



*Laboratoire sur l'Agriculture
Urbaine*

2349 Rue de Rouen

Montréal (QC) H2K 1L8

Canada

Mail : info@au-lab.ca

Mémoire de Fin d'Etudes

Master 2 Mention Biologie Végétale (BV) Parcours : Qualité des Productions Spécialisées

Année universitaire 2017-2018

Essais de différents substrats issus de résidus urbains, de fertilisants liquides organiques et d'un biostimulant sur le rendement et la qualité du piment d'Espelette cultivé dans un contexte d'agriculture urbaine.

Par : Clémentine POINTEREAU



Soutenu à Angers le : 19/09/2018

Maître de stage : Éric DUCHEMIN

Tuteur de stage : Nathalie LEDUC



ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e),
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un
document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation
des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer
toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

Remerciements

Je remercie Éric Duchemin, mon maître de stage, pour son accueil au sein du Laboratoire sur l'Agriculture Urbaine, pour la confiance qu'il a su me montrer vis-à-vis de la gestion autonome du projet Piments d'Espelette et pour les corrections apportées à mon mémoire.

Je remercie également Nathalie Leduc, ma tutrice de stage, pour son aide et son temps consacré aux corrections de mon mémoire.

Je remercie Marie-Josée Vézina pour ses connaissances et sa contribution dans le projet Piments d'Espelette. Merci également pour ses remarques constructives qui ont permis d'enrichir mon mémoire.

Je tiens à remercier tout particulièrement Josianne Bilodeau pour son aide dans les côtés techniques du projet, son énergie et sa bonne humeur quotidienne (et l'apprentissage des expressions québécoises).

Je remercie, Charlotte Delatour, Charlotte Lejoyeux, Claire Mick pour l'aide apportée sur mon projet, vos conseils et les bons moments passés ensemble.

Enfin, je remercie toutes les paires d'yeux qui ont corrigé ce mémoire et mes proches pour leurs soutiens.

Table des matières

Glossaire.....	3
Liste des Abréviations	5
Liste des Annexes	7
Listes des Illustrations	9
I. Introduction	15
A. Contexte de l'étude	15
B. Présentation du Laboratoire d'Agriculture Urbaine (AU/Lab).....	23
II. Etude Bibliographique.....	25
A. Les Substrats	25
1. Caractéristiques et propriétés des composts.....	25
2. Caractéristiques et propriétés du substrat de Champignonnières (Mustin, 1987)	27
B. Les Fertilisants liquides	29
1. Le thé de compost	31
2. Le purin.....	35
3. Les fertilisants issus de la mer	35
C. Les Biostimulants	37
D. Capsicum annuum	41
III. Matériel et Méthode	47
A. Essai des différents substrats et du biostimulant.....	47
1. Description des différents substrats.....	47
2. Description du biostimulant	49
3. Protocole d'expérimentation	49
B. Essai des différents fertilisants liquides.....	51
1. Description des différents fertilisants	51
2. Protocole d'expérimentation	55
C. Mesures et matériels de mesure	57
D. Etudes statistiques.....	59
IV. Résultats	61
A. Essais des différents substrats et du biostimulant	61
B. Essais des différents fertilisants liquides	67
V. Discussion	69
A. Essai Substrats	69
B. Essai Fertilisants.....	79
VI. Conclusion et Perspectives	85
Bibliographie	91
Annexes.....	101

Glossaire

Les mots auxquels sont associés une définition sont écrits en gras dans le texte.

Compétition : relation opposant deux ou plusieurs individus pour l'accès à des ressources limitées.

Champignon mycorhizien à arbuscule : champignon établissant des relations symbiotiques avec des végétaux.

Eutrophisation : apport en excès d'éléments nutritifs (azote, phosphore) dans un milieu aquatique entraînant la prolifération végétale, un appauvrissement en oxygène et un déséquilibre de l'écosystème.

Mycélium (mycélien) : Organe végétatif de champignon formant des filaments.

Phytotoxicité : caractère toxique d'une molécule chimique qui va à l'encontre du bon développement d'une plante.

Rhizobactérie : bactérie de la rhizosphère bénéfique à la croissance et au développement des plantes.

Stress abiotique : facteur environnemental susceptible de déclencher chez les plantes des modifications chimiques ou physiques dommageables. Par exemple, une carence minérale.

Terre de gobetage : Dans la culture des champignons de couche, la terre de gobetage est utilisée pour couvrir d'un mélange de tourbe et de sédiments calcaires la surface d'un substrat où s'est déjà développé le mycélium.

Vermicompost : type de compost issu de la transformation de fumier ou de déchets organiques par des vers.

Liste des Abréviations

AMF : Arbuscular Mycorrhizal Fungi

K : Potassium

LSF : Liquid Seaweed Fertilizer

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

N : Azote

P : Phosphore

PGPB : Plant Growth-Promoting Bacteria

PGPR : Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

SCE : Substrat de champignonnière épuisé

Liste des Annexes

Annexe I : p-value obtenues lors des tests de Kruskal-Wallis sur l'Essai Substrats et l'Essai Fertilisants

Listes des Illustrations

Table des Figures :

Figure 1 : Projet Culti-VERT en premier plan et projet VERTical en fond sur le toit du Palais des Congrès de Montréal.....	20
Figure 2 : Dispositif expérimental de l'essai substrats et biostimulant.....	48
Figure 3: Essai Substrats sur le toit du Palais des Congrès de Montréal.....	48
Figure 4 : Dispositif expérimental de l'essai des différents fertilisants liquides	52
Figure 5 : Essai Fertilisants sur le toit du Palais des Congrès de Montréal	52
Figure 6 : Concentration en chlorophylle chez les piments poussant dans les différents substrats	58
Figure 7 : Hauteur des piments d'Espelette poussant dans les différents substrats	60
Figure 8 : Evolution des différents stades de développement des piments de l'essai Substrats en fonction des stades phénologiques	60
Figure 9 : Nombres d'inflorescences et de fruits moyens en formation par plante chez les piments d'Espelette de l'essai Substrats	62
Figure 10 : Evolution du pH des différents substrats, C : Substrat de champignonnière	62
Figure 11 : Concentration en chlorophylle des piments traités en fonction des différents fertilisants	64
Figure 12 : Principales carences observées chez les piments traités aux différents fertilisants.....	64
Figure 13 : Hauteur des piments d'Espelette traités en fonction des différents fertilisants	66
Figure 14 : Evolution des différents stades de développement des piments de l'essai Fertilisants en fonction des stades phénologiques.....	66
Figure 15 : Nombres d'inflorescences et de fruits moyens par plante chez les piments de l'essai Fertilisants	66
Figure 16 : Evolution du pH des substrats selon les différents fertilisants utilisés.	68
Figure 17 : Piment compost Pousse-menu (P)	70
Figure 18 : Piment témoin (CONTROL).....	70
Figure 19 : Piment compost Mironor (M)	70
Figure 20 : Disponibilité des éléments minéraux en fonction du pH dans les sols organiques	76

Table des Tableaux :

Tableau I : Description des différents projets qui ont lieu sur le toit du Palais des Congrès de Montréal	22
Tableau II : Les différentes catégories de biostimulants existants (Tragin, 2018)	34
Tableau III : Concentration en capsaïcinoïdes en $\mu\text{mol/g}$ de matière sèche, le degré d'humidité et le piquant mesuré avec l'échelle de Scoville pour différents cultivars (Duelund and Mouritsen, 2017).	40
Tableau IV : Caractéristiques du compost Mironor et du compost de Pousse-Menu.	44
Tableau V : Caractéristiques du substrat de champignonnière épuisé	44
Tableau VI : Quantité de NPK recommandée pour la culture de piment selon le guide de fertilisation du CRAAQ	48
Tableau VII : Résultats d'analyse des différents thés de compost et purins (en pourcentage)	50
Tableau VIII : Compositions des fertilisants d'algues liquides et d'émulsion de poisson.	50
Tableau IX : Protocole de traitement des différents fertilisants de l'essai	52
Tableau X : Mesures et outils de mesure utilisés sur la plante pour les deux différents essais	54
Tableau XI : Mesures et outils de mesure utilisés sur le substrat pour les deux différents essais	54
Tableau XII : Signification des numéros de stades phénologiques	54
Tableau XIII : Disponibilité en eau des substrats	62
Tableau XIV : Résultats des analyses chimiques faites sur le substrat des piments traités avec différents fertilisants	68

I. Introduction

Chaque année, la population mondiale augmente un peu plus. Il est prévu que cette population passe à 10 milliards d'habitants sur Terre en 2050 (Geoffriau et al., 2017; Hallett et al., 2016; Jacques, 2012). Par ailleurs, la démographie des villes dans le monde est en train de changer avec notamment des mouvements de population des campagnes vers les villes (UN-HABITAT, 2016).

En conséquence de ces importants changements, les surfaces agricoles se voient diminuées à cause de l'agrandissement des zones urbaines. En effet, plus de 50% de la population mondiale vit actuellement en zone urbaine (Gendron, 2017; Geoffriau, 2010; UN-HABITAT, 2016). De même, à cause des activités humaines, la qualité des terres agricoles a diminué, poussant à leurs appauvrissements. En prévision des 10 milliards d'habitants en 2050, de cette diminution des surfaces cultivables et de leurs qualités, des solutions doivent être trouvées et mises en place. C'est ce que cherche à faire l'agriculture urbaine, actuellement en plein essor.

A. Contexte de l'étude

L'agriculture urbaine est un type d'agriculture qui consiste à cultiver en ville ou dans sa périphérie (agriculture péri-urbaine) amenant ainsi à une production de type maraîchère et une consommation locale de fruits et légumes principalement (Hallett et al., 2016). Elle est pratiquée par 800 millions de personnes dans le monde (Smit et al., 1996) et comprend de nombreux avantages parmi les secteurs suivants.

Au niveau économique, elle permet de soulager la pauvreté de ménages qui ont de faibles revenus. La nourriture produite en ferme urbaine offre une certaine qualité (produits frais), donc une sécurité alimentaire, et quantité, aidant les ménages à faibles revenus à acheter d'autres choses essentielles. L'agriculture urbaine permet aussi la création d'emplois et une contribution à l'économie locale (Ackerman et al., 2014; Geoffriau et al., 2017; Jacques, 2012). En effet, un jardin urbain de 100 m² peut générer à lui seul un emploi, la fourniture d'intrants, la commercialisation et la création de valeurs ajoutées du producteur au consommateur. Un mètre carré pouvant fournir environ 2 à 5 kg de nourriture par an (FAO, n.d.).

Au niveau social, cette activité permet la création de liens sociaux entre les résidents et les engage dans la production de nourriture, mais aussi rend possible le développement de connaissances et la création d'activités liées à la production d'aliments (leçons de cuisine, nutrition pour les résidents en rapport avec les fruits de leurs récoltes) (Geoffriau, 2010; Jacques, 2012).

Au niveau environnemental, l'agriculture urbaine a un impact sur le développement durable. En effet, les fermes urbaines se situant sur des toits, par exemple, permettent de réduire les îlots de chaleurs (par le recouvrement de ces surfaces mais aussi lors de la libération d'eau pendant le phénomène de

transpiration des plantes (Jacques, 2012)), d'atténuer les impacts des eaux pluviales (rétention d'eau sur les toits), et de réduire les coûts énergétiques dans les transports des produits issus des fermes. Le compostage des déchets organiques et son utilisation comme fertilisant permet aussi de réduire les coûts environnementaux et économiques, à condition que cela ne comporte pas de risques pour la santé humaine (Geoffriau, 2010).

Bien que le secteur de l'agriculture urbaine soit empli de bénéfices au sein d'une communauté, il n'est pas sans défis et contraintes. En effet, les contraintes principalement rencontrées sont la sécurisation de prêts, les coûts de gestion et les besoins importants en main d'œuvre (tout comme ceux rencontrés dans l'agriculture maraîchère traditionnelle) (Geoffriau, 2010).

En revanche, les défis sont nombreux. De façon générale, il va s'agir de trouver le site approprié (bien agencé, non pollué etc...) et d'obtenir un permis pour établir la ferme. Le financement de l'installation et/ou de la construction, la gestion et le fonctionnement du jardin ou de la ferme sont aussi des défis de taille. Le développement d'une solution marketing viable et d'un plan de distribution font aussi partie des défis qu'une ferme/jardin urbain(e) peut rencontrer. Selon le type de ferme rencontré, des challenges plus spécifiques sont aperçus. Par exemple, pour une ferme sur toit, il pourrait être question de la qualité sanitaire de l'eau de pluie collectée et redistribuée à une culture (Ackerman et al., 2014; Jacques, 2012).

Concernant la production en général, l'utilisation des pesticides est réduite en milieu urbain voire interdite dans certains pays/villes. Il faut donc trouver des alternatives comme les traitements biologiques, la lutte biologique et l'association d'espèces.

Deux principales méthodes de culture sont pratiquées en milieu urbain : la culture en sol et la culture hors-sol. La culture hors-sol est souvent majoritaire en ville car la culture en pleine terre en milieu urbain peut comporter des risques sanitaires et environnementaux : sol pollué, eau contaminée...(Daniel, 2013; FAO, n.d.). Dans ce type de culture est rencontrée une diversité de méthode de cultures (hydroponie, culture en pots...), et à cette diversité de méthodes s'associe une diversité de supports de culture en fonction des pratiques mises en place. Dans le cas de la culture hors-sol, une grande consommation de terreaux commerciaux est amenée ce qui engendre une dépendance des agriculteurs urbains à ce genre de substrat (KOZAI, 2013; Opitz et al., 2016). En plus de cette dépendance, les terreaux horticoles ont aussi un impact négatif sur l'environnement : destruction d'écosystèmes pour la tourbe qui est une ressource mettant des milliers d'années à se renouveler. Le développement d'un substrat de culture à partir de matières premières locales recyclées apparaît donc comme une solution pour lever cette dépendance. De plus, plusieurs entreprises agricoles ou agroalimentaires urbaines ne réutilisent pas leurs résidus organiques de production qui ont tendance à emprunter la même voie que les déchets organiques résidentiels et ceux des industries et commerces. Ces déchets constituent alors une piste intéressante pour leurs revalorisations (Thomaier et al., 2015).

Les substrats utilisés en culture hors-sol ne sont pas des « sols » (Mustin, 1987). En effet, un sol possède une structure composée d'argile, de limons et de sables. Il est dégradé et enrichi en apports organiques de divers organismes vivants sur et dans ces sols (Bourguignon and Bourguignon, 2008). Un sol est vivant, et c'est là l'une des principales limites d'un substrat, car ceux-ci sont généralement stérilisés. La santé des sols a été définie comme étant : « La capacité du sol à fonctionner comme un système vivant. Les sols en bonne santé maintiennent en leur sein une diversité d'organismes qui contribuent à combattre les maladies des plantes, les insectes et les adventices, s'associent de façon bénéfique et symbiotique aux racines, recyclent les nutriments végétaux essentiels, améliorent la structure du sol et, partant, la rétention des eaux et des nutriments, le tout contribuant à améliorer la production végétale » ("Chapitre 3 : La santé des sols," n.d.). L'essai de nouveaux types de substrats, comme des composts, dans le but d'améliorer la vie biologique de ceux-ci, est une étude qui pourrait se révéler intéressante en termes d'optimisation du rendement et de la qualité d'une culture.

En plus de cette dépendance des producteurs aux substrats, et bien que cette dépendance soit aussi présente dans l'agriculture en général, vont s'ajouter les nutriments à fournir aux cultures, le principe de la culture hors-sol étant une culture qui n'a pas accès aux nutriments disponibles dans le sol (Thomaier et al., 2015). En agriculture, de façon générale, les engrais chimiques ont une lourde empreinte écologique de leurs fabrications jusqu'après leurs utilisations (pollution des sols, de l'eau, **eutrophisation**...). Pour les réduire, de nouveaux genres de fertilisants voient le jour. En effet, une grande diversité existe allant de l'origine végétale à l'origine animale en passant par les ressources issues du monde marin. Outre ces nouveaux genres de fertilisants, d'autres types de produits arrivent sur le marché et sont de plus en plus utilisés dans le but d'améliorer le développement général d'une plante. Ce sont les biostimulants.

Les biostimulants sont diverses substances et micro-organismes utilisés dans le but d'améliorer la santé des plantes (au niveau de la croissance de la plante et de la qualité des produits récoltés ou encore l'induction de tolérances à certains stress) ce qui a donc pour conséquence d'augmenter le rendement d'une culture (Calvo et al., 2014). Avec de tels avantages, de nombreux producteurs utilisent ces fertilisants et biostimulants mais sans connaître réellement les effets qu'ils peuvent avoir sur la croissance et le rendement des végétaux.

L'agriculture urbaine étant fortement tributaire des ressources externes pour l'approvisionnement en substrats et fertilisants, les résultats de ces essais permettront d'évaluer s'il est possible de récupérer des résidus organiques urbains à cette fin, mais aussi de déterminer les effets qu'ils peuvent avoir sur la culture et le rendement. Ainsi, l'empreinte environnementale s'en verra diminuée car les ressources locales seront réutilisées (CAVAILHES and WAVRESKY, n.d.). De plus, les producteurs urbains pourront réduire leurs coûts de production soit en fabriquant eux-mêmes leurs terreaux et leurs fertilisants

liquides (thé de compost et purin) à partir de leurs matières résiduelles, soit en s'approvisionnant plus localement et diminuant ainsi les coûts de transport (Hallett et al., 2016).

Dans un premier temps, le sujet de ce mémoire vise donc à évaluer le potentiel de différents substrats utilisés comme support de cultures en production maraîchère hors-sol et de mesurer l'effet de ces substrats sur la santé, le rendement et la qualité des fruits de la plante cultivée. Le modèle d'étude sera le piment d'Espelette : *Capsicum annuum* (Solanaceae) cultivar Espelette. Le choix de cette plante est lié au fait que c'est une plante exigeante au niveau agronomique, mais aussi une plante avec un potentiel économique intéressant pour les agriculteurs urbains. De plus, le Laboratoire sur l'Agriculture Urbaine effectue une sélection depuis quatre ans sur les semences de ce cultivar adaptées aux conditions urbaines montréalaises et de toit. Les substrats testés seront deux composts issus de milieux différents (un, composé de résidus organiques provenant de municipalités et un, d'une ferme produisant des micro-pousses), un substrat de champignonnière épuisé et du terreau standard qui servira de témoin. Parallèlement, un biostimulant microbien sera testé sur les plantes poussant dans les différents substrats pour déterminer l'influence qu'il peut avoir sur la santé de ces plantes et leurs qualités. Pour répondre à cette problématique, plusieurs types de données seront relevées régulièrement chaque semaine sur les plantes poussant dans les différentes conditions : la hauteur de la plante, la biomasse aérienne et souterraine (fait en fin de culture), le rendement en fruits et leur taux en capsaïcine (molécule qui donne le goût piquant aux piments) et le taux de chlorophylle présent dans les feuilles. Concernant les substrats, des relevés de pH et de flux sortant de CO₂ seront effectués. La capacité de rétention d'eau des substrats sera mesurée et la composition chimique des cinq différents substrats sera aussi analysée.

Dans un second temps, des essais de fertilisants organiques liquides (thé de compost, émulsions de poisson, algues liquide, purin de litières d'insectes...) vont être eux aussi testés dans le but de connaître les impacts réels qu'ils ont sur la croissance, le développement, le rendement et la qualité des fruits, des plantes poussant en condition hors-sol, sur un substrat standard. Les résultats détermineront, ici aussi, le potentiel de ces nouveaux types de fertilisants liquides en comparaison d'un engrais chimique standard, et permettront d'évaluer par la suite leurs efficacités en fonction des résultats obtenus. Pour obtenir ces données, la croissance et le développement des plantes seront mesurés (hauteur de plante, taux de chlorophylle, biomasse aérienne et souterraine, rendement en fruits, concentration des fruits en capsaïcine). Concernant le substrat, des prises de pH et la mesure de flux de CO₂ sortant seront effectuées. Ces mesures seront faites une fois par mois. Les thés de compost et purins seront fabriqués sur place et analysés par un laboratoire dans le but de connaître leurs compositions et de déterminer les concentrations qui seront administrées aux plantes. Une fertilisation régulière, en fonction des besoins de la plante (besoin en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) évalué selon le guide du CRAAQ,



Figure 1 : Projet Culti-VERT en premier plan et projet VERTical en fond sur le toit du Palais des Congrès de Montréal. Le 15/07/2018, crédit photo : Clémentine Pointereau

(*Guide de référence en fertilisation*, 2010)) et des différentes étapes de développement, sera mise en place avec les différents fertilisants liquides.

B. Présentation du Laboratoire d'Agriculture Urbaine (AU/Lab)

Actif en agriculture urbaine depuis 2009, le Laboratoire sur l'agriculture urbaine (AU/Lab) dirigé par Éric Duchemin (Directeur scientifique et formation) et Jean-Philippe Vermette (Directeur intervention et politiques publiques) est un organisme à but non lucratif. Ce laboratoire a pour but de regrouper des chercheurs et des praticiens travaillant dans l'agriculture urbaine en réalisant des projets en lien avec les domaines de la recherche et de l'innovation. En plus de ces activités de recherche, l'AU/Lab propose des conférences, des animations, des séminaires et formations, des services et conseils aux municipalités voulant se lancer dans l'agriculture urbaine. AU/Lab est associé à l'Université du Québec à Montréal.

En 2017, AU/Lab est devenu le mandataire du Carrefour de Recherche, d'Expertise et de Transfert en Agriculture Urbaine (CRETAU). Le CRETAU est financé par le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), l'Université du Québec et la Ville de Montréal. Le CRETAU est un projet regroupant plusieurs partenaires dont les organismes subventionnaires, le Palais des congrès de Montréal, mais aussi d'autres institutions d'enseignement et recherche et des producteurs urbains. Le CRETAU a pour objectif global de développer le réseau entre les différents acteurs de l'agriculture urbaine à travers le Québec, le Canada et d'autres pays. Entre autres, le CRETAU a comme but de favoriser la rentabilité, l'efficacité et la compétitivité des entreprises travaillant dans le domaine de l'agriculture urbaine. Les activités du CRETAU sont réparties en quatre principaux volets : la production en serre, la production en intérieur, la production en sol et l'agriculture sur les toits.

L'un des espaces de recherche de AU/Lab et du CRETAU se situe sur le toit du Palais des congrès de Montréal. Ce projet a vu le jour en 2011, par un partenariat entre le Palais des Congrès de Montréal et le Centre d'écologie urbaine. La mise en place de ce projet d'aménagement d'espaces pour l'agriculture urbaine sur toit visait, initialement la réduction des îlots de chaleur. Différents bacs de culture provenant de plusieurs entreprises sont installés, c'est le projet Culti-VERT (Figure 1). De 2012 à 2017, le projet a été géré par la Ligne Verte qui s'occupait de l'entretien du toit et des récoltes. En 2016, le Laboratoire sur l'agriculture urbaine s'est intégré dans le projet et en est devenu le gestionnaire et ce afin de développer cet espace et le transformer en laboratoire de recherche et d'expérimentation. A partir de ce moment-là sont apparus les projets VERTical (Figure 1), Vignes Urbaines, Fraises Verticales et le projet dans lequel s'insère cette recherche. Aujourd'hui l'ensemble de la production du projet Culti-VERT revient en majorité au Capital Traiteur du Palais de Congrès tandis que le reste de la production est vendue ou transformée dans le cadre du projet de mise en marché solidaire s'intitulant Récoltes de Ville. Le Palais des Congrès devient alors en 2016, le lieu principal d'expérimentation

Tableau I : Description des différents projets qui ont lieu sur le toit du Palais des Congrès de Montréal

Projets	Surface (m ²)	Description
VERTical	600	Projet innovant d'agriculture urbaine verticale sur échafaudages où les plantes poussent sur différents types de toiles synthétiques et naturelles.
Culti-VERT	577	Projet utilisant différentes technologies de bacs de cultures maraichères et ont permis de produire chaque année entre 650 et 1000 kg de fruits et légumes qui sont destinés en grande partie au Capital Traiteur du Palais des Congrès, et pour le reste à la Maison du Père, un organisme venant en aide aux personnes en situation d'itinérance. Ce projet comprend aussi l'expérimentation de toits verts extensifs qui ont pour but de réduire les îlots de chaleur.
Vigne en Ville		Projet visant à étudier les comportements de 80 vignes rustiques en bacs en ville.
Alvéole		Trois ruches qui contribuent à la pollinisation des différents projets du toit et offrent environ 60 à 80 kg de miel par saison.

d'essais d'agriculture urbaine de AU/LAB ("AU/LAB – Laboratoire sur l'agriculture urbaine," n.d.). Le CRETAU rejoindra ce partenariat en 2017. La superficie cultivée sur le toit du Palais est de 1390 m². Différents projets expérimentaux sont installés sur le toit du Palais (Tableau I).

L'AU/LAB emploie à ce jour 14 personnes, plusieurs stagiaires ainsi que de nombreux collaborateurs québécois mais aussi internationaux.

II. Etude Bibliographique

Cette étude bibliographique vise à apporter des connaissances scientifiques sur les substrats, les fertilisants organiques et le biostimulant, employés dans ces essais. Une description de l'espèce étudiée pour ces expérimentations est aussi ajoutée. Ces connaissances permettront de comprendre les résultats obtenus dans ces essais.

A. Les Substrats

1. Caractéristiques et propriétés des composts

Le compostage est une décomposition biologique spontanée de matières organiques (MO) solides dans un environnement aérobie durant lequel des bactéries, des champignons et d'autres micro-organismes transforment les matières organiques en substrat stable appelé compost. Dans le monde entier, les fumiers d'origine animale, les déchets organiques des villes et industries sont traités par compostage, qui est la meilleure méthode connue pour le recyclage des macro et micronutriments, de la MO, pour la réduction du volume de déchets et de leur humidité, pour la dégradation de substances toxiques organiques et la réduction des risques de transferts de maladies (Bernal et al., 2017). Les composts sont des matériaux de type humique qui agissent comme des amendements organiques en raison des teneurs élevées en MO (Fabrizio et al., 2009).

a) Fabrication du compost

Le compostage est un processus à l'état solide où la matière organique est décomposée par de nombreux micro-organismes en condition aérobie. Il se déroule en deux phases, une phase de fermentation ou bio-oxydative et une phase de maturation (Bernal et al., 2017). La première phase comprend une phase mésophile où il y a une dégradation des molécules simples par des bactéries et champignons, une phase thermophile, où la température monte jusqu'à 70°C, détruisant les germes pathogènes et les semences d'adventices, puis une phase de refroidissement où la température redescend à 40-50°C et où il y a une dégradation de molécules plus complexes (cellulose, lignine, hémicellulose...) avec le commencement de la fabrication de l'humus.

La phase de maturation est une phase où vont avoir lieu des processus d'humification qui peuvent durer plusieurs mois. Il y a une augmentation de la biomasse microbienne (champignons et bactéries)

et l'arrivée de lombrics, le compost devenant un milieu plus vivable en étant à la température de l'air ambiant. Le compost se stabilise et la plupart de l'azote minéralisé est converti en nitrate. Cette dernière phase s'étale sur environ quatre semaines. Cependant, plus cette phase est longue, plus le degré d'humification de la matière organique est bon (Bernal et al., 2017).

b) Propriétés du compost

Du fait des fortes teneurs en matières organiques, les composts ont pour effet d'améliorer les propriétés physiques, biologiques et chimiques d'un sol. En effet, cela réduit l'érosion d'un sol, augmente la capacité de rétention d'eau et le pouvoir tampon d'un pH, améliore la structure physique d'un sol (stabilité des agrégats, densité, taille des pores) et enfin, améliore l'activité biologique d'un sol (Bernal et al., 2017). D'autres propriétés, comme l'absence de phytopathogènes, la présence de phytohormones, améliorent la valeur ajoutée d'un compost (Bernal et al., 2017; Miransari and Smith, 2014; Pant et al., 2011).

Les composts, dits matures, sont des composts définis pour avoir la capacité de minimiser ou d'éliminer les dommages produits par les micro-organismes pathogènes. Cette capacité est due à la présence des substances humiques qui vont, premièrement inhiber la croissance de certains pathogènes mais aussi retenir certains polluants, pesticides, antibiotiques ou encore métaux lourds (*Guide de référence en fertilisation*, 2010). Les substances humiques présentes dans un compost vont aussi stimuler la croissance de champignons du sol (par exemple *Trichoderma sp*)(Bernal et al., 2017).

La matière première du compost, la méthode de traitement et la maturité du compost déterminent globalement les caractéristiques finales du compost (Pant et al., 2012). D'une part, plus le temps de maturité d'un compost est long, plus cela libère une plus grande quantité d'éléments minéraux solubles et réduit les niveaux d'acides organiques phytotoxiques et de métaux lourds. En revanche, plus la durée de compostage est longue, plus la quantité d'N facilement minéralisable dans le compost devient indisponible car l'azote est mobilisé par les micro-organismes qu'il contient.

Dans des conditions de culture hors-sol, l'utilisation de compost comme une solution de remplacement à un sol classique est vue comme une alternative écologique à l'utilisation de la tourbe, qui est considérée comme un matériau non renouvelable. De plus le compost est l'un des substrats qui se rapproche le plus des propriétés que possède un sol.

2. Caractéristiques et propriétés du substrat de Champignonnières (Mustin, 1987)

Le champignon est un organisme saprophyte, dépourvu de pigments et de chlorophylle. Naturellement, il se nourrit des matières organiques qu'il puise dans le sol, dans la litière de la forêt ou le substrat organique de culture. Cette nutrition est composée d'eau, de cellulose, de protéines et de sels minéraux. La préparation des substrats de cultures pour la production de champignon est basée

généralement sur des fumiers pailleux. Une fois les substratsensemencés, les spores germent et se développent. Une fois les champignons récoltés, les caves de champignonnières éliminent entre trente et trois cent tonnes de compost « épuisé » par semaine en France. Deux types de produits ressortent des caves après une culture de champignons : le compost de champignonnière (mélange de compost et de terre calcaire (jusqu'à 90% de calcaire actif)) qui est plus considéré comme un amendement calcaire, et le fumier de champignonnière qui correspond à la partie organique du substrat de culture une fois celui-ci débarrassé de la **terre de gobetage**. Ce mélange de base de fumier contient 5% de terre calcaire, 40% en MS organique par rapport à la MS totale, 3% d'azote dans la MS et un rapport MS/Azote inférieur à 50%. Ce fumier est identique à un fumier de ferme composté et riches en filaments **mycéliens**. Sa stabilisation avancée fait qu'il peut être utilisé pour tous types de sols ou de cultures.

Ce type de production spécialisée est important et continue car pour 100 kg de champignons frais produits, 500 kg de fumier de champignonnières dit « épuisé » ne pourra pas être réutilisé. C'est pourquoi cette étude s'intéresse à la réutilisation de résidus d'origine urbaine, dans le but d'une revalorisation.

B. Les Fertilisants liquides

Avant la découverte des engrais minéraux azotés, il fallait des siècles pour que l'azote s'accumule dans le sol. En revanche, l'augmentation exponentielle de la production alimentaire en Asie au cours de la Révolution verte a été due en grande partie à l'utilisation intensive d'engrais minéraux, parallèlement au matériel génétique amélioré et à l'irrigation. La production mondiale d'engrais minéraux a augmenté de presque 350 % entre 1961 et 2002, passant de 33 à 146 millions de tonnes. C'est ainsi que, selon les estimations, les engrais minéraux sont à l'origine de 40 % de l'augmentation de la production alimentaire enregistrée au cours des 40 dernières années ("Chapitre 3 : La santé des sols," n.d.). Cependant, aujourd'hui, la production et l'impact négatif à long terme qu'ont ces engrais sur l'environnement sont devenus non négligeables. Malgré les effets immédiats qu'ont les engrais minéraux sur les rendements des cultures, à long terme, ils impactent la fertilité et la qualité des sols de par une réduction des populations de micro-organismes, entraînant ensuite une dépendance aux engrais chimiques. L'emploi intensif de ce type d'engrais augmente la salinité des sols, et dans les cas extrêmes, rend les sols incultivables. Cela peut aussi avoir pour conséquences de polluer les nappes phréatiques et d'engendrer des phénomènes d'**eutrophisation** dans les zones humides. Compte tenu de ces effets négatifs à long terme, de nouveaux fertilisants voient le jour avec notamment l'utilisation de fertilisants liquides d'origine organique (Toonsiri et al., 2016).

1. Le thé de compost

Le thé de compost est une infusion où le compost est plongé dans de l'eau pendant une certaine période dans le but d'un transfert de matières organiques solubles, de micro et macro-organismes bénéfiques, de substances assimilables à des régulateurs de croissance et de micro et macronutriments dans une solution (Hargreaves et al., 2009). La solution peut être préparée en utilisant un large éventail de composts et peut être fait de manière aérobique ou anaérobique. Ce sont les caractéristiques du compost utilisé pour faire ce thé qui détermineront ses propriétés. Par exemple un compost à texture fine, humide, exempt de pathogènes et contenant des micro-organismes bénéfiques, des minéraux, des substances humiques, des phytohormones et des acides organiques faiblement toxiques peut être identifié comme un compost de bonne qualité. Plus le compost aura eu un temps de maturité long, meilleure sera la qualité du thé de compost préparé (Pant et al., 2012).

a) Conditions de fabrication du thé de compost

Dans le but d'utiliser le thé de compost comme fertilisant liquide, différents paramètres dans sa fabrication sont à prendre en compte. Premièrement, le ratio compost/eau utilisée. Plus la quantité de compost utilisée est élevée, meilleurs sont les taux d'azote et de carbone organiques (Islam et al., 2016; Keeling et al., 2003). Cependant, ces concentrations vont dépendre du compost de base utilisé. Si ce compost est faible en N, le thé en sera impacté. De même, plus le ratio compost/eau sera élevé, plus cela augmentera significativement la conductivité électrique, la biomasse microbienne et la matière organique du thé de compost (Islam et al., 2016). Donc, les interactions ratio compost/eau, temps d'extraction et durée de stockage vont entièrement dépendre de la composition chimique du compost en N organique.

Ensuite, le temps d'extraction optimal est compris entre 18 et 36h (Ingham, 1999). En effet, c'est la période où l'activité microbienne est au plus haut, ce qui signifie que plus il y a de micro-organismes, meilleure est la qualité du thé. Lorsque le thé est extrait, il est important que cela soit fait en condition aérobie avec une oxygénation de celui-ci afin de permettre aux microorganismes de s'y développer. Kim et al., (2015) ont démontré que les communautés microbiennes présentes dans les thés de composts qui ont été aérés étaient majoritairement des bactéries.

La durée de stockage n'influence pas significativement les propriétés chimiques du thé, excepté pour le pH et l'N total qui ont tendance à diminuer. En effet, plus ce temps de stockage est long, plus l'N présent est consommé par les micro-organismes présents, ce qui a pour conséquence de faire baisser le pH et donc sur du plus long terme (2 à 4 semaines) de réduire la population microbienne. En effet, les différents micro-organismes vont entrer en compétition pour les nutriments et l'oxygène présents, et relâcher des molécules métaboliques toxiques, ce qui va avoir pour conséquence de détériorer la

qualité du thé (Islam et al., 2016). L'idéal est donc d'utiliser directement le thé de compost après les 18-36h de fabrication.

b) Propriétés et utilisations du thé de compost

L'utilisation du thé de compost en agriculture biologique monte en popularité car il favorise la biologie et la fertilité du sol en apportant des nutriments, des phytohormones (cytokinines, gibbérellines, auxines...) et des micro-organismes bénéfiques dans la rhizosphère de la plante (Islam et al., 2016; Keeling et al., 2003; Pant et al., 2011). Cependant son effet sur la fertilité du sol et donc la croissance des plantes n'est pas encore bien identifié. En effet, une étude a montré que le thé de compost a fourni des niveaux équivalents de nutriments à des fraises comparé à des engrais inorganiques (Hargreaves et al., 2009). Le thé de compost comprend aussi des substances humiques extractibles à l'eau et résultant des actions bactériennes et fongiques sur la MO pendant plusieurs mois. Ces molécules sont bénéfiques pour la croissance des plantes (Keeling et al., 2003).

L'une des principales limites concernant l'utilisation du thé de compost comme fertilisant liquide est sa source incertaine en éléments disponibles pour les plantes. Cela est encore plus notable concernant l'azote (N) et le phosphore (P) à cause de leurs présences sous des formes organiques et inorganiques, qui ne sont pas immédiatement disponibles pour les végétaux. De plus, comme vu précédemment, la qualité du thé de compost dépendra entièrement de la qualité du compost duquel il sera extrait. Une application de thé de compost peut être utilisée dans le but de corriger une déficience en nutriments durant une culture et/ou la protéger (Islam et al., 2016). Le thé de compost peut aussi être utilisé pour réduire des populations de pathogènes en se basant sur le phénomène de la compétition avec d'autres micro-organismes, ceux-ci étant présents dans le thé. C'est une utilisation qui a fait ses preuves (Cayuela et al., 2008; Evans et al., 2013). Malgré les bons résultats apportés en tant que produit « phytosanitaire », les résultats démontrant l'utilisation du thé de compost comme fertilisant ne sont pas satisfaisants. En effet, Wang et al., (2014), n'ont pas eu d'effet sur le rendement de courgettes avec leur thé de compost élaboré à partir de **vermicompost** de fumier de volailles (ratio compost/eau de 1:10, extraction aérée et pendant 12h), et de même pour Hewidy et al., (2015) avec des brocolis traités au thé de compost issu d'un compost de déchets municipaux et de résidus de taille (ratio compost/eau de 1:5, extraction aérée et pendant 24h).

Compte tenu des résultats mitigés obtenus, le thé de compost, utilisé comme fertilisant dans cette étude, est extrait sous des paramètres différents des autres études afin de voir si, en modifiant les conditions d'extraction comme le ratio compost/eau ou la durée d'extraction, cela peut avoir un effet ou non sur le rendement d'une culture. La modification de ces paramètres pourrait permettre d'obtenir de meilleurs taux en azote, phosphore et potassium. Une évaluation des relations entre les propriétés biochimiques des composts et leurs théés améliorerait la compréhension actuelle des mécanismes d'effets du thé de compost sur le rendement des cultures et la qualité nutritive.

2. Le purin

Le purin est le résultat d'une fermentation de boues, qui peuvent être d'origine animale ou végétale. Encore peu d'études sont disponibles sur l'efficacité de ce genre de produit en tant que fertilisant.

3. Les fertilisants issus de la mer

a) Les algues

Les fertilisants à base d'algues sont fabriqués à base d'algues fraîches. L'espèce prédominante qui est utilisée est une algue brune provenant du nord de l'Océan Atlantique. C'est *Ascophyllum nodosum*, famille des Phaeophyceae. Les autres espèces utilisées peuvent être *Laminaria hyperborea*, *L. digitata*, *Fucus vesiculosus*, *F. serratus*, *Ecklonia maxima* ou encore *Durvillea potatorum* (Verkleij, 1992). Les fertilisants à base d'algues peuvent aussi être utilisés comme biostimulant.

En plus des éléments majeurs, des éléments traces (Ca, Mg, Fe, Na...), des oligoéléments (Zn, Cu, Mo...) et de la richesse en potassium qu'elles contiennent, les extraits à base d'algues concentrent des hormones végétales. Parmi, ces hormones sont retrouvées des cytokinines, des gibbérellines, des auxines, de l'acide abscissique (Craigie, 2011; Verkleij, 1992).

L'application d'extrait d'algues a pour effet de favoriser la germination, le développement racinaire, la croissance des plantes, le rendement mais aussi d'améliorer la qualité des fruits et la vigueur générale de la plante et sa résistance aux pathogènes. Les LSF (Liquid seaweed fertilizer) influencent la quantité de fruit par plante, le poids des fruits et leur taille mais aussi leurs compositions (tant en composés organiques que minéraux) (Craigie, 2011; Rathore et al., 2009; Thillaigovindhan, 2017; Zodape et al., 2008). Une application de LSF sur des plants de tomates a montré une augmentation de la masse fraîche et sèche des fruits de tomates. Une amélioration significative de la taille d'olives et de leurs concentrations en huiles à la suite d'un traitement de LSF sur des oliviers a été observée. En effet, les teneurs en fer, cuivre et bore ont significativement augmenté dans les feuilles et la concentration en acides gras dans l'huile d'olive était enrichie en acides linoléique et oléique (Craigie, 2011).

Les LSF vont aussi améliorer la texture du sol (aération, prolifération généralisée des micro-organismes du sol) et sa capacité de rétention d'eau (Craigie, 2011). L'acide humique et l'alginate contenus dans les algues lient les particules d'argile en plus gros agrégats ou créent des structures se liant avec des radicaux métalliques présents dans les sols (Thillaigovindhan, 2017).

Les réponses des plantes aux LSF peuvent varier d'une espèce à une autre, d'une variété à une autre et même selon certaines conditions, ils peuvent avoir un effet inhibiteur (Craigie, 2011; Thillaigovindhan, 2017).

Tableau II : Les différentes catégories de biostimulants existants (Tragin, 2018)

Substances issues du vivant		Substances non issues du vivant	
Microbienne	Non microbienne	Minérale	Synthétique
<ul style="list-style-type: none"> - Micro-organismes vivants - Extraits de micro-organismes 	<ul style="list-style-type: none"> - Extraits de plantes - Extraits d'algues - Extraits de macro-organismes 	<ul style="list-style-type: none"> - Poudres de roche - Substances humiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Phytohormones - Vitamines - Antioxydants

b) Les émulsions de poisson

De plus en plus de nouveaux types de fertilisants liquides organiques apparaissent sur le marché aujourd'hui. Comme tous fertilisants, ils ont pour but premier d'augmenter le rendement et d'améliorer la productivité en les utilisant soit directement sur la plante, soit en passant par le sol. Ils peuvent être d'origine végétale ou animale.

L'émulsion de poisson est un produit utilisé comme fertilisant en agriculture (biologique ou non) qui est constitué de sous-produits condensés de l'industrie des produits de la mer (Murray and Anderson, 2004).

Plusieurs études ont réalisé des expérimentations en utilisant une émulsion de poisson en tant que fertilisant liquide. Les résultats ont montré que les plantes traitées avec l'émulsion de poisson avaient une masse sèche plus importante (entre 200 et 300% de plus) que les plantes témoins fertilisées avec un engrais minéral (Murray and Anderson, 2004).

Malgré le fait que ce fertilisant soit commercialisé à l'international, encore très peu d'études informent sur les effets bénéfiques qu'il peut avoir sur la croissance et de développement des plantes en tant qu'engrais (El-Tarabily et al., 2003).

C. Les Biostimulants

Selon European Biostimulants Industry Council (EBIC), « les biostimulants pour végétaux contiennent des substances et/ou des micro-organismes dont la fonction, appliquée aux plantes ou à la rhizosphère, est de stimuler les processus naturels pour améliorer/ favoriser l'absorption des nutriments, l'efficacité des nutriments, la tolérance au **stress abiotique** et la qualité des cultures. » ("About biostimulants and the benefits of using them | European Biostimulants Industry Council," n.d.). Les biostimulants n'ont pas d'action directe contre les ravageurs et ne sont donc pas catégorisés comme étant des pesticides.

Les biostimulants se concentrent donc plus sur les effets liés à l'amélioration de la croissance de la plante, sa tolérance au stress et à sa qualité (Calvo et al., 2014). Ils visent à optimiser le métabolisme végétal, facilitent l'assimilation, la translocation et l'utilisation des nutriments, améliorent la qualité des produits (teneur en sucres, couleur, quantité de semences etc...) mais aussi ont un rôle sur le sol en favorisant le développement de micro-organismes complémentaires pour le sol et agissent comme amendement du sol en modifiant les propriétés physicochimiques du sol de manière bénéfique ("About biostimulants and the benefits of using them | European Biostimulants Industry Council," n.d.). Il est important de préciser que les biostimulants ne sont pas des éléments nutritifs et donc ne sont pas des substituts aux engrais. Il existe plusieurs catégories de biostimulants (Tableau II).

Du fait de la grande diversité de biostimulants existants, c'est sur l'utilisation des biostimulants microbiens que ce chapitre va porter, le biostimulant utilisé dans l'essai, étant composé de micro-organismes.

Ces types de biostimulants peuvent avoir deux principales utilisations. Ils peuvent être utilisés comme agents de lutte biologique ou alors comme biofertilisants. En effet, lorsqu'ils sont appliqués, ces produits favorisent la croissance par plusieurs mécanismes tels que l'augmentation de l'apport de nutriments, l'augmentation de la biomasse racinaire. Ils peuvent aussi être appliqués en tant que compléments aux engrais minéraux. Les micro-organismes dont ils sont composés sont principalement des bactéries libres, des champignons et des champignons mycorhiziens à arbuscules (AMF) qui ont été isolés dans divers environnements tels que le sol, les plantes, des résidus végétaux, l'eau ou encore des engrais compostés.

Les **rhizobactéries** favorisant la croissance des plantes (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria - PGPR) et les bactéries favorisant la croissance des plantes (Plant Growth-Promoting Bacteria - PGPB) sont deux genres de bactéries libres vivant principalement isolées dans la rhizosphère (Calvo et al., 2014).

Les PGPB permettent une optimisation de la nutrition et donc du développement. Elles favorisent la solubilisation du phosphore, du potassium (*Bacillus sp*, *Pseudomonas sp...*) via la production d'acides organiques et de phosphatases. Les acides organiques vont transformer les formes insolubles de phosphate en formes solubles en ajoutant des groupes hydroxyles et carboxyles (Parmar and Sindhu, 2013; Rodríguez et al., 2006). Ce phénomène peut avoir pour cause de diminuer le pH du sol. Les PGPR fixent l'azote (*Rhizobium sp*, *Frankia sp...*) ou encore chélatent le fer (*Pseudomonas sp...*). Elles stimulent aussi la production de phytohormones et favorisent les interactions avec la microflore (Bactérie Auxiliaire de la Mycorhization, BAM) (Calvo et al., 2014), et améliorent la résistance aux stress abiotiques notamment via la production d'acide abscissique (ABA) et d'antioxydants (Tragin, 2018).

Les biostimulants composés de micro-organismes vivants favorisent la croissance de la plante en améliorant son absorption des nutriments (Calvo et al., 2014). Une étude a observé que l'application de PGPR résultait d'une augmentation significative de l'assimilation d'azote, de phosphore et de potassium autant dans les racines que dans les parties aériennes d'un plant de coton et d'un plant de blé (Egamberdiyeva and Höflich, 2004). Une autre étude a montré qu'un traitement de biostimulant à base d'un mélange de PGPR et d'AMF a augmenté le rendement et amélioré la concentration générale en nutriment par grain chez le maïs (Adesemoye et al., 2008).

Lors des traitements de biostimulant microbien, plusieurs facteurs sont à prendre en compte. L'espèce et la variété de plantes peuvent parfois être un facteur déterminant de l'activité des micro-organismes inoculés. Selon l'espèce végétale, les exsudats racinaires secrétés ne sont pas les mêmes et jouent un rôle sur la vie du sol en tant que substrat et nutriments (Calvo et al., 2014). Lors de tests de

biostimulant microbien, il est important de tester le produit sur types de sol et des conditions environnementales différents. En plus de cela, s'ajoute la formation commerciale. Les micro-organismes inoculés doivent pouvoir survivre dans la formulation choisie et produire l'effet désiré sur la culture après leurs inoculations. Il en est de même lorsqu'ils sont combinés avec des engrais chimiques, il faut que les deux soient compatibles.

D. *Capsicum annuum*

Le piment d'Espelette a été choisi pour ces essais car c'est une plante exigeante au niveau agronomique. En effet, cela permet de voir plus précisément les effets directs des différents supports de culture et des fertilisants sur la croissance et le développement des plantes. Les fruits sont faciles à récolter. De plus, le fait de produire des piments d'Espelette dans un cadre d'agriculture urbaine offre une certaine plus-value au niveau de la commercialisation de ceux-ci par l'AU/Lab (contrairement à la vente de tomates par exemple, moins recherchées).

a) *Histoire et Statut*

L'espèce *Capsicum annuum* est originaire d'Amérique tropicale, probablement du Mexique (Boulangier-Fassier, 2013; Goetz and Le Jeune, 2012). Il est arrivé en Europe en même temps que le maïs, la pomme de terre et le cacao par le biais des Conquistadors. C'est donc à partir de l'Espagne que les piments arrivent en France. La ville d'Espelette va devenir le berceau d'introduction des piments en se transformant en une importante zone de commerce (marché et foire). A cette période, ils sont utilisés à des fins médicales principalement et peu dans la cuisine (assaisonnement en remplaçant le poivre par le piment qui est à cette période, une denrée rare et donc chère, et conservation des aliments). Aujourd'hui, ils sont principalement utilisés dans la cuisine en tant qu'épices sous forme de poudre (bien qu'ils puissent aussi être utilisés sous forme fraîche) (Boulangier-Fassier, 2013).

Le piment, dit d'Espelette, devient une AOC (Appellation d'Origine Contrôlée) le 1^{er} juin 2000, avec un cahier des charges strict à respecter (travail presque entièrement manuel) pour pouvoir obtenir l'appellation ("Piment d'Espelette AOP AOC," n.d.). C'est la première et la seule épice française en AOC. En 2002, le piment d'Espelette acquiert une reconnaissance européenne avec l'AOP (Appellation d'Origine Protégée). De même, seulement 10 villages délimitent la zone de l'AOP et se situent dans la partie occidentale du pays Basque ("Piment d'Espelette AOP AOC," n.d.). Le chiffre d'affaires de la filière est important, et a atteint plus de 9 millions d'euros en 2011. Les chiffres de production de poudre de piment d'Espelette passent de 6 tonnes en 1999 à 95 tonnes en 2010. Le piment d'Espelette se commercialise avant tout via la vente directe aux particuliers et aux épiceries fines. Viennent ensuite, la vente aux grossistes, aux artisans agroalimentaires et aux restaurants puis enfin les GMS (Grandes et Moyennes Surfaces) (Boulangier-Fassier, 2013). Le prix au kilo de la poudre de piment d'Espelette

Tableau III Concentration en capsaïcinoïdes en $\mu\text{mol/g}$ de matière sèche, le degré d'humidité et le piquant mesuré avec l'échelle de Scoville pour différents cultivars (Duelund and Mouritsen, 2017). (Cap = Capsaïcine)

Cultivar	Cap	DHCP	NDHCP	HCap	Moisture %	Pungency/Shu
Espelette	0.69 ± 0.15	0.66 ± 0.17	0.41 ± 0.03	0.47 ± 0.07	80.2	9000 ± 1800
Toftegaard Hot Banana	1.25 ± 0.10	1.02 ± 0.09	0.79 ± 0.10	0.83 ± 0.10	86.5	15,000 ± 5300
Serrano	3.61 ± 0.13	2.30 ± 0.06	0.63 ± 0.03	1.16 ± 0.04	79.0	34,000 ± 1400
Aji Verde	3.10 ± 0.77	1.61 ± 0.30	0.54 ± 0.01	0.66 ± 0.02	80.5	26,000 ± 2800
Omnicolor	4.71 ± 0.35	6.66 ± 0.48	0.72 ± 0.04	1.79 ± 0.12	79.9	62,000 ± 13,000
Toftegaard Lemon Chili	4.63 ± 0.25	4.87 ± 0.29	0.69 ± 0.05	0.92 ± 0.04	77.9	51,000 ± 28,000
Carolina Reaper	131.76 ± 12.13	68.47 ± 10.01	11.40 ± 1.88	13.12 ± 2.48	85.9	1,046,000 ± 34,000
Fatali	27.18 ± 5.04	6.77 ± 1.16	1.88 ± 0.30	2.15 ± 0.33	85.8	17,000 ± 700
Habalokia, Yellow	51.85 ± 9.35	28.35 ± 6.07	5.35 ± 1.01	4.14 ± 0.71	86.6	418,000 ± 11,000
Habanero	33.01 ± 6.09	14.41 ± 2.93	3.00 ± 0.57	2.71 ± 0.51	85.5	247,000 ± 25,000
Red Savina	36.79 ± 4.71	11.41 ± 1.79	2.06 ± 0.19	1.68 ± 0.15	86.0	246,000 ± 80,000
Trinidad Scorpion	98.12 ± 2.08	34.44 ± 2.63	3.77 ± 0.17	5.41 ± 0.38	86.0	673,000 ± 120,000
BIH Jolokia, improved strain II	95.64 ± 2.86	35.42 ± 1.77	5.05 ± 0.34	3.67 ± 0.18	85.9	665,000 ± 4000
Buth Orange Copenhagen	67.09 ± 2.74	43.89 ± 3.98	5.05 ± 0.38	3.15 ± 0.15	85.1	566,000 ± 47,000
Tabasco	16.61 ± 1.49	6.63 ± 0.66	1.46 ± 0.12	1.03 ± 0.07	68.2	120,000 ± 32,000

AOP varie entre 90 et 120€. Les surfaces agricoles dédiées à la production de piment d'Espelette en France représentaient en 2010 140 ha avec une production de 128 tonnes de poudre de piment AOP (8 kg de piments frais sont nécessaires pour fabriquer 1 kg de poudre) ("Piment d'Espelette AOP AOC," n.d.).

b) Description de l'espèce

Le genre *Capsicum* fait partie de la famille des Solanaceae qui englobe 20 espèces et plus de 300 variétés. Les plus célèbres sont *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens* et *Capsicum chinense*. Ce genre vit plutôt dans les régions chaudes du monde soit en Amérique du Sud, au sud de l'Amérique du Nord (Mexique, Arizona...), en Afrique, Asie, Inde et au sud de l'Europe (Goetz and Le Jeune, 2012).

Le piment d'Espelette (dont la variété est aussi appelée Gorria) est une plante qui peut mesurer entre 0,6 et 1,5 m de hauteur selon le terrain sur lequel elle pousse. Elle possède des feuilles ovales et lancéolées. Ses fleurs sont blanches. Le piment est une plante annuelle.

La plante peut produire entre 15 et 30 piments (soit entre 0,3 et 1 kg/plante). Un piment frais a un poids moyen de 35 g. Les fruits mesurent entre 6 et 14 cm et sont récoltés rouges. La récolte a lieu à partir du mois d'Août ("Le piment Basque Gorria," n.d.).

Etant d'origine tropicale, les piments sont des plantes qui se développent en présence d'une chaleur régulière (la présence de montagnes réduit les différences de température jour/nuit) et d'apports d'eau abondants et réguliers. Le piment ne tolère ni les excès, ni les manques d'eau c'est pourquoi une structure de sol trop sableuse ou trop argileuse ne lui convient pas (Boulangier-Fassier, 2013). En effet, c'est une plante exigeante qui pousse sur un sol drainant, léger et riche en humus avec un pH compris entre 6 et 7.

Les piments produisent des fruits connus pour leurs propriétés gustatives brûlantes et piquantes. Ces fruits colorés sont utilisés communément aujourd'hui comme assaisonnement dans une multitude de plats et en majorité dans la cuisine d'Asie et d'Amérique Centrale.

Les molécules responsables des sensations brûlantes appartiennent au groupe des métabolites secondaires des capsaïcinoïdes. De façon générale, le composant retrouvé majoritairement dans ce groupe est la capsaïcine suivie de la dihydrocapsaïcine (DHPC), la nordihydrocapsaïcine (NDHCP) et l'homocapsaïcine (HCap). Les concentrations en capsaïcinoïdes sont exprimées en unités thermiques de Scoville (Shu). Ces unités représentent la somme des concentrations en capsaïcinoïdes analysées lors du test organoleptique original pour l'évaluation du piquant des piments (Duelund and Mouritsen, 2017). Le piment d'Espelette, sur l'échelle de Scoville est considéré comme étant un piment doux à goût relevé, avec environ 9000 Shu (Tableau III). Les poivrons ne contiennent pas de capsaïcine, tandis que la capsaïcine pure est à 16 000 000 Shu. Les techniques d'analyses évoluant, aujourd'hui, il est possible d'identifier les teneurs en capsaïcinoïdes par des procédés plus explicites comme la

chromatographie en phase gazeuse (GC) ou la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (Reyes-Escogido et al., 2011).

La biosynthèse de la capsaïcine dans les plantes est définie par deux voies principales : la voie des phénylpropanoïdes (qui détermine les structures phénoliques) et le métabolisme des acides gras (qui se charge des acides gras de la molécule). Celles-ci sont synthétisées dans le placenta du fruit et sont génétiquement déterminées par la présence du gène *Pun1* ou *pun1* avec des cofacteurs de type EST ou AT3. Ceux-ci vont induire un effet quantitatif du gène, ce qui va avoir pour conséquence d'augmenter la teneur en capsaïcinoïdes et donc le goût piquant de fruit (Reyes-Escogido et al., 2011; Vera-Guzmán et al., 2017). Les génotypes des piments présentent une grande variation de l'accumulation de capsaïcines en réponse à des facteurs génétiques et environnementaux.

Par conséquent, tous les piments ne sont pas épicés, et divers consommateurs considèrent les variétés de piments qui portent le gène récessif *pun1* comme des fruits sucrés. En outre, les facteurs génétiques, la gestion des cultures, les environnements de culture, la maturité du fruit après la récolte, la gestion post-récolte des fruits et des formes de transformation ou la cuisson du fruit influent sur le degré de piquant et de saveur (Stewart et al., 2005). En effet, au fur et à mesure de l'avancement de la maturation du fruit, la concentration en capsaïcine va progressivement augmenter pour atteindre un maximum entre 40 et 50 jours, après quoi elle va être dégradée en composés secondaires par l'intermédiaire de peroxydases (Reyes-Escogido et al., 2011).

Harvell et Bosland, (1997), ont montré qu'un stress de manière général, impactait la concentration en capsaïcinoïdes des piments en l'augmentant. D'autre part, des recherches ont découvert que la concentration en capsaïcinoïdes augmentait (de par l'augmentation des précurseurs de la capsaïcine) quand la plante subissait un stress hydrique (Reyes-Escogido et al., 2011).

Une étude réalisée sur différentes parcelles en Thaïlande et au Bhoutan a montré que le rendement et la teneur en capsaïcinoïdes n'étaient pas influencés significativement par les conditions du sol, la lumière solaire et l'augmentation de la température (Gurung et al., 2011). Une autre étude faite dans une serre non chauffée au Danemark, a confirmé ces résultats (Duelund and Mouritsen, 2017).

Ces relations s'expliquent par le fait qu'une température plus élevée et le degré d'ensoleillement ont pour effet sur la plante d'augmenter la croissance des feuilles et des tiges aux dépens de la synthèse de capsaïcinoïdes. Cependant, ce phénomène n'est pas fondé pour tous les cultivars, car ceux-ci réagissent différemment d'un environnement à l'autre et d'un cultivar à l'autre (Duelund and Mouritsen, 2017; Gurung et al., 2011). Beaucoup de facteurs, autre que la température et l'ensoleillement influencent la concentration en capsaïcinoïdes comme c'est le cas pour le degré de maturité (Duelund and Mouritsen, 2017).

Tableau IV : Caractéristiques du compost Mironor et du compost de Pousse-Menu.

	Mironor	Pousse-Menu
pH	8	5.3
	Quantité (%)	
Humidité	41	
Matière Organique (base sèche)	27	27.8
Rapport C/N		8.5
Azote (N)	0.77	10
P2O5	0.32	15.1
K2O	0.35	2.1
Calcium (Ca)	2	11
Magnésium (Mg)	0.30	4.1
Cuivre		0.0024
Manganèse		0.019
Zinc		0.0181
Sodium		0.0378
Fer		0.56
Aluminium		0.182

Tableau V : Caractéristiques du substrat de champignonnière épuisé.

Caractéristiques agronomiques	Résultats	Unité (%)
Pourcentage d'humidité	42.2	
Azote ammoniacal	1780 mg N/Kg m.s	0.178
Azote total Kjeldahl	26600 mg/Kg b.s	2.66
Phosphore(P)	1810 mg/Kg m.s	0.181
Phosphore exprimé en P2O5	4140 mg/Kg m.s	0.414
Calcium (Ca)	44500 mg/Kg m.s	4.45
Potassium (K)	8010 mg/Kg m.s	0.801
Potassium exprimé en K2O	9650 mg/Kg m.s	0.965
Magnésium	2600 mg/Kg m.s	0.26
Ratio C/N	16	
Matière organique par brûlage	83.0	

m.s : Matière sèche, b.s : Base sèche

III. Matériel et Méthodes

A. Essai des différents substrats et du biostimulant

1. Description des différents substrats

a) Les composts

Le compost de Mironor est un compost fabriqué à partir de résidus verts, de feuilles mortes et de résidus alimentaires séparés à la source qui proviennent de collectes municipales. Il a pour bénéfices d'améliorer la croissance des végétaux et le développement racinaire, la structure du sol (dont sa porosité, son infiltration et sa perméabilité) en fournissant ainsi un meilleur support pour les plantes, une irrigation optimale et une réduction de l'érosion. Il augmente aussi la quantité de matières organiques du sol et aide à la stabilité du pH. Il favorise la présence et la vie microbienne dans le sol selon la fiche descriptive du produit.

Le compost de Pousse-Menu est un compost riche fait à base de résidus de culture de micro-pousses. Il est composé d'enveloppes de graines et des anciens supports de cultures compostés.

Les caractéristiques des deux composts sont visibles dans le Tableau IV.

b) Les substrats de champignonnière épuisé, avec et sans biocharbon

Le substrat de champignonnière épuisé (SCE) provient d'une entreprise mycicole située à Montréal. Le substrat est composé de marc de café, drèche de brasserie, pellicule de café, granules de bois franc, de paille de chanvre et de carbonate de calcium. La culture précédente étant des champignons, il reste encore du mycélium de ceux-ci dans les substrats. La composition de ce support de culture est décrite dans le Tableau V.

Pour le SCE avec du biocharbon, les compositions sont similaires à l'exception de l'ajout de biocharbon dans le substrat. Le biocharbon ou biochar est un produit riche en carbone, stable et fabriqué à partir de sous-produits d'origine animale ou végétale. Il est produit sous des conditions thermiques réductrices. Il a pour bénéfice d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et/ou biologiques d'un sol ("REFERTIL," n.d.).

a) Le terreau

Le terreau utilisé comme témoin est un terreau biologique tout usage de la marque AGRO MIX[®] O6. Il est composé de tourbe blonde, de fibres de noix de coco, de compost, de perlite, de chaux dolomitique et de gypse. La fibre de noix de coco retient les minéraux, améliore le mouillage et la structure physique du support de culture. Le compost apporte la matière organique et les éléments nutritifs. Il possède un pH de 5.8, une conductivité électrique de 2.0 mmhos/cm et une valeur NPK de 0.09-0.05-0.04.

2. Description du biostimulant

Synergro™ est un biostimulant qui contient différents micro-organismes vivants dont des bactéries (*Lactobacillus planterum*, *L. casei*, *L. rhamnosus*, *L. helveticus*, *Lactococcus lactis* à 10⁶ CFU/g, *Bacillus subtilis* à <1 CFU/g, *Rhodopseudomonas palustris* à <1 CFU/g), des levures (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis* à 10⁵ CFU/g) et un champignon (*Aspergillus oryzae* à <1 CFU/g). Ce produit a pour but d'accroître la vigueur des plantes en stimulant leur croissance, d'améliorer la qualité et le rendement des cultures. Il réduit les pertes causées par des stress abiotiques en régulant les protéines qui jouent un rôle dans le phénomène de stress.

En plus de comporter des micro-organismes, il comprend de la potasse soluble (K₂O) et différents métabolites. Sa valeur NPK est 0-0-0.2.

3. Protocole d'expérimentation

Les piments d'Espelette proviennent de semences sélectionnées depuis 4 ans, qui ont été semés à Montréal dans un espace similaire au lieu d'expérimentation. Ils ont été semés le 15 mars 2018, en serre et s'y sont développés pendant 3 mois. Leurs plantations dans les différents substrats ont eu lieu le 15 juin 2018. Les piments ont été transplantés dans des Smart Pots®. Il y a un plant par pot. Les Smart Pots® sont des contenants en géotextile épais qui assurent un développement optimal des racines. En effet, la matière permet l'aération du substrat et du système racinaire, ce qui évite la spiralisation des racines qui peut être observée dans les contenants en plastique. Dans le cas des Smart Pots®, quand une racine atteint la paroi du tissu, sa croissance se stoppe et la plante développe alors de nouvelles racines. L'avantage de l'aération du substrat est que cela limite la surchauffe qui peut être observée dans les pots en plastiques lors de chaudes journées, ce qui nuit au développement des racines et aux micro-organismes du sol ("Smart Pot | The Award Winning Fabric Container," n.d.).

Les Smart Pots® ont un volume de 75L, un diamètre de 50 cm et une hauteur de 39 cm. Ils ont été complétés aux ¾ avec :

- Du compost de Mironor pour 10 Smart Pots®,
- Du compost de Pousse-Menu pour 10 Smart Pots®,
- Du substrat de champignonnière épuisé pour 10 Smart Pots®, et du substrat de champignonnière épuisé avec Biochar pour 5 Smart Pots®,
- Du terreau AGRO MIX® O6 (témoin), pour 10 Smart Pots®.

Cet essai testant aussi l'effet d'un biostimulant sur le rendement et la qualité des piments d'Espelette, du Synergro™ (biostimulant microbien) a été appliqué sur :

- 5 Smart Pots® contenant du compost Mironor,
- 5 Smart Pots® contenant du compost Pousse-Menu,

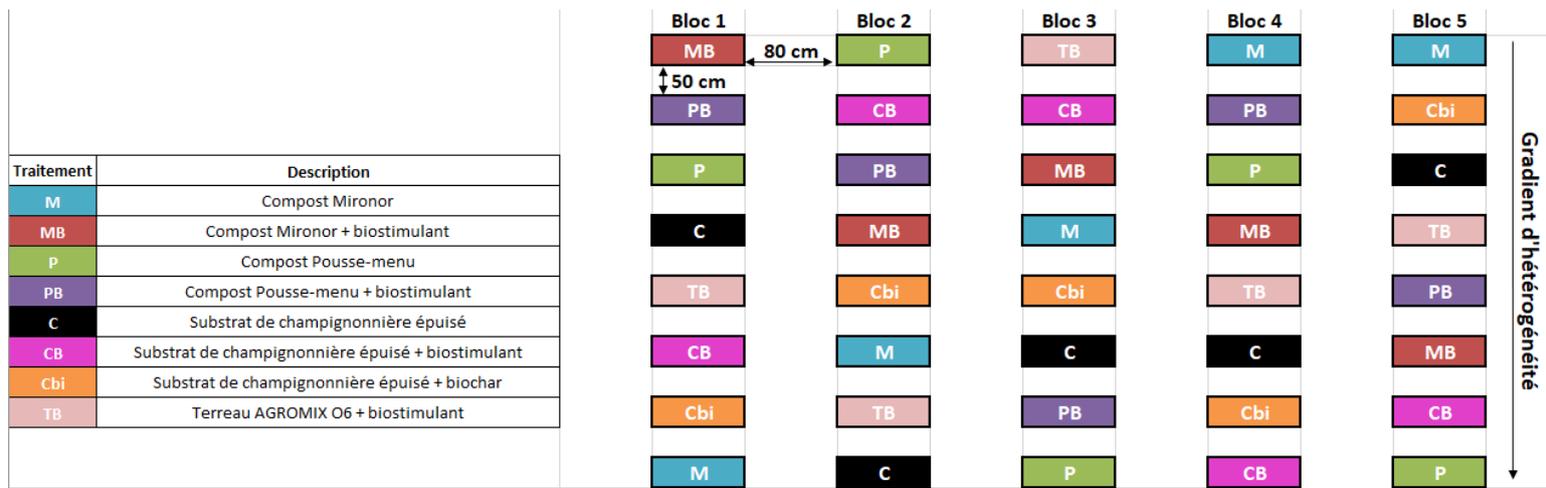


Figure 2 : Dispositif expérimental de l'essai substrats et biostimulant



Figure 3 : Essai Substrats sur le toit du Palais des Congrès de Montréal, le 30/07/2018, crédit photo : Clémentine Pointereau

Tableau VI : Quantité de NPK recommandée pour la culture de piment selon le guide de fertilisation du CRAAQ

Besoin du Piment (kg/ha)	Azote (N)	Phosphore (P)	Potassium (K)
A la plantation	105	240	240
A la fructification	35		

- 5 Smart Pots® contenant du substrat de champignonnière épuisé,
- 5 Smart Pots® contenant du terreau AGRO MIX® O6.

Le plan expérimental a été établi selon un dispositif en bloc aléatoire complet (ou bloc de Fisher) (Figure 2 et Figure 3). C'est-à-dire qu'il comporte plusieurs blocs où tous les traitements figurent une fois et une seule par bloc. Un bloc représente un ensemble d'unités expérimentales. Ces unités expérimentales représentent les différents substrats avec et sans applications du biostimulant. Les blocs sont placés en fonction d'un gradient d'hétérogénéité que sont la chaleur et la lumière, l'essai étant placé sur le toit du Palais des Congrès de Montréal. Le toit est entouré d'immeubles qui projettent leurs ombres en début et fin de journée sur l'essai et une partie de la lumière dans la journée est reflétée sur l'un des murs du Palais, proche de l'essai, ce qui crée une source de chaleur importante.

Concernant les dosages du biostimulant Synergro™, il a été recommandé d'appliquer 3.78L/acre (soit 9.33L/ha) dans le cas d'une culture hors sol en container. Selon ce dosage et les calculs réalisés en fonction du volume et des mesures d'un Smart Pot®, 0.2 mL de biostimulant dilué dans 18 mL d'eau sont appliqués directement sur le substrat du transplant lors de la plantation. Ce dosage est renouvelé chaque 15 du mois jusqu'à septembre en application sur les différents substrats.

Par ailleurs, quatre fertilisations espacées de 20 jours chacune, sont effectuées avec un engrais minéral. La première est faite avec un engrais de composition 10-52-10 (N-P-K). Pour les trois autres fertilisations, elles sont appliquées avec un engrais minéral de composition 13-6-30. Les doses sont basées en fonction des besoins de la plante qui sont établies par le CRAAQ, de même qu'il est recommandé de fractionner les fertilisations (*Guide de référence en fertilisation*, 2010) (Tableau VI). Il y a donc 4 traitements contenant 35 unités d'azote chacun.

Concernant l'irrigation, celle-ci est faite via un système de goutte à goutte.

B. Essai des différents fertilisants liquides

1. Description des différents fertilisants

a) Les thés de compost

Les thés de compost ont été extraits selon différents paramètres. Le ratio compost/volume d'eau et le temps d'extraction ont été choisis en fonction de l'étude de Islam et al., (2016) : soit, avec un temps d'extraction de 48h pour un ratio compost/eau de 1:2. Le thé a été fabriqué en condition aérobie avec une oxygénation continue du thé grâce à l'utilisation d'une pompe à aquarium.

Trois thés de compost ont été extraits à partir de trois types de compost différents :

Tableau VII : Résultats d'analyse des différents thés de compost et purins (en pourcentage)

	Thé de compost Pousse-menu (TP)	Thé de compost Fertilo (TF)	Thé de compost Mironor (TM)	Purin 24h	Purin 48h
Matière sèche	0.73	0.64	1.41	6.98	7.15
Matière organique	0.38	0.29	0.86	6.27	6.37
Azote total (N) (%)	0.05	0.02	0.05	0.27	0.3
Azote Ammoniacal (N-NH ₄) (%)				0.15	0.28
Phosphore (P ₂ O ₅) (%)	0.07	0.02	0.02	0.25	0.27
Potassium (K ₂ O) (%)	0.04	0.16	0.6	0.16	0.17
Magnésium (Mg) (%)	0.05	0.01	0.02	0.04	0.05
Calcium (Ca) (%)	0.05	0.03	0.08	0.05	0.11
Rapport C/N	3.80	7.25	8.60	11.61	10.62

Tableau VIII : Compositions des fertilisants d'algues liquides et d'émulsion de poisson.

	Algues liquides (mg/L)	Emulsion de poisson (mg/L)
Matières organiques	13-16 %	
Azote total	5-2.5 %	2.18 %
Ac. Phosphorique P ₂ O ₅	1.5-2.5 %	4.35 %
Potasse (K ₂ O)	6-7 %	0.3%
Soufre	0.3-0.6 %	
Magnésium	0.5-0.15 %	294
Calcium	0.05-0.1 %	0.5 %
Bore	20-50	2.49
Fer	30-80	23.5
Manganèse	1-10	44.12
Cuivre	1-5	0.09
Zinc	10-25	15.47
Plomb		0.99
Cadmium		0.19
Molybdène		0.09
Aluminium		15.57
Sodium		2239

- Le compost de Mironor, composé de résidus verts, de feuilles mortes et de résidus alimentaires séparés à la source qui proviennent de collectes municipales (origine végétale)
- Le compost de Pousse-menu, qui est fabriqué à partir de résidus de cultures de micro-pousses (origine végétale),
- Le compost Fertilo, qui est un mélange de fumier de poulet composté, de fumier de ferme composté et de tourbe de sphaigne (origine animale et végétale).

Les résultats d'analyses des thés de compost sont visibles dans le Tableau VII.

b) Les purins

Les deux purins sont faits à base de litières d'insectes. Cette litière est composée principalement de malt d'orge et provient de l'entreprise Entosystem. Entosystem est une entreprise qui élève des mouches servant pour la fabrication de croquettes riches en protéines d'insectes à destination des animaux domestiques.

Les purins ont été produits selon sur deux durées différentes : l'un a macéré pendant 24h et l'autre pendant 48h. Le ratio litière/eau est de 1 : 2.

Comme pour les thés de compost, les purins ont été fabriqués une première fois afin de pouvoir connaître la composition pour pouvoir par la suite déterminer les dosages de fertilisants à appliquer.

Les résultats d'analyses des purins sont retrouvés dans le Tableau VII

a) Les algues liquides

Ce fertilisant est composé d'algues d'espèce *Ascophyllum nodosum* récoltées dans l'Océan Atlantique Nord. Ce produit, d'origine organique, possède plus de 60 éléments nutritifs majeurs et mineurs, des hydrates de carbone, des acides aminés et des hormones de croissances. L'ensemble de ces éléments a pour but d'augmenter la rapidité de croissance, d'améliorer la qualité, le rendement et la vigueur des plantes selon la fiche descriptive du produit. Sa composition est présentée dans le Tableau VIII.

b) L'émulsion de poisson

L'émulsion de poisson est un fertilisant riche en phosphore. Il sert à améliorer l'écosystème des sols en reconstituant la vie du sol. Ce produit riche en éléments est une excellente source de nourriture pour les micro-organismes du sol qui favorise l'absorption des nutriments et de l'eau à travers les racines. Le détail de sa composition est décrit dans le Tableau VIII.

c) L'engrais minéral Plant Prod[®]

L'engrais minéral utilisé sera de composition 10-52-10 lors du premier traitement. Pour les traitements qui suivent, comme pour l'essai substrat, du 13-6-30 sera utilisé pour les 3 traitements qui suivront.

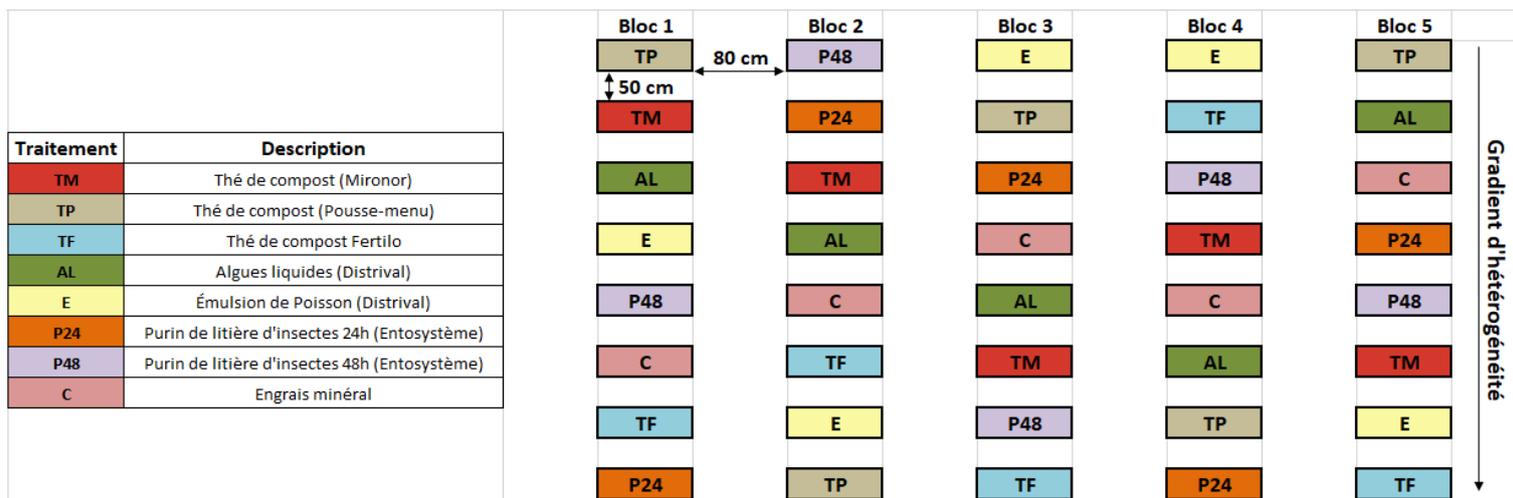


Figure 4 : Dispositif expérimental de l'essai des différents fertilisants liquides



Figure 5 : Essai Fertilisants sur le toit du Palais des Congrès de Montréal, le 21/08/2018, crédit photo : Clémentine Pointereau

Tableau IX : Protocole de traitement des différents fertilisants de l'essai

Fertilisants	Protocole de traitement
Thé de compost Mironor	1 fois par semaine pendant 8 semaines
Thé de compost Pousse-menu	
Thé de compost Fertilo	
Purin 24h	1 fois toutes les deux semaines pendant 4 semaines
Purin 48h	
Emulsion de poisson	1 fois par semaine pendant 8 semaines
Algues	
Engrais minéral	1 fois toutes les deux semaines pendant 4 semaines

2. Protocole d'expérimentation

Comme pour l'essai des substrats, les piments ont été semés le 15 mars 2018 en serre et s'y sont développés pendant 3 mois pour être ensuite plantés le 22 juin 2018 dans des Smart Pots® de même contenance que ceux utilisés dans l'essai substrats. Il y a un plant par pot.

L'ensemble des Smart Pots® a été rempli avec du terreau standard AGRO MIX® O6 (*cf c) Le terreau*). Le plan expérimental est un dispositif en bloc aléatoire complet (Figure 4 et Figure 5) et le gradient d'hétérogénéité est le même que celui rencontré dans l'essai substrats, cette expérimentation se situant juste en dessous de l'essai substrats sur le toit du Palais des Congrès de Montréal.

Pour cette expérimentation, 7 différents fertilisants ont été appliqués sur les piments, soit :

- 5 piments avec application de thé de compost Mironor
- 5 piments avec application de thé de compost de Pousse-menu
- 5 piments avec application de thé de compost Fertilo
- 5 piments avec application du fertilisant d'Algues liquides
- 5 piments avec application du fertilisant d'Emulsion de poisson
- 5 piments avec application du purin de litières d'insectes fait pendant 24h
- 5 piments avec application du purin de litières d'insectes fait pendant 48h
- 5 piments avec application d'un engrais minéral (témoin)

Les piments ont été traités avec ces différents fertilisants 4 fois en tout et tous les 20 jours. Les dosages sont évalués en fonction des besoins du plant de piment, qui sont basés sur le guide de fertilisation du CRAAQ (*Guide de référence en fertilisation, 2010*) (voir Tableau VI). En s'appuyant sur les résultats d'analyses des fertilisants liquides utilisés dans cette expérience, les dosages sont faits de façon à avoir en priorité 35 unités d'azote pour chacun des 4 traitements. La quantité en potassium et en phosphore ne sont pas une priorité, le but de cette expérience étant d'évaluer l'utilisation de nouveaux produits en tant que fertilisants azotés, et leurs effets sur le rendement du piment d'Espelette.

Les thés de compost étant relativement pauvres en azote, les quantités utilisées pour répondre aux 35 unités d'azote requises demandent une grande quantité de thé. Or, si la quantité de thé utilisée pour le traitement est trop importante, cela créera un phénomène de lessivage, ce qui ne permettra pas de tester le thé en tant que fertilisant car il n'y aura pas ou très peu d'effet. Pour y remédier, les quantités sont donc divisées par deux et les traitements avec les thés de compost auront lieu toutes les semaines. Il en est de même pour les algues et l'émulsion de poisson car les deux produits requièrent une dilution élevée (et donc une grande quantité de produit finale) ce qui entraîne, ici aussi des pertes au lessivage.

Les périodes et le nombre de traitements par fertilisants sont récapitulés dans le Tableau IX.

L'irrigation se fait par un système de goutte à goutte.

Tableau X : Mesures et outils de mesure utilisés sur la plante pour les deux différents essais

Sur la plante	Outils de mesure	Période de mesure
Mesure du taux de chlorophylle des feuilles	atLEAF CHL Plus – Chlorophyll meter	1/semaine
Évaluation des différents stades phénologiques	Échelle BBCH des stades phénologiques des Solanacées	1/semaine
Hauteur de la plante	Règle	1/semaine
Rendement en fruits par plante	Balance de précision	Pesée au fur et à mesure de la maturation des fruits
Mesure du taux de capsaïcine dans les fruits	Concentrations évaluées par un laboratoire	Mois d'Aout

Tableau XI : Mesures et outils de mesure utilisés sur le substrat pour les deux différents essais

Sur le substrat	Outils de mesure	Période de mesure
pH	pH-mètre sol Hanna HI99121	1/mois
Mesure du flux de CO ₂ sortant du substrat	Fait par le laboratoire Agro-Enviro-Lab	Mois d'Aout
Mesure de la rétention d'eau (<i>essai substrat seulement</i>)	Calcul de la différence d'un volume versé sur le substrat et du volume en ressortant	1/mois
Analyse chimique du substrat après plusieurs traitements fertilisants (<i>Uniquement sur l'essai fertilisant</i>)	Fait par le laboratoire Géosol	Mois d'Aout

Tableau XII : Signification des numéros de stades phénologiques

Références des stades phénologiques selon l'échelle BBCH	Description
2	Formation de pousses latérales
5	Apparition des inflorescences
6	Floraison
7	Développement du fruit
8	Maturation du fruit et des graines

C. Mesures et matériels de mesure

Pour permettre de répondre aux différentes problématiques de l'essai Fertilisants et de l'essai Substrats, plusieurs mesures variées sont effectuées et résumées dans Tableau X et le Tableau XI.

Pour les mesures faites sur la plante (Tableau X), la mesure de la chlorophylle de la plante via l'utilisation de l'appareil atLEAF CHL Plus (outil non destructif). Il permet de déterminer la concentration en chlorophylle de la plante en analysant la lumière transmise par le limbe de la feuille dans le rouge et le proche infrarouge. Les résultats des mesures sont donnés en SPAD (Soil And Plant Analyze Developments) qui est une mesure numérique corrélée à la teneur en chlorophylle, elle-même corrélée à la teneur en azote. Les unités SPAD sont ensuite converties en mg/cm^2 de chlorophylle. Ces mesures donnent une idée globale de l'état de santé de la plante, et notamment une indication de la présence de carences. La mesure de la chlorophylle est faite sur l'ensemble des plantes des deux essais afin de voir s'il y a un effet des substrats et des fertilisants liquides sur la teneur en chlorophylle, et donc de l'azote. Ces mesures ont lieu une fois par semaine durant la période entière des essais.

L'évaluation des différents stades phénologiques des plants de piment est basée sur l'échelle BBCH (dérive de l'expression allemande : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) des stades phénologiques des légumes dans la famille des solanacées (Feller, 1995). Ce document décrit les principaux stades de développement (de la graine à la mort de la plante) allant de 0 à 9 sur une échelle universelle. Ces différents stades sont ensuite décomposés en stades secondaires qui sont identifiés par des codes à deux chiffres composés du stade principal et du stade secondaire ("L'échelle BBCH pour les légumes de la famille des solanacées," 2016). L'observation et la caractérisation des différents stades permettent d'analyser la rapidité de développement des plantes et donc, donnent des informations sur la qualité de la croissance de la plante. Pour renforcer ces observations, des mesures de hauteur de la plante sont effectuées une fois par semaine. Ici encore, l'évaluation des différents stades phénologiques et la mesure de la hauteur de la plante, sont des données qui seront prélevées sur les deux types d'essais (substrats et fertilisants liquides). La signification des stades est décrite dans le Tableau XII.

La pesée des fruits par plante, faite pour les deux types d'essais, permet une évaluation du rendement en fruits par plante selon les différentes conditions de substrats et de fertilisants. Quant à la mesure de la teneur en capsaïcine des fruits des piments, celle-ci est effectuée par un laboratoire. Elle est faite sur les piments de l'étude substrats dans le but de caractériser l'effet du biostimulant et des substrats sur la teneur en capsaïcine et donc sur la qualité du fruit. L'analyse de la concentration en capsaïcine sera aussi faite sur les piments de l'essai fertilisant, ici aussi pour analyser l'impact des différents fertilisants sur la qualité du fruit.

L'ensemble des résultats donnent une idée de l'effet des interactions plante/substrats, plante/fertilisants liquides/substrat et plante/biostimulant sur l'état physiologique général de la plante et donc par conséquent sur le rendement et la qualité des piments d'Espelette.

Les mesures réalisées sur le substrat sont le pH et la mesure du flux de CO₂ sortant du substrat (Tableau XI). Ces mesures sont effectuées sur les deux essais.

La mesure du flux de CO₂ sortant du sol permettra d'évaluer l'activité biologique du substrat. Le CO₂ sortant correspondant à la respiration des microorganismes contenus dans le support de culture, et la température représentant leurs activités. Ces deux mesures sont faites sur les deux essais dans le but d'analyser l'effet des fertilisants liquides et des types de substrats sur la vie du sol, et donc par conséquent sur la qualité de vie de la plante.

La mesure de capacité de rétention d'eau des substrats de l'essai Substrats est faite afin de déterminer l'habilité du substrat à retenir une solution et ce qui compose cette solution.

D'autre part, une analyse chimique de la composition des substrats de l'essai Fertilisants est réalisée dans le but de savoir quels sont les résidus de fertilisants retrouvés dans le terreau et savoir s'ils enrichissent ou non celui-ci.

D. Etudes statistiques

Compte tenu du fait que le nombre d'individus par condition soit inférieur à 30 (pour rappel, il n'y a que 5 individus par condition de chacun des essais), des tests statistiques non paramétriques sont réalisés.

Le premier test est le test de Kruskal-Wallis. Ce test est l'homologue non paramétrique de l'Anova à plusieurs facteurs ($k > 2$), qui ne prend pas en compte la normalité des données et l'égalité des variances. L'hypothèse H₀ formulée est qu'il n'y a pas de différences entre les populations, et l'hypothèse H₁, qu'il y a des différences entre les populations.

Ensuite, afin d'avoir plus de précision sur les résultats retrouvés entre les différentes conditions des deux essais, un test de Wilcoxon-Mann-Whitney est réalisé. Ce test permet de vérifier si deux échantillons indépendants sont issus ou non d'une même population. L'hypothèse H₀ étant que les moyennes sont égales, et l'hypothèse H₁ : les moyennes sont différentes.

Ces deux tests sont faits pour étudier des variables de nature quantitatives, avec un risque d'erreur choisi $\alpha = 0.05$. L'ensemble de ces tests est fait sur le logiciel R Studio.

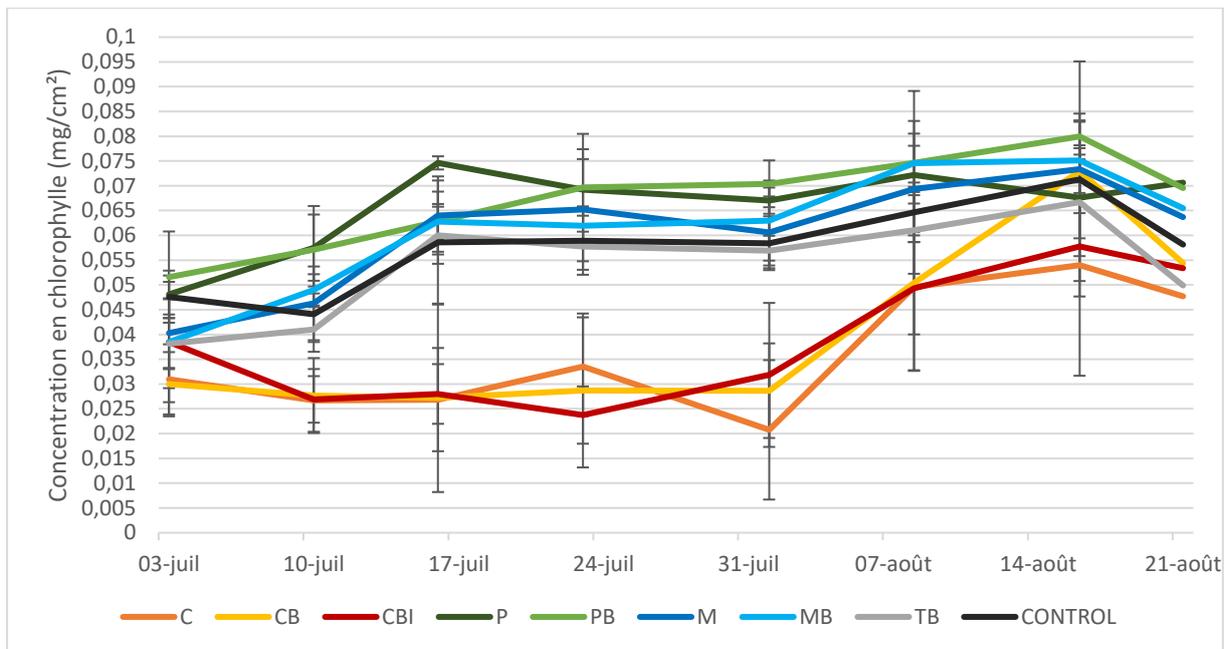


Figure 6 : Concentration en chlorophylle chez les piments poussant dans les différents substrats, C : Substrat de champignonnière, CB : substrat de champignonnière + biostimulant, CBI : substrat de champignonnière + biochar, P : Pousse-menu, PB : Pousse-menu + biostimulant, M : Mironor, MB : Mironor + biostimulant, TB : terreau + biostimulant, CONTROL : terreau

IV. Résultats

Dans le cadre de cette recherche sur les effets des différents substrats et leurs potentiels en tant que support de culture, et les fertilisants sur la croissance et développement des piments d'Espelette, les résultats sont présentés dans la section suivante. Les suivis de chlorophylle, les stades phénologiques, la hauteur des piments et les mesures de pH et de rétention d'eau permettent de constater des différences selon les substrats et les engrais organiques administrés.

Dans ce mémoire, les mesures concernant le rendement en fruits par plante, l'analyse de la capsaïcine, et le calcul de la masse aérienne et racinaire des plantes, ne pourront pas être abordés dans les résultats et la discussion car la durée de stage s'est arrêtée avant que les plantes aient le temps de produire et soient arrivées à la sénescence. Ces sujets ne seront donc pas traités. De même les mesures de CO₂ sortant des substrats ne seront pas disponibles pour des raisons externes.

A. Essais des différents substrats et du biostimulant

La Figure 6 présente la concentration en chlorophylle moyenne retrouvée dans les feuilles des piments poussant dans les différents types de substrats avec et sans la présence de biostimulant. Chez les plantes se développant dans les composts de Pousse-menu et de Mironor sans le biostimulant (respectivement P et M), et celles avec ajout du biostimulant (PB et MB) ont une concentration en chlorophylle moyenne qui est comprise entre 0,06 et 0,066 mg/cm². Les concentrations en chlorophylle moyenne chez les plantes témoins poussant dans un terreau standard avec biostimulant (TB) et sans (CONTROL) sont similaires avec des teneurs comprises entre 0,054 et 0,058 mg/cm².

Les taux en chlorophylle mesurés chez les piments poussant dans les substrats de champignonnière sans biostimulant (C), avec biostimulant (CB) et avec biocharbon (CBI) sont les plus bas retrouvés de l'ensemble de l'essai. Ils ont des concentrations comprises entre 0.036 et 0.04 mg/cm². Dans ces trois conditions, des symptômes de carences en azote, magnésium et phosphore ont été relevés.

Les tests statistiques de Wilcoxon-Mann-Whitney réalisés dans le but de comparer les moyennes des concentrations en chlorophylle entre les piments avec et sans biostimulant (P-PB, M-MB, C-CB et TB-CONTROL) n'ont pas montré de différences significatives des moyennes. En revanche, le test de Kruskal-Wallis a indiqué qu'il y avait des différences significatives entre les différentes moyennes des différentes conditions. En effet, deux groupes sont significativement différents : le groupe avec les composts et les témoins (P, PB, M, MB, TB et CONTROL) et le groupe avec les substrats de champignonnière (C, CB et CBI).

Ces différences entre les deux groupes sont confirmées par l'observation de carences chez les plants de piments se développant dans les substrats de champignonnière. En effet, des carences en azote et

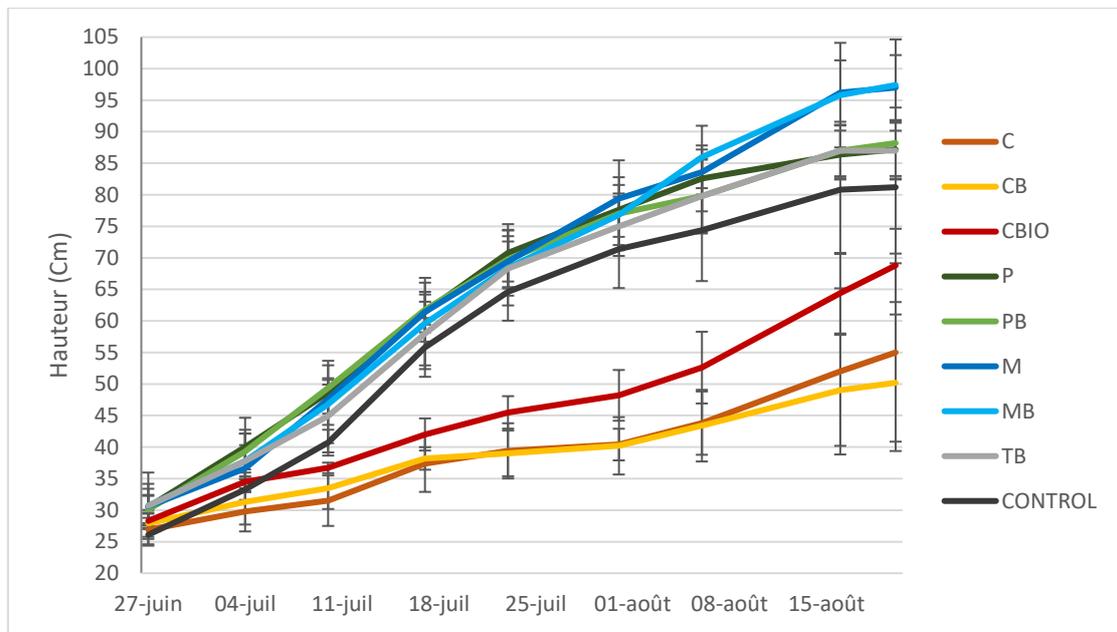


Figure 7 : Hauteur des piments d'Espelette poussant dans les différents substrats, C : Substrat de champignonnière, CB : substrat de champignonnière + biostimulant, C BIO : substrat de champignonnière + biochar, P : Pousse-menu, PB : Pousse-menu + biostimulant, M : Mironor, MB : Mironor + biostimulant, TB : terreau + biostimulant, CONTROL : terreau.

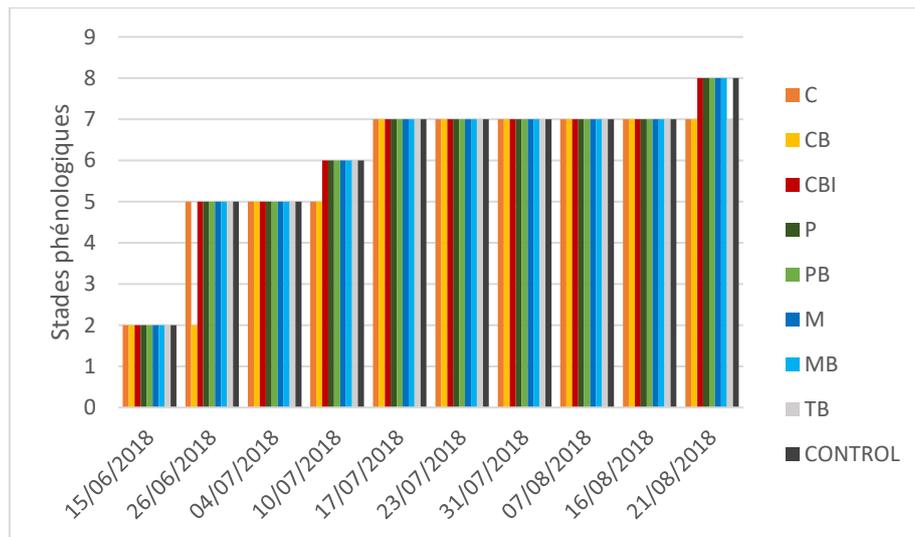


Figure 8 : Evolution des différents stades de développement des piments de l'essai Substrats en fonction des stades phénologiques, C : Substrat de champignonnière, CB : substrat de champignonnière + biostimulant, C BIO : substrat de champignonnière + biochar, P : Pousse-menu, PB : Pousse-menu + biostimulant, M : Mironor, MB : Mironor + biostimulant, TB : terreau + biostimulant, CONTROL : terreau.

magnésium sur tous les plants dans les substrats de champignonnière (avec et sans biochar) ont été observées, ainsi que des carences en phosphore pour les piments dans les SCE sans biostimulant.

Les piments de l'essai Substrats se sont développés rapidement entre les mois de Juin et Août (Figure 7). Les plantes les plus hautes sont celles qui poussent dans les composts de Pousse-menu (P) et Mironor (M), sans et avec traitement de biostimulant (PB, MB). En effet, la vitesse de croissance journalière par plante est de 1.24 cm pour les piments MB, 1.23 cm pour les piments M, 1.1 cm pour les piments et les piments PB. Statistiquement, le test de Wilcoxon-Mann-Withney a montré que les moyennes étaient égales entre elles, et donc qu'il n'y a pas de différences de hauteur entre les piments P et PB et les piments M et MB. Il n'y a pas de différences statistiques non plus entre les piments P et M, et PB et MB.

Pour les piments se développant dans le substrat de champignonnière sans ajout de biostimulant (C), avec biostimulant (CB) et dans le substrat de champignonnière avec biochar (CBI), les hauteurs observées sont beaucoup plus faibles que celles retrouvées chez les piments poussant dans les composts. La croissance journalière par plante, est de 0.52 cm pour les piments C, 0.41 cm pour les piments CB et 0.8 cm pour les piments CBI. Ici aussi, le test statistique de Wilcoxon-Mann-Withney a révélé qu'il n'y avait pas de différences entre les moyennes des individus des 3 conditions.

Enfin, les témoins avec biostimulant (TB) et sans (CONTROL) présentent une vitesse de croissance similaire à celle retrouvée chez les piments se développant dans les composts. Les piments TB ont une croissance journalière de 1.04 cm, et les piments CONTROL ont une moyenne de vitesse de croissance journalière de 1.02 cm. Statistiquement, le test de Wilcoxon-Mann-Withney n'a pas montré de différences entre les moyennes des piments TB et CONTROL.

Malgré le fait qu'il n'y ait pas eu de différences statistiques entre les hauteurs des plantes des conditions avec et sans biostimulant (P-PB, M-MB, C-CB et TB-CONTROL), le test de Kruskal-Wallis a montré qu'il y avait des différences entre les hauteurs moyennes des piments de toutes les conditions de l'essai Substrats. En effet, deux groupes sont considérés comme étant significativement différents, à savoir, les piments poussant dans les composts (P, PB, M, MB) et les piments poussant dans les substrats de champignonnière (C, CB, CBI). Le groupe avec les témoins (TB et CONTROL) ne présente pas différences significatives entre le groupe « compost » et le groupe « substrat de champignonnière ».

Les premières mesures de stades phénologiques ont débuté lorsque les piments étaient au stade 2. L'identification des stades phénologiques a permis d'observer que les piments atteignent globalement en même temps les mêmes stades phénologiques, bien que les piments dans les substrats de champignonnière (C et CB) soient légèrement en retard (Figure 8). Le Tableau XII donne une indication sur la signification des différents stades. Lors de l'identification des stades phénologiques, des stades

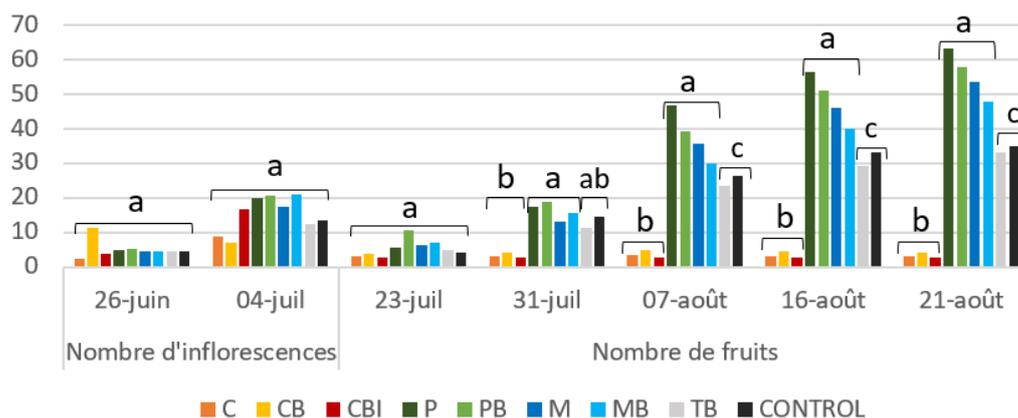


Figure 9 : Nombres d'inflorescences et de fruits moyens en formation par plante chez les piments d'Espelette de l'essai Substrats

Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes. Les groupes de significativité des moyennes (a, b et c) s'appliquent en fonction des jours et non sur l'ensemble du graphique. C : Substrat de champignonnière, CB : substrat de champignonnière + biostimulant, CBI : substrat de champignonnière + biochar, P : Pousse-menu, PB : Pousse-menu + biostimulant, M : Mironor, MB : Mironor + biostimulant, TB : terreau + biostimulant, CONTROL : terreau.

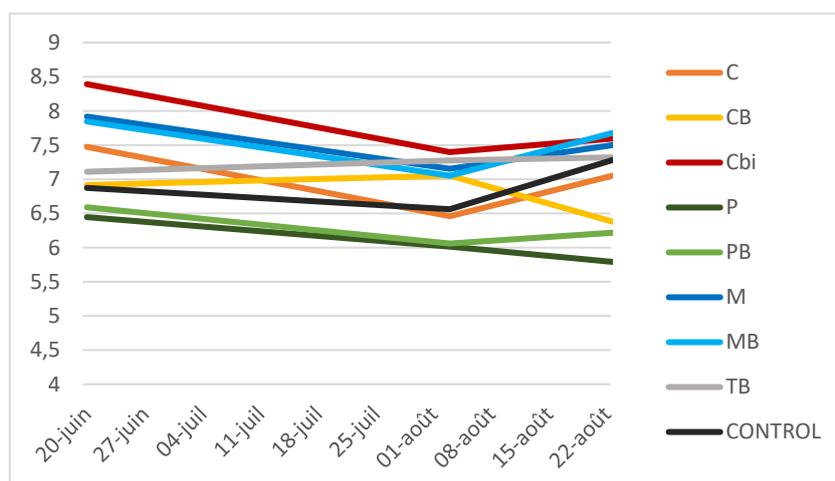


Figure 10 : Evolution du pH des différents substrats, C : Substrat de champignonnière, CB : substrat de champignonnière + biostimulant, CBI : substrat de champignonnière + biochar, P : Pousse-menu, PB : Pousse-menu + biostimulant, M : Mironor, MB : Mironor + biostimulant, TB : terreau + biostimulant, CONTROL : terreau.

Tableau XIII : Disponibilité en eau des substrats.

Substrats	Disponibilité en eau (ml/L)
C-CB	150
CBI	250
P-PB	350
M-MB	350
CONTROL	350

C : Substrat de champignonnière, CB : substrat de champignonnière + biostimulant, CBI : substrat de champignonnière + biochar, P : Pousse-menu, PB : Pousse-menu + biostimulant, M : Mironor, MB : Mironor + biostimulant, TB : terreau + biostimulant, CONTROL : terreau.

secondaires ont été déterminés en relevant le nombre d'inflorescences et de fruit moyens par plantes (Figure 9). La période du 10 au 23 juillet représentée sur la Figure 9 correspond à l'évolution du stade floraison vers le stade fructification chez toutes les plantes des 8 conditions différentes. Le nombre d'inflorescences par plante double quasiment en l'espace d'une semaine dans presque toutes les conditions, à l'exception des piments CB ou leurs nombres moyens diminuent. Le nombre de fruits par plante est plus élevé chez les piments se développant dans les composts, avec en moyenne 63 fruits/plantes chez les piments P, 58 fruits/plantes chez les piments PB, 53 et 48 fruits/plantes chez les piments M et MB, respectivement, le 21 août. En revanche, les piments se développant dans les substrats de champignonnière (C, CB, CBI) portent moins de 10 fruits/plante. Malgré ces différences, les tests statistiques (Wilcoxon-Mann-Whitney) indiquent qu'il n'y a pas de différences significatives (en termes de nombre d'inflorescence et de fruits) entre les plantes ayant été traitées avec du biostimulant et celles non traitées (P-PB, M-MB, TB-CONTROL et C-CB). De plus, il n'y a pas de différences significatives statistiquement entre les différentes moyennes des piments poussant dans les composts (P, PB, M, MB). Trois groupes sont donc observés : un groupe avec les composts (P, PB, M, MB) qui est significativement différent du groupe avec les substrats de champignonnière (C, CB, CBI) et le groupe avec les témoins (TB et CONTROL). Ce dernier groupe est significativement différent des deux autres. Le test de Kruskal-Wallis montre qu'il y a des différences significatives entre les moyennes de l'ensemble de l'essai. Les significativités sont représentées par des lettres sur la Figure 9.

D'autre part, il a été observé que les piments poussant dans le compost de Pousse-menu étaient, de façon générale, plus ramifiés que ceux poussant dans les autres conditions. En comparaison, les piments témoins poussant dans le terreau (avec et sans biostimulant), n'ont pas développé beaucoup de ramifications et ont grandi plus en hauteur.

Au niveau de sol, la Figure 10 montre l'évolution du pH des différents substrats en fonction du temps. Globalement, le pH diminue dans tous les substrats.

Le Tableau XIII présente la disponibilité en eau des substrats. Les composts et le terreau ont de plus grande disponibilité en eau, ce qui se traduit par une meilleure rétention. Les substrats issus des champignonnières ont une faible disponibilité en eau, ce qui est lié à leurs grandes porosités.

En conclusion, les résultats montrent que les plantes poussant dans les composts ont de meilleurs taux en chlorophylle, une hauteur plus importante et un nombre d'inflorescences et de fruits plus élevé, par rapport aux témoins et aux substrats de champignonnière.

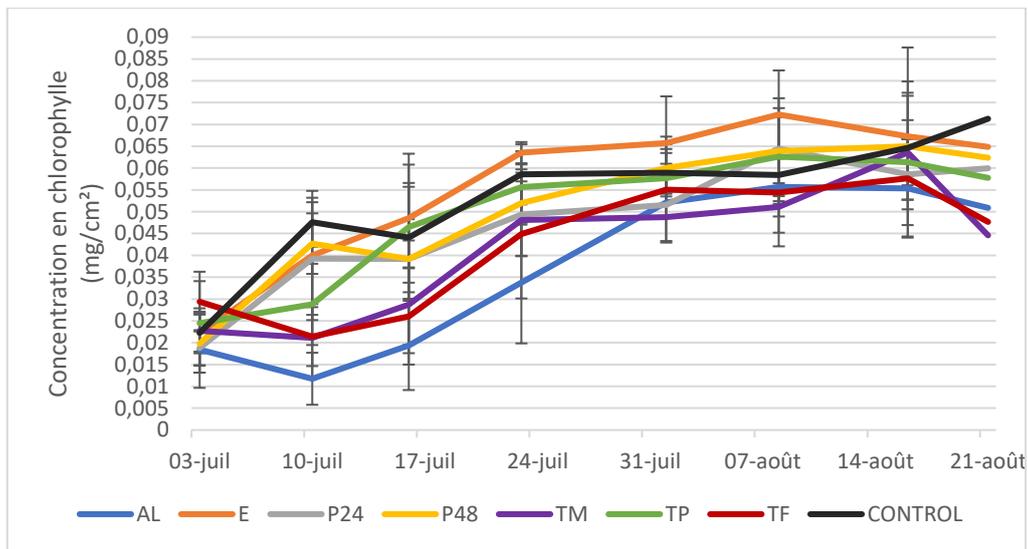


Figure 11 : Concentration en chlorophylle des piments traités en fonction des différents fertilisants, AL : Algues, E : Emulsion, P24 : purin 24h, P48 : purin 48h, TM : Thé de compost Mironor, TP : Thé de compost de Pousse-menu, TF : Thé de compost Fertilo, CONTROL : fertilisant minéral

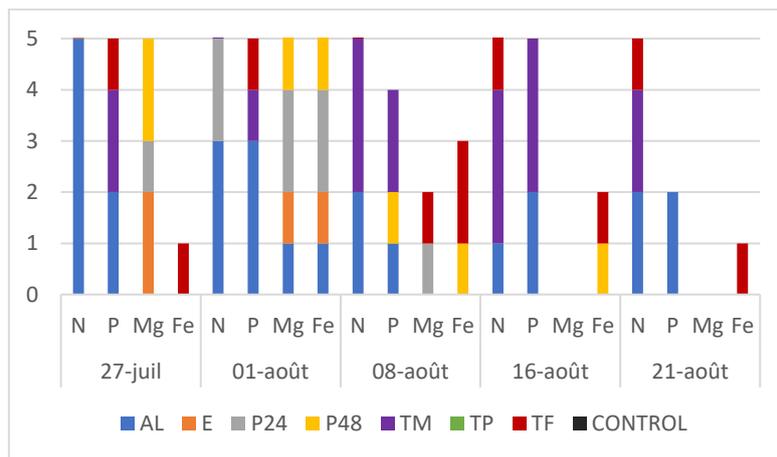


Figure 12 : Principales carences observées chez les piments traités aux différents fertilisants, AL : Algues, E : Emulsion, P24 : purin 24h, P48 : purin 48h, TM : Thé de compost Mironor, TP : Thé de compost de Pousse-menu, TF : Thé de compost Fertilo, CONTROL : fertilisant minéral

B. Essais des différents fertilisants liquides

La Figure 11 indique les concentrations moyennes en chlorophylle chez les piments traités avec les différents fertilisants. Les plantes fertilisées avec l'émulsion de poisson (E) sont celles qui possèdent le plus haut taux de chlorophylle avec une concentration maximum de 0,07 mg/cm² par rapport au témoin (CONTROL) qui a une concentration maximum de 0,06 mg/cm². Le test statistique de Kruskal-Wallis a indiqué qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les concentrations moyennes en chlorophylle des différents traitements.

Plusieurs carences différentes ont été observées durant l'essai chez les plantes fertilisées avec l'extrait d'algues (AL), le purin 24h (P24), le purin 48h (P48) et les thés de compost de Mironor (TM) et de Fertilo (TF). Ces symptômes sur feuilles ont été identifiés comme étant des carences en azote, magnésium, phosphore et fer. Le nombre de plantes touchées par ces carences est représenté dans la Figure 12. Ce graphique montre une diminution du nombre des plantes carencées au cours du temps.

La Figure 13 représente l'évolution de la hauteur moyenne des piments selon le traitement de fertilisant reçu. Les piments fertilisés avec le thé de compost de Pousse-menu (TP) sont les plus hauts avec une vitesse de croissance journalière 1.13 cm. Ensuite viennent les piments fertilisés avec l'engrais minéral, l'émulsion de poisson (E) et le purin 24h (P24) avec une vitesse de croissance journalière de, respectivement, 1.06, 1 et 1 cm. Pour les piments traités avec les autres fertilisants, les piments ayant reçu du thé de compost de Fertilo (TF), du thé de compost de Mironor (TM) et ceux ayant été fertilisés avec du purin 48h (P48) ont une vitesse de croissance journalière de 0.97 cm et 0.96 cm et 0.92 cm, respectivement. Les piments traités avec une solution à base d'algues (AL) ont une vitesse de croissance journalière de 0.9 cm. L'hypothèse H₀ du test statistique de Kruskal-Wallis a été acceptée, montrant ainsi qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les hauteurs moyennes de l'ensemble des piments traités avec les différents fertilisants.

Les stades phénologiques relevés chez les piments traités avec les différents fertilisants sont similaires selon les dates à l'exception des piments traités avec l'extrait d'algues (AL) qui sont plus en retard sur les premières périodes de mesures (Figure 14). La signification des stades est retrouvée dans le Tableau XII. Comme dans l'essai Substrats, des stades secondaires ont été identifiés chez les piments et le nombre moyens d'inflorescences et de fruits par plante a été calculé et représenté dans la Figure 15. La période du 10 au 23 juillet représentée sur la Figure 15 correspond à l'évolution du stade floraison vers le stade fructification chez toutes les plantes des 8 conditions différentes. Les piments AL possèdent en règle générale moins d'inflorescences et fruits par plante que tous les autres traitements. A l'inverse, les piments fertilisés avec l'émulsion de poisson (E), les purins (P24 et P48), le thé de compost de Pousse-menu (TP) et le témoin (CONTROL) ont plus de fruits par plante que les autres conditions. Statistiquement, le test de Kruskal-Wallis indique des différences entre les moyennes

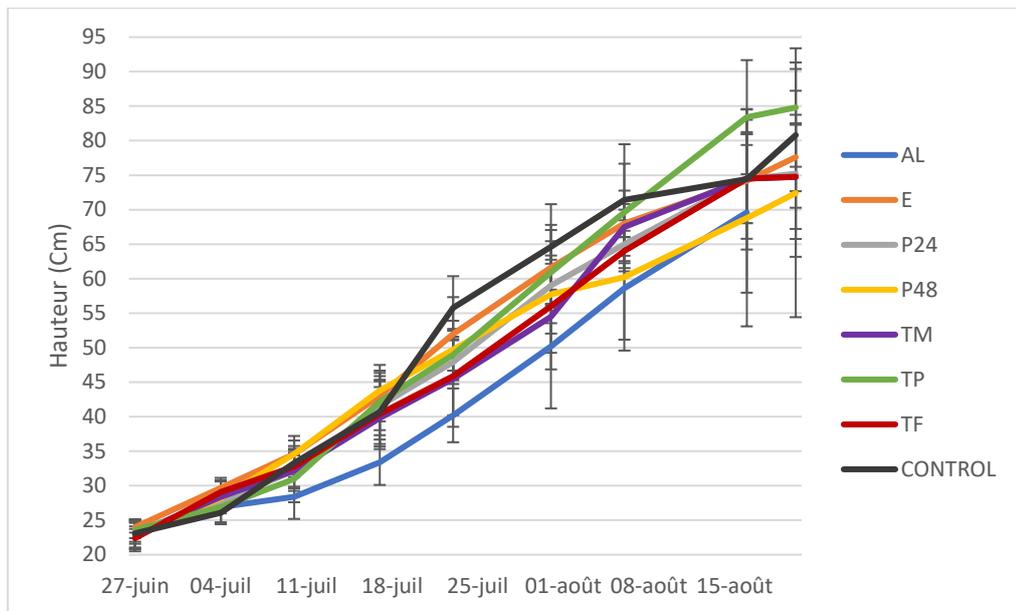


Figure 13 : Hauteur des piments d'Espelette traités en fonction des différents fertilisants, AL : Algues, E : Emulsion, P24 : purin 24h, P48 : purin 48h, TM : Thé de compost Mironor, TP : Thé de compost de Pousse-menu, TF : Thé de compost Fertilo, CONTROL : fertilisant minéral

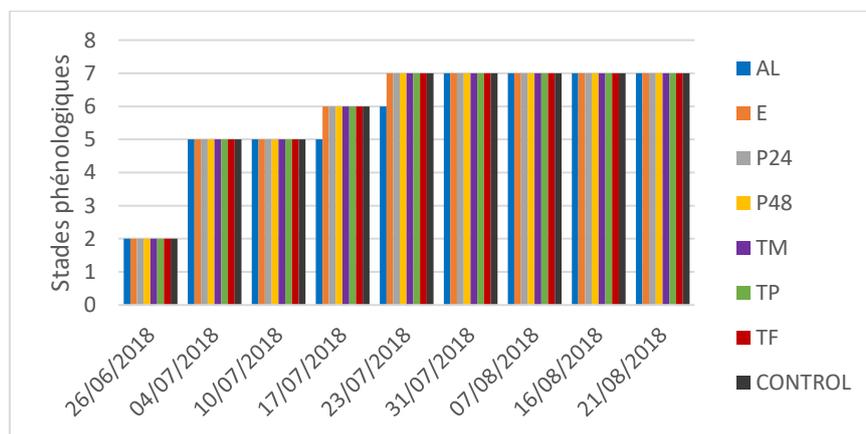


Figure 14 : Evolution des différents stades de développement des piments de l'essai Fertilisants en fonction des stades phénologiques, AL : Algues, E : Emulsion, P24 : purin 24h, P48 : purin 48h, TM : Thé de compost Mironor, TP : Thé de compost de Pousse-menu, TF : Thé de compost Fertilo, CONTROL : fertilisant minéral

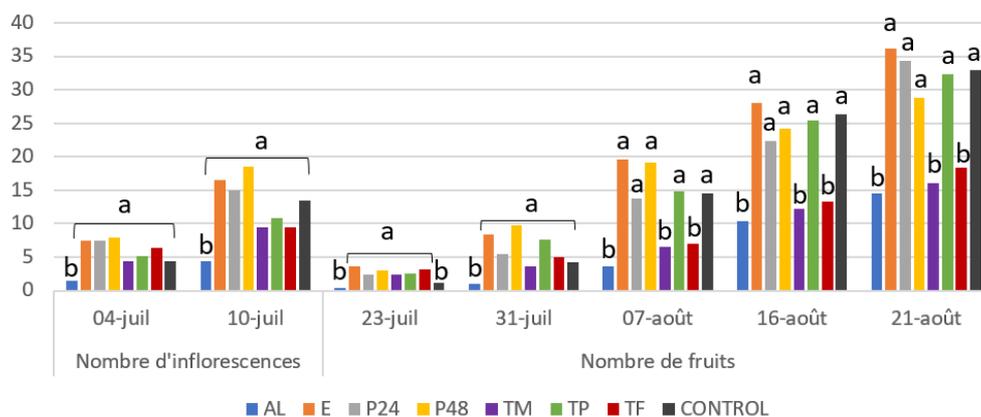


Figure 15 : Nombres d'inflorescences et de fruits moyens par plante chez les piments de l'essai Fertilisants. Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes. Les groupes de significativité des moyennes (a et b) s'appliquent en fonction des jours et non sur l'ensemble du graphique. AL : Algues, E : Emulsion, P24 : purin 24h, P48 : purin 48h, TM : Thé de compost Mironor, TP : Thé de compost de Pousse-menu, TF : Thé de compost Fertilo, CONTROL : fertilisant minéral.

d'inflorescences et de fruits par plante entre les piments AL, TM et TF et le reste des autres conditions (la significativité est représentée entre les conditions par les lettres « a » et « b »).

Des décolorations sur les feuilles les plus basses de certains plants de piments de l'essai Fertilisants ont été observées. Ces décolorations ont débuté aux nervures avant de s'étendre de manière irrégulière sur l'ensemble de la feuille. Ces lésions sont peut-être dues à la présence d'ozone, un polluant atmosphérique souvent présent dans les villes.

Au niveau du sol, la Figure 16 présente l'évolution des différents pH des substrats en fonction des fertilisants utilisés. Les pH sont assez élevés de manière générale, dû au pH de l'eau d'arrosage qui est à plus de 8.

Le Tableau XIV montre les concentrations en éléments minéraux et en matière organique présents dans les substrats d'après l'analyse chimique. Un enrichissement général des substrats est observé par rapport à la composition du terreau original.

En conclusion, les fertilisants organiques de type E, P24 et P48, TP ont eu des effets sur la croissance, le nombre d'inflorescences et de fruits, le taux de chlorophylle similaires à ceux observés chez le témoin, fertilisé à l'engrais minéral.

V. Discussion

A. Essai Substrats

Les objectifs de l'essai Substrats étaient d'évaluer les potentiels en tant que support de culture des deux composts et des deux substrats de champignonnière épuisés ainsi que leurs effets sur la croissance et le développement de la plante. Un substrat doit pouvoir respecter certaines propriétés pour être utilisé pour une culture. Selon la culture choisie, le substrat doit avoir une bonne porosité pour faciliter les échanges gazeux entre la plante, le substrat et l'atmosphère, une bonne capacité de rétention d'eau (donc disponibilité en eau pour la plante) pour limiter les stress hydriques et les phénomènes de lessivage, une quantité en éléments nutritifs suffisante et disponible pour les besoins de la culture et un pH adapté.

L'ensemble de ces caractéristiques sont respectées par les composts de Pousse-menu et Mironor. La disponibilité en eau des deux composts et du témoin était de 350 ml/L. Cette quantité est la même retrouvée chez le terreau horticole servant de témoin. Pour compléter ces résultats, la tourbe blonde classique a une disponibilité en eau de 320 ml/L (Cotineau J. S. et al., 2011).

Les analyses chimiques des composts montrent des quantités en azote, phosphore et potassium plus élevées que celles retrouvées dans le terreau. Les composts sont riches en matière organique et en

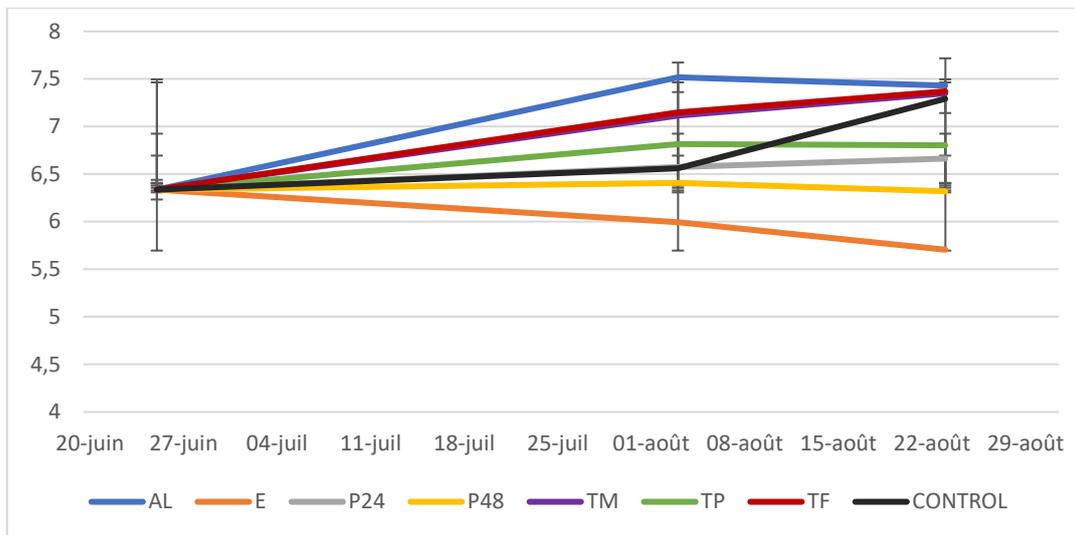


Figure 16 : Evolution du pH des substrats selon les différents fertilisants utilisés. AL : Algues, E : Emulsion, P24 : purin 24h, P48 : purin 48h, TM : Thé de compost Mironor, TP : Thé de compost de Pousse-menu, TF : Thé de compost Fertilo, CONTROL : fertilisant minéral

Tableau XIV : Résultats des analyses chimiques faites sur le substrat des piments traités avec différents fertilisants.

	Terreau original	AL	E	P24	P48	TP	TM	TF	CONTROL
%MO		49,33	43,8	37,9	36,4	36,2	33	37,6	47,8
P(%)	0,05	0,11	0,14	0,11	0,14	0,15	0,08	0,12	0,12
Al (ppm)	0,5	41	35,3	31,66	32,3	35,6	44,3	31,6	34,6
K (%)	0,04	17,2	5,41	11,81	14,4	4,21	5,5	16,4	10,47
Mg (%)	0,005	17,56	17,23	18,26	18,2	28,2	19,1	17,9	18,66
Ca (%)	0,0075	57,73	64,23	62,7	60,46	61,4	68	58,3	18,6
Zn (ppm)	0,08	11,23	11,7	12,13	12,36	16,6	11,7	12,5	13,96
Mn (ppm)	0,1	12,33	12,3	12,6	13	14,3	13,6	13,6	13,33
Cu (ppm)	0,04	1,5	1,56	1,73	1,5	1,7	1,6	1,8	1,53
Fe (ppm)	0,5	41	42	40	41	56,6	52,6	41,6	46,33
B (ppm)	0,2	0,86	0,51	1,16	1,3	0,69	0,76	1,6	0,81

AL : Algues, E : Emulsion, P24 : purin 24h, P48 : purin 48h, TM : Thé de compost Mironor, TP : Thé de compost de Pousse-menu, TF : Thé de compost Fertilo, CONTROL : fertilisant minéral

éléments minéraux (Fabrizio et al., 2009). La MO est composée entre 65 et 70 % de substances humiques. Parmi elles, sont retrouvés des acides fulviques et humiques et de l'humine.

Les substances humiques sont connues pour jouer un rôle important dans la fertilité et la chimie du sol, la physiologie des plantes avec des effets sur la croissance et la qualité des fruits (Aminifard et al., 2012a; Calvo et al., 2014). Karakurt et al. 2009, ont étudié l'effet d'application d'acides humiques sur le rendement et la qualité de *Capsicum annum L.* Dans cette étude, les acides humiques ont eu pour effet d'augmenter les contenus en chlorophylle des plantes, mais aussi d'augmenter le poids moyen des fruits, la précocité et le rendement total. Cela a aussi eu un effet sur le contenu des fruits, en augmentant la concentration totale des sucres solubles. Les mesures faites confirment ces résultats. Les plantes montrent que ce sont les piments P, PB, M et MB qui sont en meilleure santé. Ils ont une croissance plus importante, un taux de chlorophylle plus élevé et ils sont plus précoces dans l'avancement des stades phénologiques. Ce sont aussi ces plantes qui possèdent le plus d'inflorescences et le plus de fruits.

Une étude faite par Gao et al., en 2018, a observé que les concombres poussant dans du compost avaient un taux de photosynthèse nette, une matière sèche totale et un rendement plus élevé que les concombres poussant dans un terreau classique. Le taux net de photosynthèse des plantes, le nombre de communautés bactériennes, et les paramètres physico-chimiques du compost (porosité et rétention d'eau, pH) montraient une corrélation positive avec les rendements en fruits. Haghghi et al., 2016, ont utilisé différents ratios alliant compost, tourbe et perlite pour servir de substrats à des tomates. Les données relevées sur le développement général des plantes montrent que les tomates ont un poids frais et sec des tiges et racines plus important, et un rendement plus élevé chez celles ayant poussé dans le mélange 75% compost : 25% perlite en comparaison des témoins poussant dans le mélange 75 % tourbe et 25% perlite. En plus des propriétés physico-chimiques intéressantes que possèdent les composts, ils ont aussi une forte activité biologique. En effet, les micro-organismes jouent un rôle clé dans la dégradation de la matière organique et la minéralisation et le cycle des nutriments. Le carbone organique retrouvé dans un sol va être consommé et assimilé par les micro-organismes décomposeurs puis libéré sous formes de produits métaboliques ou alors il sera respiré sous forme de dioxyde de carbone (CO₂) puis relâché dans l'air. Plusieurs études démontrent que des traitements au compost améliorent largement les propriétés biologiques d'un sol comme des apports carboniques (biomasse microbienne), une respiration basale et une augmentation des activités enzymatiques. De plus, les composts se décomposent lentement dans le sol, ce qui procure une libération continue de nutriments qui vont alimenter la biomasse microbienne sur de plus longues durées (Diacono and Montemurro, 2010; Griffin and Hutchinson, 2007). Ce phénomène entraîne par



Figure 18 : Piment témoin (CONTROL) hauteur : 85 cm, toit du Palais des Congrès, le 21/08/2018, crédit photo : Clémentine Pointereau



Figure 19 : Piment compost Mironor (M), hauteur : 100 cm, toit du Palais des Congrès, le 21/08/2018, crédit photo : Clémentine Pointereau



Figure 17 : Piment compost Pousse-menu (P), hauteur : 81 cm, le toit du Palais des Congrès, le 21/08/2018, crédit photo : Clémentine Pointereau

la suite une plus large disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes. Cependant, seulement une partie de l'azote et des autres nutriments contenus dans du compost seront disponibles pour les plantes la première année. En effet selon une étude de Tittarelli et al., (2007) seuls 30-35 % de l'azote total d'un compost sont libérés au cours de la première année.

Il a été remarqué pendant l'essai que les piments poussant dans le compost de Pousse-menu (P et PB) étaient plus ramifiés que les autres plantes des autres conditions. Selon leurs origines, les composts contiennent plus ou moins de phytohormones (Miransari and Smith, 2014; Pant et al., 2011). Le compost de Pousse-menu est un compost fabriqué à partir de résidus de culture de plants de micro-pousses, elles-mêmes ayant poussé dans un compost constitué de résidus de culture de micro-pousses. Les micro-pousses sont des jeunes plantules qui sont récoltées seulement quelques semaines après leur germination. Il a été observé que les piments ayant poussé dans le substrat de Pousse-menu (avec ou sans traitement de biostimulant) (Figure 17) étaient plus ramifiés que les plantes se développant dans les autres conditions, notamment les témoins (Figure 18) et le compost de Mironor (Figure 19). Les composts comprennent des hormones végétales qui peuvent provenir des matières compostées elles-mêmes ou encore des micro-organismes contenus dans le compost (Bernal et al., 2017; Miransari and Smith, 2014; Pant et al., 2011; Usmani et al., 2018). Cela signifie que ces phytohormones ne sont pas ou pas entièrement dégradées lors des processus de compostage.

Lors de la germination, des hormones sont libérées dans les tissus de la graine dans le but de lever sa dormance. Parmi ces hormones sont retrouvées les gibbérellines et les cytokinines, qui sont aussi les hormones responsables de la ramification aérienne chez une plante. Les cytokinines sont synthétisées dans l'apex racinaire (Roman et al., 2016) tandis que les gibbérellines sont synthétisées dans les jeunes organes (feuilles, apex des tiges et racines, graines...) (Miransari and Smith, 2014; Yi, 1987). En effet, l'embryon de la graine est à l'origine de la production des gibbérellines lors de la germination. De plus, les enveloppes et téguments des graines renferment également des composés gibbérelliques de fin de chaîne métabolique (Yi, 1987). Des études ont montré que des applications directes de gibbérellines sur les racines présentaient une migration nette de ces phytohormones absorbées par les racines en direction des parties aériennes. Comme les gibbérellines endogènes, les gibbérellines marquées absorbées par les racines migrent essentiellement dans le xylème (Yi, 1987). Cette observation suggère que la forte ramification constatée chez les piments poussant dans le compost de Pousse-menu pourrait être due à la migration des gibbérellines présentes dans le compost. Ce compost étant fabriqué à partir de graines et de jeunes plantules, la présence de gibbérellines et de cytokinines est importante, ce qui a pour conséquence de déclencher des phénomènes de ramification plus prononcés par rapport aux autres substrats. Pour confirmer cette théorie, la mesure des tailles d'entre-nœuds a été faite sur les plantes témoins et les plantes poussant dans les deux types de compost (Pousse-menu et Mironor). Les tests statistiques sur ces données révèlent que les piments P-PB ont des longueurs

d'entre-nœuds significativement différentes à celles des piments témoins (CONTROL-TB) et à celles des piments M-MB. Ces résultats appuient donc l'hypothèse de la présence de gibbérellines dans le compost de Pousse-menu. La présence de gibbérellines augmentant la longueur des entre-nœuds (Plackett and Wilson, 2017).

L'autre hypothèse serait la présence de micro-organismes (bactéries, champignons) synthétisent ces hormones (Ravindran et al., 2016; Tomati et al., 1988).

Les résultats les moins bons sont observés chez les piments s'étant développés dans les substrats de champignonnière épuisés. Au niveau des propriétés physiques du substrat, ils ont une disponibilité en eau réduite avec 150 ml/L. Cette faible disponibilité en eau est liée à la forte porosité de ce substrat, qui entraîne des lessivages importants. Ceux-ci entraînent donc une perte importante des nutriments apportés lors des fertilisations, qui se répercute sur la croissance et le développement général des plantes poussant dans les substrats C, CB et CBI, avec notamment l'apparition de symptômes de carences en azote, magnésium et fer. Le substrat étant majoritairement composé de copeaux de bois, ces carences peuvent aussi être dues au phénomène de « faim d'azote ». Cela apparaît lorsqu'il y a un apport important de matière organique pauvre en azote, ici représenté par le bois, riche en composés carbonés. Le ratio C/N de ce substrat est de 16. Une étude faite sur la faim d'azote a montré qu'un ratio C/N de 19 entraînait une très mauvaise croissance chez l'épicéa (Duchaufour, 1950). Ce phénomène amenant une grande quantité d'énergie aux micro-organismes va conduire à une forte activité métabolique et entraîner une croissance de ces populations. Si la matière organique apportée ne contient pas assez d'azote, il y a un risque que les micro-organismes les prélèvent dans la solution du sol, déclenchant des compétitions avec les racines de la plante. Une chute rapide du contenu azoté du substrat est observée, créant une pénurie d'azote, et dans le pire des cas, arrêtant temporairement la décomposition de la matière organique, les micro-organismes n'en n'ayant plus à disposition et ne pouvant plus se développer (Duchaufour, 1950; Supagro, n.d.).

En plus de cette perte de nutriments, dans ces substrats se développaient régulièrement des champignons des cultures précédentes, du mycélium étant encore présent parmi les copeaux de bois. Le mycélium évoluant en même temps que la plante dans le substrat a pu entraîner de la compétition pour les éléments nutritifs entre les deux individus, accentuant ainsi le faible développement de la plante, en plus de la perte des nutriments par lessivage.

Compte-tenu des résultats obtenus dans cette étude et de ceux trouvés dans la bibliographie, les composts peuvent être considérés comme des substrats qui répondent aux attentes d'un substrat standard.

Le biostimulant microbien utilisé sur les piments de l'essai Substrat n'a pas eu d'effets visibles sur les plantes de façon générale. Statistiquement, il n'y a pas de différences entre les moyennes (hauteur,

chlorophylle, nombre d'inflorescences et de fruits) des piments P et PB, M et MB et Control et TB, ce qui signifie qu'il n'est pas possible de conclure sur l'effet du biostimulant sur la croissance et le développement des plantes. Malgré le fait que les piments PB, MB, et TB étaient en bonne santé, les piments C et CB souffraient de carences minérales, mais aucune amélioration n'a été observée chez les piments ayant reçus du biostimulant par rapport aux C. Le biostimulant aidant dans la tolérance aux stress abiotiques, le nombre de plantes carencées est cependant resté inchangé tout au long de l'essai. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'efficacité des biostimulants microbiens comme les conditions environnementales car la température, les paramètres physico-chimiques du sol vont influencer la croissance des micro-organismes, leurs productions en métabolites secondaires et leurs enzymes, et leurs capacités à créer une microflore bénéfique au niveau de la rhizosphère (Lugtenberg and Kamilova, 2009). En effet, le mois de juillet a été particulièrement chaud, et les températures des substrats est montée jusqu'à plus de 30°C (mesure faite à l'aide d'une sonde) pour les piments C et CB. C'est une autre hypothèse sur le fait que l'effet du biostimulant sur les piments n'a pas été perçu.

Cependant, il est possible qu'il ait eu un effet sur la précocité des piments au niveau du développement des inflorescences. Sur la Figure 9, les piments PB, MB et TB ont plus de fleurs et donc de fruit au début de la période de floraison et de fructification. Ces différences étant minimes et non significativement différentes d'après les tests statistiques, il n'est pas possible d'affirmer ces observations.

Les résultats globaux laissent penser que les piments poussant dans les composts auront un rendement en fruits supérieurs aux autres conditions.

Au niveau de l'effet du substrat et du biostimulant sur la qualité des fruits, la bibliographie permet d'avoir une idée sur la concentration en capsaïcine qui pourrait être présente chez les différents fruits. Une étude testant les effets de biostimulant sur des abricotiers a montré que les activités antioxydantes et les teneurs en antioxydants dans les fruits étaient nettement plus élevées que les concentrations des fruits ou l'arbre n'a pas reçu de biostimulant (Tarantino et al., 2018). Cependant le biostimulant utilisé était un biostimulant à base d'acides humiques. Comme vu plus haut, les acides humiques sont majoritairement présents dans la matière organique et ont pour effets de jouer sur le rendement en fruits, la qualité des fruits et leurs contenus (Aminifard et al., 2012a, 2012b; Karakurt et al., 2009). En effet, une étude réalisée par Aminifard et al., en 2012a, a démontré que l'acide humique influençait la concentration en métabolites secondaires des fruits de *Capsicum annuum*, Var. Red Chilli. En effet, des concentrations plus élevées en capsaïcine (281.7 mg/kg) et en lycopène (225 mg/kg) sont retrouvées chez les individus ayant été en contact avec de l'acide humique par rapport au témoin avec des teneurs de 168.8 mg/kg en capsaïcine et de 122 mg/kg en lycopène. Une autre étude de Aminifard et al., (2012b) présente des résultats équivalents avec l'utilisation d'acide fulvique sur *Capsicum annuum* L.

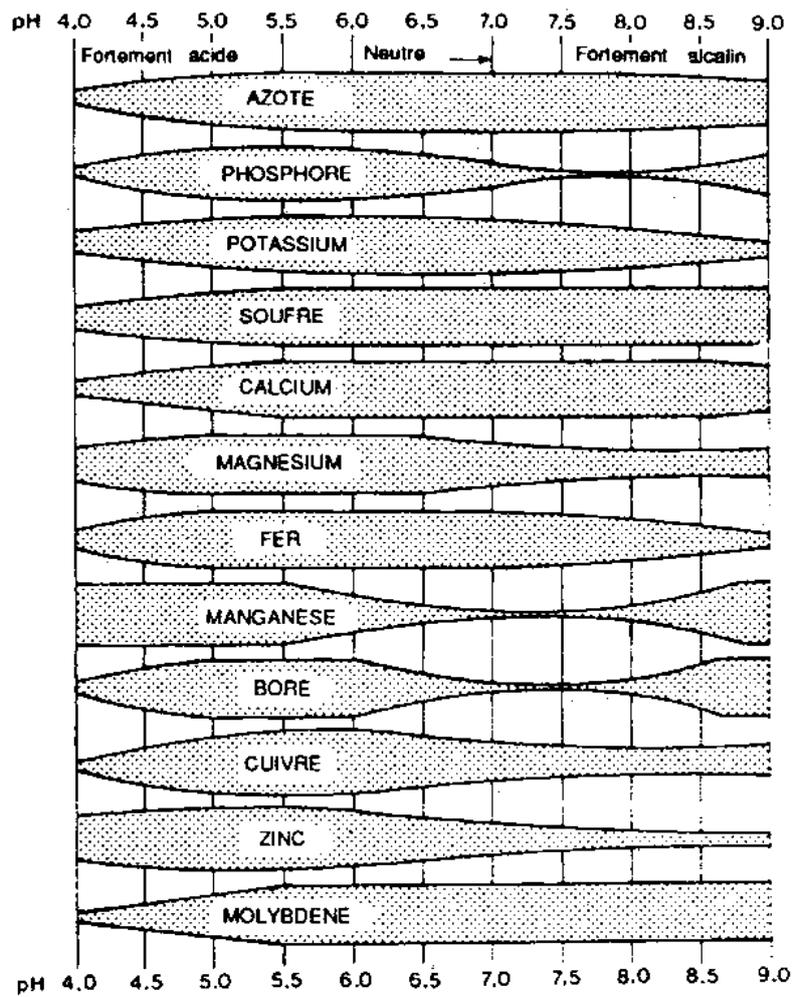


Figure 21 : Disponibilité des éléments minéraux en fonction du pH dans les sols organiques (d'après Lucas et Davis, 1961),
 source : <http://www.fao.org/docrep/003/s8500f/s8500f0e.htm>

Outre l'influence des acides humiques et fulviques sur la concentration en antioxydants et sucres, ceux-ci peuvent être aussi affectés par des facteurs génétiques ou encore par l'environnement qui entoure la plante. En effet, le milieu de croissance des plantes et le type de produit appliqué pour la fertilisation peuvent agir sur les concentrations en métabolites secondaires des fruits.

B. Essai Fertilisants

Les objectifs de cet essai de fertilisation étaient d'identifier les effets qu'ont les fertilisants organiques liquides sur la croissance, le développement et le rendement en fruits de la plante. Les données obtenues permettent ensuite de donner une idée générale sur l'efficacité de ces différents fertilisants.

Les fertilisants ayant le mieux fonctionné sont les purins 24h (P24) et 48h (P48), l'émulsion de poisson (E), le thé de compost de Pousse-menu (TP) et l'engrais minéral. Les piments fertilisés avec ces produits ont une croissance plus importante, une concentration en chlorophylle plus élevée et un nombre d'inflorescences et de fruits plus grand que les piments fertilisés avec les autres fertilisants, à savoir les thés de compost de Mironor et de Fertilo (TM et TF) et l'extrait d'algues (AL).

Les fertilisants organiques et inorganiques de manière générale, enrichissent les substrats en macro et microéléments (Saygi and Turemis, 2017). C'est ce qui a été observé lors des prélèvements de substrats des différentes conditions. Un enrichissement général est observé par rapport aux concentrations en éléments minéraux et matières organiques présents au départ avant les premiers traitements fertilisants. Des teneurs importantes en microéléments, tels que le zinc, le bore, le cuivre, le manganèse et le fer sont présentes dans les substrats de l'ensemble des conditions. Ces fortes concentrations en éléments minéraux dans le substrat sont dues en partie au fait que le pH de l'eau d'arrosage est à plus de 8, (d'où les valeurs de pH élevées observées sur la Figure 16) ce qui conduit à une indisponibilité de ces éléments pour la plante (Figure 20). Cela peut aussi entraîner des phénomènes de **phytotoxicité** chez la plante mais rien de visible n'a été aperçu.

Les analyses chimiques N, P, K des engrais montrent que ce sont les fertilisants E, P24 et P48 et l'engrais minéral qui ont les plus forts taux en NPK, ce qui explique les résultats obtenus sur la croissance et le développement général des piments. De même, aucun symptôme de carence en azote, phosphate ou potassium n'a été relevé parmi ces fertilisants par rapport aux conditions TM, TF et AL où des carences en azote, phosphore, magnésium et fer ont été observées.

Concernant les thés de compost, ceux de Mironor et Fertilo n'ont pas donné de résultats satisfaisants du fait de leurs faibles concentrations en N, P, K, du pH élevé (rendant les éléments minéraux indisponibles pour la plante) et des carences. Il en est de même pour les piments AL qui ont rencontré les mêmes problèmes.

Le cas particulier du fertilisant TP est intéressant. Les données obtenues présentent des piments ayant une croissance, un taux de chlorophylle et un nombre d'inflorescences et de fruits similaires aux piments P24 et P48, E et au témoin. Ces résultats sont étonnants car le NPK (0.05-0.07-0.04) de ce fertilisant est aussi faible voir encore plus, que les deux autres thés de compost qui ont donné des résultats moins concluants (TM : 0.05-0.02-0.6 et TF : 0.02-0.02-0.16). De même, le taux en matière organique est faible comparé aux autres fertilisants (voir le Tableau VI). L'analyse chimique du substrat montre de fortes concentrations en microéléments par rapport à l'ensemble des autres résultats. En effet, le magnésium, le zinc, le manganèse et le fer sont des minéraux fortement concentrés dans le substrat et disponibles pour la nutrition de la plante. Ces éléments jouent des rôles importants dans la photosynthèse avec notamment la synthèse de la chlorophylle et de protéines. Ces résultats expliquent en partie le fait que les piments TP aient une croissance et développement similaire aux témoins. D'autre part, le pH des substrats TP est aussi plus bas que celui des autres, ce qui offre une meilleure disponibilité pour la plante en éléments minéraux. Une autre explication de ces résultats surprenants est la suivante. Dans l'essai Substrats, il a été remarqué que les piments se développant dans le compost de Pousse-menu, développaient plus de ramifications. L'hypothèse principale actuelle est que cela pourrait être dû à une concentration résiduelle d'hormones (cytokinines et/ou gibbérellines) présentes dans ce compost fait à base de résidus de culture de micro pousses et d'enveloppes de graines. Lors de l'extraction à l'eau du compost, différentes molécules sont retrouvées dans les thés de compost, notamment des hormones végétales. L'étude de Pant et al., (2012) a permis d'analyser les propriétés biochimiques des thés de compost en fonction de la qualité du compost utilisé. Lors de l'analyse du thé de compost, plusieurs hormones ont été identifiées, et parmi elles des gibbérellines qui ont eu un effet sur la croissance des pak choï traités avec ce thé de compost. En effet, les plantes avaient une hauteur plus importante, une plus grande surface foliaire et une masse racinaire totale élevée.

Les gibbérellines sont des hormones synthétisées dans les jeunes organes (graines, apex racinaire et des tiges...). Elles ont un rôle dans la reprogrammation du méristème apical des pousses végétatives en méristème inflorescentiel (Plackett and Wilson, 2017). Cette transition est influencée par la photopériode, l'âge de la plante, la vernalisation et les gibbérellines. Celles-ci vont augmenter le nombre de rameaux inflorescentiels (Plackett and Wilson, 2017), et donc avoir un impact sur le nombre de fleurs qui par la suite, après une pollinisation, donneront des fruits. Ce phénomène pourrait être une explication sur le fait que les plantes TP aient plus de fruits que les piments TM et TF et autant que les piments témoins, E et P24 et P48.

En résumé, d'après les résultats obtenus, les fertilisations faites avec les engrais liquides organiques du type émulsion de poisson, purins (P24 et P48) et thé de compost de Pousse-menu (TP) ont donné des effets sur les piments équivalents aux piments fertilisés avec de l'engrais minéral. Le remplacement

de l'engrais inorganique par ce type de fertilisants apparaît donc comme une solution. De plus, les engrais organiques liquides s'avèrent être aussi bénéfiques pour l'environnement, grâce notamment aux quantités de matières organiques qu'ils apportent. En effet, l'application à long terme d'engrais minéraux sans apport de matière organique peut accélérer la minéralisation de l'humus et la dégradation du sol avec toutes les conséquences négatives (lessivage de l'azote, disponibilité accrue d'éléments toxiques pour les plantes, énergie lente pour les microorganismes du sol, etc.).

L'application d'engrais organiques permet d'obtenir des rendements stables à long terme tout en maintenant le sol à une qualité optimale (gestion durable à long terme avec la matière organique du sol, et prolifération des micro-organismes du sol nécessaire pour une minéralisation optimale) (Menšík et al., 2018).

Cependant, ces fertilisants organiques ont aussi des désavantages non négligeables. L'émulsion de poisson utilisée représente un certain coût économique, avec un prix moyen de 14.50€/kg contre 10€/kg pour l'engrais minéral, plus riche en NPK que l'émulsion. De plus, les quantités à appliquer ne sont pas les mêmes selon les engrais compte tenu de leurs concentrations. En plus de la contrainte coût et quantité, lors de l'essai, il était nécessaire de faire des traitements d'émulsion de poisson tous les 10 jours car le dosage à administrer était trop important avec la dilution, ce qui entraînait des risques de lessivage. Concernant les thés de compost, ici aussi, des contraintes temps et quantité sont à prendre en compte. Les thés étaient pauvres en éléments minéraux, et afin de respecter les besoins des piments en NPK, des volumes importants étaient à fabriquer pour seulement 5 plantes. Pour un ratio de 1 volume de compost pour 2 d'eau, il fallait 10.5 kg pour 21 L d'eau. De plus, pour des questions de lessivage, les traitements étaient effectués tous les 10 jours (avec 3L de thé par plante, soit 6L tous les 20 jours).

Les résultats obtenus, de façon globale, laissent supposer que ce sont les plantes ayant été fertilisées avec l'engrais minéral, l'émulsion de poisson, les purins et le thé de compost de Pousse-menu qui auront les rendements les plus élevés. Concernant la concentration en capsaïcine des piments, des études bibliographiques présentent des résultats intéressants. L'application d'engrais organiques stimule l'absorption d'oligo-éléments essentiels tels que le fer, le manganèse et le zinc. En effet, ces engrais vont nourrir les micro-organismes présents dans la rhizosphère. Par conséquent, les plantes fertilisées avec des engrais organiques seront plus riches en éléments minéraux, ceux-ci représentant un facteur de qualité pour la santé humaine. De plus, ces nutriments minéraux peuvent également favoriser la biosynthèse d'acides organiques et d'acides aminés, de par leurs associations avec de nombreuses enzymes métaboliques (Watanabe et al., 2015).

Les thés de composts comprennent des substances humiques, par conséquent, comme plus haut avec l'essai Substrats, celles-ci peuvent influencer la concentration des piments en antioxydants comme la

capsaïcine, ou encore les pigments et autres composants (Aminifard et al., 2012b, 2012a; Karakurt et al., 2009).

Indépendamment des essais Substrats et Fertilisants, les conditions climatiques sur un toit en plein centre-ville peuvent se révéler difficiles pour une plante. Les températures de cet été sur le toit du palais des Congrès ont été relativement élevées de jour comme de nuit, laissant peu de différences de température entre le jour et la nuit. Cela a eu comme effet de provoquer des avortements chez la plupart des piments des deux essais. Ces avortements ont touché aussi bien les bourgeons et les inflorescences que les jeunes fruits. En effet, de faibles différences de température entre le jour et la nuit ou encore une période prolongée avec de fortes chaleurs, provoquent chez certaines plantes l'avortement de structures reproductives. De plus, *Capsicum annuum* est une espèce qui est particulièrement sensible à ce phénomène (Wubs et al., 2009).

Outre les symptômes de carences sur feuilles des piments, des lésions dues à une forte concentration d'ozone sur le toit ont été observées. L'ozone est d'autant plus présent lors des périodes à fortes chaleurs et dans les zones à forts ensoleillements (Rakmani, 2015). Ces deux conditions sont retrouvées sur le toit du Palais des Congrès.

VI. Conclusion et Perspectives

Les objectifs concernant l'essai Substrats étaient de déterminer le potentiel de différents substrats issus de résidus urbains comme support de culture. Les résultats ont montré que les composts s'avéraient être de bons candidats contrairement aux substrats de champignonnière épuisés.

Ces substrats sont composés majoritairement de bran de scie, ce qui leurs procurent une bonne porosité mais une mauvaise rétention d'eau amenant à des lessivages, une dégradation moyenne de la matière organique avec des risques de « faim d'azote ». Dans le but de réduire tous ces inconvénients, des mélanges avec d'autres substrats comme du compost pourraient améliorer certaines conditions (meilleure rétention d'eau, meilleur ratio C/N limitant la « faim d'azote » ...) dans le but de devenir un support de culture plus adapté à une production. Un des buts de cette étude n'étant pas d'éliminer les potentiels substrats candidats mais au contraire, de pouvoir les améliorer pour favoriser l'économie circulaire et la revalorisation des résidus urbains.

Les composts se révèlent aussi plus performants face aux témoins poussant dans un terreau horticole classique. Les données prélevées sur les piments d'Espelette poussant dans les deux composts décrivent des plantes plus hautes, avec des taux de chlorophylle plus élevés, un nombre d'inflorescences puis de fruits plus importants (et donc un rendement plus important) que dans les autres conditions. Malgré le fait que l'analyse de la capsaïcine n'est pas eu lieu, la bibliographie montre que la présence de substances humiques peut influencer les concentrations en capsaïcine, en sucres

solubles et autres molécules (Aminifard et al., 2012b, 2012a; Karakurt et al., 2009). Ces résultats s'expliquent par de nombreux facteurs dont la richesse en matière organique, en substances humiques et la disponibilité variée en éléments minéraux, leurs disponibilités en eau et leurs porosités, un pH adapté à la plante. Leurs rôles en tant que support de culture étant validés, il serait intéressant pour les essais futurs de ne pas utiliser de fertilisant afin de voir le potentiel des composts à la fois en tant que support de culture mais aussi en tant qu'amendement, les composts étant plus généralement utilisés comme amendement que comme support de culture. L'utilisation d'une plante pérenne serait plus intéressante et permettrait de se rendre compte des effets à long terme du compost sur la croissance et le développement dans un premier temps puis dans un second temps sur le rendement pour accroître la rentabilité du compost. Pour cet essai, il faudrait un minimum de 30 individus par condition, dans le but de pouvoir réaliser des tests statistiques intéressants. En fonction des résultats, des carences observées et autres, des améliorations pourraient être ajoutées. A la vue de la grande variété de composts possibles, un compost d'origine végétale, un autre d'origine animale et un mélange de ces deux composts pourraient être comparés. S'ajouteraient à ceux-ci les mêmes conditions mais avec l'ajout d'un fertilisant adapté aux besoins de la plante, dans le but de voir s'il y a des différences significatives entre l'ajout d'un fertilisant et le compost seul. Le compost est un matériau intéressant par ses propriétés, son coût avantageux mais aussi son effet sur l'environnement, d'où l'importance de pousser son utilisation pour des cultures diverses.

Les objectifs visés concernant le biostimulant étaient de connaître les effets de celui-ci sur la santé, la croissance et le développement des plantes traitées. Dans l'essai, le biostimulant n'a pas eu d'effets visibles sur les piments d'Espelette traités. Une des raisons principales étant que les piments étaient en trop bonne condition pour qu'il y ait un effet visible sur les plantes. Cependant, le biostimulant microbien n'a pas eu d'effets visibles non plus sur les piments poussant dans les substrats très carencés en azote, magnésium et fer. Le biostimulant choisi était peut-être inadapté à la culture des piments, les composts comprenant déjà une microflore et les substrats de champignonnière étant trop riches en carbone et/ou le milieu et l'environnement ne convenait pas à ce type de micro-organismes. Les biostimulants sont efficaces lorsque les plantes rencontrent des stress abiotiques, il n'est pas toujours nécessaire de les utiliser dans le cas où une culture se porte bien. Cependant, certains biostimulants ont des effets sur la qualité de la culture, comme notamment l'augmentation de la capsaïcine chez des piments traités avec un biostimulant constitué d'acides humiques ou fulviques (Aminifard et al., 2012b, 2012a). Compte tenu de ce type de résultats, l'utilisation d'un biostimulant dans le but d'améliorer la qualité d'une production, d'une culture ou d'améliorer la tolérance à un stress biotique ou abiotique des plantes peut se révéler être une perspective intéressante au niveau des résultats attendus. Par la suite, selon les résultats, une étude économique sur la rentabilité de ces biostimulants pourrait être mise en place.

Le but de l'essai Fertilisants était dans un premier temps de connaître la valeur fertilisante des nouveaux fertilisants organiques liquides sur la croissance et le développement des piments d'Espelette, et dans un second temps d'évaluer les rendements obtenus pour évaluer l'efficacité générale de ces engrais. L'ensemble des fertilisants organiques utilisés était comparé à un engrais minéral. Les données obtenues ont montré que les plantes fertilisées avec l'émulsion de poisson, les purins et le thé de compost issu du compost Pousse-menu avaient des résultats équivalents à ceux obtenus chez les piments traités avec l'engrais minéral, tant pour le développement général de plante que pour le rendement supposé en fonction du nombre de fruits par plante. Quant à la qualité des fruits, des études montrent que les engrais organiques amènent à des concentrations en éléments minéraux plus importantes dans les fruits par rapport à un engrais minéral. De ce fait, ces engrais organiques apparaissent comme une solution de remplacement à l'engrais minéral, d'autant plus que les engrais organiques sont plus bénéfiques à long terme pour la culture et l'environnement. Cependant le thé de compost de Pousse-menu reste un cas spécifique, les autres thés n'ayant pas aussi bien fonctionnés. Malgré ces résultats prometteurs, des coûts économiques sont à prendre en compte (notamment pour l'émulsion), de même que du temps et de la rigueur pour la fabrication des purins et du thé de compost. Dans cet essai certains fertilisants sont sortis du lot en égalant l'efficacité d'un engrais minéral. Dans le but d'avoir une idée plus précise des effets des fertilisants sur une culture, l'essai pourrait être refait en utilisant plus d'individus (> 30 pour l'utilisation de tests statistiques plus efficaces) mais avec moins de fertilisants à tester. Ces fertilisants seraient le purin 48h (concentration NPK plus élevé que celui à 24h), l'émulsion de poisson, le thé de compost de Pousse-menu et l'engrais minéral qui servirait de nouveau de témoin. L'idéal serait, ici aussi, d'utiliser une plante pérenne pour évaluer les effets sur la plante sur le long terme, autant sur la plante que dans le terreau utilisé. Ce dernier devra être un terreau basique afin de pouvoir voir les impacts des fertilisants à long terme sur le substrat, tant au niveau des nutriments apportés que dans l'activité biologique de ce dernier (les thés de compost contribuant à la vie biologique d'un sol). Une analyse sur l'impact de ces fertilisants sur la qualité de la culture/du fruit pourrait être ajoutée à cet essai, les engrais organiques ayant pour effet d'augmenter les éléments minéraux contenus dans les fruits (Watanabe et al., 2015). Enfin, à la fin de l'étude, il serait essentiel, en fonction de l'ensemble des résultats collectés, de mesurer la rentabilité économique mais aussi l'impact environnemental de ces fertilisants.

L'ensemble des essais proposés sont cependant difficilement réalisables dans un contexte urbain, les surfaces étant limitées et le climat n'étant pas toujours adapté à la culture de plantes pérennes (conditions hivernales difficiles notamment au Québec).

Bibliographie

- Ackerman, K., Conard, M., Culligan, P., Plunz, R., Sutto, M.-P., Whittinghill, L., 2014. Sustainable Food Systems for Future Cities: The Potential of Urban Agriculture. *Econ. Soc. Rev.* 45, 189–206.
- Adesemoye, A.O., Torbert, H.A., Kloepper, J.W., 2008. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. *Can. J. Microbiol.* 54, 876–886. <https://doi.org/10.1139/w08-081>
- Aminifard, M.H., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H., Jaafar, H.Z.E., 2012a. Effect of Humic Acid on Antioxidant Activities and Fruit Quality of Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Herbs Spices Med. Plants* 18, 360–369. <https://doi.org/10.1080/10496475.2012.713905>
- Aminifard, M.H., Aroiee, H., Nemati, H., Hawa Z. E Jaafar, 2012b. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. *Afr. J. Biotechnol.* 11, 13179–13185. <https://doi.org/10.5897/AJB12.1507>
- Bernal, M.P., Sommer, S.G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., Michel, F.C., 2017. Chapter Three - Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 143–233. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>
- Boulanger-Fassier, S., 2013. Le piment d'Espelette AOC : un produit emblématique du territoire basque, une filière dynamique et une notoriété à protéger. *Sud-Ouest Eur. Rev. Géographique Pyrén. Sud-Ouest* 97–109. <https://doi.org/10.4000/soe.460>
- Bourguignon, C., Bourguignon, L., 2008. *Le sol, la terre et les champs: pour retrouver une agriculture saine.*, Sang de la Terre. Paris.
- Burnett, S.E., Mattson, N.S., Williams, K.A., 2016. Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables, and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States. *Sci. Hortic., Recent advances in organic horticulture technology and management - Part 1* 208, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.001>
- Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383, 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- CAVAILHES, J., WAVRESKY, P., n.d. Les effets de la proximité de la ville sur les systèmes de production agricoles 7.
- Cayuela, M.L., Millner, P.D., Meyer, S.L.F., Roig, A., 2008. Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. *Sci. Total Environ.* 399, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.031>
- Cotineau J. S., Cabeau Payet I, Bourglan, Y., 2011. Bulletin d'Information des Producteurs - Spécial Substrats. *Armefflor* 1–6.
- Craigie, J.S., 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23, 371–393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- Daniel, A.-C., 2013. Aperçu de l'Agriculture Urbaine en Europe et en Amérique du Nord. *AgroParisTech*.
- Diacono, M., Montemurro, F., 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 401–422. <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>
- Duchaufour, 1950. Observations sur "la Faim d'Azote" de l'Epicea. *Rev. For. Fr.* 1–5. <https://doi.org/10.4267/2042/27642>
- Duelund, L., Mouritsen, O.G., 2017. Contents of capsaicinoids in chillies grown in Denmark. *Food Chem.* 221, 913–918. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.074>
- Egamberdiyeva, D., Höflich, G., 2004. Effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan. *J. Arid Environ.* 56, 293–301. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00050-8)
- El-Tarabily, K.A., Nassar, A.H., Hardy, G.E.S.J., Sivasithamparam, K., 2003. Fish emulsion as a food base for rhizobacteria promoting growth of radish (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) in a sandy soil. *Plant Soil* 252, 397–411. <https://doi.org/10.1023/A:1024729620154>

- Evans, K.J., Palmer, A.K., Metcalf, D.A., 2013. Effect of aerated compost tea on grapevine powdery mildew, botrytis bunch rot and microbial abundance on leaves. *Eur. J. Plant Pathol.* 135, 661–673. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0103-5>
- Fabrizio, A., Tambone, F., Genevini, P., 2009. Effect of compost application rate on carbon degradation and retention in soils. *Waste Manag.* 29, 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.010>
- Feller, 1995. Echelle BBCH des stades phénologiques des légumes dans la famille des Solanacées.
- Gao, Y., Yu, H., Liu, P., Ma, C., Li, Q., Jiang, W., 2018. Ending composting during the thermophilic phase improves cultivation substrate properties and increasing winter cucumber yield. *Waste Manag.* 79, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.048>
- Gendron, M.C., 2017. L'agriculture urbaine à Montréal : vers un nouveau paradigme de production alimentaire? | VRM - Villes Régions Monde.
- Geoffriau, E., 2010. Introduction aux concepts et types d'agriculture urbaines.
- Geoffriau, E., Cannavo, P., Galopin, G., Chantoiseau, E., Bournet, P., Coisnon, T., Rousselière, D., De Bon, H., 2017. *Urban Horticulture*.
- Goetz, P., Le Jeune, R., 2012. *Capsicum annuum* et *Capsicum frutescens* Piment. *Phytothérapie* 10, 126–130. <https://doi.org/10.1007/s10298-012-0691-4>
- Griffin, T.S., Hutchinson, M., 2007. Compost maturity effects on nitrogen and carbon mineralization and plant growth. *Compost Sci. Util.* 15, 228–236. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2007.10702338>
- Guide de référence en fertilisation, 2e Edition. ed, 2010. . CRAAQ.
- Gurung, T., Techawongstien, S., Suriharn, B., Techawongstien, S., 2011. Impact of environments on the accumulation of capsaicinoids in capsicum spp. *HortScience* 46, 1576–1581.
- Haghighi, M., Barzegar, M.R., da Silva, J.A.T., 2016. The effect of municipal solid waste compost, peat, perlite and vermicompost on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) growth and yield in a hydroponic system. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 5, 231–242. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0133-7>
- Hallett, S., Hoagland, L., Toner, E., 2016. Urban Agriculture: Environmental, Economic, and Social Perspectives, in: *Horticultural Reviews*. pp. 65–120. <https://doi.org/10.1002/9781119281269.ch2>
- Hargreaves, J.C., Adl, M.S., Warman, P.R., 2009. Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *J. Sci. Food Agric.* 89, 390–397. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3456>
- Harvell, K.P., Bosland, P.W., 1997. The Environment Produces a Significant Effect on Pungency of Chiles. *HortScience* 32, 1292–1292.
- Hewidy, M., Traversa, A., Kheder, M.B., Ceglie, F., Coccozza, C., 2015. Short-Term Effects of Different Organic Amendments on Soil Properties and Organic Broccoli Growth and Yield. *Compost Sci. Util.* 23, 207–215. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2015.1038400>
- Ingham, E., 1999. What is compost tea. *Part Biocycle* 40, 74–75.
- Islam, M.K., Yaseen, T., Traversa, A., Ben Kheder, M., Brunetti, G., Coccozza, C., 2016. Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste Manag.* 52, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.042>
- Jacques, D., 2012. Évaluation du potentiel de l'agriculture urbaine en contexte montréalais à répondre aux trois sphères du développement durable 70.
- Karakurt, Y., Unlu, Husnu, Unlu, Halime, Padem, H., 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Acta Agric. Scand. Sect. B - Plant Soil Sci.* 59, 233–237. <https://doi.org/10.1080/09064710802022952>
- Keeling, A.A., McCallum, K.R., Beckwith, C.P., 2003. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. *Bioresour. Technol.* 90, 127–132. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00125-1)
- Kim, M.J., Shim, C.K., Kim, Y.K., Hong, S.J., Park, J.H., Han, E.J., Kim, J.H., Kim, S.C., 2015. Effect of Aerated Compost Tea on the Growth Promotion of Lettuce, Soybean, and Sweet Corn in

- Organic Cultivation. *Plant Pathol. J.* 31, 259–268. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.02.2015.0024>
- KOZAI, T., 2013. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 89, 447–461. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.447>
- Lugtenberg, B., Kamilova, F., 2009. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 63, 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
- Menšík, L., Hlisnikovský, L., Pospíšilová, L., Kunzová, E., 2018. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1933-3>
- Miransari, M., Smith, D.L., 2014. Plant hormones and seed germination. *Environ. Exp. Bot.* 99, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>
- Murray, R., Anderson, R.G., 2004. Organic fertilizers and composts for vegetable transplant production. *Univ. Ky. Agric. Exp. Stn., Floric* 04–17.
- Mustin, M., 1987. *Le Compost : Gestion de la matière organique*, Editions François Dubusc-Paris. ed.
- Opitz, I., Berges, R., Piorr, A., Krikser, T., 2016. Contributing to food security in urban areas: differences between urban agriculture and peri-urban agriculture in the Global North. *Agric. Hum. Values* 33, 341–358. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9610-2>
- Pant, A., Radovich, T.J.K., Hue, N.V., Arancon, N.Q., 2011. Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. *Compost Sci. Util.* 19, 279–292. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10737010>
- Pant, A.P., Radovich, T.J.K., Hue, N.V., Paull, R.E., 2012. Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Sci. Hortic.* 148, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.019>
- Parmar, P., Sindhu, S.S., 2013. Rhizosphere Bacteria, Potassium Solubilization, Mica Powder, Sugars, Environmental Conditions. *J. Microbiology Res.* 3, 25–31.
- Plackett, A.R.G., Wilson, Z.A., 2017. Gibberellins and Plant Reproduction, in: *Annual Plant Reviews Online*. American Cancer Society, pp. 323–358. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0540>
- Rakmani, A., 2015. Impact sur les paramètres agronomiques et physiologiques de l’ozone troposphérique sur le maïs en Ile-de-France 131.
- Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., Patolia, J.S., 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South Afr. J. Bot.* 75, 351–355. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.10.009>
- Ravindran, B., Wong, J.W.C., Selvam, A., Sekaran, G., 2016. Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste. *Bioresour. Technol., Special Issue on Bioenergy, Bioproducts and Environmental Sustainability* 217, 200–204. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.032>
- Reyes-Escogido, M. de L., Gonzalez-Mondragon, E.G., Vazquez-Tzompantzi, E., 2011. Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. *Molecules* 16, 1253–1270. <https://doi.org/10.3390/molecules16021253>
- Rodríguez, H., Fraga, R., Gonzalez, T., Bashan, Y., 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. *Plant Soil* 287, 15–21. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9056-9>
- Roman, H., Girault, T., Barbier, F., Péron, T., Brouard, N., Pěňčík, A., Novák, O., Vian, A., Sakr, S., Lothier, J., Le Gourrierc, J., Leduc, N., 2016. Cytokinins Are Initial Targets of Light in the Control of Bud Outgrowth1[OPEN]. *Plant Physiol.* 172, 489–509. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00530>
- Saygi, H., Turemis, N., 2017. Effect of organic and green manuring on soil quality and plant nutrient uptake in organically grown strawberry. *Acta Hortic.* 1164, 157–164. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1164.20>
- Smit, J., Ratta, A., Nasr, J., 1996. *Urban Agriculture : Food, Jobs and Sustainable Cities*. N. Y. UNDP.

- Stewart, C., Kang, B.-C., Liu, K., Mazourek, M., Moore, S.L., Yoo, E.Y., Kim, B.-D., Paran, I., Jahn, M.M., 2005. The Pun1 gene for pungency in pepper encodes a putative acyltransferase. *Plant J. Cell Mol. Biol.* 42, 675–688. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02410.x>
- Tarantino, A., Lops, F., Disciglio, G., Lopriore, G., 2018. Effects of plant biostimulants on fruit set, growth, yield and fruit quality attributes of ‘Orange rubis®’ apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivar in two consecutive years. *Sci. Hortic.* 239, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.055>
- Thillaigovindhan, N., 2017. Seaweed : A Fertilizer for Sustainable Agriculture, in: Sustainable Agriculture towards Food Security. Arulbalachandran Dhanarajan, India, pp. 159–174.
- Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U.B., Sawicka, M., 2015. Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renew. Agric. Food Syst.* 30, 43–54. <https://doi.org/10.1017/S1742170514000143>
- Tittarelli, F., Pezzarossa, B., Civilini, M., Benedetti, A., Sequi, P., 2007. Quality and agronomic use of compost, in: Compost Science and Technology, Waste Management Series. Elsevier, pp. 119–145.
- Tomati, U., Grappelli, A., Galli, E., 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol. Fertil. Soils* 5, 288–294. <https://doi.org/10.1007/BF00262133>
- Toonsiri, P., Grosso, D., J, S., Sukor, A., Davis, J.G., 2016. Greenhouse Gas Emissions from Solid and Liquid Organic Fertilizers Applied to Lettuce. *J. Environ. Qual.* 45, 1812–1821. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.12.0623>
- Tragin, M., 2018. Les biostimulants, un nouveau moyen pour agir sur la qualité des plantes.
- UN-HABITAT, 2016. World Cities Report 2016: Urbanization and Development – Emerging Futures. UN-HABITAT.
- Usmani, Z., Kumar, V., Rani, R., Gupta, P., Chandra, A., 2018. Changes in physico-chemical, microbiological and biochemical parameters during composting and vermicomposting of coal fly ash: a comparative study. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1893-6>
- Vera-Guzmán, A.M., Aquino-Bolaños, E.N., Heredia-García, E., Carrillo-Rodríguez, J.C., Chávez-Servia, S.H.-D. and J.L., 2017. Flavonoid and Capsaicinoid Contents and Consumption of Mexican Chili Pepper (*Capsicum annum* L.) Landraces. *Flavonoids - Biosynth. Hum. Health.* <https://doi.org/10.5772/68076>
- Verkleij, F.N., 1992. Seaweed Extracts in Agriculture and Horticulture: a Review. *Biol. Agric. Hortic.* 8, 309–324. <https://doi.org/10.1080/01448765.1992.9754608>
- Wang, K., Li, D.F., Liu, H.T., Han, X.Y., Duan, B., Li, C.Y., Li, J.G., Guo, X.L., Chen, C.Y., Yan, J., 2014. Systematic Calculations of Energy Levels and Transition Rates of C-like Ions with $Z = 13-36$. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 215, 26. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/215/2/26>
- Watanabe, M., Ohta, Y., Licang, S., Motoyama, N., Kikuchi, J., 2015. Profiling contents of water-soluble metabolites and mineral nutrients to evaluate the effects of pesticides and organic and chemical fertilizers on tomato fruit quality. *Food Chem.* 169, 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.155>
- Wubs, A.M., Heuvelink, E., Marcelis, L.F.M., 2009. Abortion of reproductive organs in sweet pepper (*Capsicum annum* L.): A review. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84, 467–475. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512550>
- Yi, Y.-B., 1987. Transport et Rôle des Gibbérellines lors de la Floraison, de la Fructification et de la Germination de la Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois, Lille.
- Zodape, S.T., Kawarkhe, V.J., Patolia, J.S., Warade, A.D., 2008. Effect of liquid seaweed fertilizer on yield and quality of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *J. Sci. Ind. Res.* 67, 1115–1117.

n.d = Non daté

Sitographie

- About biostimulants and the benefits of using them | European Biostimulants Industry Council, [WWW Document], n.d. URL <http://www.biostimulants.eu/about/what-are-biostimulants-benefits/> (accessed 6.6.18)
- AU/LAB – Laboratoire sur l’agriculture urbaine, [WWW Document] n.d. URL <http://www.au-lab.ca/> (accessed 6.8.18)
- Chapitre 3 : La santé des sols [WWW Document], n.d. . Produire Plus Avec Moins. URL <http://www.fao.org/ag/save-and-grow/fr/3/index.html> (accessed 5.2.18).
- FAO, n.d. L’agriculture urbaine [WWW Document]. Food Agric. Organ. U. N. URL <http://www.fao.org/urban-agriculture/fr/> (accessed 7.22.18).
- L’échelle BBCH pour les légumes de la famille des solanacées [WWW Document], 2016. . Syngenta Fr. URL <https://www.syngenta.fr/agriculture-durable/reglementation/dossier-bbch/article/echelle-bbch-legumes-famille-solanacees> (accessed 6.18.18).
- Le piment Basque Gorria [WWW Document], n.d. . Biperduna Prod. Piment Espelette Bio. URL <https://www.piment-espelette.info/piment-basque-gorria/> (accessed 7.11.18).
- Piment d’Espelette AOP AOC [WWW Document], n.d. . Maison Piment. URL <https://www.lamaisondupiment.com/content/60-piment-espelette-aoc-aop> (accessed 7.9.18).
- REFERTIL [WWW Document], n.d. . Quest Ce Quest Biocharbon Comment Prod. On. URL <http://www.refertil.info/sme/fr/quest-ce-que-cest-est-le-biocharbon-et-comment-lon-produit> (accessed 6.14.18).
- Smart Pot | The Award Winning Fabric Container [WWW Document], n.d. . Smart Pot. URL <https://smartpots.com/> (accessed 6.18.18).
- Supagro, n.d. La faim d’azote [WWW Document]. URL http://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/FaimAzote_1.html (accessed 8.25.18).

n.d = Non daté

Annexes

Annexe I : p-value obtenues lors des tests de Kruskal-Wallis sur l'Essai Substrats et l'Essai Fertilisants

	Test de Kruskal-Wallis				Test de Student
	Hauteur plante	Chlorophylle	Nombre d'inflorescences	Nombre de fruits	Longueur Entre- nœud
Substrats					
C	p-value : 0,08142	p-value : 6,063e-05	p-value : 2,2e- 16	p-value : 2,2e- 16	
CB					
CBI					
P					
PB					
M					
MB					
TB					
CONTROL					
					P-PB comparé à M-MB : p-value : 4,22e-05
					P-PB comparé à TB-CONTROL : p- value : 2,076e-05
					M-MB comparé à TB-CONTROL : p-value : 0,7227
Fertilisants					
AL	p-value : 0,09901	p-value : 0,4331	p-value : 2,2e- 16	p-value : 2,2e- 16	
E					
P24					
P48					
TM					
TP					
TF					
CONTROL					

	Diplôme : Master Mention : Biologie Végétale (BV) Parcours : Qualité des Productions Spécialisées
Auteur(s) : Clémentine POINTEREAU Date de naissance* : 08/06/1995	Organisme d'accueil : Laboratoire sur l'Agriculture Urbaine (AU/Lab)
Nb pages : Annexe(s) : 1	Adresse : 2349 Rue de Rouen,
Année de soutenance : 2018	Montréal (QC) H2K 1L8, Canada Maître de stage : Éric DUCHEMIN
Titre français : Essais de différents substrats issus de résidus urbains, de fertilisants liquides et d'un biostimulant sur le rendement et la qualité du piment d'Espelette cultivé dans un contexte d'agriculture urbaine. Titre anglais : Tests of different substrates from urban residues, liquid organic fertilizers and a biostimulant on the yield and quality of Espelette pepper grown in an urban agriculture context.	
Résumé : Dans un premier temps, cette étude a pour objectif d'analyser le potentiel de différentes matières issues de résidus urbains comme support de culture pour des piments d'Espelette (<i>Capsicum annuum</i> L.). Ces substrats testés sont des composts et un substrat de champignonnière épuisé. Ils sont comparés avec un témoin poussant dans du terreau horticole. Les données mesurées sur les plantes (croissance, nombre d'inflorescences et de fruits, rendement, teneur en capsaïcine...) et les substrats (pH, composition chimique...) ont montré que les piments d'Espelette se développaient mieux dans les composts. En parallèle un biostimulant est aussi testé dans le but de connaître les effets qu'il peut avoir sur le développement général de la plante. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas eu d'effets visibles. Dans un second temps, une autre expérimentation est mise en place, visant à tester l'efficacité de fertilisants organiques liquides en analysant les effets de ceux-ci sur la croissance, le développement et le rendement et la qualité d'Espelette. Les fertilisants testés sont des thés de compost (issus de trois composts différents), des purins, un extrait d'algues et une émulsion de poisson. L'engrais minéral sert de témoin. Les piments fertilisés avec les purins, l'émulsion de poisson et l'un des thés de compost présentent des résultats équivalents à ceux obtenus avec l'engrais minéral.	
Abstract : Firstly, this study aims to analyse the potential of different materials from urban residues as a growth medium for Espelette peppers (<i>Capsicum annuum</i> L.). These tested substrata are composts and a spent mushroom substrata. They are compared with a control crop grown in horticultural compost. The data measured on the plants (growth, number of inflorescences and fruits, yield, capsaicin content, etc.) and the substrates (pH, chemical composition, etc.) showed that Espelette peppers grew better in composts. In parallel a biostimulant is also tested in order to know the effects that it can have on the general development of the plant. The results showed that there were no visible effects. A second experiment aims to test the effectiveness of liquid organic fertilizers by analyzing the effects of these on the growth, development and the yield and quality of Espelette peppers. Fertilizers tested are compost teas (from three different composts), purines, seaweed extract and fish emulsion. Mineral fertilizer serves as a control. Peppers fertilized with manure, fish emulsion and one of the compost teas have results equivalent to those obtained with the mineral fertilizer.	
Mots-clés : Compost, fertilisants organiques, thé de compost, rendement, piment d'Espelette, agriculture urbaine Key Words : Compost, organic fertilizers, compost tea, yield, Espelette pepper, urban agriculture	