration de sol pour la culture de tomates. Dans ces conditions, il est nécessaire de combiner les CP avec un apport de matière organique exogène.

Mots clés : Agroécologie - maraîchage sur sol vivant- culture en serre - *Lycopersicon esculentum* - bois raméal fragmenté

Abstract : comparative study of the impacts of different living mulches and exogenous organic matter input on the vigor of tomato plants.

In no-dig market gardening, two essential principles are permanent soil cover and appropriate soil enrichment, aimed at promoting plant vitality and soil structure. A two-year study was conducted at *Les Serres de Marcel* (France, Eure), comparing various permanent soil covers in tomato cultivation (*L. esculentum*). All seven treatments received organic matter and poultry manure inputs in year 1, forming cultivation ridges. Also in year 1, four treatments of the ridges were each sown with living mulches (mint, clover, alfalfa, or fescue), and no further inputs were given (in year 2) except for the remaining mowing residues. Three additional treatments, without living mulch (neither in year 1 nor in year 2), received different inputs of ramial chipped wood (RCW) in year 2 : no input (0 RCW), one dose (1 RCW), two doses (2 RCW). From the start, the mint cover led to tomato plants with significantly narrower stems compared to the other cover treatments (24 to 27% narrower than other cover treatments and 32% narrower than 2 RCW). At the end of the cultivation period, treatments without inputs (living mulches and 0 RCW) had narrower tomato stems than 2 RCW (approximately 30%). The growth (in length) of treatments without inputs was 8 to 15% less than treatments with 1 RCW and 2 RCW. The cover crops percentages changed over time. Clover decreased from 70% to 20% by the end of the season, alfalfa decreased from 50% to 35%, fescue increased from 25% to 80%, and mint cover remained relatively stable, around 75-80%. There is no correlation between cover crop percentage and tomato plant vigor. Due to suspected heterogeneous growing conditions within the greenhouse, tomato stem values are lower near the glass walls facing the exterior. By removing these values from the dataset, the conclusions remain similar. In conclusion, after 2 years, mowed living mulches do not provide an adequate soil nutrient supply for tomato cultivation. Under these conditions, it is necessary to combine living mulches with an input of exogenous organic material.

Keywords : Agroecology - no-dig market gardening - greenhouse - *Lycopersicon esculentum* - Ramial Chipped Wood

## Remerciements :

Je tiens tout d'abord à remercier toute l'équipe des Serres de Marcel pour l'amitié que nous avons tissée au cours de ces trois années d'apprentissage.

Je suis particulièrement reconnaissant envers François et Angélique Mulet qui m'ont accordé leur confiance, des responsabilités et des missions très valorisantes tout au long de mon apprentissage.

J'exprime toute ma gratitude à ma directrice de mémoire Brigitte Brunel qui m'a fortement aiguillé dans la rédaction de ce mémoire et sans qui la qualité de ce travail serait bien moindre.

Je remercie ma copine Anaïs qui m'a soutenu dans la rédaction de ce dossier et ces trois années d'apprentissage.

Merci également à ma famille pour les relectures répétées qui ont permis d'éliminer un grand nombre de coquilles.

## Table des matières

Introduction .....	12
1. Présentation du projet des Serres de Marcel .....	13
1.1. Les serres de Marcel : entre production de légumes et expérimentations .....	13
2. Etat de l'art.....	15
2.1. Historique de l'essai .....	15
2.2. La culture de la tomate sous serre .....	15
2.3. Description des couverts utilisés.....	17
2.4. La culture sous couverts permanents .....	18
2.5. La ration du sol.....	21
3. Objectif, démarche, questions et hypothèses du mémoire .....	21
3.1. L'objectif poursuivi aux serres de Marcel est de démocratiser les cultures légumières sur couverts permanents.....	21
3.2. La démarche suivie .....	22
3.3. Les questions et hypothèses du mémoire .....	22
3.4. Schéma conceptuel de l'essai .....	23
4. Matériel et méthodes.....	25
4.1. Description du dispositif expérimental .....	25
4.2. Itinéraire technique année 1 : décembre 2021-novembre 2022 .....	25
4.3. Itinéraire technique année 2 : décembre 2022 – août 2023.....	27
4.4. Mesures .....	29
4.5. Homogénéité de la serre .....	30
4.6. Analyses statistiques .....	31
4.7. Synthèse de la stratégie d'analyse des données .....	32
5. Résultats.....	33
5.1. Largeur de la tige principale des plants de tomates .....	33
5.2. Mesure hebdomadaire de la croissance en longueur de la tige des pieds de tomates.....	35
5.3. Taux de recouvrement du couvert végétal.....	37
5.4. Homogénéité de la serre .....	40
5.5. Analyses des résultats en enlevant les 7 andains suspectés d'avoir des conditions de croissance hétérogènes. ....	42

6. Discussion.....	43
6.1. Pertinence de l'essai.....	43
6.2. Discussion des résultats et validation des hypothèses .....	43
6.3. Discussion du programme expérimental.....	46
7. Conclusion.....	51
8. Références bibliographiques .....	52
9. Sitographie .....	56

### **Table des figures**

Figure 1 : vue aérienne des serres du "site1".....	14
Figure 2 : vue aérienne des sites de production.....	14
Figure 3 : frise du temps de l'itinéraire technique (ITK) de la culture de la tomate sous abri (source personnelle) .....	16
Figure 4 A : schéma des concurrences potentielles entre CP-CR (source personnelle).	
Figure 4 B : schéma des intérêts potentiels du couvert permanent (source personnelle). ...	20
Figure 5 : schéma conceptuel représentant le fonctionnement du système CP-CR.....	24
Figure 6 : schéma d'organisation de la serre pour l'essai 2022-2023 .....	26
Figure 7 : schéma d'un andain (10 m x 1 m). .....	26
Figure 8 : dynamique de croissance du diamètre de tige des plants de tomates, de la semaine 18 à 29 et par modalité. ....	34
Figure 9 : dynamique de la croissance hebdomadaire de longueur de tige des plants de tomates, de la semaine 18 à 29 et par modalité.. ....	36
Figure 10 : taux de recouvrement des couverts (n=3 sauf pour 0 BRF n=4) pour les semaines de gauche à droite S12 (avril), S20 (mai) et S28 (juillet). ....	37
Figure 11 : représentation des variables sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP. ....	38
Figure 12 : répartition spatiale par ACP des plants de tomates (n=126) selon les modalités pour la semaine 28, pour les dimensions 1 et 2. ....	39
Figure 13 : répartition des plants en 3 groupes indiqués par une couleur différente sur les deux premières dimensions de l'ACP. ....	39
Figure 14 : représentation graphique par quartile de la largeur de tiges de chaque plant de tomates localisé dans la serre pour la semaine 18.....	41
Figure 15 : dynamique de la croissance (cm) hebdomadaire de la longueur des tiges de tomates (A à gauche) et de largeurs de tige (B à droite) des plants de tomates dans le temps par modalité. ....	42
Figure 16 : système actuel vs production en passe pied.. ....	46
Figure 17 : schéma de la serre et des points de prise de mesure de la température .....	47
Figure 18 : proposition de design de système CP-CR.....	50

## **Table des tableaux**

Tableau 1 : besoins en NPK par t de fruits et pour le rendement visé en tomates.....	16
Tableau 2 : modalités pour l'essai 2022- 2023.....	28
Tableau 3 : récapitulatif des variables mesurées en 2023.....	30
Tableau 4 : récapitulatif des variables analysées et méthode d'analyse en fonction de la question posée.....	32
Tableau 5 : largeurs moyennes des tiges de tomates.....	34
Tableau 6 : croissances moyennes des tiges de tomates.....	36
Tableau 7 : contributions des variables aux deux premiers axes de l'ACP (en %).....	38
Tableau 8 : largeurs moyennes des tiges de pieds de tomates par modalité et par période en enlevant les 7 andains suspectés d'avoir des conditions de culture hétérogène en serre.....	43

## **Liste des abréviations**

ACP : analyse en composante principale

ACS : Agriculture de Conservation des Sols

BRF : Bois Raméal Fragmenté (désigne le broyat utilisé)

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique.

CP : Couvert Permanent

CR : Culture de Rente

ITK : Itinéraire Technique

MSV : Maraîchage sur Sol Vivant

MS : Matière Sèche

PBI : Protection Biologique Intégrée

PTD : Pâturage Tournant Dynamique.

SA : Surface Agricole

SDM : Serres De Marcel

SAU : Surface Agricole Utile

SA : Surface Agricole

VDTprod : Ver De Terre production

## Introduction

Le maraîchage sur sol vivant (MSV) repose sur les mécanismes naturels des sols. Dans un écosystème naturel, c'est l'action conjointe de la micro et macro-faune du sol et des racines des plantes qui structure le sol. La minéralisation de la matière organique fraîche et de l'humus par la vie du sol assure la fertilité du sol (Cluzeau, 2011). Le MSV vise à "offrir le gîte et le couvert" à la macro et microfaune du sol (adaf26) lesquels assurent la nutrition des plantes et structurent le sol (wikitripleperformance). Les praticiens du MSV adhèrent à trois principes fondamentaux : la réduction du travail du sol, le maintien permanent d'une couverture végétale sur le sol et l'apport régulier de matière organique pour nourrir le sol (adaf26). La ration du sol est la quantité de matière sèche (MS) organique à apporter afin de nourrir la vie du sol. Elle est fixée à 20 t de MS/ha/an.

Une part importante de la production des maraîchers se fait sous serre et ce principalement pour "les légumes d'été" comme la tomate (*Lycopersicon esculentum L.*). La production de tomates en France atteignait près de 700 000 t en 2021, dont 521 000 t sous serre (agreste, FAOstat 2023). 90 % des tomates sous serres sont cultivées en hors sol. (franceinfo). Aujourd'hui, la culture de la tomate en MSV se développe. C'est notamment le cas avec la création de 3 ha de serres chauffées en MSV aux serres de Goulaine et la transition de nombreux producteurs de la coopérative océane (Marc Pineau, chef de culture des serres de Goulaine, communication privée 2022). Les besoins en fertilité de la culture de tomates sous serres chauffées sont plus importants, la ration du sol est donc plus élevée (François, Mulet, communication privée).

Lors d'un voyage d'étude réalisé en 2022 chez différents producteurs de tomates en MSV, j'ai recensé 2 problèmes récurrents :

- trouver de la matière organique bon marché et propre (sans déchets)
- réussir à homogénéiser l'horizon organique (apports de matière) et l'horizon minéral (sol) afin d'augmenter l'horizon racinaire et favoriser l'infiltration de l'eau (annexe 1).

J'ai également remarqué que les motivations pour passer en MSV sont : l'image de marque de la tomate pleine terre, la volonté de s'affranchir des intrants azotés chimiques et des attentes sur l'amélioration du goût, de la conservation et de la résistance aux maladies. Ces motivations sont en accord avec la volonté du gouvernement français et de l'Union Européenne de développer l'agroécologie et de réduire les intrants azotés (gouvernement.fr, 2023) (cor.europa.eu, 2022).

Les couverts permanents (CP) peuvent répondre à ces objectifs. D'une part, en apportant de la matière sèche propre (tonte des parties aériennes) et, d'autre part, avec la formation de racines en profondeur dans l'horizon minéral. Leur présence risque de diminuer le rendement par la compétition aux minéraux et à l'eau. Les CP suivent également le principe du MSV de la couverture permanente du sol. Enfin, les CP peuvent accueillir auxiliaires et bioagresseurs (diversifier et conserver des réseaux trophiques dans les CP lorsque les cultures sont saines). L'objectif suivi par ce mémoire est de mesurer la compétition entre les couverts et les plants de tomates. Ce travail commencera après cette introduction, avec une mise en contexte qui présente le projet "Serres de Marcel" et le projet de recherche porté par la ferme (1<sup>ème</sup> partie). La 2<sup>ème</sup> partie fait un état de l'art sur l'historique de l'essai, la culture de la tomate, les CP utilisés, la bibliographie sur les systèmes CP en culture légumière, suivie en

3<sup>ème</sup> partie de l'énoncé de la problématique des objectifs de travail et de la démarche choisie. La 4<sup>ème</sup> partie est consacrée au matériel et à la méthode des essais, après quoi les résultats seront présentés (5<sup>ème</sup> partie) et analysés dans la 6<sup>ème</sup> partie (discussion et perspectives pour le projet de recherche). Une conclusion fait l'objet de la 7<sup>ème</sup> et dernière partie.

## 1. Présentation du projet des Serres de Marcel

### 1.1. Les serres de Marcel : entre production de légumes et expérimentations

#### 1.1.1. Le projet

“Les Serres de Marcel” est la ferme expérimentale de Ver de Terre Production. Elle est située en Normandie à Mesnil-sur-Iton (27 Eure). Elle a pour objet principal la production et la commercialisation de légumes en MSV. Son rôle secondaire est de mettre en place des essais afin de développer les techniques de MSV. Ces essais sont élaborés en collaboration avec Ver de Terre Production, organisme de formation, de diffusion du savoir et de conseil en agroécologie créé par François Mulet, Konrad Schreiber et Vincent Levavasseur en 2017. Tous trois sont impliqués dans la création des techniques de MSV dans les années 2010-2015. Le chiffre d'affaires généré par la vente de légumes ne suffit pas à assurer le financement des essais. Un investisseur privé soutient financièrement le projet et un financement public de la région Normandie a été obtenu en 2022. Des travaux de construction de bureaux sont en cours sur le site des Serres de Marcel. L'objectif est d'y accueillir les équipes de Ver de Terre Production et de l'association Maraîchage Normandie Ile-de-France (association partenaire de VDTprod).

#### 1.1.2. Les surfaces cultivées

La ferme a une surface agricole de 4 ha dont 1,5 ha de serres (verre, multichapelles plastiques et tunnels fraisiers) et 1,5 ha de plein champ. Ses surfaces sont divisées sur 2 sites de productions distants de quelques centaines de mètres (figure 1). Avant le rachat de l'ensemble du site en octobre 2021 par François et Angélique Mulet, les surfaces étaient exclusivement dédiées à la production de plants de fleurs et de légumes. Toutes les surfaces ont ensuite été passées en maraîchage, courant de l'hiver 2021-2022. Près de 2000 m<sup>3</sup> de matière organique ont été apportés sur le site afin de “remettre en vie” les sols à l'hiver 2021. Les surfaces sont actuellement cultivées en maraîchage diversifié.

#### 1.1.3. L'expérimentation sur le site

Sur le site 1, 1000 m<sup>2</sup> de serre en verre sont réservés à l'étude de la culture associée de tomates et de CP (serres expérimentales, figure 2). Les essais ont commencé dès la première saison de culture, en 2021-2022, avec la plantation et le semis de couverts (menthe, thym, estragon, origan, mélange fleuri, trèfle, fétuque et luzerne) et la plantation de tomates et de concombres. En deuxième année (2022-2023), certains couverts (menthe, fétuque, luzerne et trèfle) ont été conservés et de nouveaux plants de tomates ont été plantés (les concombres ne font plus partie de l'essai).



Figure 2 : vue aérienne des sites de production. Sur le Site 1 (0,6 ha), au Nord-Ouest, se trouvent les serres d'expérimentation. Sur le site 2 (3,4 ha), au Sud-Est, se situe le site de production. Echelle : 1 cm : 75 m

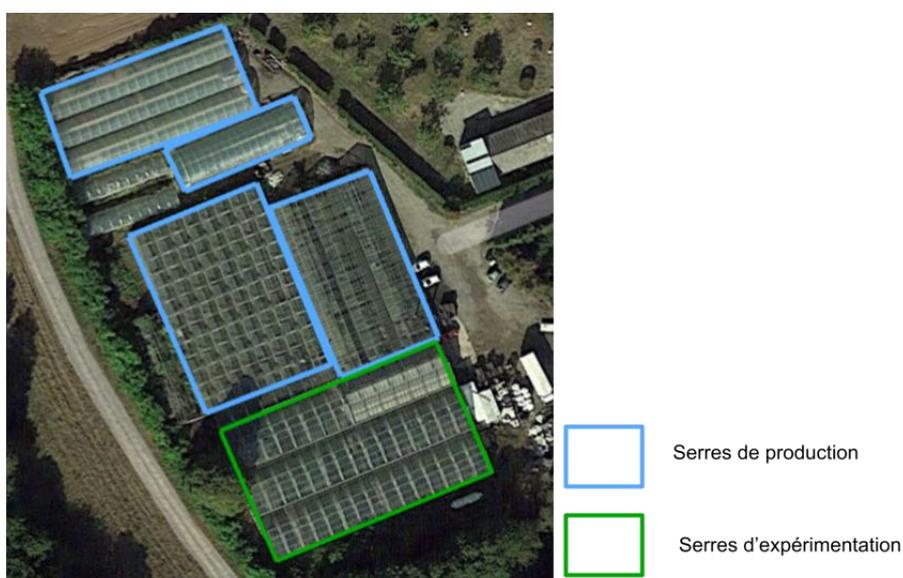


Figure 1 : vue aérienne des serres du "site1", les 1000 m<sup>2</sup> en vert sont les serres dédiées à l'étude des interactions entre des CP et des tomates. Les essais ont commencé en 2021 et sont renouvelés chaque année. La zone en bleu (2000m<sup>2</sup>) correspond à des serres de production de légumes.

#### 1.1.4. Des essais financés par la région Normandie

Les essais et mesures concernant la tomate cultivée sur couvert permanent font partie d'un projet de recherche financé par la région Normandie (année 2022-2023). Le financement porte sur le développement de nouveaux itinéraires techniques en agroécologie. Les serres de Marcel sont à l'origine du dépôt de dossier. Les jardins du CEP (essais sur carottes), ABC 14 (essais valeurs nutritives), MSV Normandie IDF (documentation) et Ver de Terre

Production (documentation et production de formations) sont des partenaires du projet. Ce mémoire fait partie des rendus attendus par la région. D'une part, l'obtention de ce financement est bénéfique aux essais de tomates sur couverts permanents car il permet de dégager de la ressource humaine à la prise de mesure et à l'analyse de données et, d'autre part, cela permet de trouver un équilibre financier au projet global de centre d'expérimentation en MSV.

## 2. Etat de l'art

### 2.1. Historique de l'essai

Les essais de tomates cultivées sur couvert ont commencé en 2021 aux Serres de Marcel. Un certain nombre de couverts de plantes mellifères annuelles, aromatiques et de CP ont été installés en mars 2021. Les couverts de plantes mellifères n'ont pas été conservés car ils ne sont pas présents toute l'année (sénescence des plantes) et que la diversité d'auxiliaires (spécifique et le nombre d'individus) n'était pas significativement différente des CP lors des relevés de 2021. La plupart des plantes aromatiques n'ont pas réussi à s'installer convenablement et ont donc été écartées (thym, origan, estragon). Il est apparu que les modalités couvertes étaient significativement plus riches en diversité et quantité de prédateurs que les modalités témoins sans couvert (7 à 10 fois plus d'individus que dans la modalité non couverte), sans que cela n'ait d'impact sur la hauteur des plants de tomates ni sur leur rendement (rapport de stage Lucas Rice, 2021) (rapport de stage Charles Rampaer, 2021). La première saison 2021-2022 nous a permis d'en apprendre plus sur le potentiel des couverts pour favoriser la biodiversité des auxiliaires.

### 2.2. La culture de la tomate sous serre

#### 2.2.1. Caractéristiques de la culture

La tomate (*Solanum lycopersicum L.*) est une solanacée herbacée originaire du Sud et du centre du continent américain (vallées fertiles du Mexique) (Sun et al, 2017). En milieu naturel, elle est vivace mais les variétés cultivées sous nos latitudes et notre mode de production en font des plantes annuelles. Il existe des variétés déterminées, dont l'apex est arrêté par l'apparition d'un bouquet floral. Les variétés cultivées sous serres sont généralement des variétés indéterminées. Les bouquets floraux sont séparés par 3 feuilles et se développent sur la tige de la plante. Chaque bouquet contient 3 à 8 fruits (variable selon les variétés). La plante peut croître indéfiniment. Des axes secondaires se développent à l'aisselle de chaque feuille (gourmands). Le rendement visé est de 20 kg/m<sup>2</sup> en serre non chauffée (Équiterre, 2009). En serre chauffée, il peut atteindre 60 kg / m<sup>2</sup> (600 t / ha) (Verdeterreprod.fr., 2021).

#### 2.2.2. Itinéraire technique de la culture de la tomate sous abris non chauffés

Le semis de la tomate s'effectue en hiver à 20 - 25 °C. En France, la plantation est faite en mars. Le premier gourmand est sélectionné pour en faire un deuxième "axe de production". Il est entretenu comme l'apex principal. C'est une culture en biaxe ou V. L'entretien s'effectue tout au long de la culture (figure 3). Il consiste en un palissage

(hebdomadaire), un égourmandage (hebdomadaire), l'effeuillage (bimensuel) et la descente des plants de tomates (bimensuel). Une bâche peut être mise en place en couvre sol pour limiter le désherbage. La récolte commence fin juin / début juillet et s'effectue deux fois par semaine. Un à deux mois avant la destruction de la culture, les apex des plants de tomates sont coupés afin d'arrêter le développement de la plante et de laisser les derniers fruits mûrir sans initier de nouveaux fruits. La culture est détruite en octobre / novembre dépendamment de la rotation culturale et de l'état sanitaire de la culture. Les résidus de culture peuvent être broyés et laissés sur place (opération déconseillée lorsque l'état sanitaire en fin de culture n'est pas bon (DAGPF, 2018)).

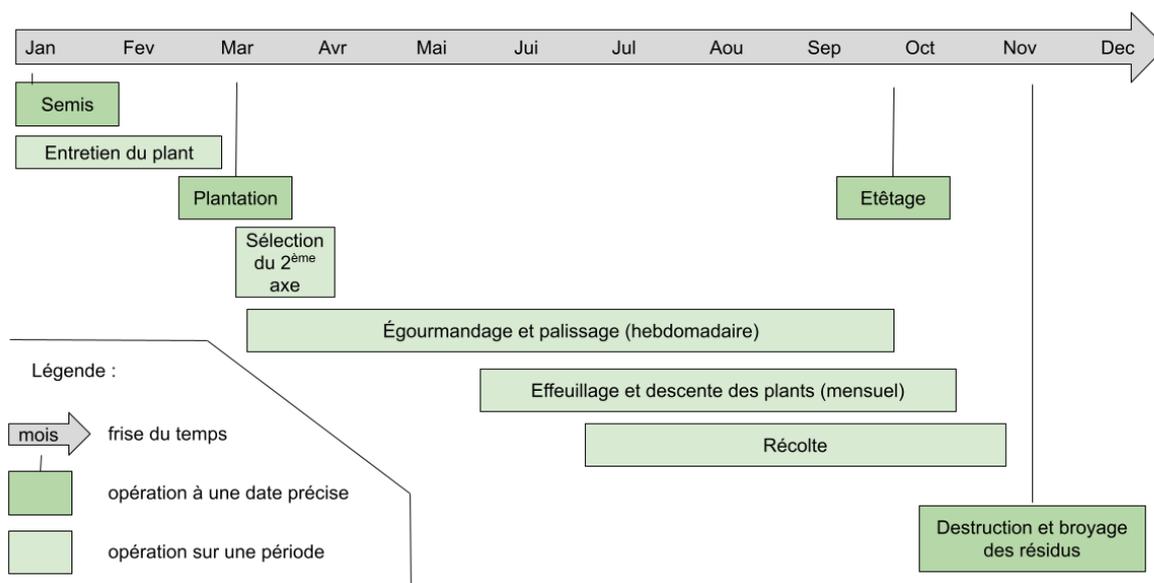


Figure 3 : frise du temps de l'itinéraire technique (ITK) de la culture de la tomate sous abri (source personnelle). Le palissage est l'action d'enrouler la tomate autour de son fil de culture. L'égourmandage est l'action de couper les axes secondaires qui se développent aux aisselles des feuilles. L'effeuillage est la taille des feuilles les plus anciennes. L'objectif est de rendre les fruits plus simples à ramasser (visibles), d'accélérer leur maturation et d'aérer la culture afin de limiter le développement de maladies cryptogamiques. La descente des tomates permet d'effectuer les opérations précédentes sans avoir à monter sur un chariot et de continuer à palisser les tomates une fois qu'elles ont atteint le bout de leur fil.

Les besoins en NPK dépendent du rendement visé. Les rendements visés en serre non chauffée sont de 200 t / ha ce qui représente 20 kg/m<sup>2</sup>. Les besoins NPK sont décrits dans le tableau 1.

Tableau 1 : besoins en NPK par t de fruits et pour le rendement visé en tomates (yara.fr) (bio-enligne.com).

N/t de fruit	P/t de fruit	K/t de fruit	N pour 200 t	P pour 200 t	K pour 200 t
2,2 à 2,7	0,2 à 0,4	2,6 à 3,6	440 à 570 U	40 à 80 U	520 à 720

Les températures aériennes conseillées pour la culture de tomates sont de 18 à 24 °C le jour et de 16 à 20 °C la nuit. La température optimale du sol pour l'absorption des éléments est de 25°C (James et al., 2008).

### 2.3. Description des couverts utilisés

Aux Serres de Marcel, les caractéristiques recherchées dans un couvert permanent sont une faible demande en eau et nutriment, une faible hauteur, une forte production de matière sèche, une rapidité de couverture du sol, une résistance au piétinement, une croissance toute l'année, la conservation de la faune auxiliaire. Ces caractéristiques se retrouvent dans le travail de Fageria *et al* (2004).

#### 2.3.1. La luzerne : reine des fourrages

La luzerne (*Medicago sativa*) est une plante herbacée vivace de la famille des Fabacées. En France, elle est largement utilisée en production de fourrage, 300 000 ha en production (lacooperationagricole.com, 2023). Sa racine pivot et ses racines secondaires peuvent descendre profondément dans le sol et accueillent des bactéries fixatrices d'azote. Sa profondeur d'enracinement en fait une plante résistante à la sécheresse et lui permet de structurer le sol (Bourgeois *et al.*, 2023). Son potentiel de rendement en MS est important (10 à 12 t MS ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup>).

#### 2.3.2. Le trèfle blanc : une taille intéressante

Le trèfle blanc (*Trifolium repens*) est une plante herbacée vivace de la famille des Fabacées. Son réseau de stolons et de racines superficielles denses en fait un couvert assez compétitif d'autant plus en condition de stress hydrique au printemps. Il y a absence de dormance si l'hiver est doux (Arvalis, 2023). Il est également appelé "trèfle rampant" du fait de sa faible taille. Cette caractéristique est intéressante pour limiter la compétition à la lumière en début de culture. Sa capacité de fixation biologique d'azote en fait un CP potentiellement moins concurrent aux minéraux. Son rendement est de 4 à 10 t MS ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup>.

#### 2.3.3. La fétuque rouge : un gazon à (re)tondre

La fétuque rouge traçante (*Festuca rubra*) est une herbacée vivace de la famille des Poacées. Elle est principalement utilisée dans les jardins car elle permet d'obtenir un gazon homogène et abondant. Sa bonne tolérance à l'ombre (Esmailpourmoghadam *et Salehi*, 2021) en fait un couvert intéressant à tester en culture de tomates. Utilisée comme gazon, elle résiste bien aux tontes. Son rendement est de 3 à 6 t MS ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup>.

#### 2.3.4. La menthe : une couverture abondante

La menthe (*Mentha spicata*) est une plante herbacée vivace de la famille des Lamiacées. Sa rapidité de recouvrement du sol, sa forte production de biomasse et sa bonne capacité à repousser après une tonte en font un excellent couvert. De plus, la plante réussit à pousser dans des conditions de rayonnement très faible (Deraman *et al.*, 2018) lui permettant de bien se développer sous les plants de tomates. Son rendement est de 16 à 20 t MS .ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

## 2.4. La culture sous couverts permanents

En grande culture, une méta analyse (Verret *et al*, 2017) montre que l'association d'une culture de rente (CR) et d'une légumineuse permet d'obtenir de meilleurs rendements et moins d'adventices (gagnant-gagnant) que le témoin (désherbé) dans 36% des études et, à l'inverse, un moins grand rendement et plus d'adventices dans 26% des cas. De manière générale, les plantes compagnes n'ont pas d'effet négatif significatif sur le rendement. Les résultats diffèrent dépendamment des cultures, le maïs associé avec un couvert ayant un rendement 36% supérieur au témoin non désherbé. L'espèce utilisée pour le couvert n'a pas d'impact sur le rendement, ni la pression des adventices. Toutefois, en culture de poivrons, Adamczewska et Kolota (2008) ont observé une baisse de rendement (de 21,5 % en moyenne) différente en fonction des couverts utilisés. La serradelle (*Ornithopus sativus* Brot) et le ray-grass (*Lolium perenne* L.) entraînent une moins grande réduction de rendement que le trèfle blanc (rendement supérieur de 10%) (*Trifolium repens* L.) et l'œillet (*Calendula officinalis* L.). La réduction de rendement est directement liée à la production plus importante de biomasse du couvert. La fauche régulière du couvert et le choix de la date d'implantation permettent d'augmenter le rendement en culture de tomates associée à du trèfle blanc (*T. repens* L.) et de la serradelle (*O. sativus*) Adamczewska et Kolota (2008). Les performances agronomiques (production de MS, fixation d'azote, hauteur, taux de recouvrement, durée de croissance) de huit variétés de trèfles ont été étudiées et les résultats ont différé pour chacune d'elles. Dans l'étude de Leoni *et al.* (2020), la production de MS est directement corrélée avec la durée de croissance du couvert. Gibson *et al* (2017) ont observé que le semis d'orge en inter rang de plants de tomates réduit la quantité de mauvaises herbes et des graines dans le sol sans impacter le rendement (en plein champ).

Les couverts permettent dans certains cas une augmentation de rendement due à la protection contre le gel (Kolota & Adamczewska-Swowińska, 2008). Le CP crée un microclimat protégeant la CR.

En culture de brocolis associée à un CP de trèfle blanc, Fracchiolla *et al.*, 2020 ont démontré que le rendement, la biomasse aérienne et la qualité (diamètre du chou) augmentent significativement avec la quantité de fertilisation apportée. Des essais de culture de brocolis associée à de la luzerne ont été menés au Canada (Thériault *et al.*, 2009). La présence de couverts de luzerne et de trèfle a diminué le rendement (16% de moins). Les auteurs de l'étude proposent de tondre plus fréquemment les couverts pour limiter la compétition et augmenter l'azote dans le sol par la minéralisation de la tonte. De manière générale, en présence d'un CP, la nutrition azotée des plantes d'intérêts peut être diminuée. Sur vigne, cet effet est accentué lorsque la plante est en stress hydrique (Celette & Gary, 2013). Notons que les CP peuvent permettre d'augmenter le stockage d'eau dans le sol en hiver ; cependant, la transpiration du couvert au printemps crée un stress hydrique et contrebalance cet intérêt (Celette & Gary, 2013).

L'effet de concurrence à l'eau des couverts est à surveiller. En effet, la hauteur des plants de tomates et le rendement augmentent avec la disponibilité en eau, jusqu'à ce que l'entièreté de l'évapotranspiration soit comblée (Wu *et al.*, 2021). Il paraît évident qu'en déficit de minéraux, les cultures se développent moins bien. De fait, dans cette situation, la production de tomates est réduite (Le Bot *et al*, 2001) (Warner *et al.*, 2004). Les besoins en minéraux dépendent du rendement visé. Chaque tonne de tomates exporte 2,2 à 2,7 kg

d'azote (yara.fr) (bio-enligne.com). Les besoins NPK augmentent avec le temps (plus le temps passe, plus il y a de fruits).

#### 2.4.1. L'entretien des couverts permanents et la minéralisation des couverts

L'entretien du CP permet de diminuer la compétition entre celui-ci et la culture de rente (CR) (Thériault et al., 2009). La compétition d'un couvert peut être limitée notamment par l'application d'herbicide. Cette gestion permet de conserver le rendement en profitant de certains avantages des couverts (Wiles et al., 1989). Elle est utilisée dans cette dernière référence sur une culture de chou chinois (*Brassica rapa L.*) qui est une culture basse et qui peut rapidement passer sous le CP. L'application d'un herbicide a permis de limiter efficacement le développement du CP. La tonte du couvert est la méthode préconisée par Sportelli et al. 2022 pour réduire le moins possible le rendement de la CR, contrôler efficacement les adventices et diminuer la consommation d'énergie (en comparaison avec un brûlage localisé du couvert et la non-gestion). La tonte du couvert paraît être le mode de gestion le plus adapté, car elle ne détruit pas complètement le couvert et elle limite la compétition CP-CR ; le stade phénologique de la plante lors de la tonte a également une importance. En effet, le ratio carbone/azote des résidus d'une plante (C:N) augmente avec le développement physiologique des plantes (Liu et al. , 2015) (Bourgeois et al. , date inconnue). Il a été observé (Justes et al., 2009 ; Li et al., 2020) que la minéralisation d'azote des résidus des couverts végétaux dépend du C:N des résidus. Un C:N faible a un effet fertilisant et un C:N élevé peut créer une faim d'azote (Justes et al. 2009) si aucun autre apport d'N n'est effectué. Le stade phénologique auquel le couvert est coupé a donc un effet sur l'impact du couvert sur le sol et notamment la disponibilité en azote. La tonte du couvert n'est pas suivie de l'incorporation des résidus, cela limite les risques de faim d'azote (Coppens et al. , 2005).

Les CP peuvent créer une concurrence aux minéraux qui peut être limitée par la stratégie de tonte du couvert. La stratégie nous semblant la plus intéressante est raisonnée d'après une méthode utilisée en élevage : le Pâturage Tournant Dynamique (PTD). Cette technique de gestion de prairie permet de produire plus de biomasse que les autres techniques de gestion de prairie (Li et al., 2020 ; FIDOCL, 2018).

Le manuel du PTD de Inov éco cite trois règles à suivre (Innov éco, 2014) :

- *“Ne jamais laisser des animaux plus de trois jours sur une parcelle afin d'éviter que les repousses de feuilles ne soient mangées immédiatement.”*
- *“Faire pâturer les plantes au stade trois feuilles, ni avant, ni après.”*
- *“Retirer les animaux à temps”*

En effet, les repousses puisent dans les réserves de la plante. Si elles sont consommées trop rapidement, la plante ne peut pas reconstituer ses réserves. Une graminée ne peut avoir que trois feuilles vertes simultanément. Lorsque la quatrième apparaît, la première feuille jaunit. La taille des limbes (feuilles) dépend de la taille de la gaine (organe de réserve). La consommation de la gaine par les animaux réduit le rendement en herbe lors du prochain pâturage.

La stratégie de tonte consiste donc à effectuer un passage (de débrouailleuse) lorsque les couverts atteignent 10 à 20 cm et pratiquer une coupe assez haute (minimum 5 cm) afin de garder le potentiel de croissance.

## 2.4.2. La compréhension du système CP-CR aux Serres de Marcel

D'après nos différents essais sur diverses cultures, le CP et la CR peuvent entrer en concurrence. Le CP crée d'abord une concurrence sur le rayonnement en début de culture et une concurrence aux minéraux et à l'eau durant toute la saison (figure 4 A). Les CP apportent cependant des bénéfices au système (Figure 4 B) : ils peuvent participer à homogénéiser l'horizon organique (représenté en marron foncé) et minéral (marron clair) et, de ce fait, accroître la réserve utile en augmentant la profondeur d'enracinement de la CR. Les Fabacées peuvent fixer symbiotiquement de l'azote atmosphérique. La production de MS du couvert permet de "nourrir" la vie du sol. Les CP peuvent diminuer la température de l'air de la serre, d'une part en humidifiant l'air et, d'autre part, en limitant le rayonnement incident. La température du sol est réduite car le rayonnement n'est pas direct sur le sol. Enfin, le CP permet de conserver des réseaux trophiques "Bioagresseur-Auxiliaire" et offre une ressource mellifère aux auxiliaires pollinisateurs.

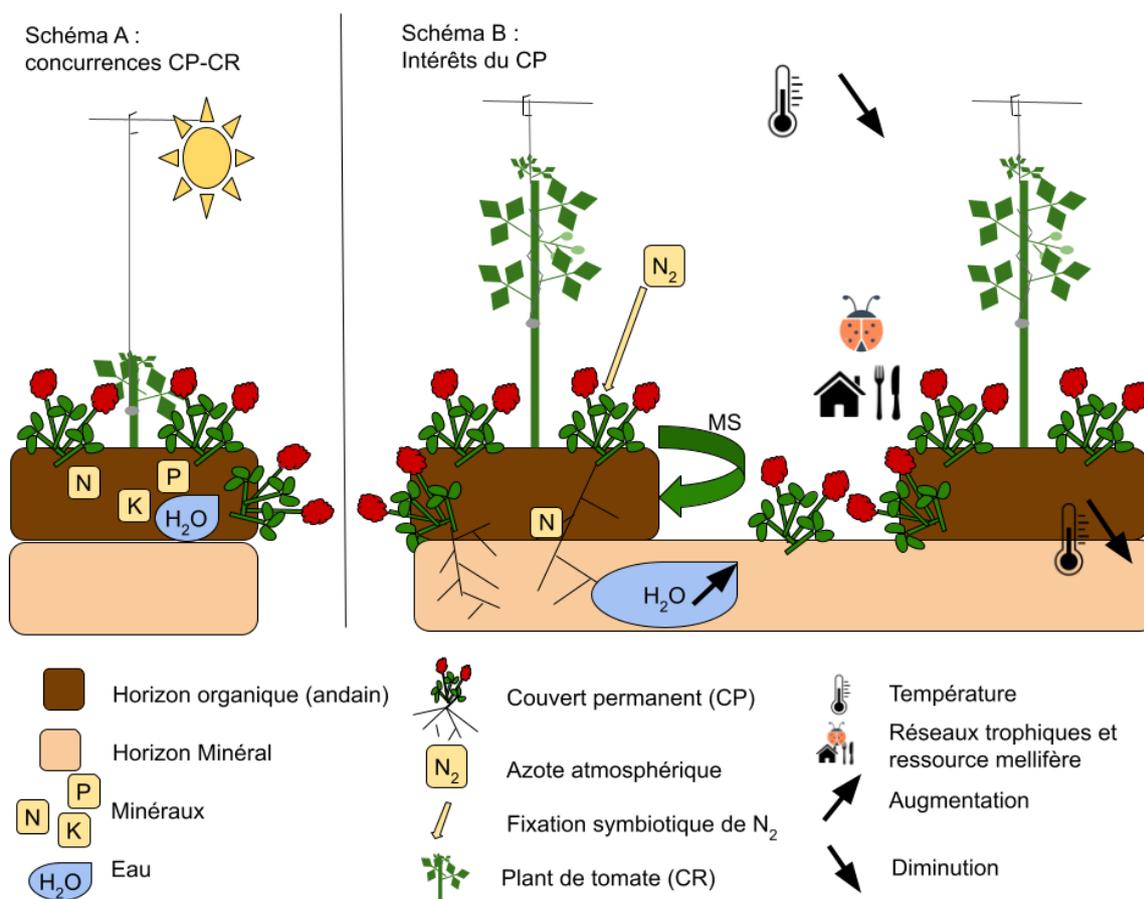


Figure 4 A : schéma des concurrences potentielles entre CP-CR (source personnelle).

Figure 4 B : schéma des intérêts potentiels du couvert permanent (source personnelle).

## 2.5. La ration du sol

### 2.5.1. Le principe général

La ration du sol est un principe élémentaire du MSV. L'idée est qu'un écosystème européen (une forêt tempérée) produit en moyenne 20 t MS ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> (apport aérien et racinaire) (Gobat *et al.* 2010) (wikitripleperformance, cycle de la fertilité, 2023). Avec cet apport annuel de 20 t MS ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> et les exsudats racinaires, la fertilité et la porosité du sol sont assurées par l'activité biologique du sol, à savoir : les racines, les micro- et macro-organismes (wikitripleperformance, cycle de la fertilité, 2023). Cette valeur est également celle observée empiriquement par François Mulet (président de ver de terre production et co-créateur des techniques de MSV) lors d'accompagnements de maraîchers cherchant à passer à un système de production en MSV. Lorsque l'objectif de rendement est plus important, comme en production de tomates sous serre, la ration du sol doit être plus importante de même que l'activité biologique. La ration du sol en serre chauffée est de l'ordre de 120 t MS ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> d'après les différents essais menés avec des producteurs partenaires (producteurs de la coopérative Océanes) pour un objectif de rendement de 600 t/ha. Compte tenu de l'objectif visé en abris non chauffés, pour rappel 200 t/ha, la ration du sol devrait être de 40 t MS/ha. C'est la ration du sol que nous retiendrons pour notre étude.

### 2.5.2. L'auto-fertilité

La production de MS du CP doit idéalement fournir la ration du sol (40 t MS ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> en conditions de serre non chauffées). La présence du couvert va augmenter la ration du sol. En effet, la présence du CP accroît les besoins en minéraux (et en eau) du système CP-CR : plus de biomasse produite implique une ration du sol plus grande. C'est pour cette raison que des CP de Fabacées sont mis en place, ces derniers ont la capacité de fixer symbiotiquement l'azote atmosphérique et donc ont un potentiel d'auto fertilité. La fixation d'azote par les bactéries fixatrices libres est également un élément permettant d'atteindre partiellement l'auto fertilité du système CP-CR. Ces bactéries ont tendance à se développer et se conserver dans les systèmes en sol vivant, d'autant plus si les sols sont couverts en permanence (Delamotte, 2019). Il paraît important de considérer les rôles des bactéries fixatrices libres avec précaution. En agriculture conventionnelle, leur impact dans le bilan azoté est souvent négligé.

## 3. Objectif, démarche, questions et hypothèses du mémoire

### 3.1. L'objectif poursuivi aux serres de Marcel est de démocratiser les cultures légumières sur couverts permanents

L'objectif des serres de Marcel est d'étudier la culture de légumes en couverture permanente des sols. Après les essais sur la culture de tomates associée à un couvert en 2022, de nombreuses autres surfaces (4000 m<sup>2</sup> de serre et 5000 m<sup>2</sup> de plein champ) ont été semées en couvert de trèfle (*T. repens* L) et d'autres cultures légumières ont été testées comme l'aubergine, le poivron, le concombre, le chou, la courge et la courgette. Ces essais font l'objet d'observations continues. Toutefois, ils ne disposent pas de témoins comparatifs, ni de

mesures suffisamment précises (rendement, vigueur, MS produite) pour conclure sur leur pertinence et la façon de les gérer. Concernant les essais de CP sur culture de tomates, nous mesurons la vigueur des plants de tomates cultivés avec différents CP. Nous avons conservé des témoins afin de comparer la vigueur des plants cultivés avec un couvert permanent à un témoin.

L'objectif des expérimentations dont il est question dans ce mémoire est d'étudier l'effet sur la vigueur de plants de tomates cultivés en serre, de couverts permanents qui incluent des apports par les tontes du couvert, à des conditions de culture de tomates sans CP avec l'apport de matière organique exogène sous forme de bois raméal fragmenté (BRF). Il s'agit d'observer si le CP permet de produire assez de MS pour lui permettre de repousser et d'apporter la ration du sol à la culture de la tomate.

### 3.2. La démarche suivie

Après les premiers essais de 2022 (année 1), nous avons conservé pour cette étude en année 2, les CP qui ont le mieux fonctionné : la menthe, le trèfle, la luzerne et la fétuque. D'autres CP testés en 2022 (mélanges fleuris, d'autres aromatiques, du lierre, ...) n'ont pas réussi à s'installer sur l'andain et/ou ne sont pas vivaces, et ont été éliminés de la suite des expérimentations.

Notre démarche repose sur une approche expérimentale comparative. Trois modalités sans couverts ayant des quantités de BRF apportées différentes et 4 modalités de CP (conservées entre l'année 1 et l'année 2) sont comparées. Ce qui fait 7 modalités au total. Les modalités de quantité d'apport de BRF sont :

- une modalité sans apport de BRF (0 BRF),
- une modalité avec l'apport de la ration du sol, apport considéré comme suffisant d'après différents essais réalisés chez des producteurs "partenaires" (témoin ou 1 BRF),
- une modalité avec le double de l'apport considéré comme suffisant (2 BRF).

Cette approche nous permet de comparer les performances des différentes quantités de MS apportées par la tonte de plusieurs couvertures végétales (luzerne, trèfle, menthe et fétuque) et par différentes quantités de broyat (pas d'apport, 1 dose et 2 doses de broyat) et d'analyser leurs effets sur la croissance (en longueur) et le diamètre de la tige des tomates.

### 3.3. Les questions et hypothèses du mémoire

#### **Dans quelle mesure est-il possible de produire une culture de tomates sous serre avec la tonte de couvert permanent en deuxième année de culture ?**

Cette problématique peut être divisée en sous questions :

- Les couverts de différentes espèces apportent-ils tous la même part de la ration du sol ?
- Le couvert crée-t-il plutôt une compétition ou les tontes permettent-elles de combler la compétition aux minéraux et d'apporter des minéraux à la culture de tomate ?
- La serre dans laquelle l'essai a lieu est-elle homogène dans ces conditions de culture ?

Les hypothèses sont :

- La matière sèche produite par les couverts permanents, en année 1 et 2, et les lianes de tomates en année 1 (2022) permettent d'assurer partiellement la ration du sol des tomates en année 2 (2023).

- Les couverts entrent en compétition avec la plante pour l'eau et les minéraux, ce qui peut réduire la vigueur des plants de tomates.
- La compétition est plus élevée par les couverts dont la production de MS est plus importante.
- Les couverts de légumineuses sont moins compétitifs à l'azote car ils fixent de l'azote atmosphérique par symbiose bactérienne et impactent donc moins la vigueur des tomates.
- L'effet de la compétition des couverts est à suivre tout au long de la culture car la carence ne peut apparaître qu'en fin de culture.

### 3.4. Schéma conceptuel de l'essai

Le système représenté par la figure 5 est composé au centre de la CR (la tomate), le CP, le sol, l'atmosphère et la vie du sol. Le couvert peut fixer symbiotiquement de l'azote atmosphérique dans le cas d'un CP de Fabacées. La production de biomasse du couvert dépend du choix du couvert, de la stratégie de tonte, de la disponibilité en eau, minéraux et rayonnement (concurrence). Il semble que la production de MS soit également conditionnée par le taux de couverture du sol et la durée de croissance du couvert (dormance). Concernant le sol, la température du sol dépend des consignes climatiques de la serre, il semblerait que le couvert fasse diminuer la température du sol. Le sol est structuré par la vie du sol, les racines du CP et de la tomate. Le stock d'eau dépend directement des consignes d'irrigation. Les minéraux du sol issus de la décomposition de la litière, décomposition assurée par la vie du sol, permettent aux CP et CR de croître et produire de la MS et un rendement (pour la CR). Le CP et la CR fournissent une partie de leur MS à la litière du sol (par la tonte, la destruction en fin de culture et les exsudats racinaires). La tomate utilise l'eau et les minéraux pour pousser et produire du rendement en fruits. Le rayonnement et la température conditionnent son développement. Le diamètre de la tige et la croissance hebdomadaire sont les variables utilisées pour mesurer la vigueur de la plante et estimer l'importance des concurrences et du niveau d'auto-fertilité atteint par le système. La vigueur de la plante indique sur le rendement.

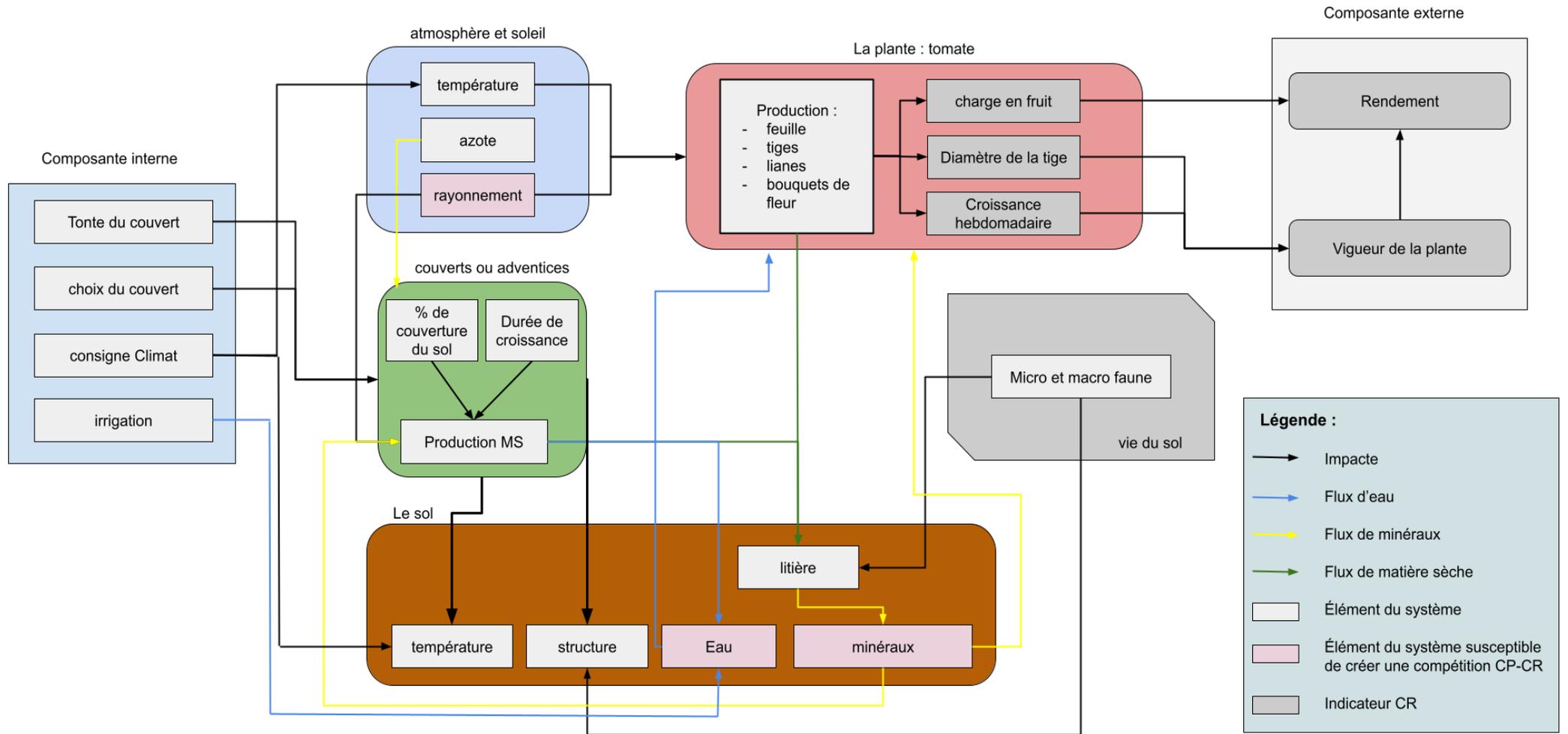


Figure 5 : schéma conceptuel représentant le fonctionnement du système CP-CR

## 4. Matériel et méthodes

### 4.1. Description du dispositif expérimental

L'expérimentation se déroule dans la Serre 1 du site 1 (figure 2, paragraphe 2.1.4, serre entourée en vert, construite dans les années 1980) situé à Mesnil-sur-Iton (27 Eure). La serre fait 1080m<sup>2</sup> et est divisée en 5 blocs de culture (figure 6, encadrés en jaune). Les blocs de culture sont numérotés de 11 à 15. La serre comporte 56 andains de culture constitués en hiver 2021-2022 (11 à 12 andains par bloc). Les andains ont un code qui est composé de leur n° de bloc de culture suivi de leur place dans le bloc. (EX: 1201 il s'agit d'un andain du bloc 12 et la place dans l'andain est 1). La largeur des andains est de 1 m et la longueur varie de 7,8 à 9 mètres en fonction de leur place dans la serre. La hauteur sous faîtage est de 3 m 50. La hauteur des fils de culture par rapport à la dalle en béton est de 2 m 75. La dalle de béton ne continue pas sous les andains. La texture de la terre sous les andains est argilo-sablimoneuse.

L'irrigation de la culture est automatisée à l'aide d'un programmeur Irritrol RAIN DIAL 6 Stations, RD600-EXT-R. Chaque bloc de culture est piloté par une électrovanne spécifique. L'irrigation se fait en aspersion au sol. Un tuyau de 32 mm parcourt chaque andain sur lequel sont installés des asperseurs tous les 50 cm. Le rayon d'aspersion de chaque asperseur est réglable. Ils ont tous été ouverts jusqu'à ce que le passe pied en béton soit tout juste mouillé. Le système d'irrigation apporte 1 mm par minute. L'apport quotidien était de l'ordre de 5 mm par jour de mars à mi-mai et de 10 mm par jour de mi-mai à septembre. C'est un apport a priori excessif bien que le substrat de l'andain soit très drainant et que l'objectif en apportant une telle dose est d'assurer des conditions hydriques idéales pour la vie du sol.

Sur chaque andain, nous avons apporté une caisse de 0,036 m<sup>3</sup> (40 x 60 x 15 cm) de lombricompost. Le lombricompost est un amas de compost jamais remué sur lequel de la matière végétale fraîche est fréquemment rajoutée. L'objectif est d'inoculer les andains en vers de terre épigés dont la quantité apportée est difficile à estimer. Avant de prélever les caisses, une couche de 15 cm de tonte d'herbe est mise sur le tas de compost afin que les vers de terre y migrent et puissent être récupérés plus facilement.

### 4.2. Itinéraire technique année 1 : décembre 2021-novembre 2022

A leur création, les 56 andains ont été constitués de broyat de déchets verts (BRF) sur une hauteur de 20 cm et un apport de 1000 U / ha d'azote sous forme de fiente de poule. Pour un andain de 10 m de long et 1 m de large, cela représente 2 m<sup>3</sup> de broyat et 1 kg d'azote. Ces apports ont été réalisés entre novembre et décembre 2021.

Les blocs 11, 12, 13 ont été plantés en tomates (*Solanum lycopersicum* L.) de variétés différentes, Estiva, Cindel et Fiorentino respectivement. Les blocs 14 et 15 ont été plantés en concombres. Le semis des CP a été réalisé en même temps que la plantation des tomates le 7 mars 2022. Le semis de CP a été effectué à la volée en mélangeant les semences de couvert avec 0,5 L de sable et 0,5 L de compost afin de répartir le mieux possible les graines. Les blocs de culture ne sont pas des blocs expérimentaux au sens d'un dispositif statistique. Il reflète l'organisation et la position des andains dans la serre.

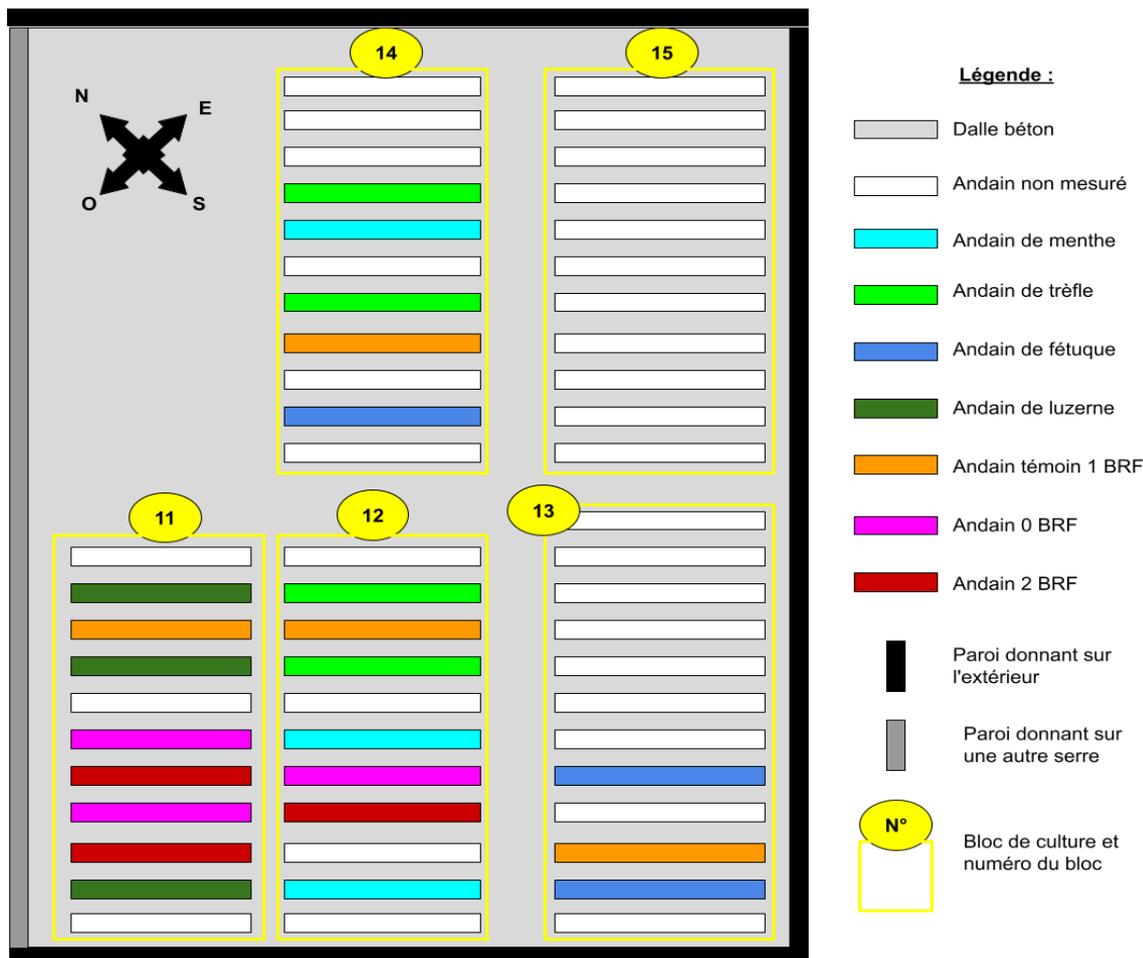


Figure 6 : schéma d'organisation de la serre pour l'essai 2022-2023 : la serre d'expérimentation est divisée initialement (2021-22, année 1) en 4 blocs de 11 andains et 1 bloc de 12 andains. Les andains en blanc ont été éliminés pour l'expérimentation conduite en 2022-23 (année 2) car les CP étaient insatisfaisants. Les façades Sud-Ouest, Sud-Est et Nord-Est donnent vers l'extérieur et la façade Nord-Ouest donne sur une autre serre. Le coin Nord de la serre est un hall de stockage de matériel de 175m<sup>2</sup>. La surface de la serre de production est de 1080 m<sup>2</sup>. Les andains du bloc 11 mesurent 8,5 m de long, les andains du bloc 12 et 14 mesurent 7,8 m de long et les andains du bloc 13 et 15 font 9 m de long. La largeur des andains est d'1 m et l'espace entre les andains dans les blocs de culture est un passe pied bétonné de 1 m de large

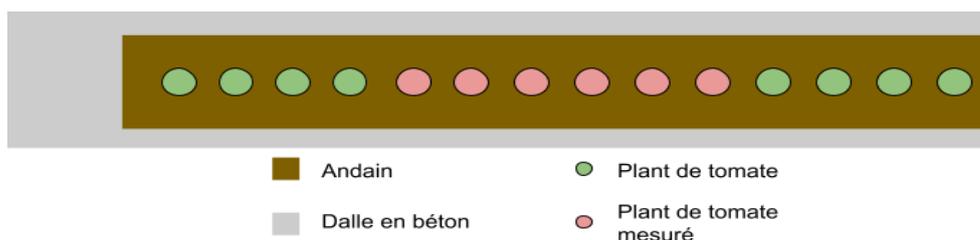


Figure 7 : schéma d'un andain (10 m x 1 m). Les plants de la CR (tomate) sont distants de 50 cm. Les plants mesurés (largeur de la tige et croissance) sont les 6 plants n°5, 6, 7, 8, 9, 10 (en rose).

Les plants de tomates et concombres ont été plantés au milieu de la largeur de l'andain à 50 cm d'écart sur le rang (figure 7). Un gourmand est sélectionné afin d'obtenir une densité de 2,6 têtes (axes) / m<sup>2</sup>. L'itinéraire technique suivi est le même que pour l'année 2023 et a été présenté dans le paragraphe 2.2.2.

Fin août 2022, les aleurodes ont complètement colonisé la serre. Tous les pieds ont été atteints et ont été couverts de fumagine. Les apex des tomates ont alors été coupés afin de laisser les dernières tomates mûrir et fin octobre 2022, les fils de culture ont été coupés et les résidus de culture laissés sur place. Les fils et clips utilisés pour palisser la culture sont biodégradables et ont également été laissés sur place.

Les densités de semis sont les doses maximales conseillées sur les sachets de graines ou trouvées sur le site internet du semencier (Agrosemece). La luzerne (*Medicago sativum* L) a été semée à 25 kg/ha, le trèfle (*Trifolium repens*) à 5 kg/ha, la fétuque (*Festuca rubra*) à 20 kg / ha et la menthe (*Mentha spicata*) a été plantée à raison de 12 plants par m<sup>2</sup>. Les plants de menthe sont issus de boutures et ont été cultivés 6 mois en pot de 0,5 L.

### 4.3. Itinéraire technique année 2 : décembre 2022 – août 2023

Les plants de tomates de la variété indéterminée Fiorentino F1 (Agrosemens,) ont été semés en plaque alvéolée polystyrène de 120 et cultivés en serre à 25 °C (Semaine 3). Une fois levés, les jeunes plants ont été repiqués en godet de 7 cm contenant du terreau et chauffés à une température de 20 °C de consigne. Le terreau utilisé est le bio-potgrond (Jardin et service). Les couverts ont été tondus deux fois avant la plantation (semaine 8 et semaine 10 en 2023) afin de ralentir le plus possible le couvert avant la plantation des plants de tomates. Lors de la plantation (semaine 11), les trous de plantation ont été réalisés à l'aide d'une tarière (4 cm de diamètre) fixée à une visseuse. L'objectif est de détruire les racines du couvert dans et légèrement autour du trou de plantation sur une profondeur de 5 à 10 cm. Chaque plant de tomates est ensuite repiqué dans un trou en suivant le même schéma que pour l'année 1 (Figure 7). La motte est entièrement enterrée. En semaine 14, les plants de tomates sont palissés au fil de culture, l'attache à la base se fait à l'aide d'un clip à tomate (triangle.fr). Le plant est ensuite enroulé autour du fil. Tous les plants ont été palissés côté Nord-Est (figure 6) afin de laisser le côté Sud-ouest pour le deuxième axe. Cette distinction permet de ne mesurer que des croissances et des largeurs sur des axes principaux. En semaines 15 à 18, le deuxième axe de production est sélectionné et attaché côté Sud.

Des *Macrolophus pygmaeus* (Biobest) ont été lâchés dans la serre en semaine 14 et en semaine 26. Leur rôle est de contrôler le développement des aleurodes (*Trialeurodes vaporariorum*) qui ont fait des dégâts importants en année 1 (fruit invendable à partir de mi-septembre).

Le tableau 2 reprend les différentes modalités testées.

Tableau 2 : modalités pour l'essai 2022- 2023 : répétition, localisation, gestion du couvert et apports de BRF. La culture de légumes pour toutes les modalités est la tomate variété Fiorentino.

Modalités	Répétitions (nb d'andains)	Position dans la serre : n° de bloc de culture suivi du n°d'andain	Gestion du couvert (passage de la débroussailleuse)	Apport (année 2) en cm de BRF	Couverture de l'année 2022
0 BRF	3	1106 - 1108 - 1207	Désherbage manuel	Pas d'apport	Pas de couvert
Témoin (1 BRF)	4	1103 - 1203 - 1310 - 1404	Désherbage manuel	4 cm	Pas de couvert
2 BRF	3	1107 - 1109 - 1208	Désherbage manuel	8 cm	Pas de couvert
Trèfle	3	1202 - 1204 - 1405	Tonte S8, S10, S16 , S20	Pas d'apport	Trèfle
Luzerne	3	1102 - 1104 - 1110	Tonte S8, S10, S16 , S20	Pas d'apport	Luzerne
Fétuque	3	1307 - 1309 - 1402	Tonte S8, S10, S16 , S20	Pas d'apport	Fétuque
Menthe	3	1206 - 1208 - 1407	Tonte S8, S10, S16 , S20	Pas d'apport	Menthe

Le calcul de la ration du sol est le suivant. Pour satisfaire la ration de sol en condition de production sous serre, nous souhaitons 40 t MS / ha (paragraphe 2.5.2). La densité du BRF est de 200 kg MS / m<sup>3</sup> (Noel *et al.*, 1997).

Le volume total est : 40 000 kg MS / 200 kg MS/m<sup>3</sup> = 200m<sup>3</sup>

200m<sup>3</sup> / 10 000m<sup>2</sup> = 0,02m

⇒2 cm de BRF à étaler.

Sachant que 50 % de la serre est recouverte de béton, la dose est à appliquer uniquement sur la zone de culture (les andains). Cela représente une hauteur de 4 cm par andain. Cette dose correspond bien à la ration du sol. Ce n'est pas un doublement de la dose mais une concentration de l'apport sur la zone explorée par les racines. Le broyat est du broyat criblé à 0 - 80 mm livré par Véolia. L'apport a été réalisé en hiver 2023.

Des supports de liane ont été installés tous les 50 cm, centrés sur le milieu des andains. Leurs rôles sont de supporter les lianes de tomates lorsqu'elles sont descendues et éviter que les fruits ne touchent le sol. Le système d'irrigation a été modifié pour toutes les modalités. Les asperseurs d'irrigation ont été surélevés au niveau des supports de liane. Ainsi, la répartition de l'eau est plus homogène et les feuilles de couvert ne gênent plus l'aspersion.

De plus, il est plus simple de passer la débroussailleuse sans craindre d'abîmer le système d'irrigation.

**Des photos des serres permettent de visualiser l'espace de culture et les modalités de culture (Annexes 2 à 13). Une frise du temps reprend les principales étapes des ITK des années 1 et 2 en annexe 14.**

#### 4.4. Mesures

La mesure du rendement étant trop tardive et chronophage, il a été décidé de mesurer l'effet des CP sur la vigueur des plants de tomates. Afin de déterminer la vigueur de façon objective, nous avons cherché des indicateurs de la vigueur qui peuvent être corrélés au rendement, à la disponibilité des minéraux et de l'eau. Nous nous sommes basés sur la méthodologie Tom'Pousse. Cette technique a été développée par le gouvernement québécois d'agriculture afin d'offrir une méthode pour aider les agriculteurs à anticiper leurs rendements et de déceler des hétérogénéités dans la serre. Cette méthode mesure, entre autres, le diamètre de la tige, la croissance hebdomadaire et la charge en fruit (Tom'pousse, 2003). Sur chaque andain, les plants mesurés sont les plants 5 à 10 (figure 7). Lorsqu'un pied est mort ou que sa tête a été coupée lors de l'égourmandage, le plant n'est plus mesuré. Les mesures sont toujours effectuées sur l'apex principal (rameaux Nord-Est), les gourmands sélectionnés pour être le deuxième axe de production (axes secondaires côté Sud-Est) ne sont pas mesurés.

##### 4.4.1. Mesure du diamètre de la tige principale des plants de tomates

Chaque semaine, un trait de marqueur est placé sur le fil de culture autour duquel la liane est palissée (enroulée), au niveau de l'apex de la tomate (annexe 15). Il s'agit du marqueur de croissance. Le diamètre de la tige des tomates est mesuré toutes les semaines au marqueur de croissance de la semaine S-1. La tige n'étant pas parfaitement ronde, le diamètre est mesuré deux fois afin de connaître le diamètre le plus petit et le diamètre le plus élevé. Le diamètre le plus petit est relevé. Si le marqueur de S-1 est situé au départ d'une feuille ou d'un bouquet, la mesure est décalée de 2-3 cm en dessus car la forme de la tige est modifiée (le diamètre est agrandi) par la présence de la feuille/du bouquet. La mesure est prise au pied à coulisse et est arrondie au  $10^{-2}$  mm. La largeur des plants de tomates a été mesurée toutes les semaines en 2023, à partir de la semaine 17 jusqu'à la semaine 29.

Le diamètre de la tige est un indicateur très utilisé en culture de tomates.

##### 4.4.2. Mesure de la croissance hebdomadaire des rameaux principaux

La croissance des plants de tomates a été mesurée toutes les semaines en 2023 à partir de la semaine 17 jusqu'à la semaine 29. Chaque semaine, un marqueur de croissance est tracé sur le fil de culture de la tomate, au niveau de l'apex de la tomate. La distance entre le marqueur de la semaine S-1 et la semaine S correspond à la croissance de la semaine S (annexe 15). Les mesures sont prises avec sept jours d'intervalle et sont effectuées après le palissage des pieds de tomates en début d'après-midi. Un mètre souple est utilisé pour prendre la mesure. La mesure est donnée à 0,5 cm près. Lorsqu'un pied est mort ou que sa tête a été coupée lors de l'égourmandage, le pied n'est plus mesuré. C'est donc l'élongation de la tige de la tomate qui est mesurée.

#### 4.4.3. Mesure du taux de recouvrement et stratégie de tonte

Le taux de recouvrement des CP est déterminé à l'œil et exprimé en % de sol recouvert par le couvert vivant. Cette mesure est faite sur l'entièreté de l'andain. A 100%, le couvert recouvre entièrement l'andain et le sol n'est pas visible. A 0%, il n'y a pas de couvert visible et le sol est apparent. Le taux de recouvrement ne fait pas de distinction entre les variétés semées et les adventices. Cette mesure est réalisée toutes les huit semaines à partir du 5 avril 2023. Les couverts sont tondu d'après le principe du pâturage tournant dynamique. Les tontes sont effectuées à l'aide d'une débroussailleuse et sont déclenchées lorsque le couvert atteint 15 cm de hauteur. La hauteur de coupe est de 5 cm minimum. Les tontes ont eu lieu les semaines 8, 10, 16, 20. Après la tonte de la semaine 20, le temps nous a manqué pour effectuer de nouvelles tontes.

#### 4.4.4. Récapitulatif des variables mesurées

Le tableau 3 fait la synthèse des différentes variables mesurées

Tableau 3 : récapitulatif des variables mesurées en 2023

Variable mesurée	Moyen	Unité	Position de la mesure	Fréquence	Répétitions
Diamètre de la tige de tomate	Pied à coulisse	10 <sup>-2</sup> mm	Mesure au marqueur de croissance de la semaine S-1	11 mesures au total, une par semaine de la S18 à S29	6 plants par andain, 3 andains par modalité sauf témoin (4 andains)
Croissance de la tige de tomate	Mètre ruban	cm	Différence entre le marqueur de croissance de S-1 et le marqueur de S	11 mesures au total, une par semaine de la S18 à S29	6 plants par andain, 3 andains par modalité sauf témoin (4 andains)
Taux de recouvrement des CP	Visuel	%	Sur la totalité de la surface de l'andain	3 mesures en S12, S20, S28	1 observation par andain, 3 andains par modalité sauf témoin (4 andains)

#### 4.4.5. Regroupement des semaines de mesures en période

Les résultats ont été analysés sur l'ensemble de la période mesurée en 2023 de la semaine 18 à 29. Deux périodes intermédiaires ont été considérées pour l'analyse : l'une de la semaine 18 à 25 et l'autre de la semaine 26 à 29. La première période correspond à la période avant la première récolte et concerne le développement de la plante sous forme végétative. Après cette période, la charge en fruits est maximale et les ressources de la plante sont majoritairement allouées aux fruits à l'instar du développement de la plante (Mary *et al.*, 1980)

#### 4.5. Homogénéité de la serre

La répartition des valeurs des données de diamètre des tiges de tomates dans la serre est observée et représentée graphiquement. Chaque plant est localisé dans la serre avec son bloc de culture et le n° de l'andain. Les valeurs mesurées sont ensuite réparties dans 4 groupes correspondant au quartile auquel leur largeur de tige appartient (premier quartile Q1 (valeurs

inférieures pour 25% des valeurs totales), quartile Q2 (valeurs situées entre 25-50%), Q3 (entre 50-75%) et Q4 (valeurs >75% des valeurs totales)). Cette répartition dans l'espace est répétée toutes les semaines. Cela permet d'observer des zones hétérogènes.

#### 4.6. Analyses statistiques

Les analyses ont été effectuées avec le logiciel Rstudio (version 4.2.1). Étant donné que les conditions requises pour l'application de l'analyse ANOVA n'étaient pas satisfaites en raison de l'absence d'homogénéité des variances des résidus, une alternative non paramétrique, le test de Kruskal-Wallis, a été employée pour évaluer les différences au sein des diamètres de tiges et de la croissance des plants de tomates. Un niveau de signification  $\alpha$  de 0,05 a été retenu pour les analyses. Lorsqu'une variable n'est pas homogène, les divergences entre les groupes ont été détectées avec le test post hoc de Dunn en utilisant la correction de Bonferroni pour contrôler les comparaisons multiples. Les groupes ont été formés en fonction des différences significatives observées entre les différentes modalités des variables étudiées. Ce processus de regroupement a été exécuté pour la période S18-S29 ainsi que les deux périodes intermédiaires. Les différences entre modalités sont rendues plus claires par un tableau reprenant les croissances ou largeurs moyennes des pieds de tomates par périodes étudiées et l'écart entre la modalité 2 BRF (prise pour les comparaisons car elle est la plus vigoureuse) et les autres modalités. Cet écart est exprimé en %.

L'analyse statistique est répétée une fois les andains potentiellement hétérogènes enlevés du jeu de données.

Une analyse en composante principale est réalisée sur les données de la semaine 28 avec comme variables : la croissance, la largeur et le taux de recouvrement. L'ACP permet d'observer les corrélations entre variables. Le test de Wilks permet de vérifier si la variable qualitative "modalité" (couvert/apport) permet de créer des groupes distincts. Un tableau représentant l'éloignement des plants sur les dimensions 1 et 2 de l'ACP a été fait. Des ellipses de confiance autour des barycentres des modalités ont été formées. Ces ellipses donnent avec 95 % de confiance la moyenne de la modalité si une nouvelle mesure était ajoutée au jeu de données. Une clusterisation a été réalisée avec la méthode de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). L'ACP a été réalisée avec le package Factoshiny.

Les sorties R des tests de Kruskal-Wallis et Dunn sont en annexes 17 à 19.

#### 4.7. Synthèse de la stratégie d'analyse des données

Le tableau 4 résume les méthodes d'analyses réalisées pour chaque type de variable.

*Tableau 4 : récapitulatif des variables analysées et méthode d'analyse en fonction de la question posée.*

Question posée	Variable mesurée	Fréquence d'analyse	Variable testée	Hypothèse H0	Méthode d'analyse
Est-ce que la <b>largeur</b> de la tomate est impactée par les modalités ?	Diamètre de la tige de tomate	Par période et sur l' <b>ensemble des données</b>	Diamètre de la tige	Les différentes modalités ne modifient pas le diamètre de la tige	Test de <b>Kruskal-Wallis</b> et test post hoc de <b>Dunn</b> et <b>observation graphique</b> de l'évolution des données dans le temps
Est-ce que la <b>croissance</b> de la tomate est impactée par les modalités ?	Croissance hebdo de la tige de tomates	Par période et sur l' <b>ensemble des données</b>	Croissance hebdo	Les différentes modalités ne modifient pas La croissance hebdomadaire de la tige	Test de <b>Kruskal-Wallis</b> et test post hoc de <b>Dunn</b> et <b>Observation graphique</b> de l'évolution des données dans le temps
Est-ce que le <b>taux recouvrement</b> des CP est homogène ?	% recouvrement des CP	Sur l' <b>ensemble des données</b>		/	<b>Observation graphique</b>
Le <b>taux de recouvrement</b> diminue-t-il la vigueur des plants de tomates	Taux de recouvrement, diamètre et croissance des tige des tomates	<b>Semaine 28</b>	Taux de recouvrement, diamètre et croissance des tige des tomates	Plus le taux de recouvrement du CP est important, plus la vigueur des plants de tomates est faible.	<b>Analyse en composante principale.</b> Représentation graphique et création de groupes.
Est-ce que la <b>largeur</b> des plants de tomates est <b>homogène dans la serre</b> ?	Diamètre de la tige de tomates	Analyse stat sur <b>S18</b> . Les graphes sont sur toutes les semaines	Diamètre de la tige	La position de l'andain ne modifie par la largeur de la tige	Test de <b>Kruskal-Wallis</b> et test post hoc de <b>Dunn</b> et <b>observation graphique</b> de zones hétérogènes

## 5. Résultats

### 5.1. Largeur de la tige principale des plants de tomates

#### 5.1.1. Dynamique générale de la largeur des tiges de tomates

La largeur des tiges de tomates est en hausse de la semaine 18 à la semaine 24 (figure 8), de 10,5 mm à 15 mm en moyenne pour toutes les modalités, et ce particulièrement pour les modalités menthe (+45%) et 2 BRF (+28%). Pour toutes les modalités, la largeur de la tige diminue de la semaine 25 à la semaine 29, de 13 mm à 8,5 mm en moyenne. Toutes les modalités sans apport de BRF (0 BRF et CP) ont des largeurs moyennes de tige très proches, de 9 mm à 11 mm en moyenne dès la semaine 26 et fortement inférieures à la modalité 2 BRF (proche de -30 %). Les plants de tomates de la modalité menthe ont une largeur en semaine 18 particulièrement basse (7,5 mm). La largeur des tomates sur menthe ne revient à une largeur similaire aux autres modalités sans apport qu'en semaine 24 (environ 13 mm).

#### 5.1.2. Analyse de la largeur de la tige par période végétative

L'analyse des diamètres de la tige des pieds de tomates regroupés sur 3 périodes montre une différence entre les modalités (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (tableau 5) (annexe 17). Sur l'ensemble des mesures, la largeur moyenne des tiges de tomates des modalités 2 BRF et 1 BRF (témoin) ne sont pas significativement différentes (3% de différence). Par contre, les tiges des plants de tomates des modalités 0 BRF, luzerne, fétuque et trèfle sont significativement moins larges que la modalité 2 BRF, avec une diminution du diamètre moyen de 15, 18, 20 et 22% respectivement. Les tiges des tomates de la modalité menthe sont significativement moins larges (9,7 mm) que celles de toutes les autres modalités avec une différence de 32 % avec la modalité 2 BRF.

Comme sur l'ensemble de la période mesurée, la période considérée de semaines 18 à 25 montre que les modalités 1 BRF et 2 BRF ne sont pas significativement différentes (1% de différence). Les plants de tomates des 4 modalités 0 BRF, luzerne, fétuque et trèfle sont significativement moins larges que ceux de la modalité 2 BRF de 9, 13, 14 et 15 % respectivement. Les plants de tomates de la modalité menthe sont significativement moins larges que ceux de toutes les autres modalités et la différence avec le diamètre des pieds de tomate de la modalité 2 BRF est de 33%.

Cependant, de la semaine 26 à 29, les pieds de tomates de la modalité 1 BRF (témoin) ont significativement des diamètres moins larges que ceux de la modalité 2 BRF (11% de moins). Le groupe de toutes les autres modalités (0 BRF, luzerne, fétuque, trèfle et menthe) a quant à lui des pieds de tomates significativement moins larges (Tableau 5) avec des différences de 29, 30, 31, 33 et 30 % respectivement par rapport à la modalité 2 BRF.

Dès la première période (semaine 18 à 25), les modalités sans apports (0 BRF et CP) sont significativement inférieures aux 2 modalités avec apport de BRF. L'écart est d'autant plus net pour la seconde période (semaines 26 à 29).

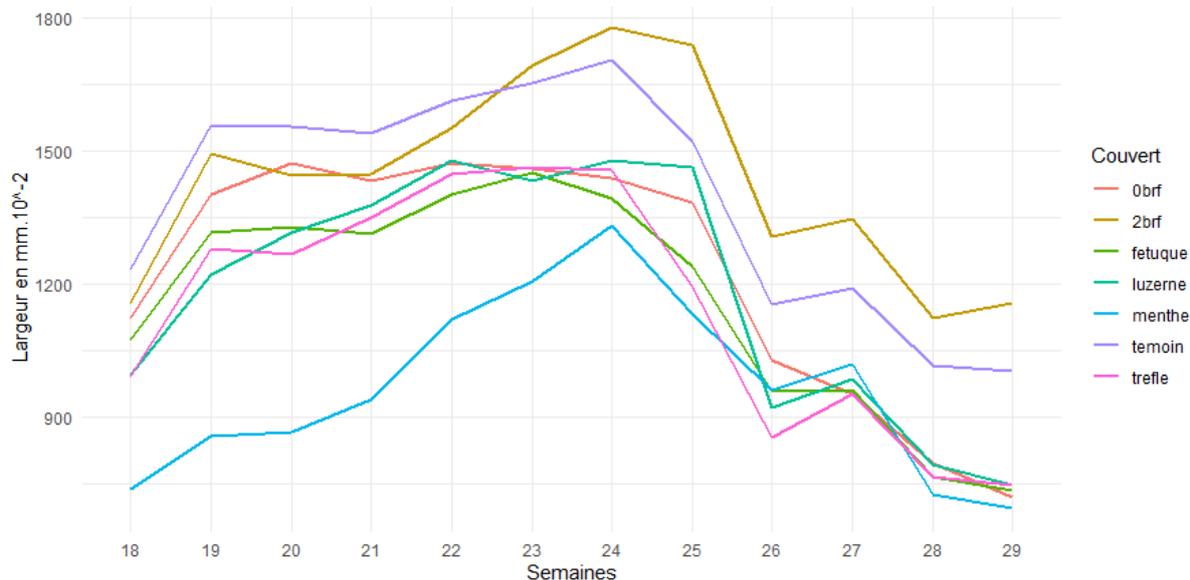


Figure 8 : dynamique de croissance du diamètre de tige des plants de tomates, de la semaine 18 à 29 et par modalité. La valeur est la moyenne mesurée pour 4 à 6 plants par andain et 3 andains pour toutes les modalités sauf le témoin 1 BRF (4 andains) et elle est exprimée en  $10^{-2}$  mm ( $10^{-5}$  m). La semaine correspond au numéro de la semaine (calendrier 2023).

Tableau 5 : largeurs moyennes des tiges de tomates (au départ  $n=18$  pour toutes les modalités sauf pour la modalité 1 BRF (témoin)  $n=24$ , au total 15 pieds morts ou abimés n'ont pas été mesurés). Les valeurs suivies de la même lettre dans une colonne appartiennent au même groupe homogène (dunn.test). La différence avec 2 BRF correspond à la différence entre la largeur moyenne des tiges de chaque modalité et la largeur moyenne des tiges de tomates de la modalité 2 BRF (modalité avec les largeurs moyennes les plus hautes, exprimée en %).

Modalités	Ensemble de la période semaines 18 à 29		Première période semaines 18 à 25		Seconde période semaines 26 à 29	
	Largeurs moyennes de tige ( $10^{-2}$ mm)	Différence avec la modalité 2 BRF en %	Largeurs moyennes de tige ( $10^{-2}$ mm)	Différence avec la modalité 2 BRF en %	Largeurs moyennes de tige ( $10^{-2}$ mm)	Différence avec la modalité 2 BRF en %
2 BRF	1436a	0	1538a	0	1234a	0
1 BRF	1400a	3	1547a	-1	1095b	11
0 BRF	1223b	15	1398b	9	874c	29
Luzerne	1185b	17	1345b	13	865c	30
Féтуque	1161b	19	1315b	14	855c	31
Trèfle	1126b	22	1306b	15	832c	33
Menthe	973c	32	1024c	33	862c	30

## 5.2. Mesure hebdomadaire de la croissance en longueur de la tige des pieds de tomates

### 5.2.1. Dynamique générale de la croissance hebdomadaire

La croissance hebdomadaire de la longueur de la tige principale des plants de tomates est globalement en hausse de la semaine 18 à la semaine 25 passant d'une moyenne de 14,5 à 28 cm (figure 9). La modalité 2 BRF a presque toujours la meilleure croissance et les modalités menthe et fétuque ont les croissances d'allongement par semaine les plus faibles. La différence entre la modalité menthe (courbe bleue, fig. 9) et les autres modalités est particulièrement marquée les semaines 18, 19, 20 et 21. Après une chute de croissance hebdomadaire entre la semaine 25 et 26, les vitesses de croissances moyennes à partir de la semaine 26 deviennent plus stables pour les modalités 2 BRF, 1 BRF et 0 BRF, les autres modalités ont une vitesse de croissance qui tend à diminuer. La semaine 26 correspond à la date où les premiers fruits mûrs ont été récoltés.

### 5.2.2. Croissance de tige moyenne analysée par périodes

La croissance hebdomadaire des longueurs de pieds de tomates analysée pour chacune des 3 périodes montre une différence entre les modalités (test de Kruskal-Wallis  $p < 0,05$ ) (tableau 6) (annexe 17). Sur l'ensemble de la période de mesures (semaines 18-29), la croissance des pieds de tomates des modalités 2 BRF et 1 BRF (témoin) n'est pas significativement différente avec seulement 3 % de différence. En revanche, les pieds de tomates de la modalité 0 BRF sont significativement moins poussants que ceux de la modalité 2 BRF (8% de moins), sur l'ensemble des mesures. La croissance des tomates des modalités luzerne, trèfle, fétuque et menthe est significativement moins importante que celle de la modalité 2 BRF avec un écart de 10, 10, 15 et 15 % respectivement. La croissance des pieds de tomates des modalités fétuque et menthe est significativement différente de la croissance des pieds de tomates des modalités 1 BRF (témoin) et 0 BRF.

Concernant la première période végétative, de la semaine 18 à 25, la croissance des pieds de tomates de la modalité 1 BRF est significativement différente de la croissance des pieds de tomates de la modalité fétuque et menthe (différence de 10 et 13%). La croissance des pieds de tomates des modalités 2 BRF et 0 BRF est homogène et significativement plus élevée que la croissance des pieds de tomates de la modalité fétuque. Les croissances des pieds de tomates des autres modalités ne sont pas significativement différentes.

Pour la seconde période, de la semaine 26 à 29, la croissance des pieds de tomates de la modalité 1 BRF est significativement inférieure (8%) à la croissance des pieds de tomates de la modalité 2 BRF. Les croissances des pieds de tomates des modalités sans apport sont significativement inférieures à la croissance des pieds de tomates de la modalité 1 BRF et de la croissance des pieds de tomates de la modalité 2 BRF mais pas significativement différentes les unes des autres.

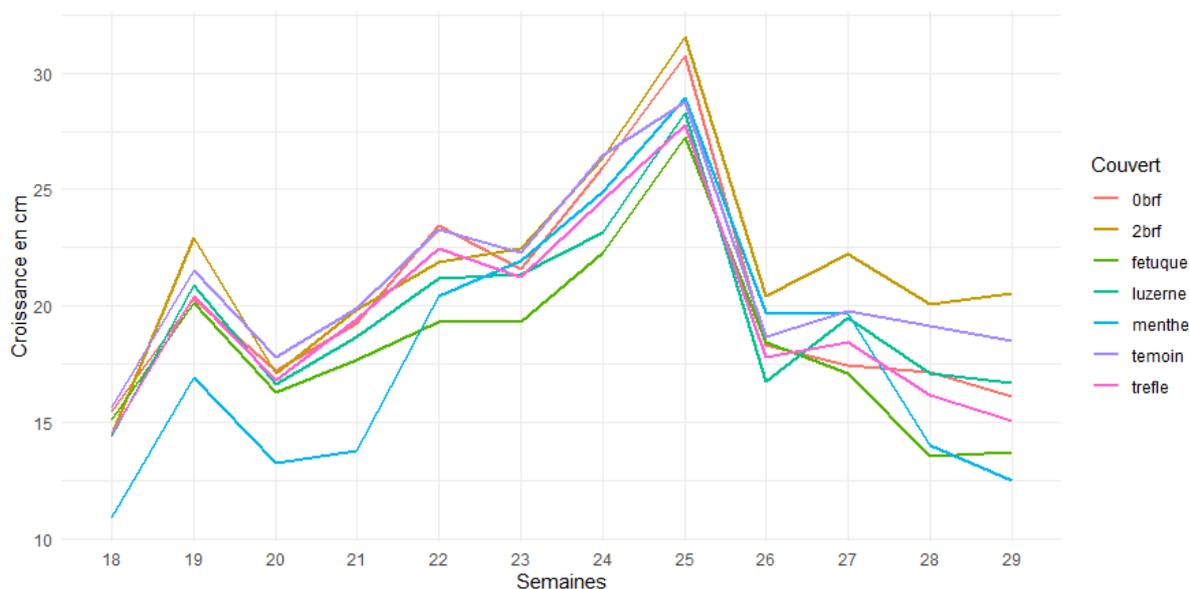


Figure 9 : dynamique de la croissance hebdomadaire de longueur de tige des plants de tomates, de la semaine 18 à 29 et par modalité. La croissance est exprimée en cm par semaine (moyenne au départ de 18 à 24 plantes/modalité, mort de 0 à 2 plants/andain). La semaine correspond au numéro de la semaine (calendrier 2023).

Tableau 6 : croissances moyennes des tiges de tomates (n=18 pour toutes les modalités sauf pour la modalité 1 BRF (témoin) n=24, au total 15 pieds morts ou abîmés n'ont pas été mesurés. Les valeurs suivies de la même lettre dans une colonne appartiennent au même groupe homogène (dunn.test). La différence avec 2 BRF correspond à la différence entre la croissance hebdomadaire moyenne des tiges de chaque modalité et la croissance hebdomadaire moyenne des tiges de tomate de la modalité 2 BRF, exprimée en %.

Modalités	Ensemble de la période semaines 18 à 29		Première période semaines 18 à 25		Seconde période semaines 26 à 29	
	Croissances moyennes (cm/semaine)	Différence avec la modalité 2 BRF en %	Croissances moyennes (cm/semaine)	Différence avec la modalité 2 BRF en %	Croissances moyennes (cm/semaine)	Différence avec la modalité 2 BRF en %
2 BRF	21,7a	0	22,1a	0,0	20,8a	0,0
1 BRF	21,0ab	3	22,0a	1	19,1b	8
0 BRF	20,0b	8	21,8a	2	17,3c	17
Luzerne	19,6bc	10	20,6ab	7	17,6c	15
Trèfle	19,5bc	10	20,9ab	5	16,9c	20
Fétuque	18,4c	15	19,7b	11	15,7c	29
Menthe	18,2c	15	18,9bc	14	16,7c	24

### 5.3. Taux de recouvrement du couvert végétal

#### 5.3.1. Dynamique générale des taux de recouvrements

Le taux de recouvrement des andains cultivés apparaît différent en fonction des modalités et selon les 3 semaines considérées (semaines 12, 20 et 28) (Figure 10). La modalité conduite sous couvert de menthe est la seule modalité avec un taux de couverture stable et élevé, autour de 75% de la semaine 12 à 28. La fétuque a un faible taux de recouvrement en début d'année (25%, semaine 12), ce taux augmentant jusqu'à 73 % en semaine 28. A l'inverse, le trèfle présente un taux de recouvrement de 54 % en semaines 12 et 20 et seulement 21% en semaine 28. La couverture de la luzerne passe de 50 % à 20% entre la semaine 12 et 20. Cependant, la couverture remonte à 35 % en semaine 28.

Les autres modalités sans semis de CP (0 BRF, 1 BRF et 2 BRF) n'ont pas d'enherbement ou un enherbement spontané faible (jusqu'à 20%). Les modalités 1 BRF et 0 BRF ont été désherbées manuellement une (S18) et 2 fois respectivement (S18 et S24). La modalité 2 BRF n'a pas nécessité de désherbage. Pour les modalités couvertes par des CP, les adventices sont visuellement très minoritaires.

Les deux couverts avec le meilleur taux de recouvrement en fin de culture (75%), sont la menthe et la fétuque et sont également les couverts qui sont associés aux croissances moyennes de tiges en diamètre et en longueur les plus basses mais pas significativement différentes des autres CP.

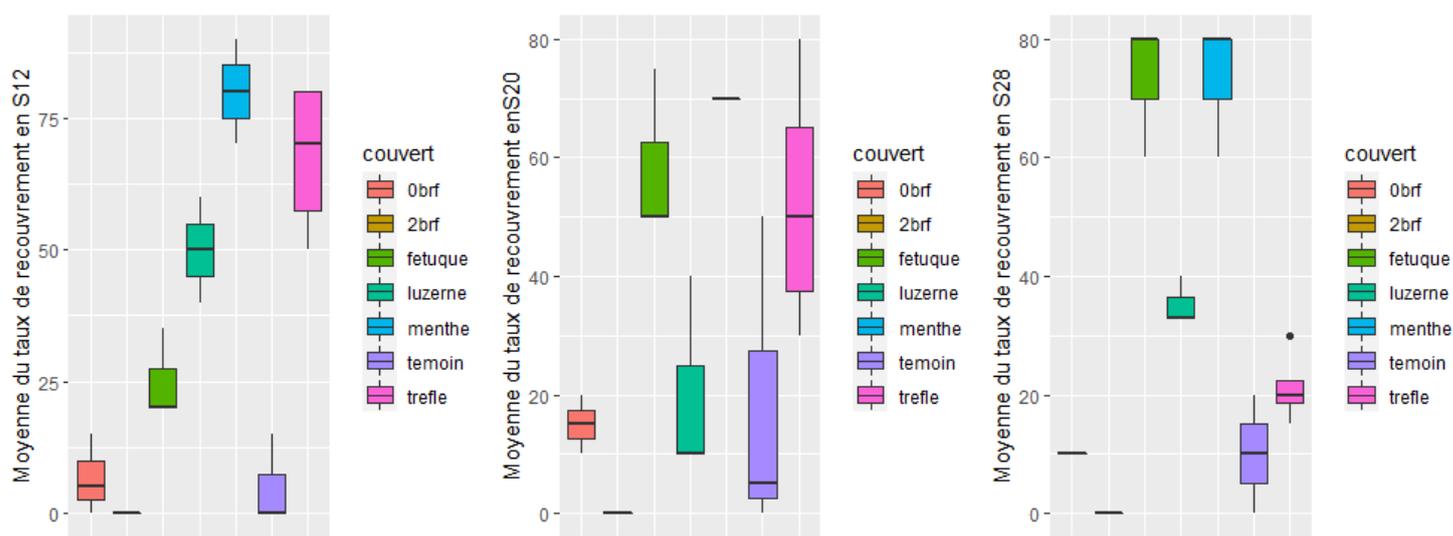


Figure 10 : taux de recouvrement des couverts (n=3 sauf pour 0 BRF n=4) pour les semaines de gauche à droite S12 (avril), S20 (mai) et S28 (juillet).

### 5.3.2. Répartition des modalités en fonction de la vigueur de leurs plants et du taux de couverture.

Une ACP a été réalisée sur les mesures de la semaine 28. Les variables quantitatives considérées sont la croissance (de la tige de la tomate), la largeur (de la tige de la tomate) et le taux de recouvrement du couvert. Ces deux axes regroupent 89,69 % de la variabilité totale (figures 11 et 12). Le premier axe reprend pour 72% les variables indicatrices de la vigueur (croissance 35% et largeur 37%). Le second axe reprend principalement le taux de recouvrement des CP (71 %) (tableau 7).

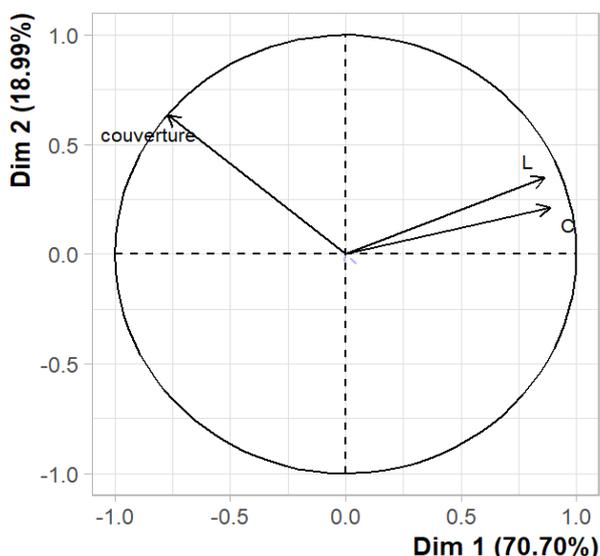


Tableau 7 : Contributions des variables aux deux premiers axes de l'ACP (en %)

Variables	Dimension 1 70,70 %	Dimension 2 18,99%
Diamètre de tige (L)	37 %	8 %
Croissance (C)	35 %	21 %
Taux de recouvrement	28 %	71 %

Figure 11 : représentation des variables sur le plan des axes 1 et 2 de l'ACP. L correspond à la largeur de la tige et C à la croissance en longueur de la tige

On constate que la largeur (L) et la croissance (C) sont positivement corrélées entre elles et positivement corrélées à la dimension 1 (figure 11). Il n'existe pas de corrélation linéaire entre les variables de vigueur et le taux de couverture car ces variables sont presque orthogonales entre elles. La figure 12 représente la distance entre individus et oppose sur l'axe 1 les individus des modalités féтуque et menthe aux autres individus. Cette différence s'explique par une croissance plus faible (en moyenne pour la semaine 28, figure 9) et un taux de recouvrement bien plus élevé (+ 35% que la luzerne et + 60 % avec le trèfle).

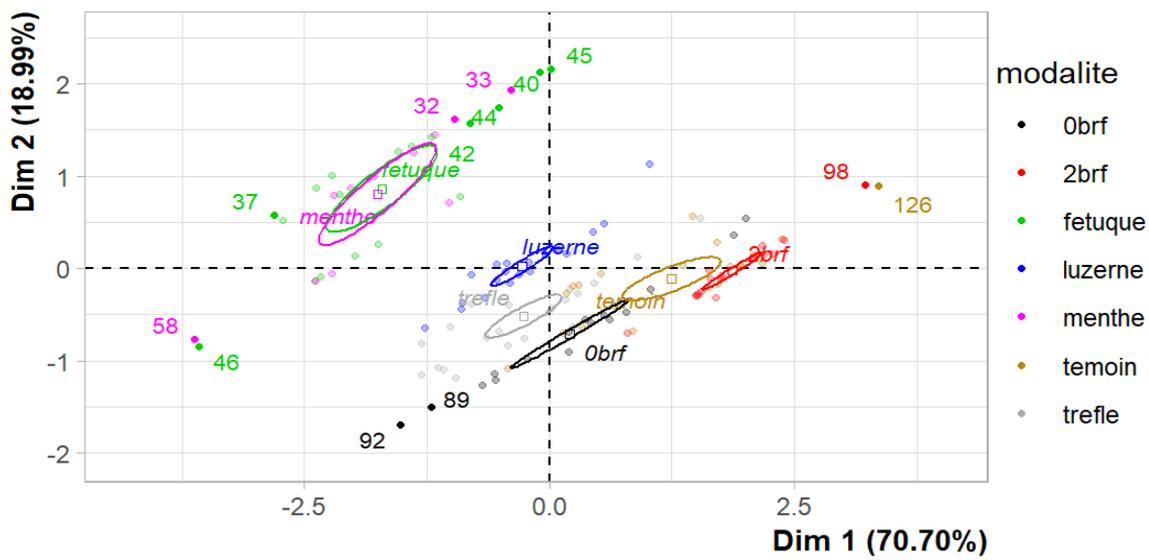


Figure 12 : répartition spatiale par ACP des plants de tomates (n=126) selon les modalités pour la semaine 28, pour les dimensions 1 et 2. Les ellipses de confiance contiennent, avec 95% de certitude, la moyenne de la modalité si un individu est ajouté aux données. Les individus libellés avec un n° sont ceux ayant la plus grande contribution à la construction du plan. Les individus sont colorés selon leur appartenance aux modalités.

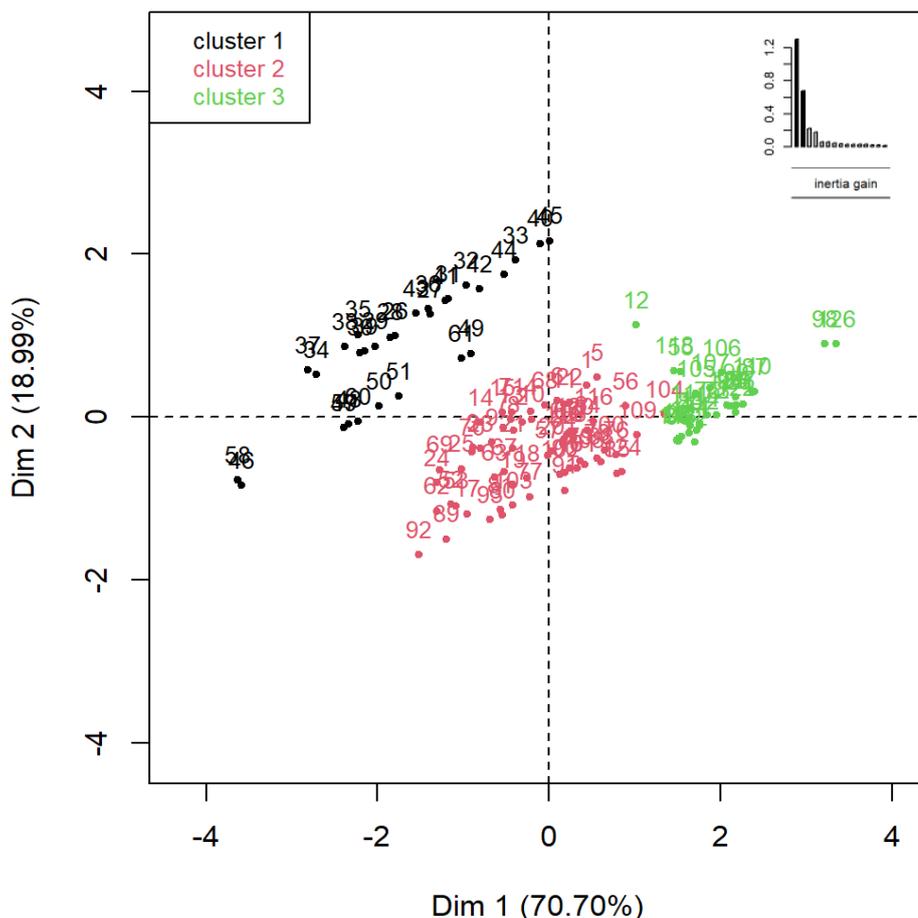


Figure 13 : répartition des plants en 3 groupes indiqués par une couleur différente sur les deux premières dimensions de l'ACP. La perte d'inertie chute fortement lorsque l'on passe à 3 clusters (en haut à droite de la fig).

En superposant les ellipses de confiance (95 % de confiance) autour des barycentres des modalités pour les dimensions 1 et 2 en figure 12 et les clusters formés dans la figure 13, il apparaît que les trois groupes correspondent à certaines modalités :

- les modalités menthe et féтуque ont un fort taux de recouvrement et une vigueur faible (groupe 1),
- les modalités 0 BRF, trèfle et luzerne ont un faible taux de recouvrement et une faible vigueur (groupe 2),
- et la modalité 2 BRF a un faible taux de recouvrement et une forte vigueur (groupe 3).

La modalité témoin se situe entre le groupe 2 et 3.

#### 5.4. Homogénéité de la serre

Les valeurs de largeur de tige de tomates mesurées pour chaque plante au centre de l'andain (4 à 6 /andain dépendamment des accidents de culture) sont représentées selon leur distribution par quartile pour la semaine 18 (Figure 14) et pour les semaines de 19 à 29 (16a à 16l). D'après la figure 14, il apparaît que 7 andains situés proches de parois donnant vers l'extérieur (de 2 m à 9 m) (signalés par des flèches figure 14), ont des largeurs plus faibles. En effet, les largeurs des tiges des plants mesurées sur ces 7 andains appartiennent majoritairement aux 2 premiers quartiles : 33 mesures ont été faites sur ces andains et 23 appartiennent aux 2 premiers quartiles. Inversement, les valeurs du quartile 4 qui contient 25% des valeurs les plus élevées, sont majoritaires retrouvées au centre ou proche de la paroi ne donnant pas vers l'extérieur (carrés en violet dans la figure 14). On observe la même tendance pour le reste des semaines 19 à 24 (annexe 16b à 16g).

Les températures entre la semaine 14 et 18 sont tombées 4 fois en dessous de 0°C avec un minimum enregistré à Evreux de -2,8°C. Aucune mesure de température n'a été faite dans la serre. Il n'est pas possible d'affirmer que les températures soient descendues à ce point sous la serre et qu'elles soient responsables de la perte de vigueur, ni que la température dans la serre soit hétérogène.

Les graphiques des semaines 25 et 26 montrent une largeur de tige plus faible pour les plants de tomates du bloc 14 (annexes 16h et 16i). Les semaines 27 à 29 (annexes 16j à 16l) ne montrent plus visuellement d'hétérogénéité liée à la position des plants dans la serre.

En testant statiquement cette hypothèse pour les données de diamètre de tiges mesurés à la semaine 18 et en considérant le facteur position dans la serre (à savoir les andains proches d'une paroi donnant vers l'extérieur représentés par les 7 andains indiqués par une flèche dans la figure 14, versus les 14 autres andains), il existe une différence significative dans la largeur des tiges (test de Kruskal-Wallis  $p < 0,05$ ) : les tiges provenant des 7 andains situés en bordure ont des diamètres de tige en moyenne plus faible (8 mm) que les autres andains (11,5 mm) (annexe 18).

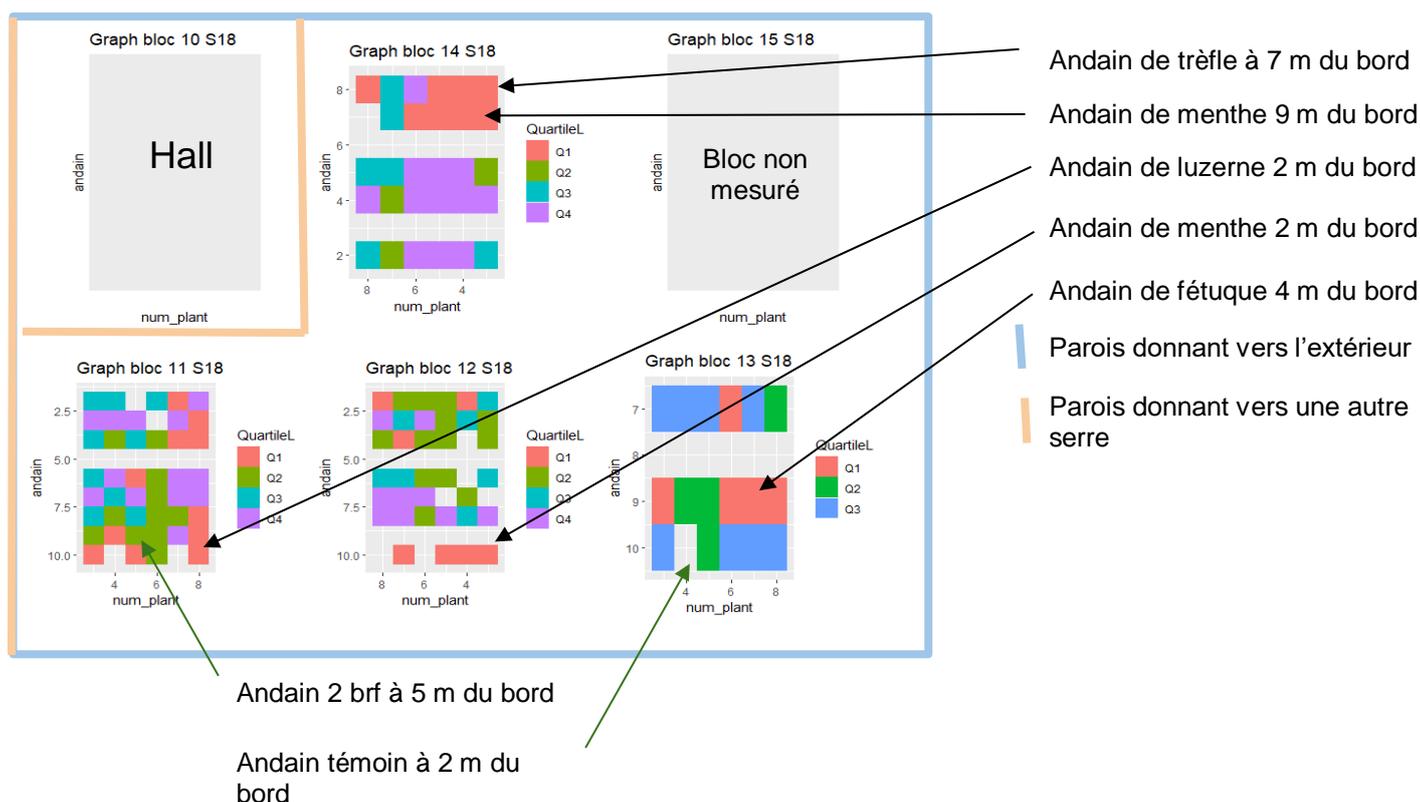


Figure 14 : représentation graphique par quartile de la largeur de tiges de chaque plant de tomates localisé dans la serre pour la semaine 18. Chaque graphique représente un bloc de culture (6 graphiques en tout). Les axes Y représentent les andains. Les axes X représentent la place du plant sur l'andain. Chaque carré correspond à une largeur d'un plant pour une semaine donnée. Chaque largeur est répartie dans le quartile auquel elle appartient. En rouge, le premier quartile Q1 (largeurs les plus faibles pour 25% des données mesurées sur l'ensemble des andains), en vert le deuxième quartile Q2, en bleu le troisième quartile Q3 et en mauve le quatrième quartile Q4 (largeurs les plus élevées pour 25% des données). Chaque carré de couleur correspond à 1 plant. Les andains mis en évidence par une flèche (noire pour les andains CP et Verte pour les andains sans CP) sont considérés comme proches des bords de la serre donnant sur l'extérieur : andains 1404 (trèfle), 1405 (menthe), 1110 (luzerne), 1109 (2 BRF), 1209 (1 BRF), 1210 (menthe) et 1310 (fétuque). Le graph du bloc 13 (en bas à droite possède moins d'andain mesuré (n=3) et les carrés représentant les plants ont été déformés en rectangle.

## 5.5. Analyses des résultats en enlevant les 7 andains suspectés d'avoir des conditions de croissance hétérogènes.

Pour enlever un éventuel effet de la position des plants dans la serre, l'analyse des données a été renouvelée en retirant les valeurs issues des 7 andains contenant des valeurs faibles (appartenance au quartile Q1 et Q2, figures 14 et annexes 16a à 16l). L'analyse faite avec les 15 andains restants a montré une tendance générale concernant la croissance en longueur des pieds de tomates (Figure 15A) et la largeur des tiges de pieds de tomates (Figure 15B) similaire à celle obtenue avec le jeu de données complet des 22 andains. Le tableau 8 montre que la largeur des tiges de pieds de tomates de la modalité menthe est significativement plus faible que toutes les autres modalités et ce pour toutes les périodes (S18-S29, S18-S25 et S26-S29). Les groupes statistiques homogènes concernant la largeur des tiges de tomates de la S18 à S29 sont identiques avec ou sans les andains dont les conditions de culture sont suspectées d'être hétérogènes (Tableau 8) (annexe 19).

Pour les semaines 18 à 25, la largeur des tiges de pieds de tomates des modalités 1 BRF et 2 BRF ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre mais significativement plus élevées que les largeurs de tige des autres modalités. Contrairement au tableau 5, la largeur des tiges des tomates de la modalité luzerne est significativement plus importante (14,2 mm) que celle des modalités trèfle et fétuque (13 mm). Les valeurs provenant de la modalité avec le couvert de menthe restent toujours plus faibles.

Pour les semaines 26 à 29, les groupes statistiques sont les mêmes sauf pour la menthe avec une largeur moyenne de tige de tomates significativement inférieure (8 mm) à celle des autres modalités.

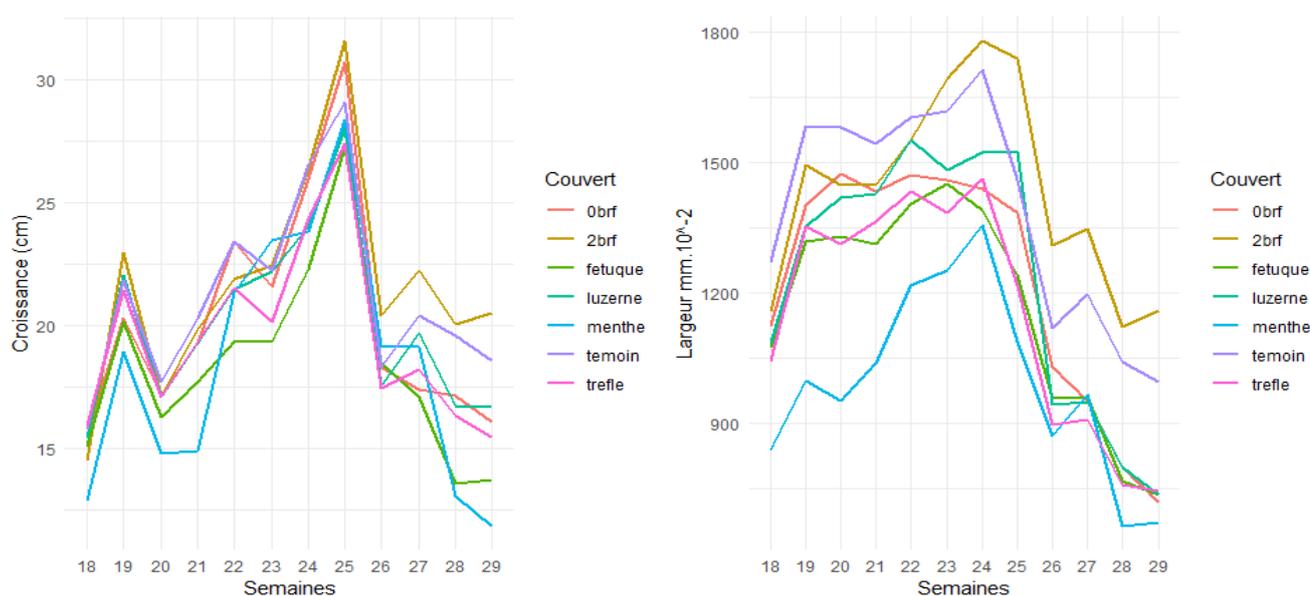


Figure 15 : dynamique de la croissance (cm) hebdomadaire de la longueur des tiges de tomates (A à gauche) et de largeurs de tige (B à droite) des plants de tomates dans le temps par modalité (en début d'expérience moyenne avec 6 plantes/modalité). Total de 22 andains : les 7 andains couverts ayant des conditions de croissance potentiellement hétérogènes (andains 1404 (trèfle), 1405 (menthe), 1110 (luzerne), 1109 (2 BRF), 1209 (1 BRF), 1210 (menthe) et 1310 (fétuque)) ont été retirés des données (indiqués par une flèche sur la figure 14).

*Tableau 8 : largeurs moyennes des tiges de pieds de tomates par modalité et par période en enlevant les 7 andains suspectés d’avoir des conditions de culture hétérogène en serre. Les valeurs suivies de la même lettre par colonne appartiennent au même groupe statistique et ne sont pas significativement différentes (Analyse de KW suivie du test post de Dunn). Une colonne par période rappelle les groupes statistiques en prenant l’ensemble des 22 andains.*

Modalités	Ensemble de la période semaines 18 à 29		Première période semaines 18 à 25		Seconde période : semaines 26 à 29	
	Largeurs moyennes (10 <sup>-2</sup> mm)	Groupes statistiques du tableau 5	Largeurs moyennes (10 <sup>-2</sup> mm)	Groupes statistiques du tableau 5	Largeurs moyennes (10 <sup>-2</sup> mm)	Groupes statistiques du tableau 5
2 BRF	1439a	a	1539a	a	1240a	a
1BRF	1399a	a	1551a	a	1088b	b
0 BRF	1223b	b	1398bc	b	874c	c
Luzerne	1234b	b	1420b	b	861c	c
Féтуque	1161b	b	1304c	b	855c	c
Trèfle	1160b	b	1309c	b	829c	c
Menthe	1125c	c	1296d	c	804d	c

## 6. Discussion

### 6.1. Pertinence de l’essai

L’essai mené aux Serres de Marcel fait partie des rares expérimentations de culture légumière en association avec un couvert vivant permanent. Les travaux de l’équipe de Fracchiolla (Fracchiolla et al. 2022, 2020) et de l’équipe de Kołota & Adamczewska-Swowińska (Adamczewska-Swowińska et Kołota 2008, Kolota & Adamczewska-Sowinska, 2004) traitent du même sujet mais généralement en culture de plein champ. De plus, il s’agit d’un des rares essais dans un système de culture où les CP sont conservés plusieurs années consécutives. Les essais de CP sont d’autant plus intéressants en MSV car ils répondent à deux objectifs : apporter la ration du sol et couvrir le sol toute l’année.

### 6.2. Discussion des résultats et validation des hypothèses

Au vu des résultats sur la largeur et la croissance (en longueur) des plants de tomates, deux ans de tonte de CP laissés sur place avec les résidus de culture de l’année 1 ne produisent pas suffisamment de biomasse pour assurer un développement optimal des plants de tomates par comparaison au témoin 1 BRF.

Seule une concurrence significative est observée entre le couvert de menthe et les plants de tomates aussi bien sur le diamètre de la tige que sa croissance en longueur par rapport à la modalité 0 BRF. Un CP très vigoureux à la plantation ralentit le développement de la CR (Kołota *et* Adamczewska-Sowińska 2013, d'après Müller-Schärrer & Potter 1991). Les deux tontes successives préalables à la plantation des plants de tomates et la destruction des racines du CP dans les trous de plantation n'ont peut-être pas suffi à limiter la vigueur de la menthe. La menthe a pu être fortement concurrente en début de culture, limitant ainsi la vigueur des tomates. Une meilleure limitation (destruction partielle) du couvert de menthe pourrait, peut-être, améliorer la vigueur des plants de tomates.

La concurrence de la fétuque est visible sur la croissance en longueur des plants de tomates mais pas sur le diamètre de la tige. Les pieds de tomates des modalités de CP de Fabacées (trèfle et luzerne) ont la même vigueur que ceux de la modalité 0 BRF. L'hypothèse selon laquelle les couverts de Fabacées sont moins concurrents que les autres CP n'est pas validée. En effet, la fétuque est systématiquement dans le même groupe statistique que les modalités trèfle et luzerne. Ceci peut d'abord s'expliquer par les apports conséquents d'azote en année 1 qui ont pu inhiber la fixation d'azote (Liu *et al.*, 2011) et apporter de l'azote aussi bien aux plantes fixatrices que non fixatrices. D'autre part, en début de culture, le taux de recouvrement de la fétuque est faible (25%) alors que celui des Fabacées est élevé (50 à 70 %). Il se pourrait qu'à taux de recouvrement équivalent, la fétuque réduise plus fortement la vigueur des plants de tomates que les couverts de Fabacées. Cette nouvelle hypothèse reste à valider. En considérant que le taux de recouvrement est un indicateur (toutefois insuffisant, discuté en paragraphe 7.3.2) de la MS produite par le couvert, les observations concernant la modalité menthe, dont le taux de recouvrement est stable et élevé (75%), vont dans le sens des observations d'Adamczewska-Sowińska *et* Kołota (2008) et de Nicholson *et* Wien (1983), à savoir que la concurrence du couvert est liée à la MS produite par ce dernier.

L'ACP réalisée sur les variables croissance, largeur et taux de recouvrement, avec les mesures de la semaine 28, ne montre pas de corrélation entre le taux de recouvrement du CP et la vigueur des pieds de tomates. Le taux de recouvrement mériterait un meilleur suivi : par exemple, bi-mensuel sur toute l'année. Une ACP réalisée sur toutes les semaines mesurées apporterait des éléments complémentaires permettant de préciser l'effet du taux de recouvrement sur la vigueur des plants de tomates.

Le bilan apport de fertilité/compétition aux minéraux des modalités CP est mitigé. Concernant les largeurs de tige, seule la modalité menthe a un bilan négatif car elle est plus compétitive qu'elle n'apporte de minéraux. Concernant la croissance, toutes les modalités de CP appartiennent au même groupe statistique. La modalité menthe est statistiquement différente de 0 BRF en croissance en longueur et en diamètre de tige. La modalité fétuque diffère du témoin 0 BRF seulement pour la croissance tout en restant dans le même groupe que la luzerne et le trèfle. Le bilan est donc plutôt neutre pour les modalités fétuque, luzerne et trèfle. Cette observation est assez rare dans la littérature concernant les associations CP-plantes légumières (Kołota *et* Adamczewska-Sowińska 2013). La méthode de gestion des couverts pourrait expliquer l'absence de concurrence. Le fort écart entre les modalités CP et 1 BRF pourrait être dû à l'absence de tonte après la semaine 20. Les couverts n'ont plus apporté de minéraux par la minéralisation des résidus de tonte.

L'hypothèse selon laquelle la vigueur des plants de tomates est à observer tout au long de la culture est validée. En effet, la vigueur des plants de tomates varie avec le temps et l'écart avec 2 BRF varie selon les modalités et la semaine dans l'année. Ainsi, les plants de tomates de la modalité menthe sont concurrents en début de culture mais la vigueur des plants de tomates est similaire aux autres modalités sans apports (CP et 0 BRF) en fin de culture. J'ajouterais que l'observation de la croissance et du diamètre de tige plutôt que le rendement permet d'observer des variations de vigueur dès le début de la culture. Ce qui permet une analyse plus fine des résultats. Le rendement est une mesure complémentaire intéressante.

Le diamètre de la tige est simple à mesurer, non destructeur et il prédit assez bien le rendement et la vigueur de la plante. C'est également l'indicateur cité le plus de fois et en premier lieu par les agriculteurs pour définir la vigueur d'un plant de tomates. Enfin, c'est l'indicateur le plus corrélé au rendement 2 mois après l'observation du diamètre (Navarrete et al 1997) (Tom'Pousse, 2003).

La croissance des plants de tomates peut être impactée par le rayonnement solaire, la température (Legast, 2018) (Turcotte et al, 2015), la disponibilité en minéraux (De Groot et al, 2002), la disponibilité de l'eau dans le sol (Wu et al, 2021) et la variété de tomates (Turcotte et al, 2015). C'est un indicateur simple à mesurer et non destructeur. Il renseigne sur la vigueur de la plante mais sa variation peut être due à de nombreux facteurs.

La ration 2 BRF semble apporter une vigueur supérieure aux plants de tomates comparativement au témoin (1 BRF), et ce surtout en fin de culture. Il reste à savoir si cette vigueur se reflète sur le rendement et s'il y a un réel intérêt économique à doubler l'apport de MO exogène. La durée de la culture sera importante à prendre en compte dans ce calcul d'autant plus si cette perte de vigueur est augmentée en fin de saison. Une modalité 0,5 BRF serait intéressante à tester à l'avenir pour valider l'hypothèse selon laquelle la modalité 1 BRF correspond à la ration du sol.

Au sujet de l'hétérogénéité des conditions de culture dans la serre, les andains de trèfle et de menthe, au Nord-Est de la serre (figure 14), sont considérés comme proches du bord malgré leur éloignement de 7 et 9 m de la paroi car il s'agit de la paroi Nord-Est, a priori plus froide que les autres. Leur appartenance au groupe est discutable. Il n'est pas possible d'affirmer que les températures soient descendues en dessous de 0 sous la serre, ni qu'elles soient responsables de la perte de vigueur, ni que la température dans la serre soit hétérogène. Der Van Ploeg et Heuveling (2005) ont montré dans une revue que des conditions de températures inférieures aux recommandations (20 à 25°) entraînent un moins bon développement des plants de tomates (diminution du rendement et de la croissance). Il est donc possible que cette hétérogénéité ne soit pas une température froide intense ponctuelle, mais plutôt des températures plus faibles sur une longue période. L'hypothèse des conditions généralement plus froides est renforcée par le fait que les couverts peuvent permettre de protéger les cultures contre le gel (Kołota & Adamczewska-Swowińska, 2003). Le CP crée un microclimat protégeant la CR.

## 6.3. Discussion du programme expérimental

### 6.3.1. Un design à adapter à l'objectif de recherche

Dans l'objectif de produire la ration du sol pour la tomate avec un CP, le design choisi aux serres de Marcel n'est pas optimal. En effet, le potentiel de production maximum de biomasse pour le couvert est dans le passe-pied plutôt que sous le rang de tomate (il y a moins d'ombre sur le passe-pied que sous les tomates). Dans notre serre, le passe-pied est bétonné, dans les systèmes de production de tomates sous serre, le passe-pied est généralement laissé en terre. L'organisation de la serre expérimentale est limitante. Le design de la serre expérimentale est plus adapté à l'étude de la biodiversité dans les couverts et l'étude du potentielle de production de MS du couvert sous le rang de production, là où le rayonnement solaire est très faible (figure 16).

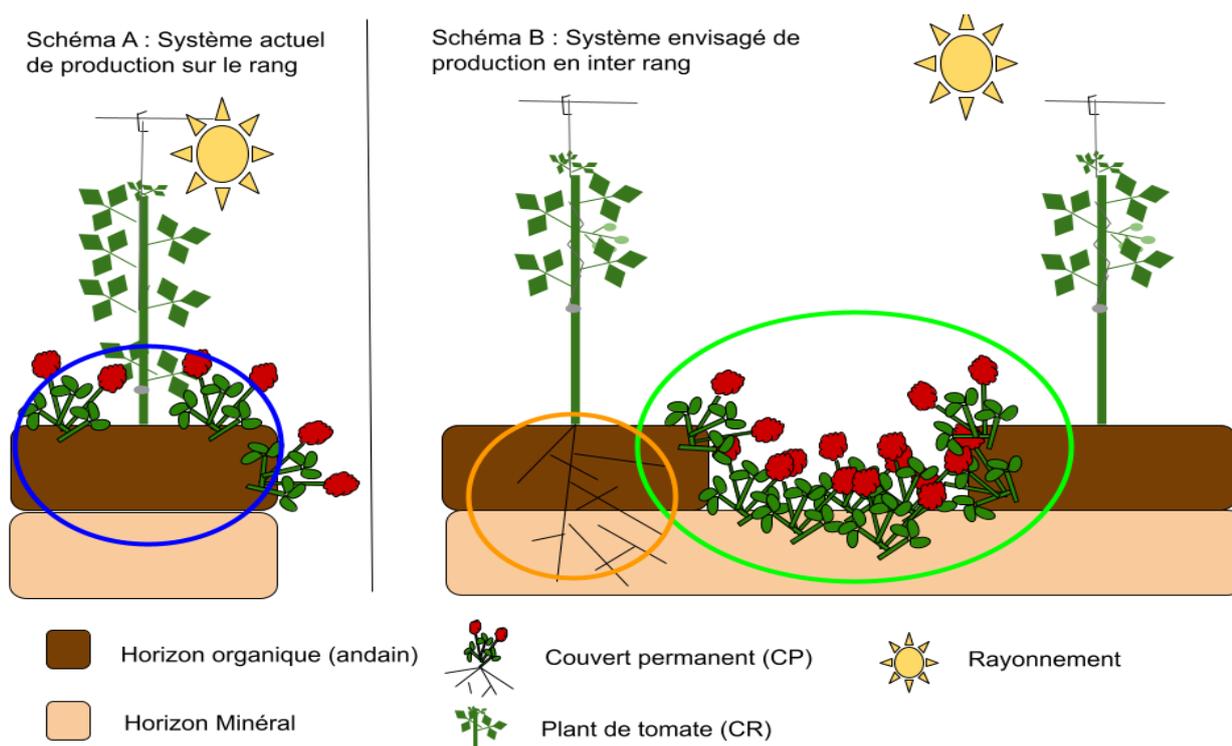


Figure 16 : système actuel vs production en passe pied. Dans le système actuel, la place du couvert offre le minimum de potentiel de production de MS et le maximum de concurrence car l'horizon racinaire exploré par le CP et le CR est le même (schéma de gauche, cercle bleu). Dans le système de couverture de l'inter rang, le potentiel de production est augmenté car le rayonnement est plus important (schéma de droite, cercle vert) de plus, l'exploration racinaire du CP et de la CR est distincte, créant moins de concurrence (schéma de droite, cercle orange).

En production sous serre chauffée, la lumière résiduelle dans les passe-pieds est très faible, 18 % du rayonnement solaire n'est pas intercepté par les plantes (Wilson *et al.*, 1992). Ce rayonnement non intercepté est souvent reflété par des bâches blanches. Celles-ci augmentent la lumière reçue par la plante, augmentent le rendement, contrôlent les adventices et permettent de créer un microclimat (Manzoor *et al.*, 2023). Les couverts permanents auraient plus de mal à trouver leur place, sauf si les producteurs sont prêts à ne

pas mettre de bâches car les CP ont des bénéfices avérés plus intéressants que la bâche blanche (biomasse, maintien de la PBI, ...).

### 6.3.2. Des composantes du système non mesurées

Il paraît indispensable, au vu des doutes concernant l'homogénéité de la serre, de mesurer tout le long de l'année la température dans la serre, afin de définir les andains ayant des conditions de culture semblables et représentatives des conditions de culture des autres producteurs sous serres non chauffées. Un maillage de la serre (Figure 17) permettrait d'étudier idéalement les conditions de culture. La prise de mesure devra se faire principalement en début de saison afin d'observer les zones froides de la serre. Le nombre de points de mesure est assez important sur toute la serre. Les enregistreurs de température de la marque Elitech (Elitech RC-51H) sont déjà utilisés aux serres et peuvent être utilisés pour cette prise de mesure.

Mesurer le rayonnement capté par le couvert sous le rang et le rayonnement perdu dans le passe-pied tout au long de l'année permettrait de mieux définir les conditions de développement du couvert et le potentiel des passe-pieds.

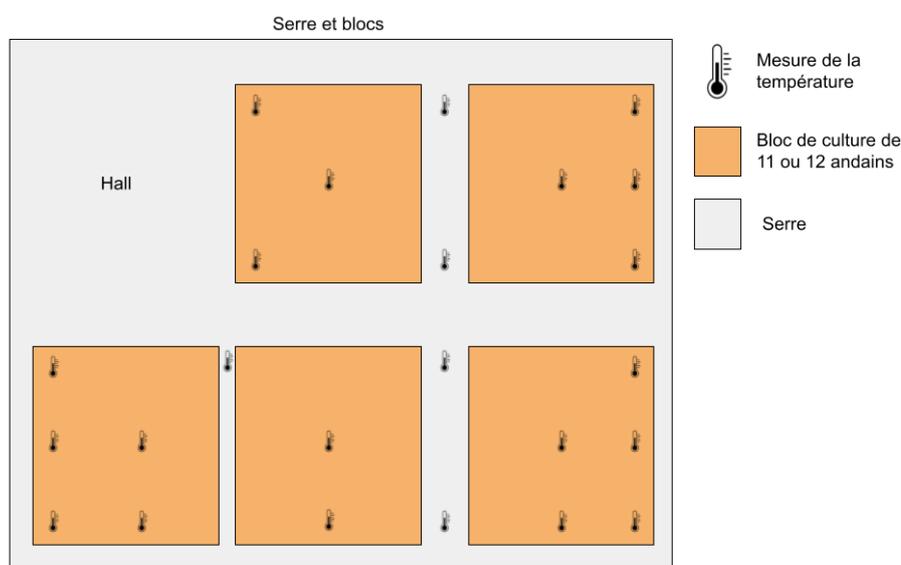


Figure 17 : schéma de la serre et des points de prise de mesure de la température

Le rendement de la tomate serait intéressant à mesurer mais l'organisation de la serre, dont les andains ne font pas la même surface (8 à 10 m<sup>2</sup>) ne le permet pas. En effet, le nombre de plants et le nombre d'axes de production varient dans le temps, d'un bloc à l'autre et d'un andain à l'autre. Lorsqu'une tête est cassée lors du palissage, le développement de cet axe de production s'arrête jusqu'à ce qu'un nouveau gourmand soit sélectionné. Il se peut que la plante ne fasse pas de gourmand si tous les méristèmes ont été enlevés lors de l'égourmandage. La différence de rendement entre un andain possédant 30 axes de production et un andain possédant 33 axes sera de l'ordre de 10% (3 axes en moins = 10 % d'axes en moins  $\approx$  10 % de production en moins). Il faut trouver un moyen de mesurer le

rendement et de le rapporter au nombre d'axes sachant que le nombre d'axes évolue avec le temps (au gré des accidents de palissage).

D'autres composantes de la vigueur, que la méthode Tom'Pousse propose de mesurer, seraient intéressantes à suivre. Il y a par exemple, la longueur des feuilles matures, le nombre de fruits par plant, le délai entre la nouaison et la récolte ou encore la longueur des entre-noeuds. Ces indicateurs supplémentaires permettraient de mieux suivre le développement des plants de tomates.

Concernant les couverts, le taux de recouvrement n'est pas une mesure suffisante pour les caractériser. Celle-ci n'indique pas réellement la biomasse produite. Il permet toutefois d'observer dans quelle mesure les couverts couvrent le sol. Je propose de mesurer :

- Le taux de recouvrement sous les tomates et sur les bords des andains afin de mieux décrire le développement des couverts (bi-mensuel).
- La hauteur des couverts qui renseignerait sur la biomasse produite et aiderait à déclencher les tontes avec plus de précisions (bi-mensuel).
- Les stades phénologiques des couverts qui mettraient en évidence le développement général du CP, qui serait une autre aide au déclenchement des tontes, et son rapport C/N (bi-mensuel).
- La biomasse fraîche (et la biomasse sèche si possible) qui validerait l'hypothèse de la concurrence plus importante en condition de production de biomasse plus importante (mesurée après chaque tonte).
- La diversité et la quantité d'auxiliaires dans le couvert (mensuel)

Mesurer le rapport C/N serait intéressant. En effet, le ratio carbone/azote des résidus d'une plante (C/N) augmente avec le développement physiologique des plantes (Liu et al., 2015). Il a été observé (Justes et al., 2009 ; Li et al., 2020) que la minéralisation d'azote des résidus des couverts végétaux dépend du C/N des résidus. Un C/N faible a un effet fertilisant et un C/N élevé peut créer une faim d'azote (Justes et al. 2009) si aucun autre apport d'N n'est effectué. Le stade phénologique auquel le couvert est coupé a donc un effet sur l'impact du couvert sur le sol et notamment la disponibilité en azote. La tonte du couvert n'est pas suivie de l'incorporation des résidus, cela limite les risques de faim d'azote (Coppens et al., 2005).

Toutes ces mesures permettraient de réaliser une ACP afin de caractériser le développement des couverts et leur(s) impact(s) sur les plants de tomates.

Les essais menés en 2022 (année 1) concernant la diversité des auxiliaires sont à continuer selon deux axes :

- déterminer le rôle des CP dans la conservation des auxiliaires durant l'hiver. Il s'agit d'évaluer si les CP permettent de conserver les auxiliaires d'une saison de culture à l'autre ;
- déterminer si les auxiliaires présents dans les CP sont les mêmes que ceux que l'on retrouve dans les tomates.

Un intérêt particulier est à porter aux insectes prédateurs *Macrolophus pygmaeus* qui sont relâchés tous les ans dans cette serre et utiles notamment dans la lutte contre les aleurodes. Les *Macrolophus* sont entomophages et phytophages (Ephytia, 2014). La conservation des *Macrolophus* sur une plante hôte ne peut pas se faire en l'absence de proie

(Ingegno *et al.*, 2011). Il serait donc intéressant de mesurer le CP le plus apte à conserver des proies pour les *Macrolophus*.

### 6.3.3. Le futur de la recherche aux Serres de Marcel

Toutes les propositions ci-dessus (paragraphe -6.3.2) ne pourront être mises en application sans une réflexion nouvelle autour de la recherche aux SDM. Le pôle recherche est aujourd'hui géré par l'exploitant (François Mulet) à hauteur de quelques heures par semaine. Les mesures sont effectuées par des stagiaires et apprentis. Le temps nécessaire à l'établissement d'une stratégie d'étude d'un système aussi complexe que le système décrit dans ce mémoire nécessite, de mon point de vue, à minima un ingénieur agronome à mi-temps accompagné de stagiaires et apprentis. Les objectifs de recherche devraient se raisonner sur un temps de plusieurs années et ne pas changer chaque année (plutôt orienté entomologie en année 1 et vigueur des plants en année 2). Enfin, un réel état des lieux de la serre est à prévoir pour estimer ce qu'il est possible de tester dans cette serre potentiellement hétérogène et dont les passe-pieds sont bétonnés (le potentiel de CP est très réduit). Une analyse économique de ce système serait intéressante à mener.

### 6.3.4. Perspectives de recherche pour les systèmes de production CP-CR en dehors de serres de Marcel

Ce paragraphe est à l'attention des producteurs, conseillers ou chercheurs souhaitant mettre en place un système CP-CR et l'étudier. Notons d'abord que chaque implantation doit se penser en fonction du contexte pédo-climatique, humain (ressource humaine) et économique dans lequel il est mis en place.

S'il fallait refaire le projet de recherche dans une serre dont les conditions de culture sont homogènes, je proposerais le système schématisé par la figure 18. Je sèmerais le CP dans le passe-pied et sur les bords de l'andain avec pour objectif principal de produire de la biomasse. Le couvert serait tondu et les résidus de la tonte seraient déportés sur les andains de tomate. Une plus grande diversité de CP serait à tester notamment en mélange Fabacées-Poacées, comme par exemple le ray-grass (*Lolium multiflorum*), souvent cité (Lorie, 1986 ; Liedgens *et al.*, 2004 ; Kaneko *et al.*, 2011), la vesce velue (*Vicia villosa*) (Borowy, 2012) et les variétés de luzerne à faible dormance. Si les couverts sont en dormance lorsque la culture de tomates n'est plus sur l'andain (de novembre à mars), les couverts ne sont pas actifs au moment où ils n'ont pas de concurrence, ce qui est dommage. Sur l'andain, j'installerais des plantes compagnes, réputées bénéfiques à la tomate ou aux auxiliaires de culture :

- La tagète (*Tagetes patula* L.), le basilic (*Ocimum basilicum* L.), la laitue (*Lactuca sativa* L.) et la moutarde blanche (*Sinapis alba* L.) ont été utilisées en tant que plante compagne par Tringovska *et al.*, (2015). Ces plantes ont permis une augmentation du taux d'antioxydant dans le fruit et une limitation du développement de nématodes phytoparasites. Seule la moutarde blanche a diminué le rendement de la CR de façon significative.
- Le souci (*Calendula officinalis*) permet la conservation des insectes auxiliaires de l'espèce *Macrolophus pygmaeus* durant l'hiver (Perrin *et al.*, 2019).

- L'utilisation de tabac (*Nicotiana tabacum*) en tant que plante compagne permet d'attirer efficacement les aleurodes (*Trialeurodes vaporariorum*) et permet donc un meilleur développement de *Macrolophus pygmaeus* (Bresch et al., 2014).

Le système d'irrigation par aspersion est à conserver mais une ligne de goutte à goutte, reliée à un réseau de fertigation sécuriserait la culture et permettrait de tester différents apports d'engrais et d'oligo éléments (Ahmed, 2021) et d'irriguer la tomate. L'aspersion augmenterait l'humidité et en conséquence, le risque de maladie fongique (DAGPF, 2016). Je testerais différentes quantités d'apports annuels de BRF sur un temps long. Cet apport serait effectué sur la ligne de plantation.

Proposition de design CP-CR

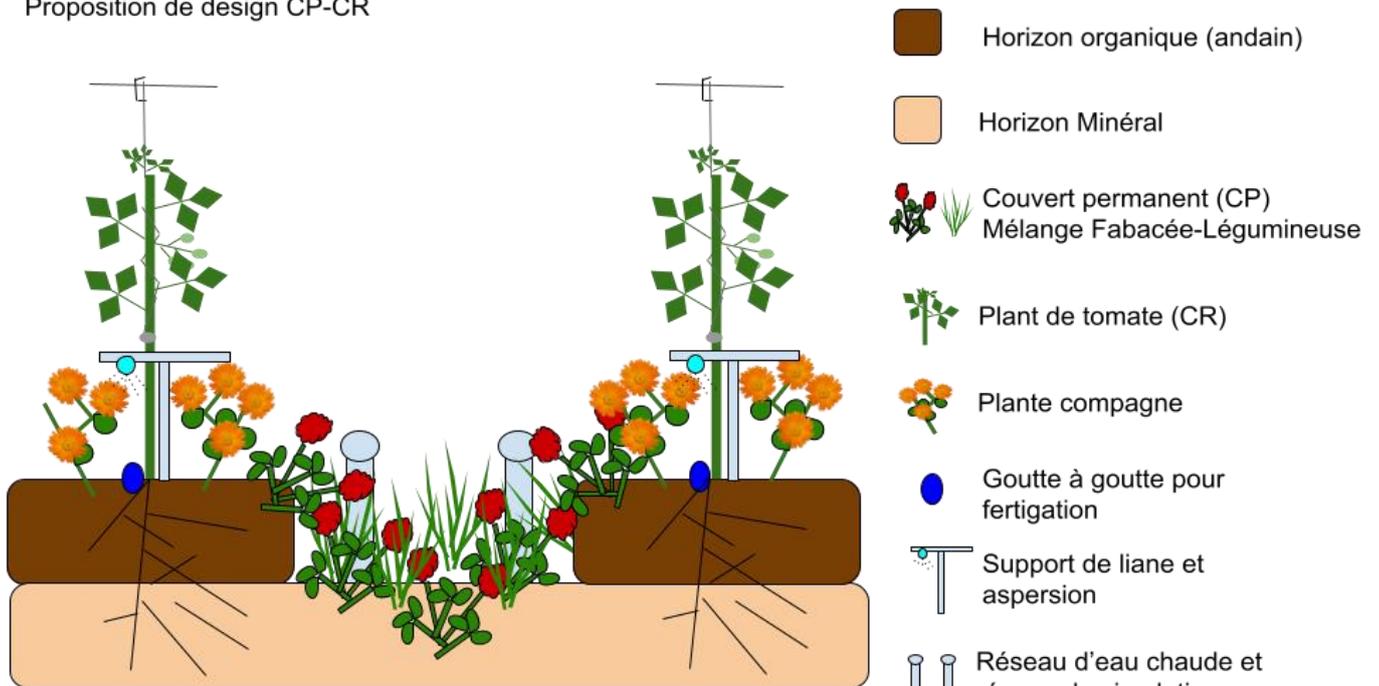


Figure 18 : proposition de design de système CP-CR.

## 7. Conclusion

L'autoproduction de la ration du sol par la mise en place d'un couvert permanent dans une culture de tomates n'est pas atteinte par le système mis en place aux Serres de Marcel. La vigueur des plants de tomates est diminuée par le couvert de menthe dès le début de la culture. Les autres modalités de CP ont une vigueur similaire à la modalité 0 BRF. Ceci laisse à penser que les CP ont un bilan neutre sur la fertilité du sol. Il serait intéressant de tester de nouveaux designs incluant des mélanges de CP et des passe-pieds enherbés. La serre expérimentale des SDM ne permet pas de mettre en place ce genre de design. De plus, la ressource humaine allouée au projet est insuffisante pour évaluer efficacement le système tout au long de l'année. Un employé supplémentaire au sein de l'équipe, qui serait consacré en priorité au pôle recherche des SDM, faciliterait la réalisation du programme de recherche.

Quoi qu'il en soit, cette nouvelle année d'essai aux Serres de Marcel a permis de mettre en lumière un certain nombre de limites du dispositif expérimental. Le projet des SDM est jeune et il est logique qu'après deux ans, un projet expérimental mené en parallèle de la mise en culture de maraîchage sur près de 3 ha dont un peu plus d'1 ha de serre, ne soit pas complètement mature. Une nouvelle recherche de financement, comme le financement obtenu pour l'essai de 2023, est nécessaire au bon développement et à la professionnalisation de la recherche aux SDM.

Le futur des systèmes CP-CR réside dans une hybridation des modalités testées aux SDM, le CP apportant une partie de la ration du sol et un apport de MS morte (type BRF) apportant la part manquante et la mise en place de plantes compagnes sur le rang de culture afin de répondre aux besoins spécifiques du contexte de culture (conservation de la PBI, structuration du sol, ...).

## 8. Références bibliographiques

- Adamczewska-Sowińska, K., & Kołota, E. (2008). The Effect of Living Mulches on Yield and Quality of Tomato Fruits. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 69(1), 31-38. <https://doi.org/10.2478/v10032-008-0018-z>
- Ahmed, W. (2021). The advances in the foliar application of micro and macronutrients and their effects on growth development and yield potential of tomato crops. *Journal Advances of Nutrition Science and Technology*, 1(2), 79. <https://doi.org/10.15228/ANST.2021.v01.i02.p04>
- Bot, J. L., Jeannequin, B., & Fabre, R. (2001). Growth and Nitrogen Status of Soilless Tomato Plants Following Nitrate Withdrawal from the Nutrient Solution. *Annals of Botany*, 88(3), 361-370. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1467>
- Bresch, C., Ottenwalder, L., Poncet, C., & Parolin, P. (2014). Tobacco as Banker Plant for *Macrolophus pygmaeus* to Control *Trialeurodes vaporariorum* in Tomato Crops. *Universal Journal of Agricultural Research*, 2. <https://doi.org/10.13189/ujar.2014.020803>
- Celette, F., & Gary, C. (2013). Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping. *European Journal of Agronomy*, 45, 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.001>
- Cluzeau, D., (2011). *Intro Biodiversité Sol V2*. <https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/download/get/131/cluzeau-univrennes-1-intro-biodiversite-sol>
- Coppens, F., Merckx, R., Recous, S., & Garnier, P. (2005). *Water, carbon and nitrogen dynamics in soil—Influence of crop residue location and quality*. <https://lirias.kuleuven.be/1740266>
- De Groot, C. C., Marcelis, L. F. M., Van Den Boogaard, R., & Lambers, H. (2004). Response of growth of tomato to phosphorus and nitrogen nutrition. *Acta Horticulturae*, 633, 357-364. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.633.43>
- Delamotte, C. (2018.). *Les bactéries fixatrices d'azote libres du sol*. Licence Professionnelle Valorisation des Ressources Végétales, Ecole d'horticulture de La Mouillère – Orléans
- Deraman, D. S., Pa'ee, F., Nasim, N. A. M., Sabran, S. F., & Zairi, M. N. M. (2019). Effect of different light intensities on growth rate in *Mentha arvensis*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 269(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/269/1/012016>
- Esmailpournoghadam, E., & Salehi, H. (2021). Tall fescue is a superturfgrass : Tolerance to shade conditions under deficit irrigation. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(5), 290-301. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.03.001>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Bailey, B. A. (2005). Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(19-20), 2733-2757. <https://doi.org/10.1080/00103620500303939>

- Fracchiolla, M., Lasorella, C., Cazzato, E., & Renna, M. (2022). Living Mulch with Subterranean Clover (*Trifolium subterraneum* L.) Is Effective for a Sustainable Weed Management in Globe Artichoke as Annual Cropping in Puglia (Southern Italy). *Horticulturae*, 8(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090825>
- Fracchiolla, M., Renna, M., D'Imperio, M., Lasorella, C., Santamaria, P., & Cazzato, E. (2020). Living Mulch and Organic Fertilization to Improve Weed Management, Yield and Quality of Broccoli Raab in Organic Farming. *Plants*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/plants9020177>
- Gibson, K. D., Mcmillan, J., Hallett, S. G., Jordan, T., & Weller, S. C. (2011). Effect of a Living Mulch on Weed Seed Banks in Tomato. *Weed Technology*, 25(2), 245- 251. <https://doi.org/10.1614/WT-D-10-00101.1>
- Gobat, J.-M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010). *Le sol vivant : Bases de pédologie- Biologie des sols*. 3<sup>ème</sup> édition. PPUR Presses polytechniques. Collection : Science et ingénierie de l'environnement
- Ingegno, B. L., Pansa, M. G., & Tavella, L. (2011). Plant preference in the zoophytophagous generalist predator *Macrolophus pygmaeus* (Heteroptera : Miridae). *Biological Control*, 58(3), 174- 181. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.06.003>
- Kaneko, M., Uozumi, S., Touno, E., & Deguchi, S. (2011). No-till, no-herbicide forage soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cropping system with an Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) living mulch. *Grassland Science*, 57(1), 28- 34. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2010.00205.x>
- Kolota, E., & Adamczewska-Sowinska, K. (2004). The effects of living mulches on yield, overwintering and biological value of leek. *Acta Horticulturae*, 638, 209- 214. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.638.27>
- Kolota, E., & Adamczewska-Sowinska, K. (2013). Living mulches in vegetable crops production : Perspectives and limitations (A review). *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 12(6). <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-20e4e1f5-6055-410c-bb90-96b41391771e>
- Leoni, F., Lazzaro, M., Carlesi, S., & Moonen, A.-C. (2020). Legume Ecotypes and Commercial Cultivars Differ in Performance and Potential Suitability for Use as Permanent Living Mulch in Mediterranean Vegetable Systems. *Agronomy*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111836>
- Li, F., Sørensen, P., Li, X., & Olesen, J. E. (2020). Carbon and nitrogen mineralization differ between incorporated shoots and roots of legume versus non-legume based cover crops. *Plant and Soil*, 446(1), 243- 257. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04358-6>
- Li, Y., Dong, S., Gao, Q., Zhang, Y., Liu, S., Ganjurjav, H., Hu, G., Wang, X., Yan, Y., Wu, H., Gao, X., Li, S., & Zhang, J. (2020). Rotational grazing promotes grassland aboveground plant biomass and its temporal stability under changing weather conditions on the Qinghai-Tibetan

- plateau. *Land Degradation & Development*, 31(17), 2662- 2671. <https://doi.org/10.1002/ldr.3596>
- Liedgens, M., Frossard, E., & Richner, W. (2004). Interactions of maize and Italian ryegrass in a living mulch system : (2) Nitrogen and water dynamics. *Plant and Soil*, 259(1), 243- 258. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000020965.94974.21>
- Liu, F., Liu, Y., Wang, G., Song, Y., Liu, Q., Li, D., Mao, P., & Zhang, H. (2015). Seasonal Variations of C : N: P Stoichiometry and Their Trade-Offs in Different Organs of Suaeda salsa in Coastal Wetland of Yellow River Delta, China. *PLOS ONE*, 10(9), e0138169. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138169>
- Liu, Y., Wu, L., Baddeley, J. A., & Watson, C. A. (2011). Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 155- 172. <https://doi.org/10.1051/agro/2010008>
- Lori, J. (1986). Managing growth and competition of a perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) living mulch in a vegetable cropping system. Master of Science in Horticulture, Oregon State University.
- Manzoor, N., Mufti, S., Anayat, R. (2023). Vegetable Production Under Colored Plastic Mulches : A Review. *Journal of Community Mobilization and Sustainable Development*, Vol. 18(2), 365- 373.
- Müller-Schärer, H., & Potter, C. A. (1991). Cover plants in field grown vegetables: prospects and limitations. Brighton Crop Protection Conf.-Weeds, 1991, 599–604.
- Navarrete. (1997). Vigour of greenhouse tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) : Analysis of the criteria used by growers and search for objective criteria. *Journal of Horticultural Science*, 72, 821- 829. <https://doi.org/10.1080/14620316.1997.11515576>
- Nicholson, A. G., & Wien, H. C. (1983). Screening of Turfgrasses and Clovers for Use as Living Mulches in Sweet Corn and Cabbage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108(6), 1071- 1076. <https://doi.org/10.21273/JASHS.108.6.1071>
- Noël, B. (1997). Mémoire de l'usage du B.R.F. Le comment et le pourquoi (Publication n° 79). Deuxième édition, novembre 2003. Bruxelles, Belgique : Ingénieur chimiste des industries agricoles. <http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>
- Perrin, B., Goude, M., Salvador, B., & Lefèvre, A. (2019). Implementing and assessing the efficacy of *Calendula officinalis L.* (marigold) as banker plant for *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) in protected vegetable production. *IOBC/WPRS Bulletin*, 147, 69- 77.
- Rampaer, C. (2022). Effet des couverts sur la hauteur et le rendement des plants de tomate. Rapport de stage de deuxième année, Ingénieur horticole - Institut agro Angers.
- Rice, L. (2022). Rapport d'expérimentation : Effets des couverts végétaux permanents sur le développement d'auxiliaires et le rendement en culture de tomate (*Solanum lycopersicum*

L.). Licence Professionnelle - Productions Végétales, Expérimentation, expérimentateur du Végétal

- Sportelli, M., Frascioni, C., Fontanelli, M., Pirchio, M., Gagliardi, L., Raffaelli, M., Peruzzi, A., & Antichi, D. (2022). Innovative Living Mulch Management Strategies for Organic Conservation Field Vegetables : Evaluation of Continuous Mowing, Flaming, and Tillage Performances. *Agronomy*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030622>
- Sun, L., Chen, J., Xiao, K., & Yang, W. (2017). Origin of the Domesticated Horticultural Species and Molecular Bases of Fruit Shape and Size Changes during the Domestication, Taking Tomato as an Example. *Horticultural Plant Journal*, 3(3), 125- 132. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.007>
- Shamshiri, R., Jones, J., Thorp, K., Ahmad, D., Che Man, H., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato : A review. *International Agrophysics*, 32, 287- 302. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005>
- Thériault, F., Stewart, K. A., & Seguin, P. (2009a). Incidence of *Pieris rapae* in Organic Broccoli Grown With Living Mulches Under Floating Row Cover. *International Journal of Vegetable Science*, 15(3), 218- 225. <https://doi.org/10.1080/19315260902727809>
- Thériault, F., Stewart, K. A., & Seguin, P. (2009b). Use of Perennial Legumes Living Mulches and Green Manures for the Fertilization of Organic Broccoli. *International Journal of Vegetable Science*, 15(2), 142- 157. <https://doi.org/10.1080/19315260802598896>
- Tringovska, I., Yankova, V., Markova, D., & Mihov, M. (2015). Effect of companion plants on tomato greenhouse production. *Scientia Horticulturae*, 186, 31- 37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.016>
- Van Ploeg, D., & Heuvelink, E. (2005). Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield : A review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(6), 652- 659. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511994>
- Warner, J., Zhang, T. Q., & Hao, X. (2004). Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(3), 865- 871. <https://doi.org/10.4141/P03-099>
- Wiles, L. J., William, R. D., Crabtree, G. D., & Radosevich, S. R. (1989). Analyzing Competition Between a Living Mulch and a Vegetable Crop in an Interplanting System. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(6), 1029- 1034. <https://doi.org/10.21273/JASHS.114.6.1029>
- WILSON, J. W., HAND, D. W., & HANNAH, M. A. (1992). Light Interception and Photosynthetic Efficiency in Some Glasshouse Crops. *Journal of Experimental Botany*, 43(3), 363- 373. <https://doi.org/10.1093/jxb/43.3.363>

Wu, Y., Yan, S., Fan, J., Zhang, F., Xiang, Y., Zheng, J., & Guo, J. (2021). Responses of growth, fruit yield, quality and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, 275, 109710. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109710>

## 9. Sitographie

WikiTriplePerformance. *Démarrer en maraîchage sol vivant*. (s. d.). Triple Performance. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse [//wiki.tripleperformance.fr/wiki/D%C3%A9marrer\\_en\\_mara%C3%AEchage\\_sol\\_vivant](https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/D%C3%A9marrer_en_mara%C3%AEchage_sol_vivant)

Adaf26. *Maraîchage sur Sol Vivant*. Association Drômoise d'Agroforesterie. (s. d.). Consulté le 28 juin 2023, à l'adresse <https://www.adaf26.org/lagroecologie/maraichage-sur-sol-vivant/>

Agreste : *Tomate. En 2022, des récoltes amoindries par la sécheresse et des prix en moyenne plus élevés que les campagnes précédentes* | Agreste, la statistique agricole. (s. d.). Agrest.agriculture.gouv. Consulté le 28 août 2023, à l'adresse <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/IraLeg22150/detail/>

FAOSTAT. (s. d.). Crops and life stocks products. FAOSTAT. Consulté le 19 juillet 2023, à l'adresse <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

FranceInfo : *En France, 90 % des tomates sont cultivées hors-sol*. (2019, juin 20). Franceinfo. [https://www.francetvinfo.fr/sante/alimentation/video-en-france-90-des-tomates-sont-cultivees-hors-sol\\_3499305.html](https://www.francetvinfo.fr/sante/alimentation/video-en-france-90-des-tomates-sont-cultivees-hors-sol_3499305.html)

gouvernement.fr : *Agriculture et alimentation : Point sur les mesures de soutien au secteur*. (s. d.). Gouvernement.fr. Consulté le 28 juillet 2023, à l'adresse <http://www.gouvernement.fr/actualite/agriculture-et-alimentation-point-sur-les-mesures-de-soutien-au-secteur>

cor.europa.eu : *L'agroécologie est une réponse aux défis agricoles, sociaux et environnementaux de l'Europe*. (s. d.). cor.europa.eu. Consulté le 28 août 2023, à l'adresse <https://cor.europa.eu/fr/news/Pages/answer-to-agricultural-social-environmental-challenges.aspx>

Equiterre : *Module 4, chapitre 7 : cultures en serre* (s. d.). Agriréseau.net. Consulté le 19 août 2023, à l'adresse [https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/MARAI\\_Chapitre\\_7Cultures\\_serre.pdf](https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/MARAI_Chapitre_7Cultures_serre.pdf)

Barraud, L. (2021, octobre 24). *Tomate : Le retour des sols vivants sous serres*. Ver de Terre Production. Consulté le 5 août 2023, à l'adresse <https://www.verdeterreprod.fr/tomate-sol-vivant-serres/>

- DAGPF : *Direction de l'agriculture en ploynésie française : Tomate-ft-culture\_SDRdag\_v2016.pdf*. (s. d.). Consulté le 22 août 2023, à l'adresse [https://www.service-public.pf/dag/wp-content/uploads/sites/28/2018/12/tomate-ft-culture\\_SDRdag\\_v2016.pdf](https://www.service-public.pf/dag/wp-content/uploads/sites/28/2018/12/tomate-ft-culture_SDRdag_v2016.pdf)
- Yara.fr, *Résumé nutritionnel des tomates*. (2018, février 19). Yara France. Consulté le 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/tomate/resume-nutritionnel-tomates/>
- Bio-enligne.com. *Fertilisation et exigences nutritives de la culture de tomate*. (s. d.). Consulté 1 juillet 2023, à l'adresse <https://www.bio-enligne.com/fertilisation/209-tomate.html#Azote>
- Lacoopérationagricole.com. *Mieux connaitre Luzerne de France*. (s. d.). La Coopération Agricole.com. Consulté le 21 juillet 2023, à l'adresse <https://www.lacooperationagricole.coop/filieres/luzerne/mieux-connaitre-luzerne-de-france>
- Arvalis. *Trèfle blanc—Fiches couverts végétaux ARVALIS-infos.fr*. (s. d.). Les Fiches ARVALIS. Consulté le 21 juillet 2023, à l'adresse [http://www.fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche\\_couvert.php?mode=fc&type\\_couv=pures&id\\_couvert=505](http://www.fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche_couvert.php?mode=fc&type_couv=pures&id_couvert=505)
- FIDOCL. *Bilan de la saison de pâturage 2018 | FIDOCL Conseil Elevage*. (s. d.). Fidocl.fr. Consulté le 26 juillet 2023, à l'adresse <http://www.fidocl.fr/content/bilan-de-la-saison-de-paturage-2018>
- Innov éco. *MANUEL\_PTD\_Innov-Eco.pdf*. (s. d.). ehlgbai.org. Consulté le 29 Juilly 2023, à l'adresse [https://ehlgbai.org/wp-content/uploads/2016/10/MANUEL\\_PTD\\_Innov-Eco.pdf](https://ehlgbai.org/wp-content/uploads/2016/10/MANUEL_PTD_Innov-Eco.pdf)
- Wikitripleperformance : *Le cycle de la fertilité des sols*. (s. d.). Triple Performance. Consulté le 15 juillet 2023, à l'adresse [//wiki.tripleperformance.fr/wiki/Le\\_cycle\\_de\\_la\\_fertilit%C3%A9\\_des\\_sols](//wiki.tripleperformance.fr/wiki/Le_cycle_de_la_fertilit%C3%A9_des_sols)
- Agrosemens : *TOMATE Fiorentino F1, catalogue bio*. (s. d.). Agrosemens. Consulté le 26 octobre 2022, à l'adresse [https://www.agrosemens.com/jardin-graine-bio-tomate-grappe/460-tomate-fiorentino-f1.html#/conditionnement-1000\\_graines\\_nues](https://www.agrosemens.com/jardin-graine-bio-tomate-grappe/460-tomate-fiorentino-f1.html#/conditionnement-1000_graines_nues)
- Tom 'Pousse (2003). *Méthodologie Tom'Pousse.pdf*. Agriréseau.net. Consulté le 26 juin 2023, à l'adresse <https://www.agrireseau.net/legumesdeserre/documents/t01cs03%20M%C3%A9thodologie%20Tom'Pousse.pdf>



# Étude comparative de l'effet de différents **couverts permanents et apports exogènes** de matière organique sur la **vigueur de plants de tomates.**

## Résumé :

En maraîchage sur sol vivant, deux principes essentiels sont la couverture permanente du sol et l'apport adéquat de la ration du sol, visant à favoriser la vitalité des plantes et la structure du sol. Une étude a été menée sur deux ans aux Serres de Marcel (France, Eure), comparant divers couverts permanents dans la culture de tomates (*Lycopersicon esculentum* L.). Les sept modalités étudiées ont reçu des apports de matière organique et de fiente de poules en année 1 formant ainsi des andains de culture. Toujours en année 1, quatre modalités d'andains ont été ensemencées chacune avec un couvert permanent (CP) de menthe, trèfle, luzerne ou fétuque et n'ont plus reçu d'apport (en année 2) hormis les résidus de tonte restant sur place. Trois modalités sans couvert (ni en année 1, ni en année 2), ont eu différents apports de bois raméal fragmenté (BRF) en année 2 : aucun apport (0 BRF), une dose (1 BRF), deux doses (2 BRF). Dès le début, le couvert de menthe a conduit à des plants de tomates avec une largeur de tige nettement inférieure aux autres modalités (24 à 27 % de moins que les autres modalités avec couvert, et 32 % de moins que 2 BRF). En fin de culture, les modalités sans apport de matière organique exogène (CP et 0 BRF) présentent une largeur des tiges de tomates inférieures à la modalité 2 BRF (environ 30 %). La croissance en longueur des tiges issues des modalités sans apport est inférieure aux modalités 1 BRF et 2 BRF de 8 à 15 %. Le taux de recouvrement des couverts évolue dans le temps. Le trèfle passe de 70% à 20 % en fin de saison, la luzerne passe de 50 à 35%, la fétuque passe de 25 à 80 %, le recouvrement de la menthe est assez stable, de 75-80%. Il n'y pas de corrélation entre la vigueur et le taux de recouvrement. La tonte des couverts permanents n'a pas permis d'assurer un développement satisfaisant des plants de tomates. Dues à des conditions de culture suspectées hétérogènes dans la serre, les valeurs de tiges de tomates sont plus faibles à proximité des parois vitrées donnant sur l'extérieur. En retirant ces valeurs du jeu de données, les conclusions de l'effet des CP restent similaires. En conclusion, les CP au bout de 2 ans ne permettent pas un apport suffisant de ration de sol pour la culture de tomates. Dans ces conditions, il est nécessaire de combiner les CP avec un apport de matière organique exogène.

Mots clés : Agroécologie - maraîchage sur sol vivant- culture en serre - *Lycopersicon esculentum* - bois raméal fragmenté

Pour citer ce document : Rampaer Charles, 2023. Étude comparative de l'effet de différents couverts permanents et apports exogènes de matière organique sur la vigueur de plants de tomate. Mémoire de fin d'études, Diplôme d'ingénieur agronome, option Production Végétale Durable, Institut Agro Rennes Angers. 59 pages +annexes.