HAL
open science

Développement de systèmes hors-sol innovants pour jardins urbains : projet national prod'urban

Abdellatif Cherrared

To cite this version:

Abdellatif Cherrared. Développement de systèmes hors-sol innovants pour jardins urbains : projet national prod'urban. Sciences de l'environnement. 2016. hal-01824253

HAL Id: hal-01824253

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01824253v1

Submitted on 27 Jun 2018

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

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

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

DEVLOPPEMENT DE SYSTÈMES HORS-SOL INNOVANTS POUR JARDINS URBAINS — PROJET NATIONAL PROD'URBAN

MASTER BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE POUR LA FORÊT, L'AGRONOMIE ET L'ENVIRONNEMENT
Spécialité : **FONCTIONNEMENT ET GESTION DES ÉCOSYSTÈMES**
Option : **AGROÉCOLOGIE**
2015 /2016

ABDELLATIF CHERRARED

Mémoire de stage de master 2, soutenu à Nancy le 07/09/2016
Tuteur : Nathalie VIALLES, Responsable d'expérimentation ASTREDHOR Seine Manche
Enseignant référent : Alice MICHELOT-ANTALIK, Maître de conférences à l'ENSAIA
Organisme d'accueil : Institut technique de l'horticulture ASTREDHOR,
Station d'expérimentation ASTREDHOR SEINE-MANCHE.
Route forestière des Princesses. 78100 SAINT-GERMAIN-EN-LAYE

Résumé

Les systèmes de cultures innovants représentent une solution aux problèmes actuels de surutilisations des ressources fossiles en eau et en intrants dans le domaine horticole. Ces systèmes répondent aussi à la demande de plus en plus croissante de production végétale en milieu urbain par des particuliers et des professionnels. Durant notre étude, nous avons mis en place différents essais en aéroponie et nous les avons comparés à un système de production classique. Pour cela, nous avons sélectionné différentes gammes de plantes : aromatiques, fleuries et fruitières pour répondre aux différents enjeux de productions alimentaires et ornementales. Les résultats de notre étude ont montré que la culture classique donne de meilleures performances au niveau de la hauteur, de la biomasse finale et de la qualité des plantes. Cependant, les résultats de reprise végétative en système de culture innovant (cultures verticales adaptées à des espaces urbains limités) ont montré de très bons résultats après un développement végétatif en aéroponie. En améliorant le système en aéroponie et en réussissant à mieux contrôler les paramètres de croissance, il serait alors possible d'envisager la culture en aéroponie comme une solution pour permettre une production horticole et alimentaire plus durable en ville.

Abstract

Innovative cropping systems represent a solution to the current problems of over-use of fossil water resources and inputs in the horticultural field. These systems also answer to the increasing demand of crop production in urban areas by individuals and professionals. During our study, we have tested various aeroponics culturs and we compare them to conventional production system. For this, we selected different ranges of plants: aromatic, floral and fruit to answer to the different challenges of food and ornamental productions. The results of our study have shown that classical culture offer better performance for the height, the final biomass and the quality of plants. However, the results of vegetative cover in innovative culture systems (vertical crops adapted to limited urban spaces) showed very good results after a vegetative development in aeroponics. By improving the aeroponics system and managing to better control the growth parameters, it would be possible to consider culture in aeroponics as a solution to allow more sustainable horticultural and food production in urban zones.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à adresser mes plus sincères et vifs remerciements et à exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à mes encadrants, Mlle Nathalie VIALLES et M. Elias RODRIGUEZ, pour leur encadrement, leurs orientations judicieuses qui m'ont été infiniment utiles pour surmonter beaucoup de difficultés.

Je remercie Mme Alice MICHELOT-ANTALIK qui m'a accompagné avec beaucoup de délicatesse et de pédagogie tout au long de mon stage. Je lui suis particulièrement reconnaissante de m'avoir fait transmettre ses connaissances.

Merci à Mlle Charlotte ROBERT et M. Mathieu COUSSY mes deux binômes qui ont su m'aider et participer au bon déroulement de mon stage..

Je tiens à exprimer ma gratitude reconnaissance à tout le personnel de ASTREDHOR pour m'avoir permis de travailler au sein de leur équipe afin réaliser mon expérimentation.

Mes remerciements s'adressent aussi, Mlle Nina BAYER, pour son orientation et ses conseils.

En fin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Sommaire

I. INTRODUCTION 1
I.1. Contexte général 1
I.1.1. L'agriculture en ville 1
I.1.2. Les formes de l'agriculture en ville 2
I.1.3. Les fonctions de l'agriculture en ville 3
I.1.4. L'agriculture urbaine et l'horticulture : 4
I.1.5. Présentation de l'organisme d'accueil 4
I.1.6. Projet PROD'URBAN 5
I.1.7. Missions du stagiaire au sein de l'équipe 5
1.2. Hypothèses et objectifs du projet 5
II. MATÉRIEL ET MÉTHODES 5
II.1. Test 1 : comparaison aéroponie/culture classique 6
II.1.2. Matériel végétal 7
II.1.3. La culture en aéroponie 7
II.1.4. La culture classique 10
II.2. Test 2 : Évaluation de la reprise végétative 11
II.2.1. Les supports innovants 11
III. RÉSULTATS 12
III.1. Comparaison des trois modalités d'aéroponie 12
III.1.1. Différences de hauteurs entre les 3 modalités d'aéroponie 12
III.1.2. Différence de qualité entre les modalités d'aéroponie 15
III.2. Différences entre les modes de culture 15
III.2.1. Comparaisons des performances des plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique, toutes gammes confondues. 16
III.2.2. Comparaisons des performances des plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique par gamme de plantes. 17
III.2.3. Comparaisons des performances des plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique pour certaines espèces particulières dans la gamme aromatique. 19
III.2.4. Comparaison des masses fraiches finales 20
III.3. Évaluation de la reprise végétative sur les supports innovants 22
III.3.1. Masses fraiches par support innovant 22
IV. DISCUSSION 22
IV.1. Comparaison des trois modalités d'aéroponie. 22
IV.2. Comparaisons des performances de plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique 23
IV.3. Évaluation de la reprise végétative 24
V. CONCLUSION 24

I. INTRODUCTION

I.1. Contexte général

Depuis la fin du XXe siècle, plusieurs travaux de recherche ont montré que l'humanité fait face à un grand défi démographique. La population mondiale devrait passer de 7 à 9,2 milliards d'individus d'ici 2050, dont plus de 90 % dans les pays en voie de développement (FA0, 2012), les études supposent ainsi que 70-80 % de cette population mondiale sera regroupée en zones urbaines (UN-Habitat, 2008). Cette croissance entrainera un plus grand besoin en ressources alimentaires et une plus importante production dans le monde entier. La gestion des déchets sera quadruplée dans la plupart des villes (Smith et al., 2004) car même si les villes ne représentent que 2 % de la surface terrestre, elles absorbent plus de deux tiers des ressources mondiales (Daniel, 2013 ; Giradet, 2008 ; Thomaier et al., 2014).

La distance entre les zones de consommation urbaines et les terres agricoles qui les approvisionnent modifie les écosystèmes en empêchant le recyclage des effluents, et en augmentant les émissions de gaz à effet de serre (Glaeser, 2011 ; Rees et al., 1996). Steel (Steel, 2012) souligne le dangereux décalage dans la relation entre les communautés de producteurs de denrées alimentaires et la population des zones urbaines et semi-urbaines (Thomaier et al., 2014).

I.1.1. L'agriculture en ville

Face aux multiples crises économiques, environnementales et sanitaires, et aux nouvelles tendances mondiales comme la raréfaction des ressources et le changement climatique, les concepteurs urbains se tournent une fois de plus vers les plantes : une infrastructure verte représente une stratégie clé pour réduire l'empreinte urbaine, garantir la sécurité alimentaire des urbains, et rendre les villes plus durables, en plus des avantages de gestion des eaux, la purification de l'air, la santé et le bien-être mental. Il est évident que durant ces dernières années, les projets d'agriculture en ville et dans sa périphérie ont augmenté, de même que leur rôle dans la réponse aux besoins alimentaires des zones urbaines (Ba et al., 2010). Ceci pose inévitablement question aux filières agricoles, mais aussi aux villes en termes d'aménagement et de stratégies de gestion des espaces pour demain. Ainsi, l'agriculture en ville participe à la production agricole dans les régions urbaines à destination de la population urbaine (Daniel, 2013).

Alors que l'intérêt pour l'agriculture urbaine connait une récente croissance dans les pays du nord, l'agriculture en ville est déjà étudiée depuis plus de 40 ans dans plusieurs pays du Sud. Depuis 1980, plusieurs études dans différents pays et différentes disciplines ont noté une croissante importance de l'agriculture dans les villes en Afrique. Alors que la première étude a porté sur la planification urbaine (Sanyal, 1985), d'autres recherches se sont intéressées au rôle de l'agriculture urbaine pour garantir la sécurité alimentaire (Lee-Smith et al., 1987 ; Freeman, 1991 ; Drakakis — Smith, 1992 ; Maxwell et Zziwa, 1992), ainsi que l'utilisation des espaces et les considérations environnementales (Sawio, 1993 ; Smit et Nasr, 1992 ; Maxwell, 1995).

En 2003, plus de 30 % de la consommation alimentaire des villes sud-méditerranéennes est assurée par l'agriculture urbaine (Padilla, 2004). À Madagascar, 85 % des tomates et 100 % des choux-fleurs consommés proviennent de l'agriculture urbaine (Dabat et al., 2004 ; Aubry et al., 2012). À Dakar, plus de 60 % des légumes sont autoproduits et consommés par les

urbains. Au Vietnam, jusqu'à 85 % des légumes proviennent de l'espace urbain et périurbain à Hanoi (Bruinsma, 2003 ; Nugent, 2000). L'agriculture en ville participe à la garantie de la sécurité alimentaire et augmente la résilience des villes, et d'après le RUAF (2010), les producteurs urbains sont les moins sensibles aux variations des prix des denrées alimentaires (Daniel, 2013).

La communauté urbaine des pays développés, quelle que soit sa diversité, se mobilise pour trouver des concepts fiables pour produire en ville, des produits de qualité et disponibles pour tous, tout en respectant l'environnement (gestion de l'eau, biodiversité, etc.). Cette récente volonté citoyenne fait face à de nombreuses contraintes : Urbanisation des surfaces agricoles, la pollution due à l'environnement urbain, et la concurrence pour la main d'œuvre (Daniel, 2013).

En ile de France, l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme s'interroge sur comment assurer l'alimentation de plus de 11 millions de Franciliens (Aubry, 2012). Même si la moitié du territoire francilien est agricole (figure 1), 90 % de la surface agricole utilisable est occupée par des grandes cultures (Céréales) qui sont vendues en circuit long ; cependant, 70 % des récoltes de fruits et légumes en ile de France sont vendus en circuits courts, renforçant ainsi les liens entre producteurs et consommateurs et développant une structure diversifiée de points de vente (Daniel, 2013 ; Aubry et Chiffoleau, 2009 ; Aubry et Kébir, 2013).

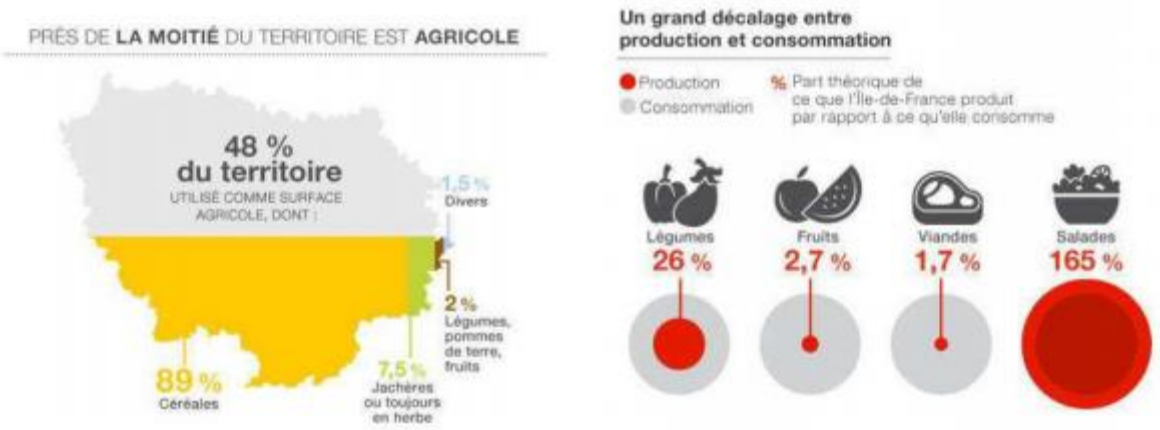

Figure 1 : À gauche : Proportion de terres agricoles en ile de France ; à droite : parts de la production et de la consommation de légumes, fruits, viandes et salades en ile de France (d'après Insee, Agreste, Ceser, Fire, Miremap) (Daniel, 2013)

Pour assurer les ressources alimentaires des urbains et leurs besoins d'espaces de nature, les demandes des acteurs porteurs de projets sont importantes pour situer la place de l'agriculture en ville dans les stratégies urbaines, et ainsi faire évoluer la législation.

I.1.2. Les formes de l'agriculture en ville

L'agriculture en ville est caractérisée par une grande diversité de situation, les projets sont conditionnés par de multiples variables : le système (marchand, non marchand), les acteurs (associations, particuliers, professionnels), les supports (pleine terre, substrat, eau) (Aubry, Bel et al, 2013). On retrouve différents types de projets de culture en ville :

- Les fermes périurbaines : regroupement de producteurs s'engageant à approvisionner directement leurs adhérents préfinanceurs avec une grande transparence sur les techniques de production.

- Les fermes en villes : représentent généralement des lieux d'échange et de formation au jardinage. Elles font face à une grande compétition foncière avec l'urbanisation, la vente se fait uniquement en circuit court.
- La production sur des toits d'immeubles : sous forme de carré potager, de sac de culture ou de culture en hydroponie utilisant plusieurs types de substrats organiques.
- Les potagers et jardins urbains : avec la prise en considération des enjeux environnementaux et l'évolution des mentalités des urbains, pour rendre leurs villes comestibles, plusieurs habitants de quartiers créent leur propre espace de jardinage ou adhérent à des associations pour gérer des jardins urbains avec différents systèmes de culture hors sol

I.1.3. Les fonctions de l'agriculture en ville

L'agriculture urbaine est caractérisée par une multifonctionnalité signalée à travers différentes sphères d'intervention : l'aménagement, l'environnement, l'économie, l'alimentation, la santé, le loisir, l'éducation et l'interaction sociale (Daniel, 2013).

- **Fonction alimentaire** : l'agriculture en ville fournit aux populations urbaines des fruits et légumes frais, cueillis à maturité et très peu transportés. Produire et consommer des produits frais contribuent à modifier quelques mauvaises habitudes alimentaires des urbains, et les interrogent sur leur manière de se nourrir et de vivre leur ville (Litt et al., 2011). Par exemple : Les jardins collectifs à Montréal assurent un approvisionnement à des centaines d'urbains et font ainsi pleinement partie du secteur agricole du Québec (Hista, 2007).
- **Fonctions sociales et économiques** : l'économie locale renforcée par l'agriculture en ville assure une sécurité contre la fluctuation des prix internationaux de denrées alimentaires, et offre de l'emploi direct et indirect (Armstrong, 2000). De plus, pour le budget alimentaire, le total des produits récoltés peut représenter un 13e mois dans l'année (Daniel, 2013).
- **Fonction environnementale** : L'agriculture en ville développe plusieurs fonctions environnementales, car elle offre de nombreux services pour l'écosystème urbain. D'une part, elle crée des corridors et des habitats écologiques pour la faune et la flore, via l'ensemble des zones végétalisées et productives urbaines. Elle contribue ainsi à la protection de la biodiversité. D'autre part, les producteurs urbains utilisent généralement des pratiques culturales respectueuses de l'environnement, utilisant un minimum d'intrants minéraux. En fin, l'agriculture en ville peut contribuer avec le recyclage et à la végétalisation des espaces urbains, à la réduction du bilan énergétique du transport et à la réduction des gaz à effet de serre en développant des circuits ultra-courts (Daniel, 2013).
- **Fonction paysagère** : L'agriculture en ville est la réponse à la demande de nature en zone urbaine. Une association française a constaté que plus de 50 % de personnes habitantes de quartiers populaires désirent cultiver un jardin urbain, un pourcentage qui continue à augmenter (Daniel, 2013).
- **Fonction pédagogique et récréative** : La ville peut représenter un support récréatif et pédagogique grâce aux nombreuses activités offertes par l'agriculture urbaine. Les jardins urbains et les fermes pédagogiques sont des moyens pour découvrir des techniques culturales et des systèmes de culture innovants et respectueux de l'environnement (Daniel, 2013).

I.1.4. L'agriculture urbaine et l'horticulture :

L'agriculture urbaine commence à être reconnue et certaines de ses techniques innovantes sont maintenant utilisées pour la production horticole et ornementale. Le développement de l'agriculture urbaine constitue donc une opportunité pour dynamiser la filière horticole et du paysage car celle-ci dispose d'un savoir-faire de premier ordre qu'elle peut transférer dans ce domaine. À la fois sur le plan de la création variétale que sur le développement d'itinéraires techniques complexes et innovants, mais aussi durant les étapes de conception, de création et d'entretien de ces nouveaux espaces urbains. Des pistes existent pour créer de nouveaux marchés pour les producteurs et les professionnels du paysage, mais aussi pour apporter plus de résilience à la ville. Ainsi, les enjeux environnementaux, économiques et écologiques y sont tout aussi importants. C'est pourquoi plusieurs techniques de production horticole s'appliquent maintenant aux principes de l'agriculture urbaine.

I.1.5. Présentation de l'organisme d'accueil

AREXHOR Seine-Manche, unité de bassin constituante de l'institut technique ASTREDHOR est né au 1er janvier 2007, de la fusion des organismes d'expérimentation d'Île-de-France et de Haute-Normandie. C'est un organisme associatif de droit privé, avec une gouvernance bien établie composée :

— Des groupements de producteurs horticoles (le Conseil horticole et le Cercle des horticulteurs d'ile de France, Horti.D et HortiPepi en Normandie), Florysage Normandie, Florysage Île-de-France), membres fondateurs de la structure ;

— Des Chambres d'agriculture d'Île-de-France et de Normandie, membres de droit de la structure.

— Les lycées, syndicats interprofessionnels, fournisseurs sont également des partenaires associés.

AREXHOR Seine Manche a été reconnue dans le cadre de la nouvelle qualification de l'institut technique comme unité de bassin constituante. À ce titre elle porte le projet de l'institut en région et le nom également d'ASTREDHOR Seine — Manche. Elle assure aujourd'hui une animation et une coordination de toutes les structures horticoles du bassin Seine-Manche, lequel couvre ses régions de compétences directes (Île-de-France, Haute-Normandie, Basse-Normandie), ainsi que les Hauts de France. Elle est répartie géographiquement sur 4 sites : Saint-Germain-en-Laye, Mont-Saint-Aignan, Fauville en Caux, Caen.

Parmi les principales missions d'ASTREDHOR Seine-Manche :

- Construire, piloter et exécuter des essais expérimentaux et des projets de recherche appliquée au profit des professionnels de la filière.
- Détecter les innovations proposées par la recherche et l'industrie.
- Diffuser et valoriser les résultats d'études auprès de ses adhérents.

Dans le cadre de la nouvelle qualification de l'institut technique, ASTREDHOR Seine Manche s'est vu confier une nouvelle mission :

- Élargir ses domaines d'activité sur les métiers de la « croissance verte ». Sont entendues par ce terme toutes les actions déclinées sur les bienfaits du végétal sur la société en général (mesure sur des effets sur la santé, la climatisation, les économies d'énergie, la dépollution de l'air et des eaux, les stratégies de protection et de mise en valeur de la nature en ville, le développement du jardin, les nouveaux dispositifs

de végétalisation, la valorisation des coproduits, sous-produits ou déchets d'autres secteurs...).

I.1.6. Projet PROD'URBAN

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche national intitulé PROD'URBAN 2016 dont AREXHOR Grand Est (autre unité de bassin de l'institut technique) et AREXHOR Seine-Manche sont partenaires et qui a pour objectifs de développer de nouveaux dispositifs de production de végétaux dans les situations urbaines très contraignantes (balcons, terrasses, murs et toitures végétalisées), favoriser des systèmes prêts à l'emploi tout en nécessitant peu d'entretien, notamment les systèmes présentant un circuit fermé pour l'irrigation, ce qui permet de limiter les pertes en eau et en éléments minéraux.

L'intérêt économique du projet est de rechercher et développer de nouveaux débouchés pour répondre aux nouvelles attentes des consommateurs urbains, ainsi que d'adapter les cultures ornementales aux contraintes spatiales des zones urbaines.

I.1.7. Missions du stagiaire au sein de l'équipe

Les missions confiées au sein de l'équipe ASTREDHOR Seine-Manche durant ce projet sont de :

- ✓ Valoriser les données pour partie acquises au sein du réseau de l'entreprise sur des systèmes déjà testés et les gammes de végétaux à utiliser selon le type de culture
- ✓ Établir un protocole précis pour assurer le suivi de l'essai et la prise de notation
- ✓ Assurer la mise en place des supports de culture sur le site d'expérimentation, avec les matériaux biologiques et minéraux nécessaires
- ✓ Constituer des gammes de plantes utilisables pour les différents systèmes de culture
- ✓ Assurer un suivi des systèmes avec des relevés réguliers sur la qualité des végétaux et la viabilité de leurs supports

1.2. Hypothèses et objectifs du projet

Les principaux objectifs du programme d'essai suivi sont :

- Réaliser un comparatif entre une culture traditionnelle sur un substrat, et une culture en aéroponie sur différentes gammes de plantes.
- Évaluer le comportement des gammes végétales dans de nouveaux systèmes de culture pour jardins urbains.
- Étudier le volet économique des systèmes de production, et évaluer l'attrait des producteurs horticulteurs à commercialiser ces systèmes.

Les hypothèses par rapport à ce travail sont les suivantes :

- Parmi les différents supports de culture, la performance de croissance en aéroponie sera plus élevée qu'en culture hors sol traditionnelle.
- La gestion de la culture aéroponique sera la plus simplifiée et nécessitera moins de temps d'intervention.
- Les plantes issues d'une culture en aéroponie seront plus faciles à transplanter dans de nouveaux systèmes de culture, et auront une meilleure tenue et une adaptation plus rapide.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude se divise en deux tests :

- Le test 1 correspond à une comparaison entre un système de culture en aéroponie et un système de culture classique en pot.

Figure 2 : Photo de la culture en aéroponie à gauche. À droite, la culture classique en pot

- Le test 2 correspond à l'évaluation de la reprise végétative d'une partie des plantes issues de la culture en aéroponie et une autre partie issues de la culture classique en pot. Les plantes sont donc replantées sur des supports innovants, s'appliquant au mieux aux principes de l'agriculture en ville, sur des sols imperméabilisés par l'urbanisation et des espaces contraignants comme les toitures d'immeubles ou les balcons d'appartements.

Figure 3 : Toiture du collège Henri-Matisse à Paris (20e)

II.1. Test 1 : comparaison aéroponie/culture classique

Ce test est réalisé sous un tunnel non réchauffé.

Figure 4 : Photo satellite de la station d'expérimentation ASTREDHOR SEINE MANCHE (site francilien). En rouge, le tunnel ou a été placé le Test 1

Station expérimentale de Saint-Germain-en-Laye
ASTREDHOR Seine-Manche

Route forestière des princesses. 78100 Saint-Germain-en-Laye
Coordonnées GPS : 48° 53' 54" N 2° 2' 50" E

II.1.2. Matériel végétal

Pour la réalisation de l'essai PROD'URBAN, une liste de quatorze espèces de plantes a été établie en se basant sur une autre étude en lien avec le projet, menée en 2015 par ASTREDHOR GRAND-EST, et un essai réalisé à la station d'ASTREDHOR SEINE-MANCHE. Cette sélection est aussi compatible aux attentes des urbains en terme de consommation des produits cultivés avec des gammes de plantes comestibles et fruitières. Elle répond d'autant à leurs besoins d'espace de nature dans les zones urbaines avec des plantes ornementales.

- Plantes aromatiques :
  - *Allium schoenoprasum*
  - *Lippia dulcis*
  - *Petroselinum crispum*
  - *Rosmarinus officinalis*

- Plantes fruitières
  - *Capsicum annuum* 'Acapulco'
  - *Capsicum annuum* 'Merida'
  - *Fragaria ananassa* « Elan »
  - *Fragaria ananassa* 'Toscana'

- Plantes fleuries
  - *Calibrachoa calita*
  - *Lavandula angustifolia* 'Ellagance'
  - *Lavandula angustifolia* 'Lavita'
  - *Lobelia regatta*
  - *Sanvitalia solaris*
  - *Vinca minor*

II.1.3. La culture en aéroponie

Le Support de culture étudié

Le PLATINIUM AEROPRO 96 plantes (2 m²) : C'est un système de culture aéroponique de 96 plants, disposant d'un bassin réserve d'eau de 180 L. L'irrigation se fait en cycle fermé grâce à deux pompes d'un débit de 3000L/Heure pour chaque bassin.

Figure 5 : Support aéroponique PLATINUIM AEOROPO 100

Limites du système de culture aéroponique

Avant la mise en place finale de l'essai PROD'URBAN, le système de culture aéroponique PLATINIUM AEROPRO a été testé afin de mettre en évidence de possibles contraintes techniques dues au système. Les 14 espèces de plantes ont donc été mises en culture sur le

PLATINIUM AEROPRO, avec une fréquence d'irrigation de trois arrosages par jour. Les pompes étaient manuellement activées à 9 h, 13 h 30 et 16 h.

Durant une semaine de test, plusieurs problématiques techniques ont été notées.

- Le lancement manuel de chaque arrosage sachant que la fréquence d'irrigation augmente selon le stade de croissance des plantes. Pour dépasser cette limite, la mise en place d'un TIMER peut représenter la solution adaptée à ce type de culture.
- Un champ d'aspersion très bas sur le panier de support du système de culture aéroponique, l'eau dégagée par aspersion n'atteint pas les micros mottes des plantes cultivées. De plus, la réaction immédiate des plantes dans les cas de stress hydrique ou nutritif justifie la mise en place d'un protocole expérimental avec trois modalités différentes en aéroponie M1, M2 et M3.

Figure 6 : À gauche : limite d champ d'aspersion, a droite : réponse immédiate au stress

Modalités étudiées

- Modalité 1 : Les plantes ont été placées dans les paniers de support avec 0,08 L de substrat.

Figure 7 : Modalité 1 en aéroponie

- Modalité 2 : Des plantes placées directement dans les paniers de culture avec une mousse qui permet le maintien de la plante.

Figure 8 : Modalité 2 en aéroponie

– Modalité 3 : Les jeunes plants ont été placés dans les paniers de culture avec du papier filtre qui fait un effet mèche pour remonter l'eau vers la mini-motte.

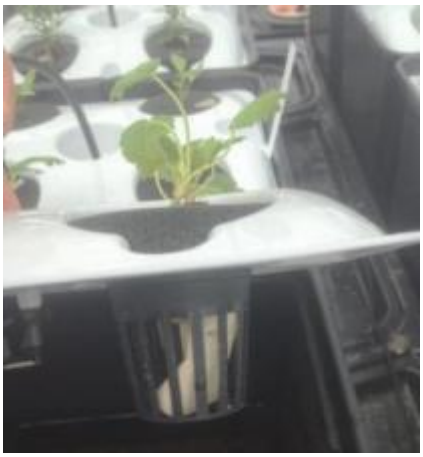

Figure 9 : Modalité 3 en aéroponie

Conditions de culture en aéroponie

- Irrigation : Un Timer mécanique est réglé sur un arrosage à une fréquence de 2 heures d'une durée de 15minutes ce qui équivaut à 12 arrosages par jour.
- Fertilisation : Durant les trois premières semaines, aucune fertilisation n'a été appliquée. Après la quatrième semaine, l'engrais liquide Algospeed flo (Suspension d'engrais NPK, contient du magnésium et des oligo-éléments 12-7-24 + 3,75 + 4,5) est appliqué pour une obtention d'une électro-conductivité de 1,1 millisiemens.
- pH de la solution : Le pH de la solution est stabilisé à 6,5 avec de l'ACICAL, un acide organique concentré pour l'acidification des solutions nutritives avec une dose de 1,5 ml/L.

Suivi expérimental

Plusieurs paramètres sont relevés toutes les 3 semaines :

- La hauteur (mm) : elle est mesurée de la base de la plante jusqu'à la hauteur maximale de la tige
- La qualité : elle est notée visuellement d'après des caractéristiques de présence/absence de chlorose, de maladie, et de densité de la plante. Elle se divise alors en 4 catégories : À= bonne qualité, B= moyenne qualité, C= mauvaise qualité, D= très mauvaise ou plante morte

Figure 10 : différentes catégories de qualité

- La masse fraiche (g) : En fin d'expérimentations, la masse fraiche aérienne des plantes a été évaluée.

II.1.4. La culture classique

Conditions de culture

- Support : Il s'agit d'une culture hors sol classique dans des pots biodégradables (**Fertilpot 3L**) avec un substrat VEGEX 15 (Écorces de pin maritime compostées, fibres de bois et tourbe blonde de sphaigne pour un pH = 5,8).

Figure 11 : Plantes cultivées en culture classique

- Fertilisation : Un engrais Osmocote Exact Standard 5 – 6M est associé au substrat de culture. C'est un engrais à libération lente (15-9-12+2MgO).
- Irrigation : L'arrosage est contrôlé par un système d'irrigation automatique qui effectue une irrigation suivant les variations d'ETR.

Suivi expérimental

La comparaison de ces deux types de culture hors sol s'appuiera sur des mesures de traits végétatifs qui seront prises tout au long de l'étude avec un intervalle de 3 semaines pour chaque notation. Des mesures de hauteur et qualité générale pour indiquer les écarts dans la vitesse de croissance des plantes comme pour la culture en aéroponie.

II.2. Test 2 : Évaluation de la reprise végétative

La deuxième partie de l'essai a pour objectif d'évaluer la reprise végétative des plantes issues de la culture aéroponique d'une part, et de la culture en pot d'autre part. Les 14 espèces de plantes ont été replantées après 3 semaines sur plusieurs types de support pour culture hors sol en zone urbaine. Notamment des supports de culture à la verticale proposés en vente pour les professionnels et les particuliers. Ce test est réalisé sur l'une des parcelles expérimentales de la station à ciel ouvert en conditions climatiques naturelles.

Figure 12 : Photo satellite de la station d'expérimentation ASTREDHOR SEINE MANCHE. En rouge, la parcelle où a été placé le Test 2

II.2.1. Les supports innovants

Tour Cascada : Il s'agit d'un support de culture à la verticale, il possède une réserve d'eau avec un témoin pour indiquer le niveau d'eau encore disponible pour les plantes. Le substrat utilisé est le même que pour la culture hors sol classique (Écorces de pin maritime compostées, fibres de bois et tourbe blonde de sphaigne pour un pH = 5,8), ainsi que la fertilisation (engrais Osmocote Exact Standard 5 – 6M).

Mur Citymur : Il s'agit d'un support constitué de murs de cultures grillagés destiné à une culture verticale. Il possède les mêmes conditions de cultures que celles du support Cascada (substrat et engrais).

Jardinière LECHUZA : Il s'agit d'un système de culture à balconnière muni d'une réserve d'eau et d'un témoin indiquant le niveau d'eau. Le même substrat et la même méthode de fertilisation sont utilisés que pour Cascada et Citymur.

Sac à fraise FALIENOR : Il s'agit d'un support de culture destiné aux producteurs professionnels, caractérisé par un substrat biotisé.

Figure 13 : Photo présentant les différents supports de culture innovants. (a) représente la tour CASCADA, (b) le mur CITYMUR, (c) module jardinière et (d) les sacs à fraise

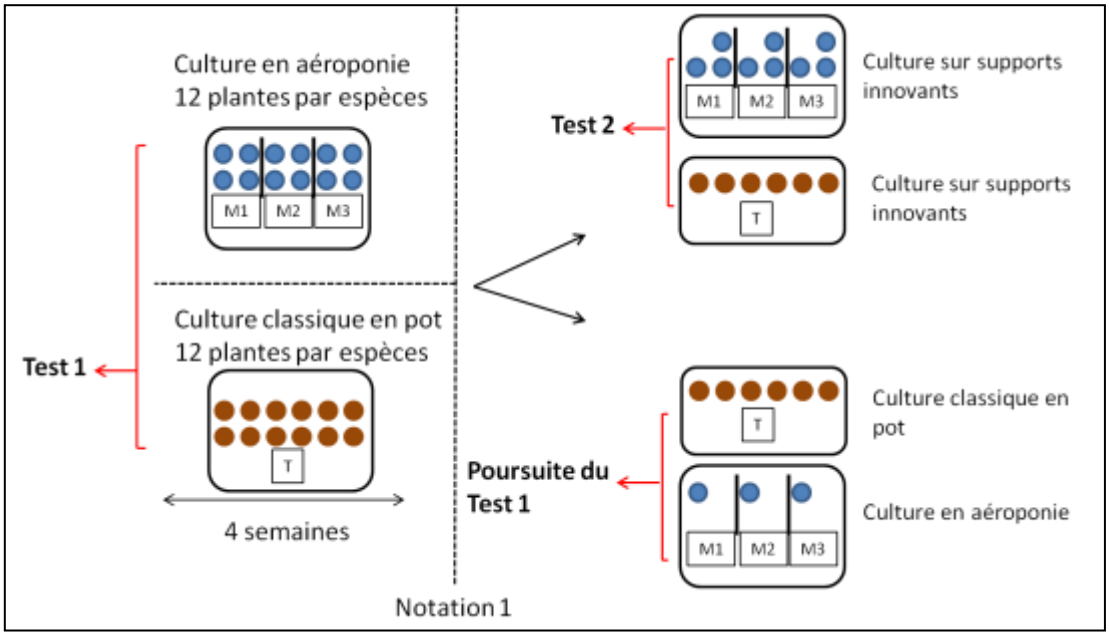

Figure 14 : Schéma représentant les deux tests menés au cours de l'essai PROD'URBAN 2016

III. RÉSULTATS

III.1. Comparaison des trois modalités d'aéroponie

III.1.1. Différences de hauteurs entre les 3 modalités d'aéroponie

Gamme aromatique

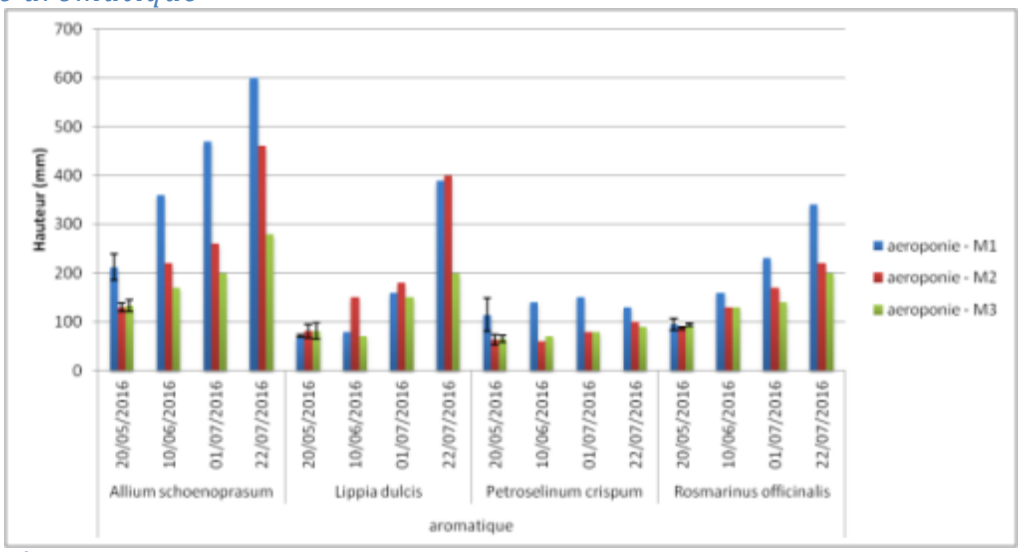

Figure 15 : Évolution de la hauteur moyenne des plantes aromatiques selon les différentes modalités de culture en aéroponie au cours du temps. En bleu, la modalité M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de milieu tampon, en rouge la modalité M2 correspond à la culture sans substrat ni effet mèche. En vert, la modalité M3 correspond à la culture avec ajout d'un effet mèche au niveau des micro mottes des plantes. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types, qui sont uniquement calculés pour le mois de mai en présence de plusieurs répétitions.

Pour les quatre espèces de plantes aromatiques *Allium schoenoprasum*, *Lippia dulcis*, *Petroselinum crispum* et *Rosmarinus officinalis*, la hauteur est la plus élevée pour la modalité M1 par rapport aux modalités M2 et M3, et cela durant toute la durée de la culture. Les écarts entre la modalité M1 et les deux autres modalités sont les plus importants pour l'espèce *Allium schoenoprasum*, et ils ont tendance à s'accentuer au cours du temps. Pour l'espèce *Petroselinum crispum*, les écarts entre les modalités semblent au contraire diminuer au cours du temps. L'espèce *Lippia dulcis* quant à elle présente une hauteur supérieure pour la modalité M2, mais avec des écarts très faibles avec M1 pour le mois de juillet.

Gamme fruitière

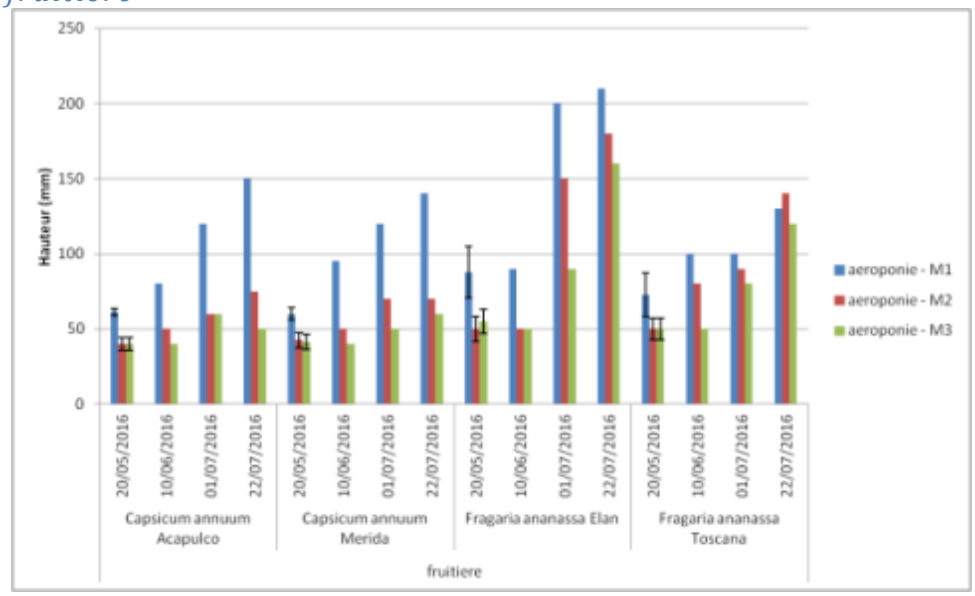

Figure 16 : Évolution de la hauteur moyenne des plantes fruitières selon les différentes modalités de culture en aéroponie au cours du temps. En bleu, la modalité M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de milieu tampon, en rouge la modalité M2 correspond à la culture sans substrat ni effet mèche. En vert, la modalité M3 correspond à la culture avec ajout d'un effet mèche au niveau des micro mottes des plantes. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types, qui sont uniquement calculés pour le mois de mai en présence de plusieurs répétitions.

De la même manière que pour les plantes aromatiques, les plantes fruitières présentent une hauteur plus élevée de manière générale pour la modalité M1. En effet, les deux espèces de *Capsicum* ont une hauteur quasiment trois fois plus élevée dans la modalité M1 pour le relevé de juillet que dans la modalité M3. Pour les deux espèces de *Fragaria*, les réactions aux substrats ne sont pas les mêmes. En effet, *Fragaria ananassa* « Elan » présente des écarts plus importants entre M1 et le reste des modalités, alors que pour la variété *Toscana*, les écarts observés pour les mois de mai et juin sont assez faibles et pour la dernière date de juillet, la modalité M2 présente une hauteur plus importante.

Gamme fleurie

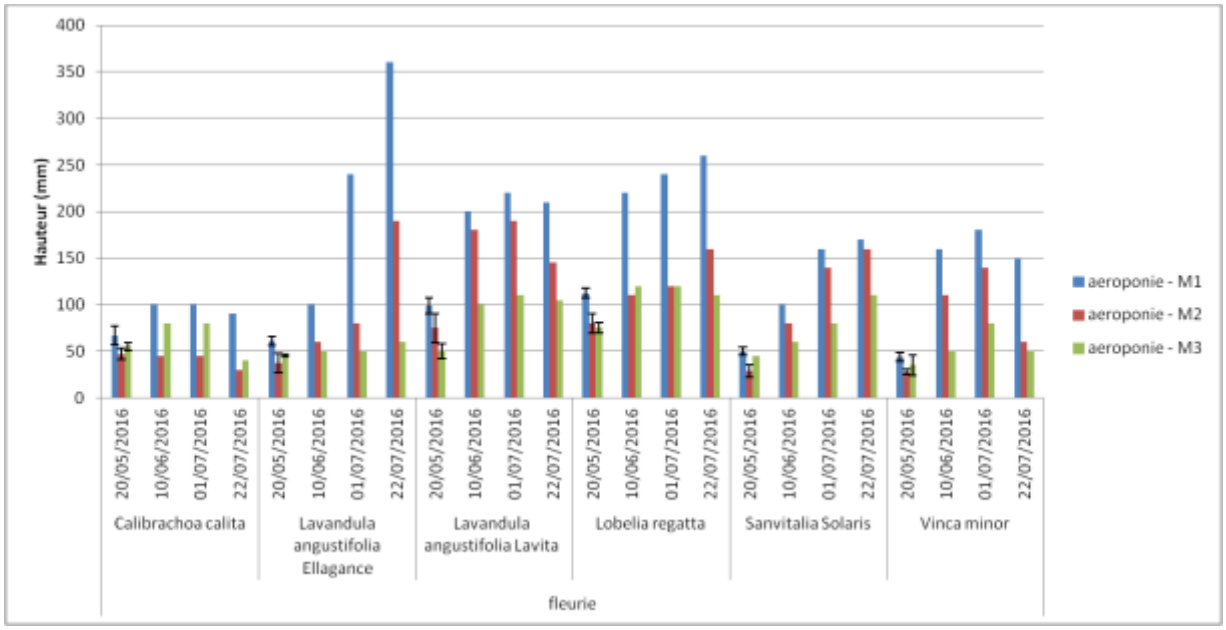

Figure 17 : Évolution de la hauteur moyenne des plantes fruitières selon les différentes modalités de culture en aéroponie au cours du temps. En bleu, la modalité M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de milieu tampon, en rouge la modalité M2 correspond à la culture sans substrat ni effet mèche. En vert, la modalité M3 correspond à la culture avec ajout d'un effet mèche au niveau des micro mottes des plantes. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types, qui sont uniquement calculés pour le mois de mai en présence de plusieurs répétitions.

À nouveau, les différentes espèces de plantes fleuries présentent des différences importantes de hauteur entre les 3 modalités testées avec de manière générale des hauteurs plus élevées pour la modalité M1. Les écarts de hauteur entre les modalités sont les plus importants pour l'espèce *Lavandula angustifolia* « Ellagance ». En effet, pour le mois de juin on a une hauteur deux fois plus élevée en M1 et pour le dernier relevé de juillet, on atteint une hauteur sept fois plus élevée en M1 qu'en M3.

III.1.2. Différence de qualité entre les modalités d'aéroponie

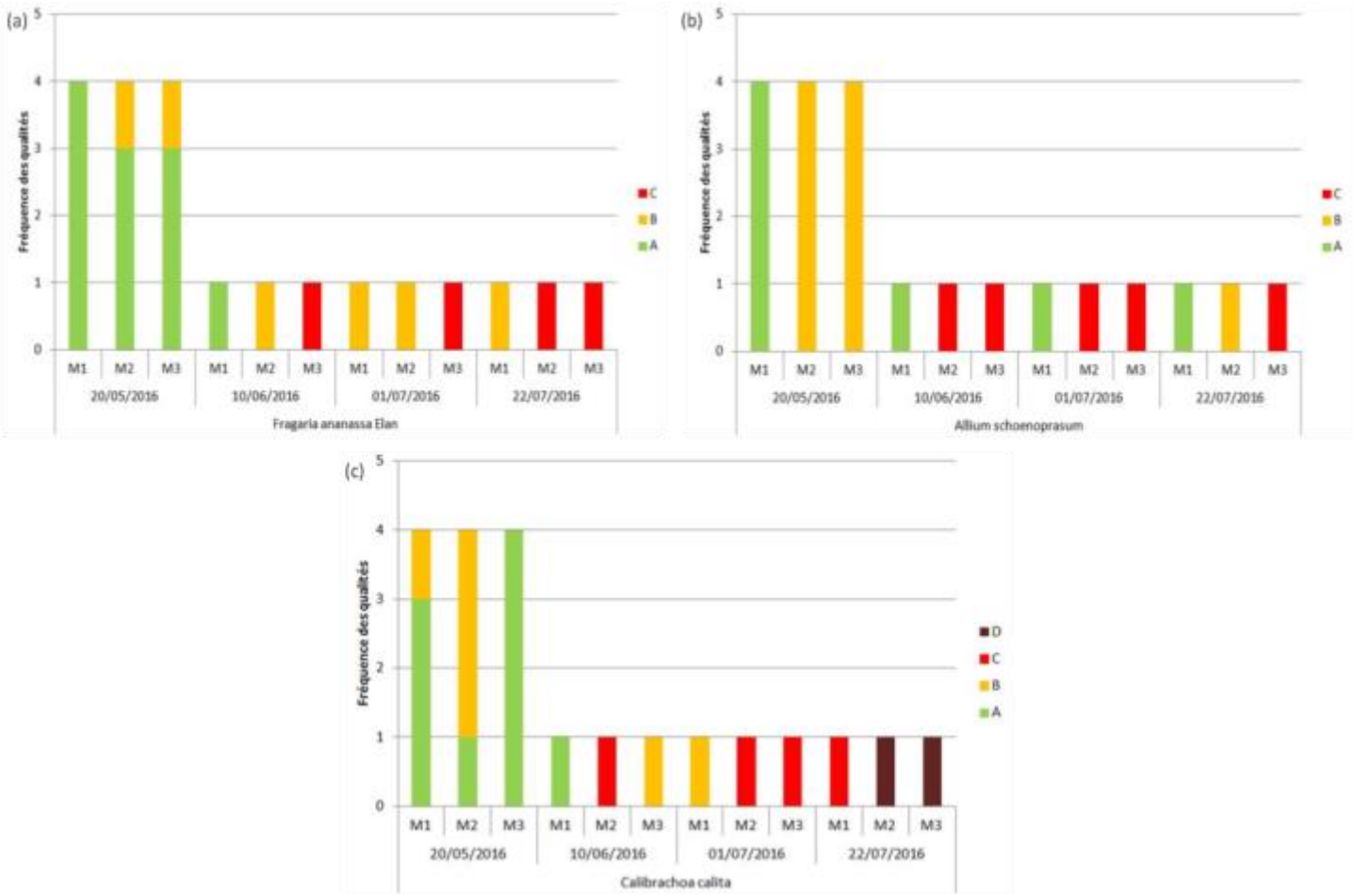

Figure 18 : Fréquence des qualités observées chez (a) *Fragaria ananassa* « Elan », gamme fruitière (b) *Allium schoenprasum*, gamme aromatique (c) *Calibrachoa calita*, gamme fleurie. La qualité A, en vert, correspond à une très bonne qualité ; B, en orange, une qualité moyenne ; C, en rouge, une qualité mauvaise ; et D, en marron, une qualité très mauvaise.

Pour les 3 espèces sélectionnées, représentant chacune une des 3 gammes testées, les meilleures qualités ont été référencées pour la modalité M1 et ce pour toute la durée de l'expérimentation. Par exemple, pour Allium, en mai, 100 % des observations ont montré une très bonne qualité pour la modalité M1 alors que la totalité des observations en M2 et M3 était de qualité moyenne, et pour les autres dates cette tendance se répète avec des observations de mauvaises qualités en M2 et M3.

D'autre part, la qualité se dégrade au cours du temps, et ce pour toutes les modalités y compris M1, excepté pour l'Allium qui présente toujours une très bonne qualité au cours du temps.

III.2. Différences entre les modes de culture

Les observations de hauteurs et de qualités ont montré que la modalité M1 en aéroponie présentait toujours de meilleures performances quelle que soit la gamme et l'espèce de plante étudiée, c'est pourquoi cette modalité sera retenue pour la comparaison entre les deux méthodes de culture aéroponie et substrat classique pour le reste de l'étude.

III.2.1. Comparaisons des performances des plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique, toutes gammes confondues.

Évolution de la hauteur

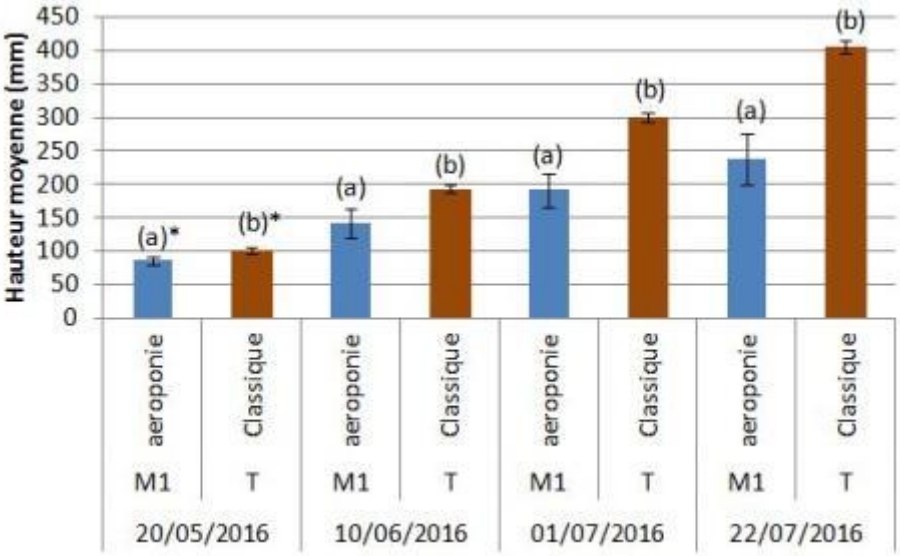

Figure 19 : évolution de la hauteur moyenne des plantes au cours du temps. M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de substrat et T à la culture en substrat classique. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types. Les lettres sont les résultats d'un test de Student avec un seuil α de 0.05, les étoiles avec un seuil de 0.1.

Les moyennes ont été réalisées sur toutes gammes et espèces de plantes confondues. Les différences de hauteur entre les cultures en aéroponie et les cultures classiques sont significatives d'après un test de Student, et ce pour toutes les dates de mesures. La culture classique présente des hauteurs moyennes plus élevées que celles des cultures en aéroponie. D'autre part, les écarts entre les deux modes de cultures deviennent plus importants au cours du temps. En effet, en début d'expérimentation les écarts sont de 20 mm alors qu'en fin d'expérimentation, la hauteur passe de 200 mm en aéroponie à plus de 400 mm en culture classique. Les variations intramodalités sont très faibles pour la culture classique alors qu'elles sont assez importantes pour l'aéroponie. De plus, ces écarts-types augmentent avec le temps en culture aéroponie.

Évolution de la qualité

Figure 20 : Évolution des fréquences de qualité des plantes observées en pourcentage au cours du temps. M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de substrat et T à la culture en substrat classique. La qualité A, en vert, correspond

à une très bonne qualité ; B, en orange, une qualité moyenne ; C, en rouge, une qualité mauvaise ; et D, en marron, une qualité très mauvaise.

Les pourcentages sont calculés sur toutes gammes et espèces de plantes confondues. La méthode de culture classique présente pour toutes les dates un pourcentage de bonne qualité supérieur à 90 %, et cette qualité reste stable au cours du temps. À l'inverse, la méthode de culture en aéroponie présente un maximum de bonne qualité de 60 % au mois de mai et juin et en juillet, ce pourcentage descend en dessous de 10. D'autre part, la qualité se dégrade visiblement au cours du temps avec un pourcentage d'environ 15 % de très mauvaise qualité pour la dernière date de juillet, degré de qualité qui n'apparaissait pas pour les dates précédentes.

III.2.2. Comparaisons des performances des plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique par gamme de plantes.

Évolution de la hauteur selon les gammes

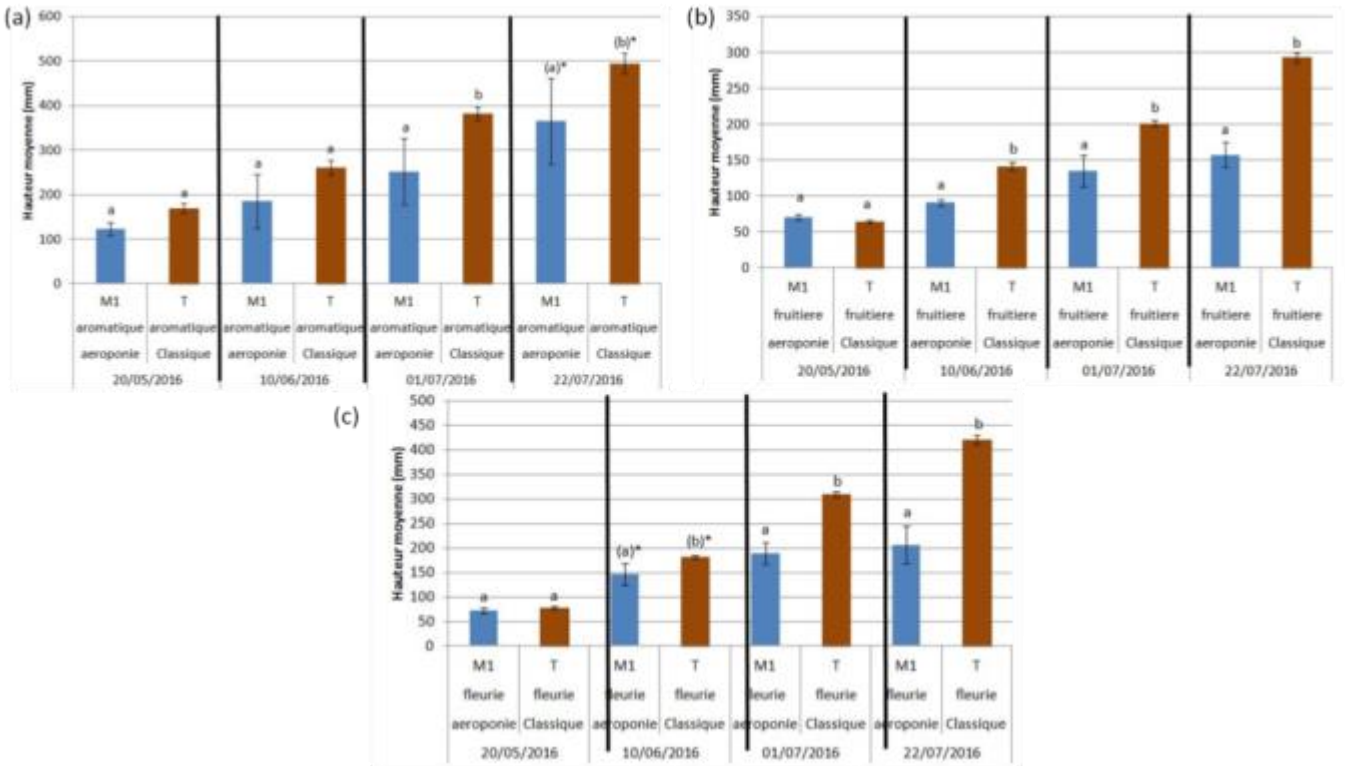

Figure 21 : Évolution de la hauteur moyenne des plantes au cours du temps pour (a) la gamme aromatique (b) la gamme fruitière et (c) la gamme fleurie. M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de substrat et T à la culture en substrat classique. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types. Les lettres sont les résultats d'un test de Student avec un seuil α de 0.05, les étoiles avec un seuil de 0.1.

À nouveau, la hauteur moyenne par gamme présente des résultats plus élevés pour le témoin en culture classique que pour l'aéroponie. Pour les 3 gammes de plantes, les tendances se répètent : à la première date, la différence de hauteur entre les deux méthodes de culture n'est pas significative. À la deuxième date, elle est significative pour la fruitière et a un seuil de 1 % pour la gamme fleurie alors que pour la gamme aromatique il n'y a pas de significativité ce qui est dû à une très grande variabilité des mesures pour la culture en aéroponie. Cependant, une tendance d'augmentation en culture classique est observée. Enfin, pour les deux dates de juillet, les 3 gammes de plantes présentent une

hauteur plus élevée en culture classique, et ce de manière significative. De plus, les écarts de hauteurs augmentent au cours du temps entre les deux méthodes de culture pour les 3 gammes. D'autre part, les variations de hauteurs intramodalités représentées par les écarts-types sont beaucoup plus importantes en culture aéroponique qu'en culture classique. Et ces écarts augmentent d'autant plus avec le temps, alors qu'ils restent très stables et qu'il y a très peu de variations de hauteurs pour la culture classique.

Évolution de la qualité selon les gammes

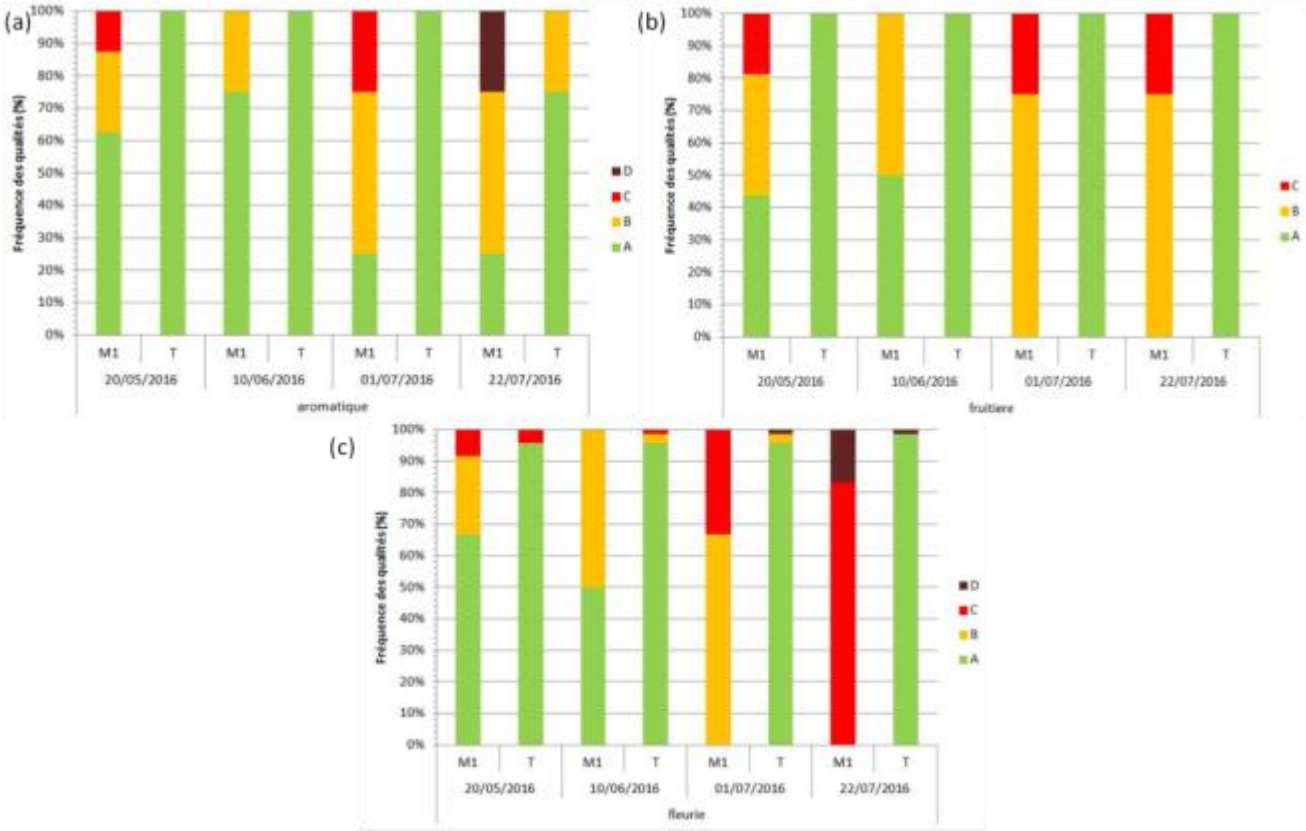

Figure 22 : Évolution de la fréquence de qualité observée au cours du temps pour (a) la gamme aromatique (b) la gamme fruitière et (c) la gamme fleurie. M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de substrat et T à la culture en substrat classique. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types. La qualité A, en vert, correspond à une très bonne qualité ; B, en orange, une qualité moyenne ; C, en rouge, une qualité mauvaise ; et D, en marron, une qualité très mauvaise.

Pour les gammes aromatique et fleurie, la modalité classique présente des qualités bonnes pour toutes les observations et pour toutes les dates. Pour la gamme fleurie, le pourcentage d'observations de bonne qualité dépasse les 90 % pour toutes les dates. De manière générale pour toutes les gammes étudiées, la modalité M1 présente un pourcentage plus faible de bonne qualité, et ce pour toutes les dates. De plus, la qualité se dégrade très fortement au cours du temps dans cette modalité, avec des pourcentages nuls de bonne qualité en juillet pour la gamme fleurie et fruitière. Par exemple, la gamme fleurie passe de plus de 60 % de bonne qualité en début de saison de végétation à un pourcentage nul fin juillet, avec plus de 80 % de mauvaise qualité et près de 15 % de très mauvaise qualité. Ainsi, la gamme fleurie présente les plus mauvais résultats de qualité de toutes les gammes en aéroponie.

III.2.3. Comparaisons des performances des plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique pour certaines espèces particulières dans la gamme aromatique.

Évolution de la hauteur

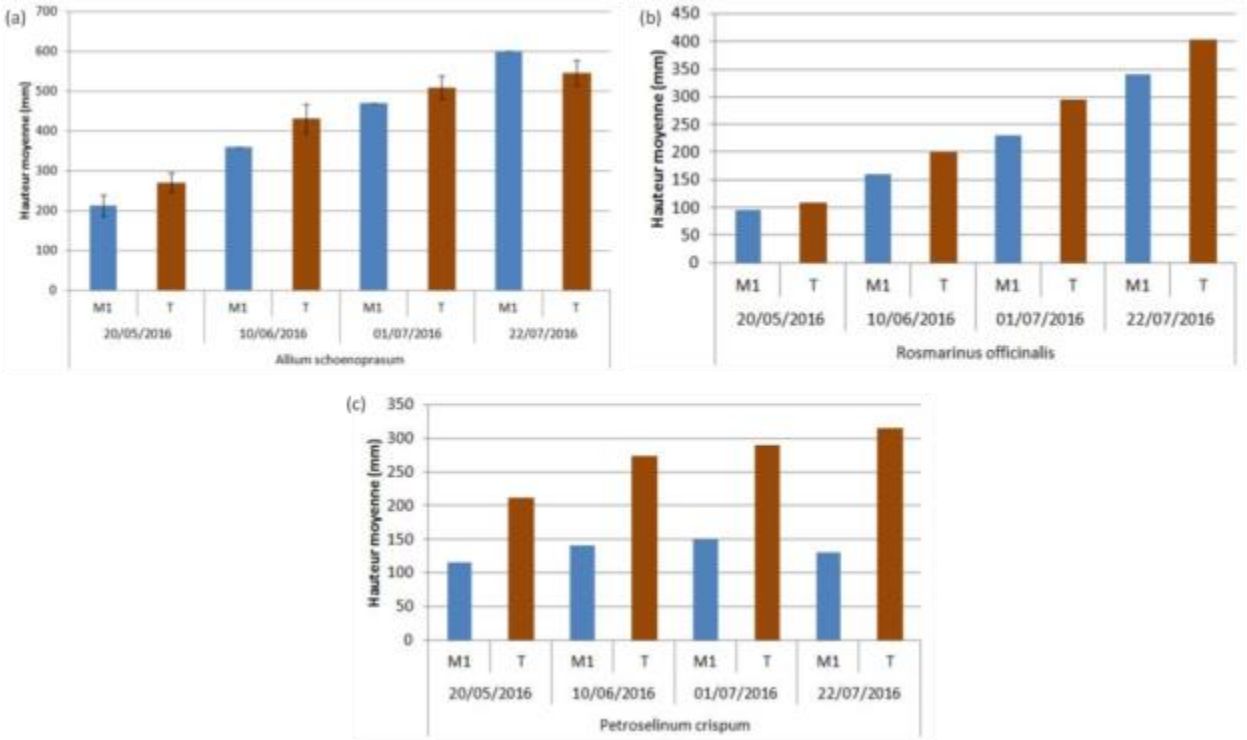

Figure 23 : Évolution de la hauteur moyenne des plantes au cours du temps pour (a) *Allium schoenoprassum*, (b) *Rosmarinus officinalis* et (c) la *Petroselinum crispum*, trois espèces de la gamme aromatique. M1 correspond à la culture en aéroponie en présence de substrat et T à la culture en substrat classique. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types.

Pour les trois espèces, il y a une différence de hauteur moyenne entre M1 et T. Cependant, ces différences ne sont pas du même ordre pour les trois espèces. En effet, les différences sont très importantes pour *Petroselinum* alors qu'elles sont assez faibles pour *Rosmarinus* et *Allium*. De plus, chez *Allium*, pour la dernière date de notations, la hauteur est plus importante pour M1 que pour T. Cependant, la significativité ne peut pas être testée car les mesures ne se font que sur une seule répétition.

III.2.4. Comparaison des masses fraiches finales

Masses fraiches toutes gammes confondues

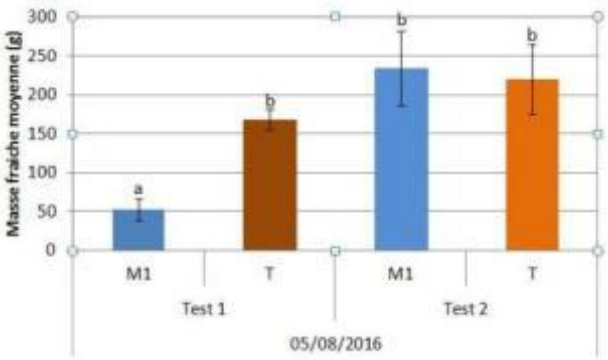

Figure 24 : Différence de masse fraiche moyenne des plantes en fin d'expérimentation, toutes gammes confondues. Le test 1 correspond à des plantes s'étant développées en aéroponie (M1) et en culture classique (T) durant toute la durée de la saison de végétation. Le test 2 correspond à des plantes s'étant développées en aéroponie (M1) ou en culture classique (T) durant 4 semaines puis ayant été replantées dans des supports de cultures innovant durant 10 semaines (cascada, citymur, jardinière et sac à fraise) contenant un même substrat. Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types. Les lettres sont les résultats d'un test post-hoc de Tuckey à un seuil α de 0.05. Les résidus du modèle d'analyse de variances suivent la loi normale d'après un test de Shapiro pour un seuil de 5 %.

La masse fraiche obtenue en fin d'expérimentation dans les différentes conditions de culture est significativement plus faible pour la modalité M1 du test 1, soit des plantes ayant poussé en aéroponie durant toute la durée de l'essai, que pour les autres modalités testées. De plus, cet écart est très important puisque la masse est 3 à 5 fois inférieure aux masses moyennes des autres modalités. Cependant, les plantes M1 du test 2, soit des plantes replantées dans des supports innovants après s'être développées en aéroponie durant 4 semaines, constituent une masse finale aussi importante que les plantes issues de la culture classique.

Masses fraiches par gamme de plante

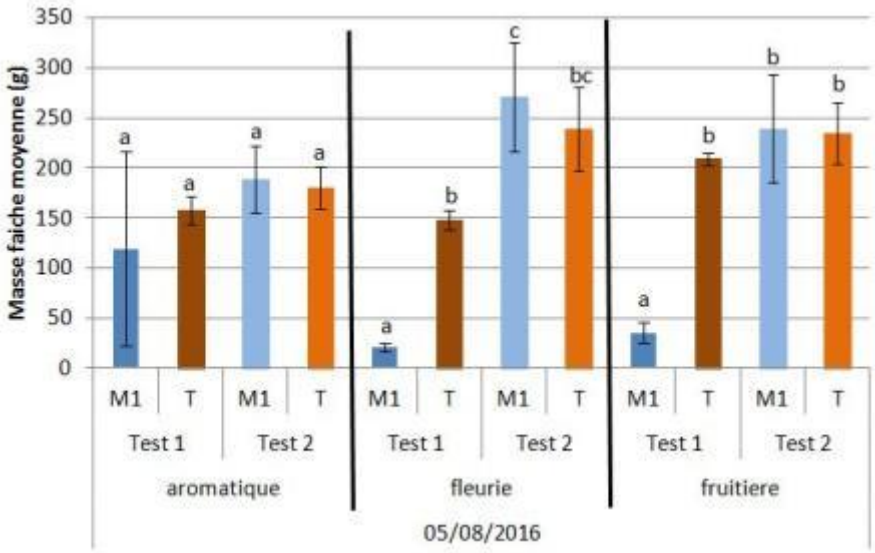

Figure 25 : Différence de masse fraiche moyenne des plantes en fin d'expérimentation, selon les différentes gammes aromatiques, fleurie et fruitière. Le test 1 correspond à des plantes s'étant développées en aéroponie (M1) et en culture classique (T) durant toute la durée de la saison de végétation. Le test 2 correspond à des plantes s'étant développées en aéroponie (M1) ou en culture classique (T) durant 4 semaines puis ayant été replantées dans des supports de cultures

innovants (cascada, citymur, jardinière et sac à fraise) contenant un même substrat. Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types. Les lettres sont le résultat d'un test post-hoc de Tuckey à un seuil α de 0.05. Les résidus du modèle d'analyse de variances suivent la loi normale d'après un test de Shapiro pour un seuil de 5 %.

Pour la gamme aromatique, aucune différence significative n'a été observée entre les différentes modalités testées. Cependant, la modalité 1 du test 1 présente des variations plus importantes. La gamme fleurie quant à elle présente des différences significatives entre la modalité M1 du test 1, la modalité T du test 1 et les deux modalités du test 2. La modalité M1 du test 1 est significativement plus faible que toutes les autres modalités. Cependant, la modalité M1 replantée en système innovant montre une masse fraiche finale égale à celle provenant du système classique et supérieure à celle s'étant développée durant tout l'essai en système classique. C'est la modalité M1 du test 2 qui semble donc montrer les meilleurs résultats pour la gamme fleurie. Enfin, pour la gamme fruitière, il n'y a pas de différence significative entre les deux modalités du test 2 et la modalité du test 1 en culture classique. À nouveau, la modalité M1 en aéroponie a accumulé une masse beaucoup moins importante que les 3 autres modalités.

Masses fraiches pour certaines espèces particulières

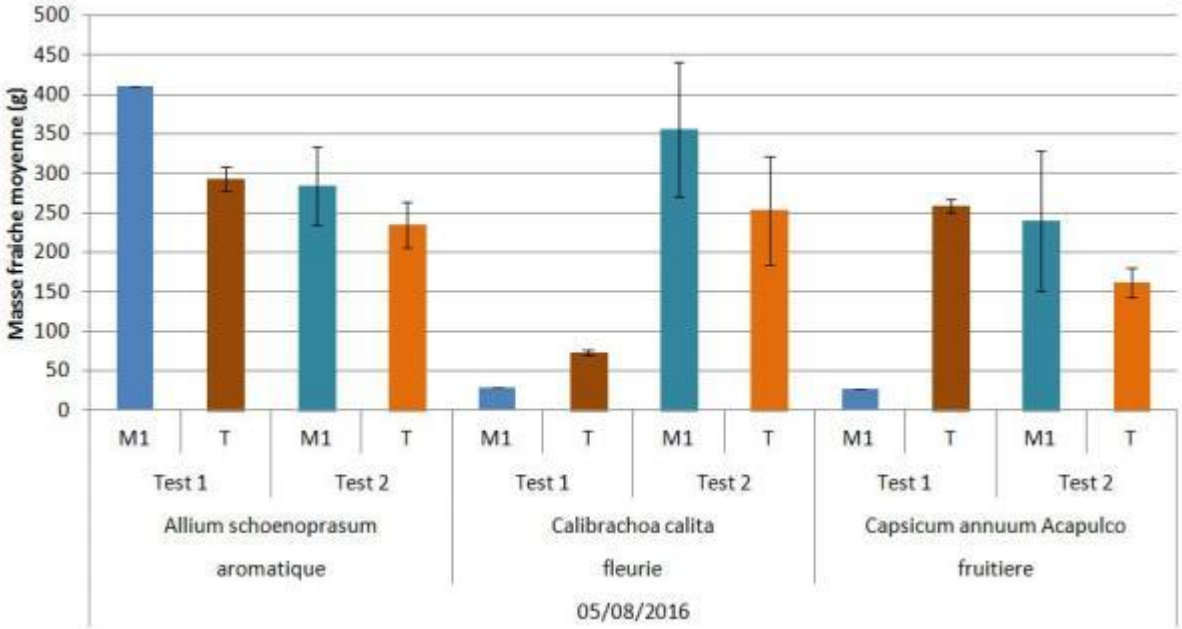

Figure 26 : Différence de masse fraiche moyenne des plantes en fin d'expérimentation, pour une espèce par modalité. Le test 1 correspond à des plantes s'étant développées en aéroponie (M1) et en culture classique (T) durant toute la durée de la saison de végétation. Le test 2 correspond à des plantes s'étant développées en aéroponie (M1) ou en culture classique (T) durant 4 semaines puis ayant été replantées dans des supports de cultures innovants (cascada, citymur, jardinière et sac à fraise) contenant un même substrat. Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types.

Lorsque les masses fraiches sont comparées pour chaque espèce, les réactions ne sont pas similaires entre les différentes modalités. Pour l'espèce *Allium* en aromatique, la modalité M1 du test 1 qui correspond à des plantes s'étant développées en culture aéroponique semble développer une masse supérieure en fin d'expérimentation que les autres modalités. Pour l'espèce en gamme fleurie *Calibrachoa* et l'espèce en gamme fruitière *Capsicum*, la modalité M1 du test 1 possède les masses les plus faibles. Cependant, *Calibrachoa* semble montrer les meilleures performances pour la modalité M1 du test 2 soit

des plantes en aéroponie replantées en système innovant. Pour *Capsicum*, la meilleure modalité semble être le système classique (T en test 1).

III.3. Évaluation de la reprise végétative sur les supports innovants

III.3.1. Masses fraiches par support innovant

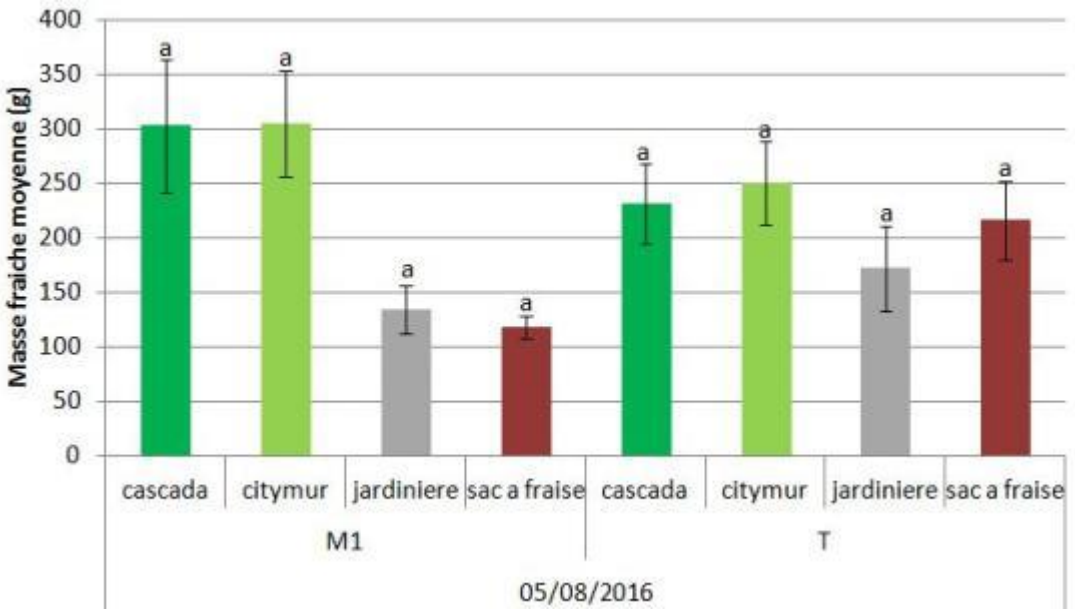

Figure 27 : Différence de masse fraiche moyenne des plantes en fin d'expérimentation, toutes modalités confondues. M1 correspond des plante s'étant développée en aéroponie et replantées sur différents supports innovants et T à des plantes développées en culture classique puis ayant été replantées dans des supports de cultures innovants (cascada, citymur, jardinière, sac à fraise). Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs types. Les lettres sont le résultat d'un test post-hoc de Tuckey pour un seuil de 0.05.

Le test statistique post-hoc de Tuckey ne montre pas de différence significative entre les supports innovants. Cependant, différentes tendances sont observées : tout d'abord la modalité M1 semble montrer de meilleures performances lorsqu'elle est replantée en cascada et en citymur par rapport au jardinière et sac à fraise. La modalité T quant à elle ne présente pas de réelles différences entre les différents supports, mais sa masse fraiche reste élevée pour jardinière et sac à fraise alors qu'elle était basse pour M1. Les masses fraîches les plus élevées semblent tout de même être relevée pour la modalité M1 replantée en cascada et citymur. Les variations intramodalités représentées par les erreurs types sont très élevées ce qui empêche la significativité, cependant le test de comparaison multiple des variances ANOVA a montré une significativité avec une p-value de 0.049.

IV. DISCUSSION

IV.1. Comparaison des trois modalités d'aéroponie.

Les résultats ont montré des différences importantes de hauteur et de qualité entre les trois modalités d'aéroponie. En effet, pour presque toutes les espèces étudiées, la hauteur et la qualité des plantes sont plus élevées ou meilleures pour la modalité M1, qui correspond à la plante en présence de 0,08 L de substrat, puis vient la modalité M2, la plante sans aucun ajout, et M3, qui possède un filtre faisant effet mèche. Plusieurs facteurs semblent être responsables de cette différence de performances. La première explication possible est que la présence de substrat, même en très faible quantité, permet à la plante de mieux se développer. Cette faible quantité de substrat peut alors être considérée comme un milieu

tampon pour la plante, c'est-à-dire qu'elle lui permet de mieux résister à des variations de quantité nutritives et d'eau en atténuant les stress qui y sont liés.

D'autre part, ce substrat contient une certaine quantité de nutriments car il est fertilisé. Il est donc possible que ce substrat joue un rôle dans les apports de nutriments complémentaires surtout en cas de stress nutritifs. D'autre part, il peut aussi réguler le pH et donc permettre une meilleure absorption ou assimilation des nutriments. Enfin, le substrat permet une meilleure isolation thermique d'une section de la partie racinaire. Ainsi, la température de solution du sol ne dépasse pas les 24 °C, température limite pour l'assimilation des nutriments.

Cependant, certaines caractéristiques des modalités M2 et M3 semblent aussi jouer un rôle dans les différences de performances observées. M2 possède un mauvais champ d'aspersion car l'eau n'atteint pas la mini-motte de la plante et ainsi, au début de saison de végétation, les besoins en eau ne sont pas comblés car les racines ne se sont pas encore développées et n'atteignent donc pas le jet d'aspersion du système. Ainsi, les plantes n'accèdent pas aux nutriments compris dans cette eau d'arrosage ce qui crée un stress important qui limite la croissance en hauteur de la plante, et dégrade visiblement la qualité (chlorose, maladies...).

Enfin, pour la modalité M3, l'effet mèche qui entoure le système racinaire de la plante peut causer un manque d'aération en jouant un rôle de couvert hydrique permanent. Ainsi, les racines n'ont pas accès à l'oxygène et aux dioxydes de carbone nécessaires à ces processus de respirations et d'évapotranspiration. Ainsi, ces différentes causes ont pu influencer fortement la croissance des plantes, et nous permettent de conclure que la modalité M1 fonctionne le mieux et donne le meilleur résultat de croissance et de qualité pour la grande majorité des plantes testées. C'est pourquoi cette modalité est comparée au témoin classique pour déterminer les différences entre ces deux modes de cultures.

IV.2. Comparaisons des performances de plantes entre culture en aéroponie et culture en substrat classique

Les résultats ont montré des différences significatives entre la hauteur et la qualité des plantes ayant poussé en aéroponie et en culture classique. En effet, dans la grande majorité des cas, la hauteur était plus élevée et la qualité était meilleure pour les plantes en culture classique. Plusieurs explications sont possibles.

Tout d'abord, ces différences peuvent être dûes à des perturbations dans le pH et dans l'EC (*Électro-conductivité*) en culture aéroponie. En effet, alors qu'en culture classique le pH reste toujours stabilisé à 6.5, des grandes variations de pH sont observées en aéroponie. Ces variations sont dues à une mauvaise oxygénation de la solution nutritive. Ces variations importantes empêchent la bonne assimilation des nutriments par les plantes et crée ainsi un stress qui limite la croissance et impacte la qualité. Une autre explication importante est que la quantité de substrat mise en place en culture classique (3L) est largement supérieure à celle en aéroponie (0,08L). Ce substrat joue de nombreux rôles dans la croissance des plantes : milieu tampon pour l'assimilation des nutriments, isolation thermique des racines, structuration du sol, meilleure implantation des racines, meilleure capacité d'aération, etc. ainsi, la quantité de substrat utilisée en aéroponie n'est pas suffisante pour remplir toutes ses fonctions ce qui limite très fortement la croissance.

Au niveau de l'irrigation, des problèmes importants ont aussi été rencontrés. En effet, il est facile de se rendre compte des besoins en eau en présence de substrat, car lorsqu'il est sec, il est nécessaire d'irriguer. En aéroponie, la gestion de l'irrigation est beaucoup plus difficile et il existe très peu de référence qui peut servir de modèle. Ainsi, l'irrigation n'est pas toujours optimale en aéroponie et les stress engendrés peuvent être très importants et donc limiter la croissance et même provoquer des blocages dans le temps ce qui explique les limitations de croissance. Les facteurs principaux qui limitent la croissance en aéroponie sont donc l'assimilation des nutriments limités par les variations de pH ainsi que les difficultés de gestion de l'eau associées à des faibles quantités de substrats qui ne permettent pas de remplir leur rôle dans la croissance de la plante.

IV.3. Évaluation de la reprise végétative

Pour la reprise végétative, différentes modalités ont été comparées : le test 1 correspond à des plantes qui n'ont pas été replantées provenant de la modalité 1 en aéroponie ou du témoin en culture classique. Parmi ces deux modalités, certaines plantes ont été replantées après 4 semaines de développement, c'est ce qu'on appelle le test 2. Des différences de masses fraiches ont été relevées entre le test 1 et le test 2. les plantes issues de la culture en aéroponie présentent des masses fraiches plus élevées en fin de saison de végétations, ce qui veut dire que les plantes qui ont été replantées après une période en aéroponie se sont très bien développées dans le substrat.

D'autre part, les plantes provenant de l'aéroponie et celle provenant de la culture classique présentent les mêmes résultats lorsqu'elles sont replantées, ce qui veut dire que la modalité M1 a rattrapé son retard malgré une différence de croissance initiale. Cela peut être expliqué par un développement racinaire plus important et rapide en aéroponie. Ce fort développement racinaire, une fois qu'il est replanté, présente un avantage certain pour la plante et lui permet de bien développer ses parties aériennes.

V. CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont montré qu'il était bien possible de cultiver différentes gammes de plantes en aéroponie, même si la culture classique en pot reste la plus performante. Cette différence est liée aux fortes variations du pH et de l'électro-conductivité de la solution nutritive en aéroponie. D'autre part, les plantes issues d'un mois de culture en aéroponie, et qui ont été replantées sur des supports de culture à la verticale présentent une meilleure reprise végétative par rapport aux plantes issues d'un mois de culture classique en pot. La culture en aéroponie a provoqué un retard de croissance, mais ce retard est rattrapé après leur plantation dans un substrat. Les perspectives de cette étude sont donc nombreuses : afin d'améliorer les résultats, il faudrait de préférence comparer seulement deux espèces de plantes au maximum pour augmenter le nombre de répétitions et ainsi diminuer la variabilité et améliorer la puissance statistique. D'autre part, il faudrait utiliser des sondes de contrôles pour stabiliser le pH et l'électro-conductivité de la solution nutritive en aéroponie. Enfin, il faudrait comparer deux pompes différentes : une à aspersion avec grandes gouttelettes comme celle utilisée lors de cet essai à un arrosage par brumisation qui permettrait une meilleure aération et augmenterait la disponibilité des nutriments pour les racines. Ces différentes techniques devraient permettre une amélioration du système aéroponique et ainsi la réalisation d'économies en eau et en intrants. Une technique efficace pourra alors plus facilement être développée et proposée

aux particuliers comme aux professionnels et permettre ainsi des économies à grande échelle.

BIBLIOGRAPHIE

ARMSTRONG, Donna, 2000. A survey of community gardens in upstate New York: Implications for health promotion and community development. *Health & place*, Vol. 6, no 4, p. 319-327.

AUBRY, Christine et BEL, Nicolas, 2013. Cultiver sur les toits : De l'utopie à la conduite technique. In : *7. Rencontres du Végétal-Santé et environnement : des défits pour le recherche et l'expérimentation en végétal spécialisé*.

AUBRY, Christine et CHIFFOLEAU, Yuna, 2009. Le développement des circuits courts et l'agriculture péri-urbaine : histoire, évolution en cours et questions actuelles. In : *Colloque Agriculture péri-urbaine*. p. 53-67

AUBRY, Christine et KEBIR, Leïla, 2013. Shortening food supply chains : À means for maintaining agriculture close to urban areas? The case of the French metropolitan area of Paris. *Food Policy.* Vol. 41, p. 85-93.

AUBRY, Christine, 2012. *Multifonctionnalités de l'agriculture urbaine : Acquis et questions dans les pays du Nord et du Sud*. In : *conférence à l'HEPIA-Genève*, le 11 septembre 2012.

AUBRY, Christine, RAMAMONJISOA, J., DABAT, M.-H., 2012. Urban agriculture and land use in cities: An approach with the multi-functionality and sustainability concepts in the case of Antananarivo (Madagascar). *Land Use Policy*. Vol. 29, no 2, p. 429-439.

BA, Awa et AUBRY, Christine, 2011. *Diversité et durabilité de l'agriculture urbaine : une nécessaire adaptation des concepts?*. *Norois. Environnement, aménagement, société*, n° 221, p. 11-24.

BRUINSMA, W. et HERTOG, W., 2003. Annotated bibliography on urban agriculture.*ETC Urban Agriculture Programme, Leusden*.

DABAT, Marie-Hélène, RAZAFIMANDIMBY, Simon, et BOUTEAU, Boris, 2004. Atouts et perspectives de la riziculture périurbaine à Antananarivo (Madagascar). *Cahiers Agricultures*, Vol. 13, n° 01, p. 99-109.

DANIEL, ANNE-CÉCILE, 2013. *Apercu de l'agriculture urbaine en Europe et en Amérique du nord* [en ligne]. Parie, France. [Consulté le 14 mars 2016]. Disponible à l'adresse : www.france-nord.ird.fr

DRAKAKIS-SMITH, David, 1992. Strategies for meeting basic food needs in Harare. *The rural — urban interface in Africa : Expansion and adaptation*, p. 258-283.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012. Save and Grow : A Policy Maker's Guide to the Sustainable Intensification of Smallholder Crop Production. [Consulté le 12 mars 2016]. Disponible à l'adresse : http://www.fao.org/ag/save-and-grow/.

FREEMAN, Donald, B. 1991. *City of Farmers: Informal Urban Agriculture in the Open Spaces of Nairobi, Kenya*. McGill-Queen's Press-MQUP,

GIRADET, Herbert, 2008. Cities, People, Planet. Urban Development and Climate Change. John Wiley & Sons Incorporated, London, UK

GLAESER, E. L, 2011. *Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier*. In : *The Penguin Press*, New York, USA.

GOODMAN, J. C, 2011. *Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happie*r. In : *Business Economics*. Vol. 46, n° 03. p. 185.

HISTA, Julia, 2007. Enjeux autour de l'agriculture urbaine contemporaine. *Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (CAAAQ). CAAAQ*.

LEE-SMITH, D., MANUNDU, M., LAMBA, D., 1987. Urban Food Production and the Cooking Situation in Urban Kenya (Annex Five: Town Report Mombasa).

LITT, Jill S., SOOBADER, Mah-J., TURBIN, Mark S., 2011. The influence of social involvement, neighborhood aesthetics, and community garden participation on fruit and vegetable consumption. *American journal of public health*, Vol. 101, no 8, p. 1466-1473.

MAXWELL, Daniel et ZZIWA, Samuel, 1992. *Urban farming in Africa*. ACTS Press, African Centre for Technology Studies,

MAXWELL, Daniel G., 1995. Alternative Food Security Strategy: A Household Analysis Of Urban Agriculture In Kampala Vol-23. [en ligne]. 1995. [Consulté le 24 août 2016]. Disponible à l'adresse : http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/2055592

NUGENT, Rachel, 2000. The impact of urban agriculture on the household and local economies. *Bakker N., Dubbeling M., Gündel S., Sabel-Koshella U., de Zeeuw H. Growing cities, growing food. Urban agriculture on the policy agenda. Feldafing, Germany: Zentralstelle für Ernährung und Landwirtschaft (ZEL)*. p. 67-95.

PADILLA, Martine, 2004. Approvisionnement alimentaire et agriculture périurbaine. *Interface : agricultures et villes à l'Est et au Sud de la Méditerranée*,

REES, William et WACKERNAGEL, Mathis, 1996. *Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability*. In : *Environmental Impact Assessment.* Revue 16. p. 223-248.

SANYAL, Bishwapriya, 1985. Urban agriculture: who cultivates and why? À case study of Lusaka, Zambia. *Food and Nutrition Bulletin*, Vol. 7, n° 03, p. 15-24.

SAWIO, Camillus, 1993. *Feeding the Urban Masses.? Towards an Understunding of the Dynamics of Urban Agriculture in Dar es Salaam, Tanzania* (Ph.D. Dissertation, Worcester, MA : Clark University).

SMIT, Jac et NASR, Joe, 1992. Urban agriculture for sustainable cities: using wastes and idle land and water bodies as resources. *Environment and urbanization*. Vol. 4, no 2, p. 141-152.

SMITH, O. B, MOUSTIER, Paule, CIRAD (ORGANISME) et CENTRE DE RECHERCHES POUR LE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL (CANADA), 2004. *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone enjeux, concepts et méthode* [en ligne]. Paris, France ; Ottawa, Ont. : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement ; Centre de recherches pour le développement international. [Consulté le 26 Juin 2016]. ISBN 1552501345 9 781 552 501 344. Disponible à l'adresse : http://proxy2.hec.ca/login?url=http://site.ebrary.com/lib/hecm/Doc?id=10128368

STEEL, Carolyn, 2012. *Sitopia: Harnessing the Power of Food*. Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, p. 37-46.

THOMAIER, Susanne, SPECHT, Kathrin, HENCKEL, Dietrich, DIERICH, Axel, SIEBERT, Rosemarie, FREISINGER, Ulf B. et SAWICKA, Magdalena, 2015. Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). In : *Renewable Agriculture and Food Systems*. février 2015. Vol. 30, n° 01, p. 43-54. DOI 10.1017/S1742170514000143.