



ISA- Yncréa
48 boulevard Vauban
59046 Lille Cedex



laboratoire
agriculture urbaine

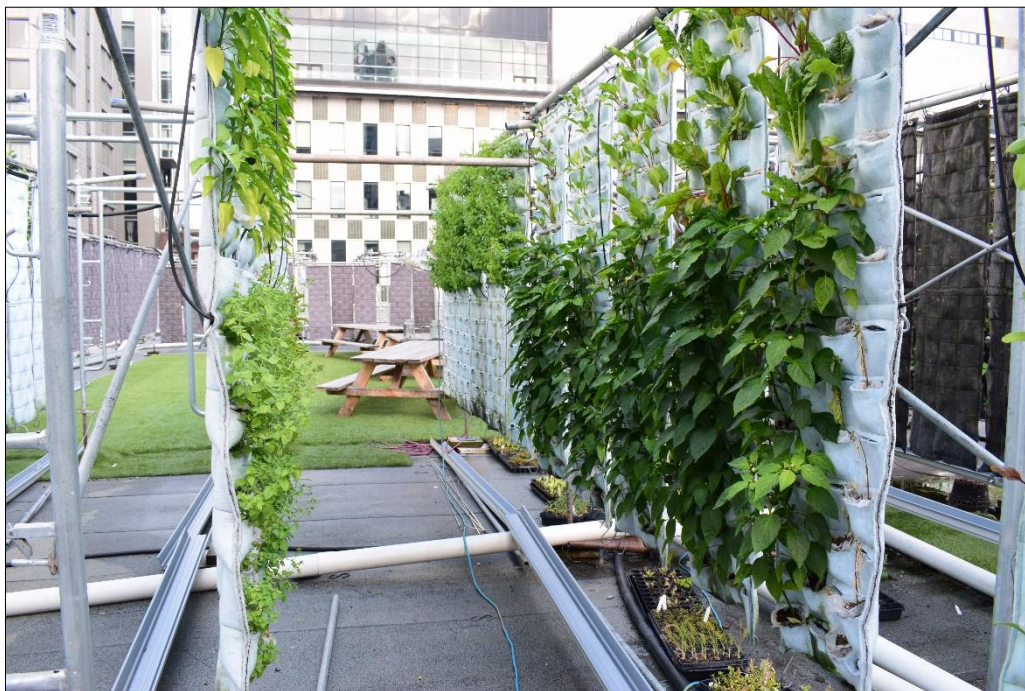
Laboratoire sur l'agriculture urbaine
201 Président-Kennedy
H2X 3YZ Montréal (Québec)

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur ISA Lille

Projet de recherche en production verticale sur un toit *Étude sur l'adaptabilité de différentes espèces*

Par
Charlotte LEJOYEUX
Promotion ISA 51

Avril-Septembre 2018



Année académique : **2017- 2018**
Maître de stage : **Eric DUCHEMIN**
Enseignant référent : **Benjamin LEGRAND**

RÉSUMÉ

Le laboratoire sur l'agriculture urbaine de Montréal vise à accompagner, former et à faire de la recherche sur l'agriculture urbaine. Depuis 2016, il a investi le toit du Palais des congrès comme vitrine d'expérimentation. En effet, l'agriculture urbaine s'approprie de nombreux espaces urbains afin de produire des denrées alimentaires à destination des citoyens urbains. Le verdissement des toits tend à lutter contre les îlots de chaleur urbains. La production alimentaire sur murs végétalisés est un concept innovant et rarement réalisé dans le monde. Ainsi il n'existe pas de référence agronomique pour les agriculteurs urbains qui aimeraient adopter cette technique de production. Le projet VERTical s'inscrit dans ce contexte et vise à tester la production sur murs végétalisés. Il y a donc un intérêt à étudier l'adaptabilité de quatre espèces (pak choï, poivron, betterave, origan) à ce mode de production. Une meilleure compréhension du contexte microclimatique urbain, dans lequel ce système s'insère, améliorera la qualité de l'étude. Les principaux résultats ont montré que l'orientation et le positionnement des membranes n'influencent pas la croissance des poivrons. La température des membranes est toujours inférieure à celle du feuillage des poivrons. En effet, l'orientation Nord-Est procure des températures de membrane plus basses que l'orientation Sud-Est. Le poivron et l'origan sont deux espèces adaptées à ce type de production. Ils présentent tous les deux des rendements intéressants. Le pak choï est une espèce potentiellement intéressante à condition de connaître une date de semis idéale afin d'éviter une montaison précoce. La betterave n'est pas adaptée à ce système. L'étude de la répartition de la chaleur sur le toit a permis d'identifier trois zones distinctes. Les deux zones les plus chaudes correspondent aux deux extrémités du toit. La troisième zone la plus fraîche présente un fort et dense couvert végétal.

Mots clés :

Agriculture urbaine, murs végétalisés, toit, microclimat, zones

ABSTRACT

The aim of the urban agriculture laboratory of Montreal is to support, train and conduct research on urban agriculture. Since 2016, it has invested the roof of the Palais des congrès as a showcase for experimentation. Indeed, urban agriculture appropriates many urban spaces to produce food for urban citizens. The greening of the roofs tends to fight against heat islands. Food production on living walls is innovative and rarely done in the world. Thus, there is no agronomic reference for urban farmers who would like to adopt this production. The VERTical project aims to test food production on living walls. The adaptability of four species (pak choi, pepper, beet and oregano) will be studied. The quality of this study will be improved by a better understanding of urban microclimatic context. The main results showed that the orientation and positioning of the membranes do not influence the growth of peppers. The temperature of the membranes is always lower than the foliage of peppers. Indeed, North-east orientation provides lower temperatures of membranes than the southeast orientation. Pepper and oregano are two species adapted to this type of production. Both of them have interesting yield. Pak choi is a potentially interesting species if the ideal sowing date is known to avoid early seed production. Beet is not suitable for this system. The study of the heat distribution on the roof allowed us to identify three zones. The two hottest areas correspond to both ends of the roof. The third coolest zone has a stronger vegetation cover.

Keywords :

Urban agriculture, living walls, roof, microclimat, zone

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu Eric Duchemin, mon maître de stage qui m'a permis d'effectuer mon stage de fin d'études au sein du Laboratoire sur l'agriculture urbaine. Merci pour tes remarques et observations concernant ce mémoire.

Je remercie également mon tuteur Benjamin Legrand pour son temps consacré durant la totalité de ce stage.

Je remercie également Marie-Josée Vézina pour son encadrement durant toute la période expérimentale. Merci pour tes précieux conseils qui m'ont fortement aidé et m'ont permis d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences.

Un grand merci à Josianne Bilodeau, qui a rendu ces longues et chaudes journées sur le toit plus joyeuses. Merci pour toutes les connaissances que tu as pu m'apporter et pour tes conseils concernant le côté technique du projet.

Je tiens également à remercier Guillaume Dueymes qui a rendu possible mon étude sur la température de l'air ambiant par l'apport des données de la station météo située sur le toit de l'UQAM.

Merci à Clémentine Pointereau, Charlotte Delatour, Claire Mick et à Faby Anne Mimeault pour les bons moments passés sur le toit et au bureau. Merci à elles pour leurs contributions au projet VERTical.

Enfin merci à ma famille et mes proches et particulièrement à Christian Tshimanga pour son soutien et ses remarques constructives durant mes 6 mois de stage.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
I- CADRE DE L'ÉTUDE	2
1.1. Présentation de l'Institut d'accueil	2
1.1.1. Historique	2
1.1.2. Missions	2
1.2. Le toit vert	3
1.2.1. Origine	3
1.2.2. Le projet VERTical	3
II- CONTEXTE- ETAT DE L'ART- PROBLEMATIQUE	4
2.1. Agriculture urbaine	4
2.1.1. Concepts	4
2.1.2. Impacts	4
2.1.3. A Montréal	6
2.2. Culture sur toit	8
2.2.1. Concepts	8
2.2.2. Etudes de production sur murs végétalisés	9
2.3. Climat urbain	13
2.3.1. Concepts	13
2.3.2. Ilots de chaleur urbains	15
2.3.3. Relation climat-végétation	16
2.4. Problématique	18
III- MATERIELS ET METHODES	20
3.1. Dispositif expérimental	20
3.2. Matériel végétal	22
3.2.1. Descriptif	22
3.2.2. Plan expérimental	22
3.3. Méthodes	23
3.3.1. Etude sur le poivron	23
3.3.2. Etude sur le pak choï	25
3.3.3. Etude sur la betterave et l'origan	26
3.3.4. Etude sur le contexte microclimatique du toit	27
IV- PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS	29
4.1. Etude sur le poivron	29

4.1.1.	Stades phénologiques	29
4.1.2.	Orientation et positionnement des membranes.....	30
4.1.3.	Température des membranes et du feuillage.....	31
4.1.4.	Rendement	34
4.1.5.	Conclusion	35
4.2.	Etude sur le pack choï	36
4.2.1.	Expérimentation Juin-Juillet.....	36
4.2.2.	Expérimentation Août-Septembre-Octobre.....	39
4.3.	Etude sur l'origan et la betterave.....	39
4.3.1.	Comparaison des rendements de l'origan	39
4.3.2.	Comparaison des rendements de la betterave	41
4.4.	Etude sur le contexte microclimatique du toit	44
4.4.1.	Répartition de la chaleur sur le toit.....	44
4.4.2.	Températures de l'air sur un toit vs Montréal	50
V-	DISCUSSION ET PERSPECTIVES	53
5.1.	Etude sur l'adaptabilité des espèces.....	53
5.2.	Etude sur le contexte microclimatique du toit	55
CONCLUSION		58
BIBLIOGRAPHIE		60
TABLE DES FIGURES		65
TABLE DES TABLEAUX		66

INTRODUCTION

L'agriculture du 21^e siècle fait face à de nombreux défis. La population mondiale devrait augmenter de 2,3 milliards de personnes entre 2009 et 2050 (FAO, 2009). Il est donc essentiel d'augmenter la production alimentaire pour combler cette population continuellement croissante. Les systèmes de production se doivent d'être repensés de manière à être plus viables et à répondre au changement climatique. S'il est vrai qu'actuellement plus de 50% de la population mondiale vit dans les villes, d'ici 2050, cette même proportion devrait augmenter de 20% (GAUDREAU, 2011). Par conséquent, la main-d'œuvre rurale réduit d'année en année (FAO, 2009). Du fait des nombreuses crises économiques, environnementales et sanitaires, la sécurité alimentaire est devenue la préoccupation d'un grand nombre d'habitants urbains. Ils veulent faire des choix alimentaires assurés et avoir accès à des aliments sains et nutritifs. L'agriculture urbaine se dresse comme une solution complémentaire à l'agriculture périurbaine et rurale (DANIEL, 2013).

L'agriculture urbaine est pratiquée depuis de longues années dans les pays du Sud et commence à revenir en force dans les pays du Nord depuis les années 1990. Elle appréhende l'immensité de l'espace urbain dans l'objectif de produire des denrées alimentaires à destination des urbains. Les pays du Nord privilégient les caractères sociaux et communautaires plutôt que commerciaux (BOILY, 2012), bien que cette réalité tend à évoluer depuis quelques années avec la mise en place de fermes urbaines à vision commerciale. L'agriculture urbaine répond aussi à des enjeux environnementaux tels que la réduction des îlots de chaleur urbains. En effet, la production sur un toit ainsi que les toits verts contribuent au rafraîchissement de l'air ambiant notamment grâce à l'évapotranspiration et à l'ombre générée (APA NORD PAS DE CALAIS, 2014). Malgré le rafraîchissement de l'air ambiant, la production sur un toit se heurte à des températures qui restent élevées. Il y a donc un enjeu à identifier les espèces de plantes tolérantes à ce type de microclimat. De plus, la production alimentaire sur murs végétalisés sur un toit est un concept original et innovant. La particularité de ce type de production est de produire des aliments consommables dans un substrat peu profond. Actuellement, aucun guide de référence ne renseigne sur les espèces de plantes adaptées à la production verticale sur un toit. Il est vrai que très peu de projets existent visant à étudier plus en profondeur ce nouveau mode de production. Ainsi l'une des missions du Laboratoire sur l'agriculture urbaine de Montréal est de proposer des espèces de plantes appropriées à ce système de production. L'objectif est de les définir selon leur adaptation aux températures du toit vert. Ce mémoire s'insère dans ce cadre avec comme objet d'étude :

« Quelles sont les espèces adaptées à la production verticale sur un toit et quelle est l'influence de la température sur cette adaptabilité dans un contexte microclimatique urbain ? »

Une première partie rappellera le cadre dans lequel la problématique a été étudiée. Une seconde partie permettra de définir les mots clés de ce projet, à savoir l'agriculture urbaine, la culture sur toit et le climat urbain. Une fois le contexte établi, la problématique pourra être abordée. Le matériel utilisé et la méthodologie choisie seront développés pour expliquer le plan d'action de réponse à la problématique. Une quatrième partie présentera les résultats obtenus durant l'expérimentation réalisée sur le toit du Palais des congrès de Montréal. Ces résultats seront discutés dans une cinquième partie avant de conclure sur les espèces adaptées à la production verticale sur un toit et sur l'influence qu'à la température sur cette adaptabilité dans un contexte microclimatique urbain.

I- CADRE DE L'ÉTUDE

1.1. Présentation de l'Institut d'accueil

1.1.1. Historique

L'école d'été sur l'agriculture urbaine de Montréal a été créée en 2009 par Eric Duchemin et Jean-Philippe Vermette, tous les deux membres, à cette époque, du Collectif de Recherche en Aménagement Paysager et Agriculture Urbaine Durable (CRAPAUD). Depuis 2008, le CRAPAUD est un collectif d'étudiants de l'UQAM qui œuvre dans l'agriculture urbaine à travers l'expérimentation, la pratique, l'autogestion, la recherche, la diffusion et les actions publiques (CRAPAUD, 2018). L'école d'été a pris de plus en plus d'ampleur et s'est ainsi progressivement détachée du CRAPAUD pour devenir entièrement autonome. Cette école s'incarne, tous les ans, comme un lieu de formation reconnu en agriculture urbaine. Dès 2011, Eric Duchemin a officiellement créé le Laboratoire sur l'agriculture urbaine (AU/LAB) afin de mener des recherches dans le domaine. Jean-Philippe Vermette s'est joint à lui en 2014 pour enregistrer l'AU/LAB en tant qu'organisme à but non lucratif (OBNL). Le laboratoire est situé dans le centre de Montréal.

1.1.2. Missions

L'AU/LAB est un laboratoire multidisciplinaire où **accompagnement**, **formation** et **recherche** se croisent au service de l'innovation et de l'agriculture urbaine (LABORATOIRE AGRICULTURE URBAINE (AU/LAB), 2018) :

- Le laboratoire a créé un incubateur d'entreprises en mettant son expertise au profil des futurs agriculteurs urbains qui aimeraient se développer dans ce domaine. Actuellement, deux projets ont rejoint l'incubateur : Vignes en ville et Biquette à Montréal. Il accompagne aussi les municipalités, les arrondissements ou les villes à travers des conseils dans l'adoption de politiques et de stratégies en agriculture urbaine.
- L'AU/LAB place la formation au centre du renforcement du mouvement d'agriculture urbaine au Québec. Ainsi, il organise fréquemment des conférences, ateliers afin de partager, transmettre ses connaissances au public. De plus, il dirige chaque année l'école d'été sur l'agriculture urbaine. Elle a déplacé ses frontières pour y éclore en France et en Belgique.
- Le laboratoire ne réalise pas que des projets de recherche agronomique, mais également des projets à caractère social et économique. En effet, une étude en collaboration avec l'Union des producteurs agricoles (UPA) est en route sur la thématique de l'accès au foncier pour le développement de l'agriculture en milieu urbain. Une autre étude évalue l'agriculture urbaine comme infrastructure verte de résilience individuelle et collective face aux changements climatiques et sociaux.

En 2017, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) a mandaté le laboratoire de porter le Carrefour de Recherche, d'Expertise et de Transfert en Agriculture Urbaine (CRETEAU). Un partenariat avec la ville de Montréal, l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et le Palais des Congrès de Montréal a été mis en place.

L'objectif du CRETEAU est de faire du Québec, le leader de l'agriculture urbaine en facilitant l'expertise et le transfert d'informations technico-économiques entre les différents acteurs.

1.2. Le toit vert

1.2.1. Origine

Le verdissement du toit du Palais des congrès de Montréal a été inauguré en 2011 avec pour objectif principal de contribuer à la lutte contre les îlots de chaleur. À l'origine, le projet Culti-VERT rassemblait trois entreprises qui testaient trois types de bacs potagers : Alternative, Biotop et Smartpot. Les récoltes étaient destinées à des entreprises, hôtels et au traiteur du Palais des congrès dont l'entreprise se nomme Capital Traiteur. Cependant, des difficultés de gestion ont mené à rassembler toute la production des différents bacs à un seul destinataire : Capital Traiteur. La Ligne Verte a remporté, en 2013, l'appel d'offres pour s'occuper du projet dans sa globalité. L'AU/LAB a pris la relève de la gestion du toit en 2016. Ce partenariat avec le Palais des congrès lui permet d'expérimenter de nouveaux projets et d'en faire la promotion. Depuis 2012, le projet de Ruches d'abeilles pollinisatrices occupe 19 m² du toit et permet une pollinisation des autres projets et une production de 60 à 80 kg de miel par saison (PALAIS DES CONGRES DE MONTREAL, 2018). À l'heure d'aujourd'hui, quatre projets côtoient les 1390 m² du toit du Palais des congrès :

- Le projet culti-VERT composé de deux sous projets (*toits verts extensifs sans irrigation et bacs potagers*)
- Le projet Vigne en ville (*vignoble urbain sur toit*)
- Le projet de Ruches d'abeilles pollinisatrices
- Le projet VERTical (*murs végétalisés de production*)

1.2.2. Le projet VERTical

Le projet VERTical est un jeune projet de 2 ans mis en œuvre et coordonné par AU/LAB. Ce projet innovant est le premier de ce type en Amérique du Nord. Il est caractérisé par des échafaudages verticaux en acier (structures autoportantes) habillés par des membranes destinées à accueillir à l'intérieur de pochetons, directement cousus sur celle-ci, des productions végétales. Le toit du Palais des congrès de Montréal compte environ 3,5 ha de surface plane. À l'origine, une superficie de 600 m² était allouée au projet. Cependant la production verticale ne représente qu'une superficie de 220 m² dont 116 m² de cultures sont dédiés à l'expérimentation (BRASILES & DUCHEMIN, 2017).

II- CONTEXTE- ÉTAT DE L'ART- PROBLÉMATIQUE

2.1. Agriculture urbaine

La première partie définira ce qu'est l'agriculture urbaine et expliquera les multiples concepts sur lesquels elle s'appuie. Une définition détaillée permettra de mieux comprendre les différences entre l'agriculture urbaine et rurale. Ensuite, les impacts environnementaux, sociaux et économiques, engendrés par ce type d'agriculture seront expliqués. Cette partie se clôturera par un rappel du contexte au Québec suivi d'un descriptif de l'état de l'agriculture urbaine à Montréal en développant quelques exemples de fermes urbaines à vision commerciale. L'objectif est d'intégrer toutes les dimensions sur lesquelles repose le projet VERTical en tant que projet d'agriculture urbaine sur un toit à Montréal.

2.1.1. Concepts

L'agriculture urbaine a pour principe de cultiver des plantes et d'élever des animaux à l'intérieur des villes. (FAO, 2018). En effet, 800 millions de personnes pratiquent l'agriculture urbaine dans le monde dont 266 millions de foyers dans les pays du Sud (SMIT, NASR, & RATTA, 1996). Ce type de production alimentaire est multiforme. Diverses techniques peuvent être employées telles que la culture en sol, hors sol, l'hydroponie, l'aquaponie, ou même sur murs végétalisés. L'agriculture urbaine peut se pratiquer dans tout l'espace urbain, des potagers à la maison aux jardins multiparcellaires, de quartier et peuvent même se réapproprier des friches industrielles et investir des toits (DUCHEMIN, 2013). Elle peut être à des fins commerciales, communautaires ou privées (MAPAQ, 2018). Cependant dans les pays occidentaux, l'aspect commercial est le caractère le moins développé au profit du caractère social et communautaire (BOILY, 2012). Depuis quelques années, l'implantation de fermes urbaines à vision commerciale tend à renverser cette tendance. Ainsi la Direction de la santé publique au Québec définit l'agriculture urbaine comme « l'ensemble des activités de production d'aliments en milieu urbain. Ce terme est le plus souvent utilisé pour définir les projets de jardinage et de maraîchage à vocation de sécurité alimentaire ou à vocation de développement social, ou tout simplement l'autoproduction d'aliments pour sa propre consommation ».

2.1.2. Impacts

La notion de durabilité des villes a été annoncée pour la première fois à Rio de Janeiro avec la conférence de l'agenda 21 en 1991 et s'est poursuivie au sommet de l'ONU sur les villes en 1996 à Istanbul. Cet accord Habitat souligne la contribution de l'agriculture urbaine à la durabilité future des villes (KUHNS & RENTING, n.d). L'agriculture urbaine engendre des impacts environnementaux, sociaux et économiques.

a. Environnementaux

L'agriculture urbaine permet de contrer les problématiques environnementales des villes du plus souvent d'origine anthropique. Elle participe à la conservation de la biodiversité, la lutte à la pollution atmosphérique et aux îlots de chaleur, la diminution de la consommation d'énergie et à la réduction des eaux de ruissellement (ACKERMAN, et al., 2014). En effet, la plantation d'arbres fruitiers indigènes

permet de favoriser les butineurs et ainsi de soutenir les familles de pollinisateurs en milieu urbain (CHAGNON, 2008). Les espèces aviaires peuvent aussi trouver un habitat temporaire estival grâce à la culture sur les toits extensifs et en bacs (GODIN, 2008). De plus, la densification et le développement urbain entraînent inévitablement une diminution du couvert végétal ayant pour conséquence la création d'îlots de chaleur dans les villes (INSPQ, 2009). Intégrer la végétation dans les plans d'urbanisation s'afficherait comme une solution intéressante puisqu'elle permet via l'évapotranspiration de dissiper la chaleur en entraînant des températures ambiantes plus faibles que dans les zones urbaines dépourvues de végétation (AKBARI, 2002) (ALEXANDRI & JONES, 2008) (GETTER & ROWE, 2006). La diminution des îlots de chaleur urbains par la végétation ne s'affiche pas comme le seul bénéfice environnemental. Il est vrai qu'une dépendance du milieu urbain vers le milieu rural s'observe depuis quelques années pour satisfaire les besoins alimentaires croissants. Le trajet moyen pour un aliment du lieu de production au consommateur est de 2 080 km (PETERS, BILLS, LEMBO, WILKINS, & FICK, 2009). Par conséquent, la consommation d'énergie et la production de gaz à effet de serre sont donc importantes. La réduction de la chaîne alimentaire entre le producteur et le consommateur permet une diminution de la consommation d'énergie (PETERS, BILLS, LEMBO, WILKINS, & FICK, 2009). Enfin l'agriculture urbaine permet aussi de diminuer le volume d'eau de ruissellement grâce aux surfaces végétalisées comme les jardins urbains sur toit (ACKERMAN, et al., 2014). En effet, le substrat et les plantes vont absorber l'eau et celles-ci vont la rejeter par transpiration (ODERNDORFER, et al., 2007).

b. Sociaux

L'agriculture urbaine dispose également de retombées sociales positives en termes de sécurité alimentaire, de réseaux sociaux et appartenance, d'éducation, de loisirs et qualité de vie. « La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active » (SOMMET MONDIAL DE L'ALIMENTATION, 1996). Les jardins collectifs et communautaires participent à augmenter la sécurité alimentaire dans les villes en prodiguant aux habitants des zones géographiques en question, un accès à des aliments sains à un coût réduit (DUCHEMIN, WEGMULLER, & LEGAULT, 2008). De plus, les jardins collectifs, où les personnes cultivent en commun un espace alloué préalablement, leur permettent de développer un sentiment d'appartenance envers cette même communauté. La mixité sociale, la formation ainsi que la création de liens sociaux sont des aspects favorisés dans ces lieux (WEGMULLER & DUCHEMIN, 2010). L'agriculture urbaine dans les pays du Nord fournit au travers du jardinage un moyen de détente qui relève de la passion et non de l'obligation (GAUDREAULT, 2011).

c. Économiques

L'agriculture urbaine a aussi des conséquences positives sur l'économie de la ville. En effet, elle permet de développer une économie locale, source d'emplois (ACKERMAN, et al., 2014). Cependant, cette création d'emplois est variable selon le contexte régional. Par exemple, dans certaines régions, la moitié des agriculteurs urbains emploient des travailleurs (GRAEFE, SCHLECHT, & BUERKERT, 2008). Alors que dans d'autres, seules des opportunités d'emplois occasionnels ou saisonniers existent à cause de la pauvreté des agriculteurs urbains ou de la trop grande fragmentation du marché du travail (NUGENT, 2002). De plus l'agriculture urbaine contribue au développement local, notamment grâce à

des organismes responsables de projets dans ce domaine qui mettent au point des partenariats avec des organismes communautaires où les ressources alimentaires (marchés locaux, cuisines collectives) sont utilisées (HISTA, 2007). Grâce à l'agriculture urbaine, un ménage voit son revenu complété et ses dépenses alimentaires compensées (ACKERMAN, et al., 2014).

2.1.3. À Montréal

a. Mouvement de l'agriculture urbaine au Québec

La superficie du Québec s'étend sur 1 667 712 km² (INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUEBEC, 2018) dont 80% de sa population occupe 5% du territoire (BINET, n.d). Grâce au site Cultive ta Ville réalisé par le Laboratoire sur l'agriculture urbaine, il est possible d'avoir un aperçu de tous les projets en agriculture urbaine réalisés dans tout le Québec. Ainsi il existe 31 fermes urbaines représentant une superficie de 1 534 850 m² (LABORATOIRE SUR L'AGRICULTURE URBAINE, 2018). La majorité de celles-ci sont présentes à Montréal qui est la ville la plus peuplée du Québec avec 21% de sa population qui y vit (INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUEBEC, 2018). Au total, le Québec comptabilise 1039 initiatives en agriculture urbaine dont 465 sont d'origine individuelle, 228 d'origine collective et 158 d'origine communautaire (LABORATOIRE SUR L'AGRICULTURE URBAINE, 2018). Les initiatives pédagogiques, institutionnelles et d'entreprises représentent un faible nombre. Il est intéressant de remarquer qu'en termes de superficie, le classement est inversé. En effet les initiatives communautaires représentent 70% de la superficie totale des initiatives en agriculture urbaine au Québec. Elles sont surtout présentes à Montréal, mais aussi à Québec, Saguenay et Rimouski. Ces différents chiffres permettent de montrer que l'agriculture urbaine est un mouvement très présent dans la ville de Montréal puisqu'elle génère le plus grand nombre de fermes urbaines et d'initiatives.

b. État des lieux à Montréal

L'état de l'agriculture urbaine réalisée par la ville de Montréal a permis de réaliser ce résumé (VILLE DE MONTREAL, 2012). L'agriculture a toujours eu une grande place à Montréal. Avant l'arrivée des premiers colons, les Iroquoiens cultivaient les trois sœurs (courge, maïs et des fèves). Au fil des siècles d'histoire, les productions végétales et animales, cultivées et élevées à Montréal ont progressivement laissé leur place à l'urbanisation. Toutefois à cette même période, des potagers urbains font leur apparition dans des espaces restreints. L'agriculture est devenue plus une démarche citoyenne que commerciale. Durant les deux guerres et la crise des années 30, le jardinage est fortement encouragé pour améliorer la sécurité alimentaire. En effet, les jardins de la Victoire ont vu leur apparition durant la Seconde Guerre mondiale. L'arrondissement LaSalle compte le plus vieux jardin communautaire depuis 1936 et le premier programme municipal de jardins communautaires a été adopté en 1975. Ce phénomène a pris de l'expansion dès 1990. Depuis 2002, chaque jardin communautaire est administré par l'arrondissement dans lequel il se trouve. Désormais, Montréal comptabilise 104 jardins communautaires. Les premiers jardins collectifs sont apparus, quant à eux, dans les années 90 dans les arrondissements de Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce et d'Achims-Cartierville. Cependant, la plupart des jardins collectifs se sont développés dès 2013. Contrairement aux jardins communautaires où le jardinage se pratique dans des parcelles individuelles, les jardins collectifs comprennent chacun un seul potager où des membres de groupes communautaires l'entretiennent suivant des pratiques écologiques. Ces terrains urbains sont souvent prêtés par des institutions privées ou publiques (TENDLAND, 2009). À ce jour, il y a 70 jardins collectifs à Montréal.

c. Exemples de différents projets à vision commerciale

De nombreux projets en agriculture urbaine existent à Montréal. Depuis 2011, les fermes urbaines à vision commerciale s'implantent de plus en plus. En effet, les Fermes Lufa, la champignonnière Blanc de Gris et le toit vert de l'IGA extra Famille Duchemin sont des exemples de fermes urbaines commerciales.

Les fermes Lufa ont créé en 2011 la première serre commerciale au monde sur un toit d'un bâtiment industriel dans le quartier Ahuntsic-Cartierville. Cette serre hydroponique de 2800m² permet de produire des fines herbes, micropousses, poivrons et beaucoup de tomates. L'objectif des fermes Lufa est de construire un système alimentaire local, sain et durable en nourrissant les villes par l'intermédiaire de paniers fraîcheur regroupant leurs produits ainsi que d'autres provenant de partenaires partageant une idéologie commune. L'entreprise a développé en 2013 une deuxième serre pour optimiser la production de tomates à Laval et une troisième en 2017 à Anjou pour la production de verdure (FERMES LUFA, 2018).

La champignonnière Blanc de Gris existe depuis 2014. Elle est située dans l'arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve. Elle produit des pleurotes en utilisant comme substrat de culture des résidus organiques générés localement, par exemple le marc de café. Ces pleurotes sont vendus aux restaurateurs, marchés de fruits et légumes et aussi aux traiteurs montréalais (BLANC DE GRIS, n.d). Le laboratoire sur l'agriculture urbaine a développé un partenariat avec cette entreprise de façon à utiliser leur substrat de champignonnière épuisé dans le cadre du projet de recherche Piments d'Espelette.

En 2017, l'IGA extra Famille Duchemin a inauguré son toit vert situé dans l'arrondissement Saint-Laurent à Montréal. L'IGA est le premier marchand d'alimentation qui vend des légumes provenant de son toit ainsi que le plus grand potager biologique sur un toit au Canada. Il est aussi le premier magasin qui utilise la récupération d'eau via un système de déshumidification pour le système d'irrigation du potager (IGA, 2018). Ce toit a été réalisé par la Ligne Verte et la collaboration de l'entreprise Alvéole qui s'occupe de huit ruches présentes sur ce toit. Une similitude qui rappelle le toit du Palais des congrès de Montréal où quelques ruches sont présentes et gérées par la même entreprise. Contrairement au toit vert du Palais des congrès, le toit vert de l'IGA extra Famille Duchemin est constitué directement d'un substrat peu profond. Un plan de fertilisation a permis la production de légumes. Afin de lutter contre les fortes températures et le vent, ils ont utilisé des ombrières et des brise-vent (IGA, 2018).

L'agriculture a toujours fait partie de la ville de Montréal depuis des siècles. En tant que première ville la plus peuplée du Québec, Montréal présente le plus grand nombre de fermes urbaines et d'initiatives en agriculture urbaine. Depuis quelques années, les pays du Nord développent aussi le caractère commercial dans les projets de fermes urbaines. En effet, de nombreux projets tels que les Fermes Lufa, la champignonnière Blanc de Gris et le toit vert de l'IGA extra Famille Duchemin le démontrent bien. Il est intéressant de noter, avec la récente ouverture du toit vert de l'IGA extra Famille Duchemin, l'intérêt des initiatives de développer des projets sur des toits. En effet, les toits verts se présentent comme une bonne reconquête de l'espace urbain par l'agriculture urbaine.

2.2. Culture sur toit

Dans cette nouvelle partie, la culture sur toit sera abordée. Premièrement, les différents concepts seront expliqués de manière à bien définir ce qu'est la culture sur toit et sur quoi elle repose. Ensuite, deux études de production sur murs végétalisés seront développées. La première est une étude de la ferme pilote réalisée par l'université A&M du Texas. La deuxième étude concerne l'historique des recherches dans le cadre du projet VERTical. L'objectif de cette partie est de comprendre le principe de production sur un toit et tout particulièrement d'être sensibilisé aux murs végétalisés par le biais de deux projets similaires. Ainsi le contexte du Projet VERTical pourra être compris.

2.2.1. Concepts

Les contraintes foncières entraînent l'agriculture urbaine à s'approprier de nouveaux sites alternatifs (ACKERMAN, 2012). En effet, elle s'intègre au paysage urbain en installant ses systèmes de production sur différents types de toits (supermarchés, hôtels, immeubles...). Il existe trois techniques de culture sur un toit : toit potager en contenant, toit avec système hydroponique et toit vert. Le choix de ces techniques dépend de la portance du toit, l'accessibilité, la sécurité, des responsables de projets, des propriétaires du toit et du contexte territorial (DANIEL, 2013).

Le toit potager en contenant consiste à cultiver principalement des légumes, herbes aromatiques et des fleurs comestibles dans des pots, bacs ou lits de substrats surélevés (DANIEL, 2013). Le toit des Palais des congrès de Montréal utilise deux technologies différentes pour son toit potager en contenant : des Smart Pots (géotextile) ainsi que des jardinières Alternatives fabriquées à partir de bacs de 50 litres comportant une réserve en eau d'environ 14 litres.

Le toit avec système hydroponique se trouve le plus souvent sous la forme de serre en plastique ou en verre. L'exemple des fermes Lufa illustre parfaitement ce système.

Le principe du toit vert repose sur la transformation d'une toiture en jardin. Les toits verts sont classés en deux types : l'extensif et l'intensif. Ils sont différenciés par leur coût, la profondeur de leur substrat et leurs plantes (BOUCHER, 2006) (**Tableau 1**). L'entretien des toits verts dépend de la diversité des plantes qui le composent et de son accessibilité. En général, le toit vert extensif n'est pas voire très peu accessible en comparaison avec le toit vert intensif qui nécessite un entretien régulier ainsi qu'une probable irrigation (BOUCHER, 2006).

Tableau 1- Différences de toits verts (BOUCHER, 2006)

	EXTENSIF	INTENSIF
Coût	Coût d'immobilisation abordable	Coûts de construction et d'entretien élevés
Profondeur de substrat	Peu profonde nécessite une structure légère	Plus profonde nécessite une structure plus robuste
Diversité de plantes	Faible (espèces succulentes)	Importante (herbacées, plantes vivaces, arbustes...)

Dans la plupart des cas, les toits verts sont composés d'une charpente de toit, d'un isolant, d'une membrane imperméable couplée à un écran antiracines, un système de drainage, une membrane géotextile pour accueillir le substrat et les végétaux (BOUCHER, 2006). Les toits verts sont utilisés pour la conservation d'énergie, des eaux de ruissellement, l'aménagement d'espaces verts ouverts au public ainsi que pour la production de nourritures (WHITTINGHILL & ROWE, 2011).

La ville de New York est l'un des modèles dans le mouvement de la culture sur toit avec des projets tels que la Brooklyn Grange Farm (3716 m²) et la Eagle Street Rooftop Farm (557m²) (ACKERMAN, 2012). La Brooklyn Grange Farm est le principal toit vert intensif aux États-Unis (BROOKLYN GRANGE, s.d.). Cette ferme urbaine est située sur deux toits à New York. Elle produit plus de 22 tonnes de légumes biologiques par an et dispose de près de 30 ruches situées sur différents toits dans la ville. La Brooklyn Grange Farm organise également des événements, programmes éducatifs et fournis des conseils d'installation pour les agriculteurs urbains dans le monde entier (BROOKLYN GRANGE, s.d.). La Eagle Street Rooftop Farm est aussi un toit vert intensif situé à Brooklyn à New York. Elle produit des légumes au sommet d'un entrepôt de 3 étages (EAGLE STREET ROOFTOP FARM, s.d.). Malgré l'existence de nombreux projets de culture sur toit dans le monde, il est nécessaire d'effectuer de la recherche sur les toits verts afin de cibler les espèces adaptées à ces technologies. Ces études permettront de déterminer concrètement les économies d'énergie ainsi que la rétention des eaux de ruissellement. Des études sur les autres facteurs environnementaux, par exemple l'effet de la puissance du vent sur les cultures, sont aussi des perspectives intéressantes (WHITTINGHILL & ROWE, 2011).

2.2.2. études de production sur murs végétalisés

a. Cas de la ferme pilote sur toit de l'université A&M du Texas

L'université A&M du Texas est située entre les villes d'Austin et Huston et le toit au sommet du bâtiment Langford de 4 étages. L'étude portait sur différentes variétés de cultures vivrières se développant sur un toit vert extensif et des murs végétalisés sous un climat chaud en été et doux en hiver (DVORAK & ALI, 2016). L'objectif de l'étude était de caractériser l'adaptabilité des différentes variétés testées à ces modes de production sur toit et de lister les variétés les plus productives. Ainsi 31 variétés ont été testées sur 81 modules de toit vert extensif et 17 variétés dans les murs végétalisés. Les plantes ont été plantées dans les murs végétalisés à l'automne 2014 et le printemps 2015 et récoltées au printemps et en été (**Figure 1**).

Ainsi 17 variétés ont été plantées dans des membranes de type FloraFelt®. Le système de membranes FloraFelt® n'est pas normalement conçu pour accueillir directement les semis. Ils sont préparés en serres puis transplantés dans les membranes FloraFelt® en étant enveloppés préalablement dans des morceaux de tissu (FloraFelt® Root Wrap). Certaines variétés ont été achetées puis transplantées, d'autres directement semées dans les pochetons de la membrane. Les membranes FloraFelt® sont constituées d'un support rigide de Polyéthylène haute densité et d'une façade épaisse de feutre fabriqué à partir de bouteilles recyclées. Le feutre est censé résister à la moisissure et est perméable à l'eau permettant de garder une certaine humidité nécessaire aux plantes. Chaque membrane possède des tubes gouttes à gouttes espacés chacun de 3 rangées. Les goutteurs émettent environ 1,9 litre par heure. L'irrigation totale du mur était de 390 litres par semaine. Le système d'irrigation a été mis en place dès l'installation du mur jusqu'à début décembre puis de fin janvier à la fin du printemps. Il a été coupé quand les températures nocturnes étaient inférieures à zéro.

Les plantes ont bien survécu sur le mur, mais la plupart des plantes présentaient des retards de croissance et ne produisaient pas ou très peu de produits récoltables. Les variétés de laitue, ail, chou frisé, menthe, menthe poivrée, menthe verte, épinard, échalote, fraise et chou ont été réussies du début au milieu du printemps. Le système d'irrigation a été défectueux à la fin du printemps, pendant l'été jusqu'à la fin de l'expérimentation. Les différentes variétés ne répondaient pas de la même manière aux conditions microclimatiques du mur. Le système d'irrigation n'a pas été efficace, car certaines parties restaient sèches. Après l'étude, le système de gouttes à gouttes suivant les poches de plantation a été remplacé par un système de tuyau percés pour une distribution en eau identique (DVORAK & ALI, 2016).



Figure 1- Murs végétalisés (Source : DEVORAK, B)

b. Historique du Projet VERTICAL

➤ Année 2016

L'objet d'étude choisi pour 2016 était des prototypes de toiles de croissance. L'objectif était d'identifier quel support de croissance était le plus performant et permettait un taux de production optimum. Trois types de membranes ont été testées via l'analyse des paramètres physiques (poids de l'eau, rétention l'eau, résistance aux conditions de culture, vitesse de séchage, résistance...) en situation de cultures (plants de laitues, de basilics et de fraises). L'étude était réalisée en deux temps :

- De Juin à Octobre 2016 : parcelle d'expérimentation de 120 m² sur le toit du Palais des Congrès
- Pendant l'automne-hiver 2016 : poursuite de l'expérimentation dans les serres de l'UQAM

Durant la première période d'expérimentation sur le toit du Palais des Congrès, chaque plante était répartie dans trois différents types de toiles : **Econo50** (grise – 179 X 52 cm), **Novatex** (noire – 180 X 52 cm), **Aquammat** (blanche – 187 X 51 cm). Ensuite l'effectif total de chaque toile pour chaque plante était divisé par deux en fonction du substrat utilisé : un substrat organique (le Terreau G9 de FAFARD) ou un substrat inorganique (la vermiculite).

Les plantes ont été installées aléatoirement sur les toiles afin d'obtenir un échantillonnage statistique. Deux sections composent une seule toile et chaque section est composée de 28 cases pouvant accueillir une plante. Les jeunes plantules de laitue ont été repiquées au stade de 4-5 feuilles, environ 1 mois après leur semis. Les fraises ont été repiquées au stade de 3-4 feuilles et les plants de basilic le furent au stade de 2-4 feuilles. Différents tuyaux longent chaque toile et peuvent libérer de l'eau à l'intérieur de la structure. Le surplus est récupéré grâce à une gouttière permettant de le mener vers les zones de récupération avant d'être réutilisé. Une fertilisation commune a été adoptée pour l'ensemble du système.

La seconde période d'expérimentation dans les serres avait pour but de prolonger la culture jusqu'à fin décembre 2016. La serre de 39 m² était une serre totalement contrôlée (température, humidité relative, lumière, ventilation). Contrairement à l'expérimentation au Palais des Congrès, le choix s'était porté sur la culture de salade pour sa croissance rapide sur deux toiles seulement (blanche et grise). Sur chaque feutre 12 plants de laitues ont été insérés avec la même approche de plantation que sur le toit, en pochetons avec deux substrats (BRASILES & DUCHEMIN, 2017).

La rétention d'eau des trois types de toiles ainsi que la croissance des plantules sont les variables mesurées.

Tableau 2- la rétention d'eau des différentes toiles

	Toile AQUAMAT (Blanche)	Toile ECONO50 (Coton recyclé- grise)	Toile NOVATEX (Noire)
Tests SANS Irrigation	- Meilleur taux de rétention - Évaporation élevée	- Taux de rétention intéressant - Évaporation élevée	- Taux de rétention faible - Évaporation élevée
Tests AVEC Irrigation	- Libère 2 X plus d'eau que les autres toiles - Répartition hétérogène sur sa surface	- Peut retenir l'eau à l'intérieur de sa structure (extérieur un peu humide) - Moins de perte d'eau	- Toile la plus rapidement imbibée - Toile s'humidifie bien et répartition homogène de l'eau

Le **Tableau 2** présente la première variable mesurée lors des différentes expériences : la rétention en eau de la membrane. Pour cela deux tests ont été réalisés sans et avec irrigation pour chacune des toiles. En conclusion, dans des conditions sans plante, une rétention en eau faible est observée pour les trois types de toiles. Les conditions climatiques influencent la rétention en eau des différentes toiles. Il est intéressant d'utiliser des pochetons ayant un tissu perméable afin de garantir un certain niveau d'humidité (BRASILES & DUCHEMIN, 2017).

Tableau 3- La croissance des plantules

	Fraise	Laitue	Basilic
Recensement de la mortalité des plants	Type de substrat n'a pas d'impact sur le taux de mortalité des plants de fraise	Forte mortalité des semis lors de la transplantation en particulier sur la toile Novatex Taux de mortalité plus élevé des laitues dans le terreau G9	Type de substrat n'a pas d'impact sur le taux de mortalité des plants de Basilics
Influence de l'exposition sur la croissance	Influence de l'exposition EST sur la croissance des plants de Fraise	Pas d'influence de l'exposition EST sur la croissance des plants de Laitue	Influence de l'exposition EST sur la croissance des plants de Basilics
Influence du type de membrane et substrat	Pas d'impact sur le taux de croissance des plants de fraise	Taux de croissance plus important des plants de laitue sur la toile Novatex Pour l'expérimentation en serre : toiles Aquamat et Econo50 et les substrats n'ont pas d'impact sur la croissance des plants de laitue	Pas d'impact sur le taux de croissance des plants de Basilics

Le **Tableau 3** présente l'influence de l'exposition, du type de membrane et de substrat sur la croissance des plantules. Il est intéressant de noter que le type de membrane et de substrat n'impacte pas le taux de croissance des plants de fraise et de basilic. Au contraire, il existe une influence notable pour les plants de laitue (BRASILES & DUCHEMIN, 2017).

En conclusion, la toile Novatex n'a pas été retenue en raison de la non correspondance avec les besoins du projet. L'utilisation des pochetons sur l'insertion des plants présente un fort intérêt. Les toiles Aquamat et Econo50 devront être testées sur le long terme. Un plan de gestion pour le développement des algues sur les membranes devra être établi pour le futur (BRASILES & DUCHEMIN, 2017).

➤ Année 2017

L'objectif de l'année 2017 était de mener à maturité des plants installés sur des murs végétalisés. 10 000 plants de fraises et autres ont été installés sur 275 membranes. Certaines membranes étaient occupées presque exclusivement par des plants de fraise. De ce fait, des maladies fongiques ont infesté presque 50% des membranes. De plus, la mise en place des plants de fraise a été plus tardive que la prévision initiale. Par conséquent, un nombre important de transplants sont morts ou des stress ont été générés. Durant cette année, la gestion de l'irrigation a posé de nombreux problèmes. L'irrigation était quasi continue, les pochetons ont stocké de l'humidité, les systèmes racinaires ont été noyés. À cause de nombreuses coupures électriques, le système irrigation a été défaillant et a considérablement impacté la survie des plantes. Le système goutte à goutte installé depuis 2016 ne possédait que 3 goutteurs. Le taux de mortalité des plants situés à droite des membranes a été élevé. Comme le système fertigation automatisé a pris un certain temps à se mettre en place, les plants n'ont pas reçu la bonne quantité de fertilisants. Par manque de temps, des sections n'ont pas été occupées. Il y aurait un potentiel de 45 membranes supplémentaires à exploiter pour les futures années.

La membrane géotextile utilisée ne correspondait pas aux besoins de production (BILODEAU & LEMIEUX, 2017).

La production alimentaire sur murs végétalisés sur un toit est un concept encore très peu adopté dans le monde. En effet, l'université A&W du Texas est la seule université connue à avoir expérimenté ce type de production sur un toit. Il est intéressant de mettre en parallèle cette étude avec le projet VERTical parce que les membranes utilisées pour accueillir les plantes et le système d'irrigation présentent de nombreuses similitudes. L'expérimentation de l'université A&W du Texas avait pour objectif de déterminer les espèces adaptées à ce mode de production sous un climat chaud en été et doux en hiver et de quantifier les espèces les plus productives. Alors que la première année d'expérimentation du projet VERTical s'est axée sur la performance des supports de croissances et non sur l'adaptabilité des espèces de plantes. Par conséquent, étudier l'adaptabilité de différentes espèces de plantes constituerait un enjeu pour ce mode de production dans le cadre du projet VERTical. Il pourrait être intéressant d'inclure le contexte microclimatique dans cette étude puisque le lieu de production est un toit en plein centre-ville de Montréal.

2.3. Climat urbain

Cette dernière partie aborde le climat urbain. Afin de mieux comprendre la climatologie urbaine, les principaux concepts seront expliqués dans une première partie. Une fois le vocabulaire acquis, une seconde partie développera le phénomène des îlots de chaleur urbains. Pour finir, la relation entre le climat urbain et la végétation sera identifiée. Il est très important de comprendre ces différents concepts afin de pouvoir visualiser le projet VERTical dans l'environnement dans lequel il se situe, c'est-à-dire en plein centre-ville de Montréal. Cet environnement a des répercussions négatives et positives sur l'adaptabilité des différences espèces de plantes.

2.3.1. Concepts

La climatologie urbaine qualifie une surface comme la séparation du sous-sol avec l'atmosphère par une couche, dont la hauteur est connue (BENZERZOUR, 2004). La surface urbaine est le lieu de régulation de phénomènes physiques (OKE, 1987) :

- Absorption, réflexion et émission de la majorité des rayonnements solaires et thermiques et lumineux
- Transformation de la plus grande part d'énergie et de masse
- Interception des précipitations
- Forte résistance au mouvement des flux d'air

La surface urbaine est constituée d'une multitude d'éléments de nature différente (morphologie, type de sol, matériaux) dont les propriétés physiques diffèrent. L'imagerie satellite permet entre autres de visualiser les températures de la surface urbaine qui varient selon la nature des éléments qui la composent (BENZERZOUR, 2004).

Il existe trois échelles dimensionnelles, interagissant entre elles, qui permettent de décrire le climat urbain : la microéchelle, l'échelle locale et la méso échelle (BENZERZOUR, 2004) (**Figure 2**) :

- La microéchelle est caractérisée par la création et l'influence d'un microclimat propre à toute surface ou tout objet sur tout ce qui les entoure dans une distance de 1m à 100m. Les paramètres climatiques comme les températures de l'air et de surface peuvent varier entre des distances très faibles.
- L'échelle locale englobe un ensemble urbain, aux caractéristiques homogènes (matériaux, activités, bâtiments) comprises entre 1 et quelques kilomètres. Elle est caractérisée par les variations des éléments de l'environnement et dépasse l'échelle des effets microclimatiques.
- La méso échelle traduit un champ plus large que les échelles précédentes puisqu'elle s'étend à quelques dizaines de kilomètres. Elle permet d'analyser les influences d'une ville sur les conditions météorologiques et les paramètres climatiques.

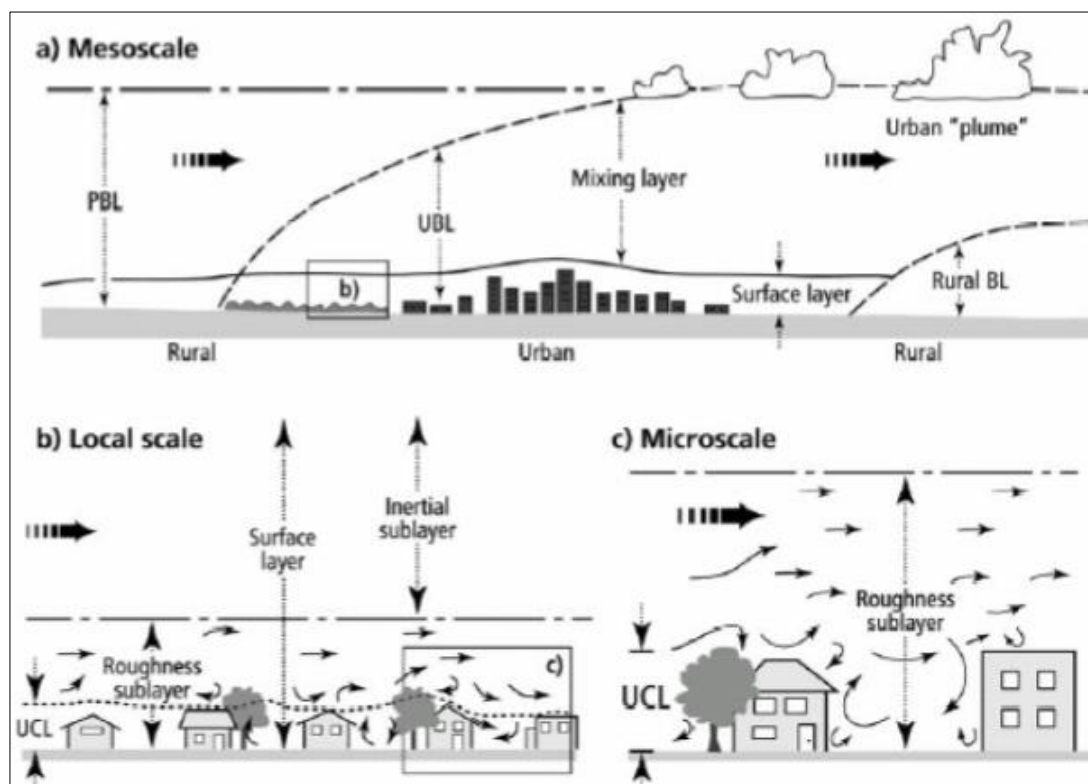


Figure 2- échelles climatiques (Source : OKE 1987)

Il existe deux parties de la couche urbaine, la canopée urbaine et la couche limite urbaine (CLU) située juste au-dessus de la première strate. La canopée urbaine est la couche atmosphérique située au sommet des bâtiments et des arbres. Les effets microclimatiques sont compris entre le sol et la canopée urbaine. La couche limite urbaine a une taille variable en fonction de la hauteur des bâtiments et des conditions climatiques comme la vitesse du vent. Le bilan radiatif a une influence sur les températures comprises dans la canopée urbaine. En effet, le sommet des bâtiments et des arbres, les murs végétalisés sont les premiers éléments à percevoir le rayonnement solaire incident. Par conséquent, le sol reçoit une faible part. Les pertes radiatives sont diminuées par l'interception des rayonnements, émis par les surfaces diverses, par les autres bâtiments. La température est donc plus élevée en zone urbaine qu'en zone rurale (BOULFANI, 2010).

Il est possible que le climat urbain change au fil du temps à cause de différents facteurs qui modifient le climat local et le microclimat. La densité et la taille de la ville, la morphologie, les différentes activités présentes dans l'espace en question, la couverture minérale de la ville, la couverture végétale, les étendues d'eau et l'albédo interviennent dans ce changement. L'albédo correspond au rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente. Une température de surface élevée implique un albédo faible (BOULFANI, 2010).

2.3.2. Ilots de chaleur urbains

Un îlot de chaleur urbain (ICU) ou îlot thermique urbain fait référence à une zone urbaine où la température est significativement plus élevée que dans les zones rurales avoisinantes. La température de l'ICU peut atteindre 8 à 10°C de plus. **(Figure 3)** La variation de température provient de facteurs anthropiques et naturels.

En effet, les milieux où prédominent les bâtiments composés de surfaces non réfléchissantes, absorbant et stockant l'énergie solaire, dépourvus de végétation, participent à amplifier ce phénomène (COLOMBERT, 2008).

Près de 80% de la surface montréalaise est construite ou asphaltée (LABRECQUE & VERGRIETE, 2008). En effet, l'asphalte est un bon exemple de surface non réfléchissante dont une de ses particularités est de stocker la chaleur du rayonnement solaire durant la journée, pour ensuite la libérer la nuit. Un vent faible renforce ce phénomène. Un faible albédo et une forte émissivité sont deux propriétés qui mènent à la formation d'îlots de chaleur en favorisant la rétention de chaleur par le tissu urbain. Les formations d'îlots de chaleur urbains varient au fil des saisons (GIGUERE, 2009). Il est intéressant de noter que les îlots de chaleur urbains du Québec sont fortement réduits durant l'hiver du fait du climat nordique, mais l'été ne fait pas exception à la formation de ce phénomène. Le mois de Juillet compte un fort ensoleillement, amplifiant la formation d'îlots de chaleur urbains (ANQUEZ & HERLEM, 2011).

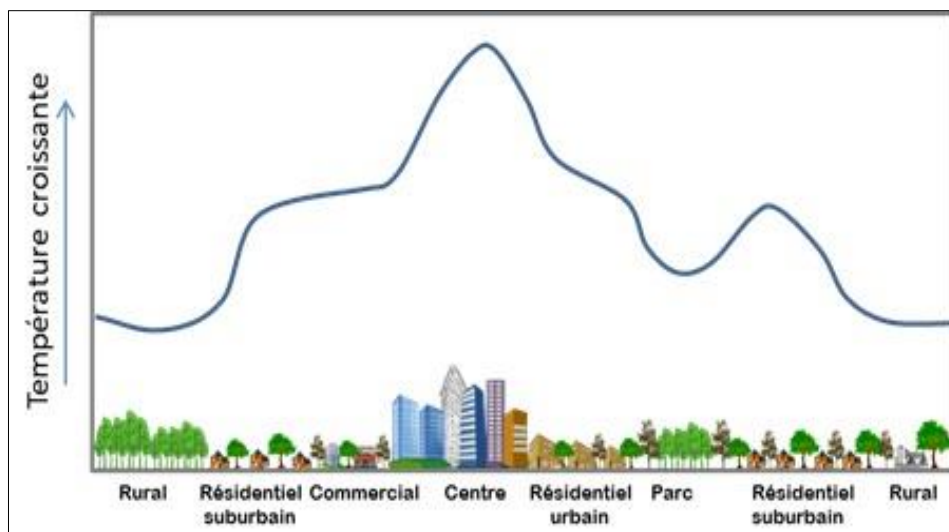


Figure 3- Phénomène îlot de chaleur (Source : AKBARI et al. (1992))

2.3.3. Relation climat-végétation

a. Effets de la végétation sur le climat

La végétation a un effet positif sur le climat en milieu urbain. Son ombre combinée à l'évapotranspiration permet de rafraîchir l'air. De plus, l'ombre a un impact sur la diminution des températures de surface des matériaux et des bâtiments en réduisant la part d'énergie solaire perçue par ceux-ci. À Montréal, la différence entre la température dans les parcs et les zones habitées peut s'élever à 2,5°C de moins (APA NORD PAS DE CALAIS, 2014).

Il est complexe d'évaluer la réduction de la température de l'air par les végétaux. Différents facteurs interviennent dans la modulation du microclimat urbain par les végétaux. En effet, le type de végétation implantée, la superficie des espaces végétalisés, la végétalisation des surfaces bâties et l'aménagement, l'albédo participent à la modification du climat.

Diversifier les types de végétation comme l'implantation d'arbres, d'arbustes, de pelouses, accentue positivement la circulation de l'air frais. L'aménagement joue un rôle primordial dans l'abaissement des températures de surface et de l'air ambiant. Prendre en considération l'albédo de surface et des matériaux, dans les planifications urbaines, influe sur le climat urbain. La stratégie est de privilégier une augmentation des albédos de surfaces avec une augmentation de la couverture végétale. De plus, la planification des bâtiments (organisation et forme) est tout aussi importante pour éviter la stagnation des masses d'air chaud. Les toits verts et les murs végétalisés réduisent le phénomène des îlots de chaleur urbains. Sur un toit vert, l'albédo est élevé ayant pour conséquence la réduction de l'énergie habituellement stockée par un toit dépourvu de végétaux.

L'adoption d'un toit vert dans un plan d'urbanisme à la place d'un toit classique fait économiser 40 à 110% de l'énergie servant à la climatisation ou au chauffage (APA NORD PAS DE CALAIS, 2014). Un mur recouvert de vignes vierges (adaptées au climat québécois) voit sa température réduite de 20°C par rapport à un mur nu, non ombragé (GIGUERE, 2009).

b. Effets du climat sur la végétation

Les facteurs anthropiques influencent l'environnement et le climat urbain via les températures, le dioxyde de carbone, l'humidité relative, le vent, l'ozone (GRIMM, et al., 2008) (BANG, SABO, & FAETH, 2010). À ce jour, il est complexe d'évaluer le poids des effets de chacun de ces polluants ou de ces variables microclimatiques sur la croissance des plantes à cause des interactions entre eux (WORTMAN & LOVELL, 2013). La phénologie est couramment utilisée pour étudier le changement climatique (WILLIAMS & ABBERTON, 2004).

Des études ont montré que l'activité photosynthétique se déroule plus tôt et la sénescence plus tard dans un environnement urbain que rural. La saison de croissance est donc plus longue dans un contexte urbain (ROETZER, WITTENZELLER, HAECKEL, & NEKOVAR, 2000). L'augmentation de la température et le dioxyde de carbone participent à l'allongement des saisons de croissance en milieu urbain (WALTHER, et al., 2002). Les agriculteurs urbains pourraient trouver leurs intérêts de prolonger au maximum leurs périodes de production. Cependant, un développement physiologique précoce peut entraîner une perte de fécondité des cultures et donc une diminution de rendement.

En effet, le temps de reproduction peut être manqué par une floraison précoce ou tardive (KUDO, NISHIKAWA, KASAGI, & KOSUGE, 2004).

Le déficit de pression de vapeur (DPV) et le vent sont des facteurs microclimatiques influençant l'environnement urbain. La vitesse du vent est plus faible en milieu urbain qu'en milieu rural, à cause des infrastructures qui participent à l'accumulation des polluants et de la chaleur (BANG, SABO, & FAETH, 2010). Des vents faibles participent à la réduction des altérations des végétaux et à l'augmentation des échanges gazeux, de la photosynthèse et des rendements (HODGES, SURATMAN, BRANDLE, & HUBBARD, 2004). Les villes présentent souvent une DPV plus importante par rapport aux zones rurales. Une DPV élevée entraîne une transpiration des plantes plus importante, un stress hydrique et une réduction de la photosynthèse. Par conséquent, les agriculteurs urbains doivent développer des systèmes d'irrigation durable pour pallier à cette perte d'eau (CREGG & DIX, 2001).

L'ozone est un polluant urbain qui impacte fortement la croissance des plantes. L'ozone est produit par la combustion des ressources fossiles. Cependant, la réaction de l'ozone avec les oxydes d'azote entraîne une diminution de l'ozone dans les villes et une augmentation dans les milieux ruraux et périurbains (GREGG, JONES, & DAWSON, 2006). Une exposition à une forte concentration en ozone réduit la photosynthèse et les racines, entraîne une sénescence prématurée des feuilles et une réduction de la biomasse qui peut s'élever de 25 à 50 % en fonction des espèces (ROBINSON & BRITZ, 2000).

L'oxyde d'azote et le dioxyde d'azote sont deux autres gaz phytotoxiques. L'oxyde d'azote est vite oxydé en dioxyde d'azote en milieu urbain (COLVILE, HUTCHINSON, MINDELL, & WARREN, 2001). Une forte concentration en dioxyde d'azote améliore l'absorption de l'azote par la plante et entraîne une diminution des ratios C/N des tissus foliaires. Ce phénomène pourrait être un atout pour les cultures urbaines (WANG & PATAKI, 2010). Mais la quantité d'azote disponible dans un milieu urbain reste plus faible que la demande des cultures (ZISKA, GEORGE, & FRENZ, 2007). De plus, un taux élevé de dioxyde d'azote entraîne une sénescence précipitée de la plante ainsi qu'une floraison retardée (SAXE, 1994).

Le projet VERTical se situe en plein centre-ville de Montréal qui constitue un îlot de chaleur important du fait des nombreux bâtiments aux surfaces non réfléchissantes qui absorbent et stockent l'énergie solaire. La température aux alentours du Palais des congrès de Montréal peut être entre 8 à 10 °C au-dessus que les zones avoisinantes. Il est aussi possible de rencontrer des différences de température de surface à quelques mètres de différence. La température est un élément intéressant à prendre en compte dans l'étude sur l'adaptabilité des espèces, car elle jouera potentiellement un rôle dans leur croissance. De plus, il a été montré que les toits verts permettaient d'abaisser la température de l'air ambiant. En prenant en compte toutes ces informations, il devrait avoir une disparité des zones de chaleur sur le toit du Palais des congrès du fait des nombreux projets qui le composent. Des études ont aussi montré que le climat urbain avait des répercussions positives ou négatives sur la croissance des plantes, par exemple l'allongement des saisons de croissance grâce aux températures élevées et au taux de dioxyde de carbone ou une sénescence précipitée à cause d'un taux élevé de dioxyde d'azote ou d'ozone.

2.4. Problématique

Face aux nouveaux enjeux de notre époque, l'agriculture urbaine vise, depuis quelques années, à conquérir de nouveaux sites alternatifs pour la production alimentaire. Ainsi les toits des immeubles s'affichent comme des solutions intéressantes pour compléter la production provenant des zones périurbaines et rurales. Les agriculteurs urbains doivent apprivoiser ces nouveaux sites et adopter un ou plusieurs système(s) productif(s) tels que le toit vert, le toit potager en contenant ou le toit avec système hydroponique.

La production alimentaire sur murs végétalisés est un concept innovant et rarement réalisé dans le monde. L'étude de l'université A&M du Texas a montré que cette technologie est prometteuse, mais de nombreux enjeux existent afin d'obtenir un rendement intéressant générateur de revenus pour des agriculteurs urbains (DVORAK & ALI, 2016). Le système adopté par l'AU/LAB est légèrement différent de celui de l'Université A&M du Texas. En effet, les infrastructures ne sont pas identiques et les membranes choisies ne proviennent pas du même distributeur. Cependant, le principe reste identique : produire des légumes et des plantes aromatiques dans des murs végétalisés sur un toit. Durant les années passées du projet VERTical, les chercheurs se sont axés sur la performance des membranes choisies et très peu sur la production en tant que telle. Il n'existe pas suffisamment de données sur les murs végétalisés adoptés par l'AU/LAB pour fournir des informations aux agriculteurs urbains montréalais. En effet, ceux qui aimeraient adopter et reproduire cette technique se heurtent à la méconnaissance de ce système avant-gardiste.

De plus, aucune étude n'a été réalisée en intégrant le contexte microclimatique du toit en milieu urbain. Le toit des Palais des congrès se situe en plein centre-ville de Montréal dans le quartier des affaires. Le phénomène d'îlots de chaleur y est intense et la température élevée en été. Les gaz polluants comme le dioxyde de carbone, le NO, le NO₂, l'O₃ sont des composants de ce milieu de production alimentaire. Étudier leurs impacts dans la phénologie des espèces installées sur les murs végétalisés permettrait de mieux appréhender le microenvironnement qu'est le toit. Comprendre le microclimat urbain du toit via les variables microclimatiques est aussi une piste moins complexe et plus accessible dans les premières années du projet VERTical.

L'une des missions de l'AU/LAB en tant que Laboratoire sur l'agriculture urbaine est de participer à la création de données en vue de promouvoir le développement des murs végétalisés sur un toit et ainsi inciter les agriculteurs urbains à adopter ce nouveau mode de production.

La problématique choisie qui est développée dans ce mémoire est :

« Quelles sont les espèces adaptées à la production verticale sur un toit et quelle est l'influence de la température sur cette adaptabilité dans un contexte microclimatique urbain ? »

L'enjeu est de déterminer les espèces les mieux adaptées à la production verticale en intégrant le contexte microclimatique du toit urbain. La température est la variable microclimatique choisie pour comprendre son impact, d'une part sur la croissance des espèces des murs végétalisés et d'autre part sur le toit du Palais des congrès.

Ainsi 2018 marquera le commencement de fiches sur les espèces adaptées à la production verticale sur toit.

Les hypothèses de travail sont :

1. La répartition de la chaleur sur le toit est différente selon les différents matériaux et végétaux qui recouvrent le sol. Les températures de surfaces sont donc hétérogènes à quelques mètres de différence.
2. La température de l'air ambiant sur le toit est plus élevée que la température de l'air dans les rues du centre-ville de Montréal du fait de la hauteur du bâtiment et de la proximité avec les rayonnements solaires.
3. La croissance des espèces des murs est dépendante de leur orientation par rapport au rayonnement solaire (Nord-Est, Sud-Est).
4. Les murs montrent des zones sèches sur les membranes soulignant des problèmes d'irrigation et impactent les rendements des différentes espèces.

III- MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental du projet VERTical se situe sur le toit du Palais des congrès en plein centre-ville de Montréal. Il est caractérisé par des échafaudages en acier sur lesquels sont accrochées des membranes. Plusieurs échafaudages constituent une section qui supporte cinq membranes (**Figure 4**). L'expérimentation comporte 9 sections donc 45 membranes (**Figure 5**). Une membrane est constituée de deux parties identiques comprenant chacune 14 pochetons coupés au cutter pour accueillir les futurs plants (**Figure 6**). Les membranes utilisées sont des toiles Aquamat de couleur blanche mesurant 187 x 51 cm.



Figure 4- Aperçu d'une section



Figure 5- expériméntation VERTICAL



Figure 6- Aperçu de plusieurs pochetons

Le système irrigation/fertilisation est régi par un panneau de contrôle monté par l'entreprise Irriglobe. Cette installation permet la gestion de l'ensemble des murs végétalisés incluant ceux dédiés à l'expérimentation. Ce panneau comprend des valves électriques reliées aux tuyaux d'eau ainsi que trois injecteurs pour la fertilisation. Grâce à une application (bluespray), il est possible de contrôler à distance le système, la fréquence d'irrigation et le lancement des injecteurs.

Un système gouttes à gouttes permet l'approvisionnement en eau et en fertilisant dans chacune des membranes. Un tuyau est composé de quatre goutteurs pour maximiser l'irrigation dans les pochetons. Ces goutteurs sont placés à deux endroits sur la membrane : deux dans la partie supérieure et un goutteur au centre de la membrane. Ainsi l'eau et le fertilisant peuvent ruisseler le long de la membrane et irriguer les différents pochetons. Le surplus est évacué dans des gouttières en acier qui acheminent l'eau via un drain jusqu'à une cuve de 130 L environ. À l'intérieur de celle-ci, une pompe permet de renvoyer l'eau en cas de trop plein vers une cuve plus conséquente de 18 000 L permettant d'alimenter les murs fermant le système d'irrigation.

3.2. Matériel végétal

3.2.1. Descriptif

L'étude porte sur trois espèces maraichères : la betterave, le poivron et le pak choï et une plante aromatique, l'origan (**Tableau 4**).

Tableau 4- Espèces testées

	GENRE	ESPÈCE	VARIÉTÉ
Betterave	Beta	vulgaris	Hybride Guardsmark de la variété Chioggia
Betterave	Beta	vulgaris	Golden
Betterave	Beta	vulgaris	Hybride Merlin de la variété Red Ace
Origan	Origanum	vulgare hirtum	Grec
Poivron (jaune)	Capsicum	annuum	Tinker Bell
Poivron (rouge)	Capsicum	annuum	Right on Red
Pak Choï	Brassica	rapa var. chinensis	Shanghai green

Différents critères ont appuyé le choix de ces espèces. La prise en compte du format des plants a été l'un des critères le plus important. En effet, les espèces sont plantées en quinconce de manière à laisser un pocheton vide au-dessus et en dessous de celles-ci. En moyenne, les espèces choisies mesurent entre 30 et 45 cm de hauteur ce qui permet entre autres de limiter la compétition pour la lumière. La capacité des plantes à résister à la chaleur a aussi été regardée étant donné le climat estival chaud à Montréal. L'origan grec résiste aussi bien à des fortes températures qu'à des basses (-16,-12 °C) (AROM'ANTIQUE, s.d.). Le pak choï shanghai green est une espèce tropicale originaire du sud de la Chine qui s'adapte très bien à la chaleur (SEMIS URBAINS, 2018). La betterave merlin a un feuillage résistant à la chaleur tandis que la betterave Golden détient une bonne résistance à condition que le sol reste frais (STOKES, 2018). La betterave Chioggia Guardsmark peut résister elle aussi à la chaleur, mais la sécheresse lui confère des racines dures et ligneuses et une diminution de la couleur si elle est exposée à une longue période de sécheresse suivie de fortes pluies (HOME JARDIN, 2018). Les poivrons Tinker Bell et Right on Red sont originaires de régions tropicales d'Amérique du Sud (PRO SPECIE RARA, 2018). Les quatre espèces appartiennent toutes à des familles botaniques différentes, ce qui permet d'éviter au maximum l'apparition de maladies ou la propagation de ravageurs. Toutes les semences sont non traitées et proviennent de différents endroits : Stokes (betteraves et poivrons), Coopérative Tournesol (Pak Choï) et Johnny's (origan).

3.2.2. Plan expérimental

Afin de tester toutes les conditions d'exposition (Nord-Est/Sud-Est, haute et basse membrane), la répartition des espèces sur les membranes a été faite de manière aléatoire. C'est-à-dire que chaque espèce occupe une demi-section dans toutes les conditions. À noter que la première section est dédiée au semis direct pour seulement la betterave et le pak choï.

Les 8 autres sections sont occupées par toutes les espèces. Les plants ont été semés dans la serre de l'UQAM puis transplantés dans les murs végétalisés.

Lors de la transplantation dans les pochetons, le substrat utilisé a été du terreau G7 de FAFARD emballé dans un géotextile feutré TEX-500 de la compagnie TEXE afin de protéger le système gouttes à gouttes en ne bouchant pas les voies d'écoulement de l'eau par le terreau. La section 1 se trouve du côté de la machine d'irrigation. Toutes les membranes se lisent de la gauche (côté système irrigation) vers la droite (côté espace vert VERTical) (**Figure 7**).

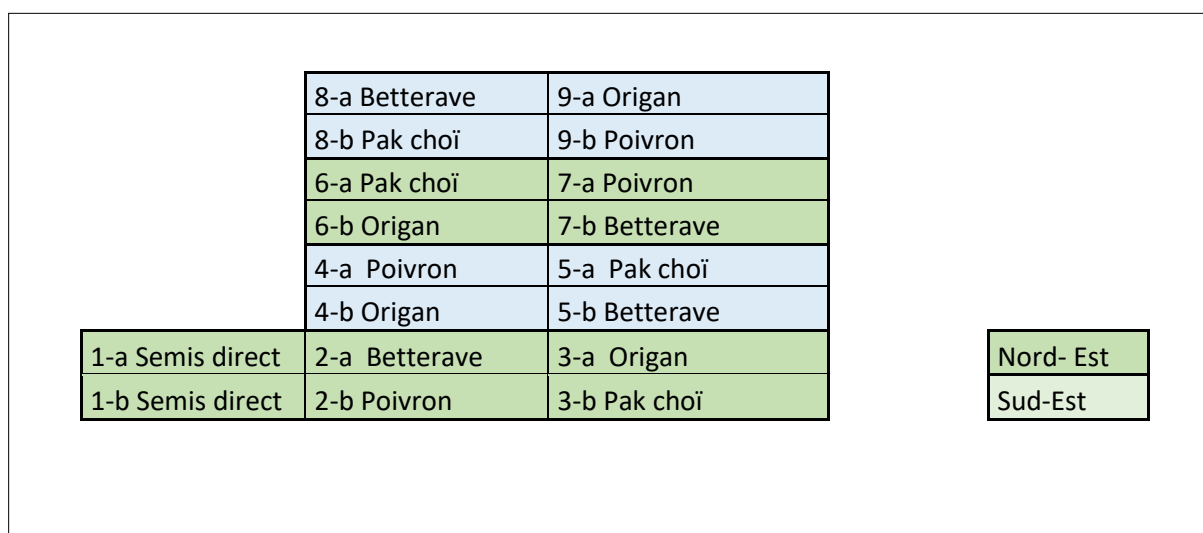


Figure 7- Plan d'expérimentation

3.3. Méthodes

3.3.1. Étude sur le poivron

Le poivron est présent dans quatre demi-sections pour que toutes les conditions soient représentées : l'exposition Nord-Est ou Sud-Est et haute membrane (a) ou basse membrane (b). Afin d'obtenir un échantillon représentatif, un minimum de 30 mesures doit être effectué pour chaque condition. Ainsi **120 relevés** seront réalisés, ce qui représente **6 mesures par membrane**. La fréquence sera d'une fois par semaine (**Figure 8**). La croissance sera mesurée via une identification des stades phénologiques ainsi que la longueur de la tige, le nombre de feuilles et de fruits. La méthode choisie pour l'identification des stades phénologiques est l'échelle BBCH (Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt et Chemische Industrie) des légumes de la famille des Solanacées (FELLER ET AL., 1995). Cette échelle a été développée en Allemagne en 1995 et associe des codes (de 0 à 99) aux stades phénologiques correspondants, le 00 étant le semis et le 99 le produit après récolte (MEIER, 2001). Seulement les stades principaux identifiés par un premier chiffre seront utilisés dans l'étude présente. En complément, la température du feuillage et des membranes se fera grâce à un thermomètre infrarouge Ryobi. Les mesures de température de la membrane seront réalisées sur la troisième membrane de chacune des demi-sections et la température du feuillage, sur un plant aléatoire sur les mêmes membranes. Afin de réaliser une moyenne, trois mesures sur les feuilles des poivrons seront effectuées.

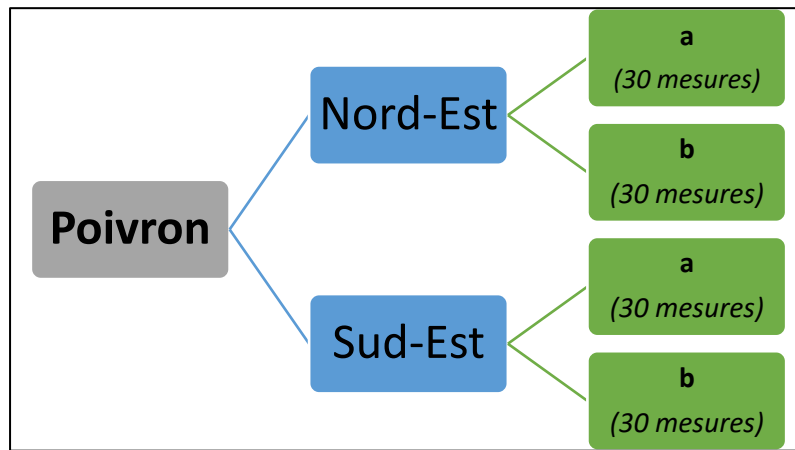


Figure 8- Organisation des relevés pour l'évaluation de la croissance des poivrons

a. Evolution des stades phénologiques dans le temps

Le stade phénologique prépondérant sera identifié pour chaque demi-section où les poivrons sont présents. Ainsi un histogramme permettra de schématiser l'évolution des stades phénologiques des poivrons dans le temps. L'objectif de cette partie est de regarder s'il existe une différence visible de croissance selon l'orientation Nord-Est ou Sud-Est et le positionnement sur la membrane (a ou b).

b. Étude sur l'impact de l'orientation et du positionnement sur la croissance

Le but de cette partie est de vérifier si l'orientation et le positionnement ont un impact sur la croissance des poivrons. Les **variables explicatives** sont : l'**orientation** (Nord-Est/Sud-Est) et le **positionnement** sur la membrane (a/b). Ces variables sont considérées comme qualitatives. La **variable à expliquer** est la **croissance des poivrons**, soit la longueur de la tige mesurée en centimètres. Elle est quantitative. D'après la grille décisionnelle disponible sur le site de XLSTAT, le modèle paramétrique à choisir est une ANOVA (analyse de la variance) à plusieurs facteurs. Pour cela les conditions de modalité à respecter sont :

1. Les individus sont indépendants
2. La/les variance(s) est/sont homogène(s)
3. Les résidus suivent une distribution normale
4. Au moins 20 individus dans le dispositif

Les individus sont au nombre de 91 et sont tous indépendants. Comme l'échantillon est supérieur à 30, il n'est pas nécessaire de vérifier la normalité des résidus et de faire le test de Shapiro-Wilk. La vérification de l'homogénéité des variances est réalisée par le test de Levene. La p-value est de 0,822, soit $p\text{-value} > \alpha$. Donc : H_0 : les variances sont identiques, H_A : au moins l'une des variances est différente d'une autre. Étant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

L'ANOVA à plusieurs facteurs se dresse comme un outil de modélisation correct pour cette étude.

c. Étude sur la température des membranes et du feuillage

Avec la collecte des données de températures des membranes et du feuillage durant les mois de juin, juillet et août, les moyennes par mois seront calculées. Deux histogrammes seront réalisés mettant en avant les moyennes calculées précédemment. L'interprétation de ces histogrammes permettra de regarder si des différences/rerelations sont visibles. Puis afin de regarder la significativité de ces résultats, un test de comparaison entre deux moyennes sera réalisé : le test de Student. Bien que l'échantillon soit petit et inférieur à 30, les résidus suivent une distribution normale. Ce test peut donc être utilisé.

L'objectif de cette partie est de regarder si une corrélation existe entre les températures des membranes et du feuillage et s'il existe un changement selon l'orientation ou le positionnement sur la membrane.

d. Comparaison du rendement des poivrons

Enfin pour clôturer l'étude sur les poivrons, une comparaison du rendement sera réalisée. Les rendements seront mis en avant dans un histogramme.

3.3.2. Étude sur le pak choï

L'étude sur le pak choï est séparée en deux périodes (début et fin de la saison).

- 1- Premièrement, le pak choï est présent dans quatre demi-sections pour que toutes les conditions soient représentées. Il est aussi présent dans la première section dédiée au semis direct. Cette première étude consiste à étudier les rendements obtenus et évaluer l'intérêt du semis direct plutôt que la transplantation dans cette production. La période ira de l'installation des murs végétalisés à la récolte des pak choï (Juin à Juillet).
- 2- Deuxièmement, l'intérêt est d'identifier quelle est la période de semis la plus adéquate pour une production automnale. Pour cela, un plateau de semis sera réalisé, directement sur le toit du palais des Congrès, hebdomadairement sur 5 semaines. Par exemple, le premier plateau de semis de pak choï sera destiné à la première membrane des 4 demi-sections (**Figure 9**).

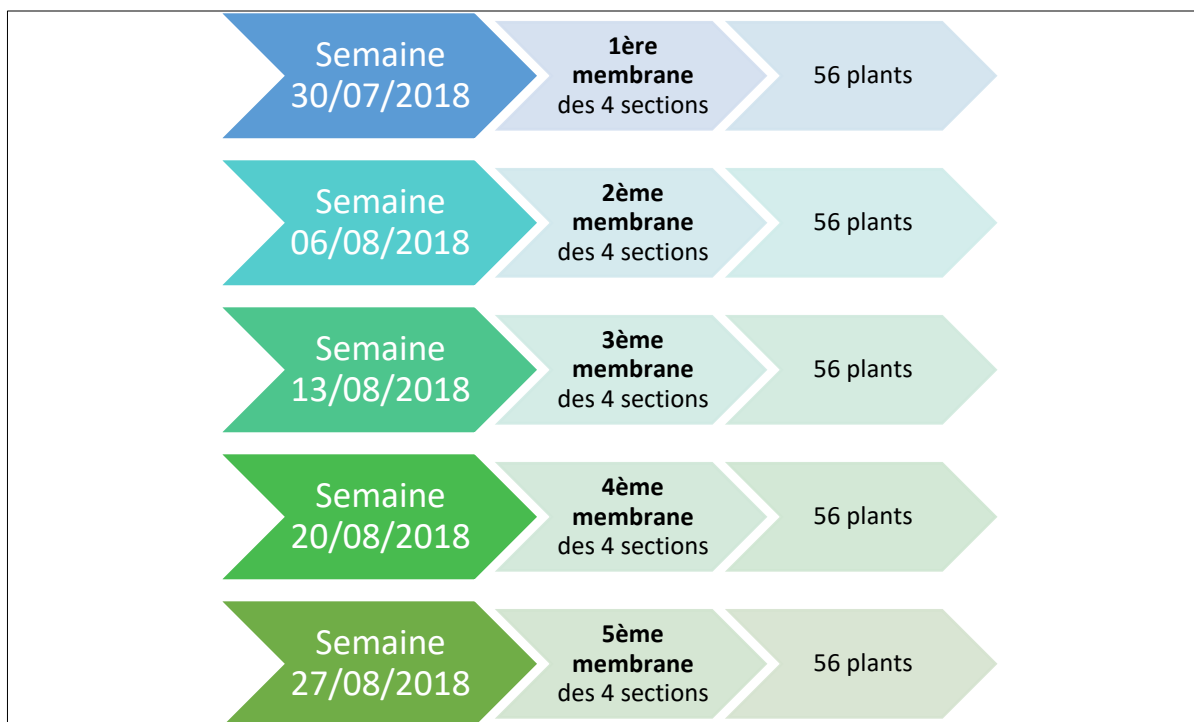


Figure 9- Schématisation de l'étude des Pak Choï

La croissance des pak choï sera aussi révélée grâce aux stades phénologiques identifiés sur l'échelle BBCH des légumes à base de chou (FELLER ET AL, 1995). Les pak choï seront transplantés dans les membranes au stade 2 feuilles environ.

Les étapes suivantes montrent l'analyse qui sera effectuée à partir des données collectées :

1. Réalisation d'un histogramme montrant l'évolution de la croissance des pak choï pour chaque date de semis.
2. Regroupement de ces données sur un seul graphique pour pouvoir comparer la croissance aux différentes dates
3. Comparaison des rendements des cinq dates différentes
4. Identification de la ou les meilleure(s) date(s) de semis pour le pak choï

3.3.3. Étude sur la betterave et l'origan

L'étude sur la betterave et l'origan est exclusivement axée sur une comparaison de rendement. Concernant la betterave, le sous-objectif sera de conclure sur l'intérêt du semis direct par rapport à la transplantation à travers les rendements.

3.3.4. Étude sur le contexte microclimatique du toit

a. Répartition de la chaleur sur le toit

Une prise de température sera réalisée grâce à un thermomètre infrarouge Ryobi deux fois par semaine à trois horaires différents (matin, midi, après-midi). Pour cela, le toit du Palais des congrès a été balisé à 30 endroits stratégiques afin de le couvrir entièrement (**Figure 10**).

L'objectif est de montrer que les températures de surface ne sont pas identiques en fonction du revêtement ou des végétaux qui se trouvent sur le toit du Palais des congrès. Ainsi grâce au logiciel QGIS (version 2.14.3), des zones de répartition de la chaleur pourront alors être identifiées via une cartographie de la répartition de la chaleur sur le toit pour les mois de Juillet et Août.



Figure 10- Cartographie du toit et numérotation des points de mesures

b. Comparaison des températures de l'air sur un toit vs Montréal

Deux stations météo seront utilisées pour cette étude, une située sur le toit de l'UQAM et l'autre située dans le centre-ville. L'objectif est de comparer les températures de l'air ambiant sur un toit et dans les rues de Montréal.

La station météo de l'UQAM est située sur le toit du pavillon, à une altitude de 80 mètres par rapport au niveau de la mer. Ses coordonnées sont :

- Latitude : 45°N 30' 32''
- Longitude : 73° W 34' 8''

La station météo MC TAVISH (disponible grâce à environnement Canada) est située dans le centre-ville de Montréal, à une altitude de 72,80 mètres par rapport au niveau de la mer. Ses coordonnées sont :

- Latitude : 45°N 30' 17,070''
- Longitude : 73° O 34' 45,000''

Les données récoltées seront les températures quotidiennes minimales, maximales et moyennes en Celsius pour les mois de Juin à Août.

Afin de regarder si les températures sont significativement différentes, un test de Student sera réalisé. En effet, le test de Student permet de comparer une moyenne à une référence. Il peut être effectué si l'échantillon est grand, c'est-à-dire supérieur à 30 individus ou si la loi de distribution suit la loi normale. La normalité a donc été vérifiée grâce à un test de Shapiro-Wilk pour le mois de Juin, Juillet et Août. L'hypothèse du test est la suivante :

- H_0 : la variable dont provient l'échantillon suit une loi normale
- H_a : la variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi normale

Tableau 5- Résultats des tests de Shapiro-Wilk

	P-value (UQAM)	P-value (MC TAVISH)
<i>Juin (température min)</i>	0,594	0,558
<i>Juin (température max)</i>	0,605	0,663
<i>Juin (température moyenne)</i>	0,557	0,737
<i>Juillet (température min)</i>	0,627	0,362
<i>Juillet (température max)</i>	0,104	0,155
<i>Juillet (température moyenne)</i>	0,200	0,100
<i>Août (température min)</i>	0,060	0,068
<i>Août (température max)</i>	0,760	0,755
<i>Août (température moyenne)</i>	0,437	0,229

Le **Tableau 5** présente les p-value obtenues pour chaque individu lors des tests de Shapiro-Wilk effectués. Il en résulte que toutes les p-values sans exception sont supérieures au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, l'hypothèse H_0 ne peut pas être rejetée. Il est donc possible d'effectuer le test de Student puisque la normalité a été vérifiée.

IV- PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1. Étude sur le poivron

4.1.1. Stades phénologiques

Les poivrons ont été transplantés le 1^{er} Juin 2018 dans les quatre demi-sections des murs végétalisés. La **Figure 11** expose l'évolution des stades phénologiques des poivrons dans le temps. Dans l'ensemble toutes les conditions, c'est-à-dire les sections situées au Nord-Est (a), Nord-Est (b), Sud-Est (a) et Sud-Est (b), présentent des résultats similaires. Il est intéressant de souligner que les poivrons de la section au Sud-Est (b) étaient arrivés au stade 2 (formation de pousses latérales) le 21 juin contrairement aux poivrons des autres sections qui étaient toujours au stade 1 (développement des feuilles). Le 16 août, les poivrons de la section sud-est (a) présentaient un stade 8 (maturation des fruits) alors que toutes les autres sections avaient des poivrons de stade 7 (développement du fruit).

En conclusion, les poivrons des sections situées au Sud-Est (a) (b) sont ceux qui ont présenté une croissance précoce à deux dates différentes. De plus, les poivrons de toutes les sections ont eu une croissance rapide dans les premières semaines. En effet, à partir de la fin juin, le temps était très chaud avec une longue période d'ensoleillement, propice à l'apparition des inflorescences et à la floraison.

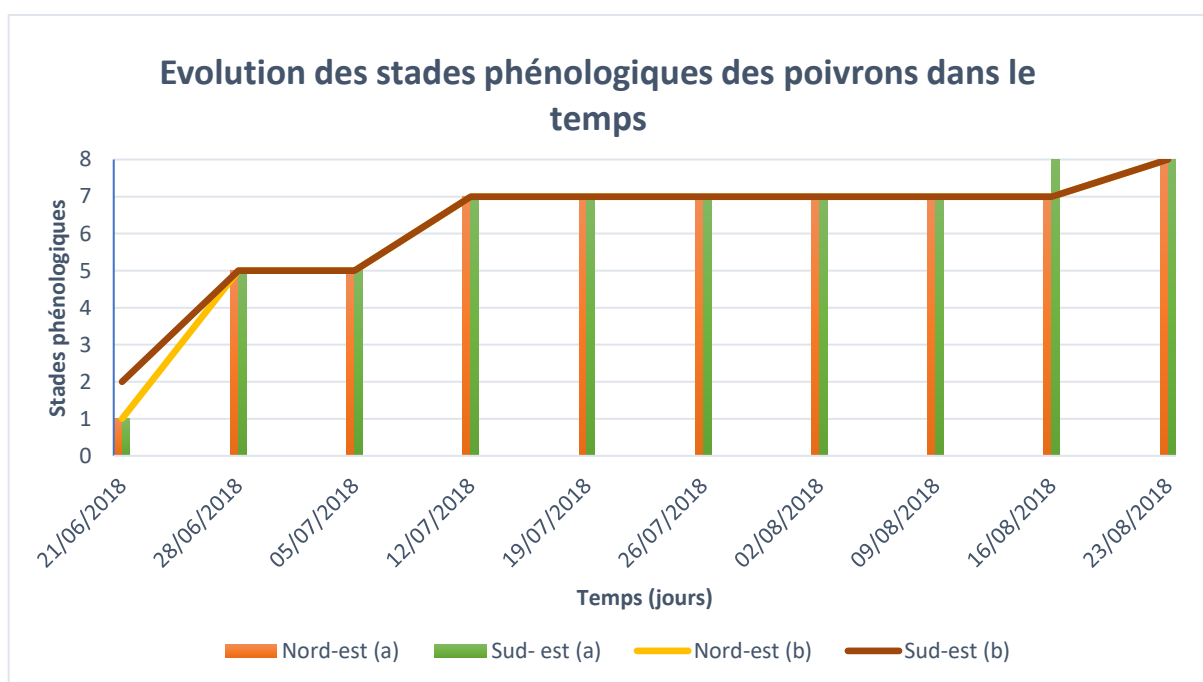


Figure 11- Évolution des stades phénologiques des poivrons

4.1.2. Orientation et positionnement des membranes

Une ANOVA à plusieurs facteurs a été réalisée afin de regarder si l'orientation ou/et le positionnement des membranes a/ont une influence sur la croissance des poivrons (longueur de la tige en centimètres). L'interaction des deux variables a aussi été ajoutée au modèle. Les principaux résultats de l'ANOVA sont répertoriés dans le **Tableau 6** et seront développés dans les parties suivantes.

Tableau 6- Principaux résultats de l'ANOVA à 2 facteurs

	21/06	28/06	05/07	12/07	19/07	26/07	02/08	09/08
Coefficient de détermination (R^2)	0,122	0,073	0,038	0,031	0,033	0,027	0,020	0,023
Analyse de la variance ($Pr > F$)	0,010	0,084	0,333	0,433	0,400	0,491	0,623	0,570

a. Analyse de l'ANOVA pour la croissance des poivrons au 21 juin

Pour la première semaine, le coefficient de détermination (R^2) est de 12%, ce qui signifie que 12% de la longueur de la tige des poivrons au 21 juin sont expliqués par les variables explicatives (positionnement, orientation et positionnement*orientation) (**Tableau 6**). Le tableau d'analyse de la variance permet de connaître si les variables explicatives et leurs interactions sont significatives au modèle ou non. Le test de Fisher (F) est utilisé et le seuil de signification choisi est de 5%. Dans le cas présent, la p-value associée à la statistique F ($Pr > F = 0,010$) signifie que le risque de conclure que les variables explicatives apportent une quantité d'information significative au modèle s'élève à 1%. L'information apportée par les variables explicatives est significativement meilleure comparée à ce qu'expliquerait la seule moyenne de la variable dépendante.

Le **Tableau 7** montre l'analyse de la somme des carrés de type 3 qui permet de déterminer si les variables explicatives contribuent toutes autant à expliquer la variabilité de la croissance des poivrons au 21 juin. D'après les résultats obtenus, l'**orientation** est la seule variable significative pour expliquer la variabilité de la croissance des poivrons.

Tableau 7- Analyse de la somme des carrés de type 3 (21 juin)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Orientation	1	46,201	46,201	10,033	0,002
Positionnement	1	6,473	6,473	1,406	0,239
Orientation* Positionnement	1	7,287	7,287	1,582	0,212

En conclusion, l'orientation Nord-Est et Sud-Est a une influence significative sur la croissance des poivrons à la date du 21 juin. Le positionnement de la membrane (a) ou (b) et l'interaction entre le

positionnement de la membrane et leurs orientations ne sont pas significatifs selon le modèle statistique étudié. La **Figure 12** expose les moyennes de la longueur de la tige des poivrons selon l'orientation. En effet, il est intéressant de souligner que les poivrons ont des tiges plus grandes sur les membranes orientées au Sud-Est. La moyenne des tiges est de 17,8 cm pour cette orientation alors que la moyenne de la longueur des tiges des poivrons orientés au Nord-Est n'est que de 16,4 cm. Cette différence peut être expliquée par l'ensoleillement plus important au Sud-Est qu'au Nord-Est qui a été bénéfique pour la croissance des poivrons.

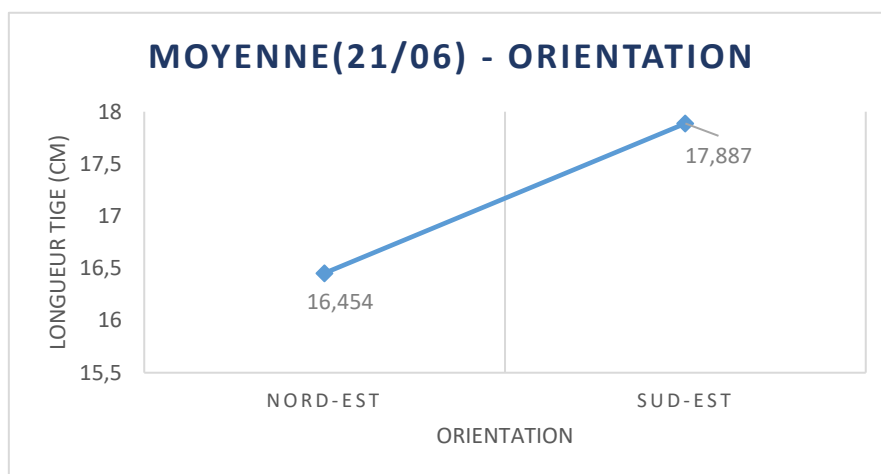


Figure 12- Moyenne de la longueur des tiges des poivrons selon la variable explicative "orientation"

b. Analyse de l'ANOVA pour la croissance des poivrons du 28/06 au 09/08

Les coefficients de détermination, présentés dans le **Tableau 6**, du 28 juin au 9 août, sont très faibles. En effet, il est inférieur à 8% pour le 28 juin et à 4% pour les autres dates. Cela signifie qu'une très faible variabilité de la croissance des poivrons est expliquée par les variables explicatives. Il est nécessaire de regarder la p-value associée à la statistique F ($Pr > F$) pour connaître le risque de conclure que les variables explicatives apportent une quantité d'information significative au modèle. En effet, à la date du 28 juin, le risque est de 8 % et il se situe entre 30 à 60% pour les autres dates. Le risque est conséquent en comparaison du 21 juin où il n'était que de 1%. Avant même de voir les tableaux d'analyse de la somme des carrés de type 3, il est pertinent de conclure que l'orientation, le positionnement des membranes ainsi que l'interaction des deux n'influencent pas de manière significative sur la longueur des tiges des poivrons.

4.1.3. Température des membranes et du feuillage

La **Figure 13** illustre la comparaison des moyennes des températures des membranes situées aux Nord-Est (a), Nord-Est (b), Sud-Est (a) et Sud-Est (b) durant les mois de Juin, Juillet et Août. Concernant l'**orientation Nord-Est**, pour les mois de juin et juillet, les moyennes des températures des membranes de la section 7a sont inférieures à celles de la section 2b. Par exemple en Juillet, la section 7a présente une moyenne de 24,7°C contre 26,3°C pour la section 2b. Le phénomène est inversé pour le mois d'Août. Les moyennes des températures des membranes sont moins élevées pour la position haute membrane (a) que pour la position basse membrane (b).

L'orientation Sud-Est présente des moyennes de températures des membranes de la section 4a plus basses que celles de la section 9b pour les mois de Juin, Juillet et Août. En effet, la moyenne au mois d'Août est de 23,2°C pour la section 4a contre 25,4°C pour la section 9b. Une nouvelle fois, la tendance est la même que celle de l'orientation Nord-Est.

La comparaison des deux orientations entre elles montre que la section Nord-Est (a) a des moyennes de températures de membranes moins élevées que celles de la section Sud-Est (a) pour les mois de Juin et Juillet. Le phénomène est inverse pour le mois d'Août. Alors que les moyennes des températures des membranes de la section Nord-Est (b) sont inférieures à celles de la section Sud-Est (b) pour les mois de Juin, Juillet et Août.

En conclusion, les moyennes des températures des membranes des sections situées au Sud-Est sont généralement plus importantes que celles situées au Nord-Est, facilement explicable par l'ensoleillement plus conséquent au Sud-Est. Dans chacune des deux orientations, il semble que le positionnement en haut des membranes favorise des températures plus faibles que le positionnement en bas des membranes. Cela peut être expliqué par l'inclinaison des rayonnements solaires qui semblent favoriser le bas des membranes et par le fait que les membranes du haut sont alimentées par deux tuyaux gouttes à gouttes alors que les membranes du bas n'en possèdent qu'un seul. L'apport régulier de deux fois plus d'eau réserve plus de fraîcheur aux membranes du haut qu'à celles du bas.

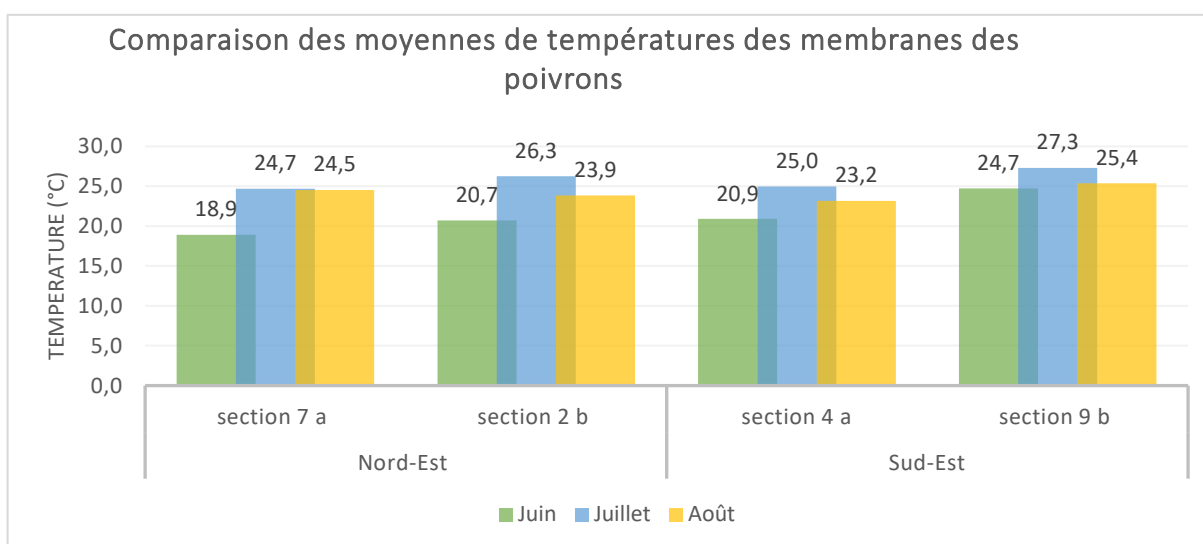


Figure 13- Comparaison des températures des membranes des poivrons

La **Figure 14** illustre la comparaison des moyennes de températures du feuillage des poivrons situés dans les mêmes conditions que celle de la **Figure 13**.

Pour **l'orientation Nord-Est**, les moyennes de températures du feuillage des poivrons de la section 7a sont supérieures à celles des poivrons de la section 2b pour les mois de Juin, Juillet et Août. Par exemple au mois de Juillet le feuillage fait 27,2°C dans la section 7a contre 25,7°C pour la section 2b. **L'orientation Sud-Est** met en avant le phénomène inverse, c'est-à-dire que les moyennes des températures du feuillage des poivrons de la section 4a sont inférieures à celles de la section 9b. En effet, au mois de juin, la moyenne des températures du feuillage des poivrons est de 21,4°C dans la section 4a contre 25,4°C dans la section 9b.

De plus, la **comparaison des deux orientations** expose que les moyennes des températures du feuillage des poivrons situés au Nord-Est (a) sont supérieures à celles au Sud-est (a). Par exemple, au mois d'Août, la moyenne des températures du feuillage des poivrons est de 24,3°C pour le Nord-Est (a) pour seulement 23,8°C dans la section Sud-Est (a). Le phénomène est inverse pour les sections Nord-Est (b) et Sud-Est (b).

En conclusion, il semble que lorsque la température du feuillage des poivrons au Nord-Est (a) est supérieure à celle au Sud-Est (a), la température du feuillage des poivrons au Nord-Est (b) est inférieure à celle au Sud-Est (b). Étant donné, que les sections aux Nord-Est et Sud-Est se retrouvent face à face, il est possible que les poivrons des membranes des sections au Nord-Est (a) interceptent le rayonnement solaire incident et réfléchissent une partie de ce rayonnement solaire sur les membranes des sections au Sud-Est (b). Ainsi les poivrons situés sur les membranes aux Nord-Est (a) et Sud-Est (b) présentent des températures plus élevées que pour les autres membranes. La part d'énergie lumineuse absorbée est plus conséquente.

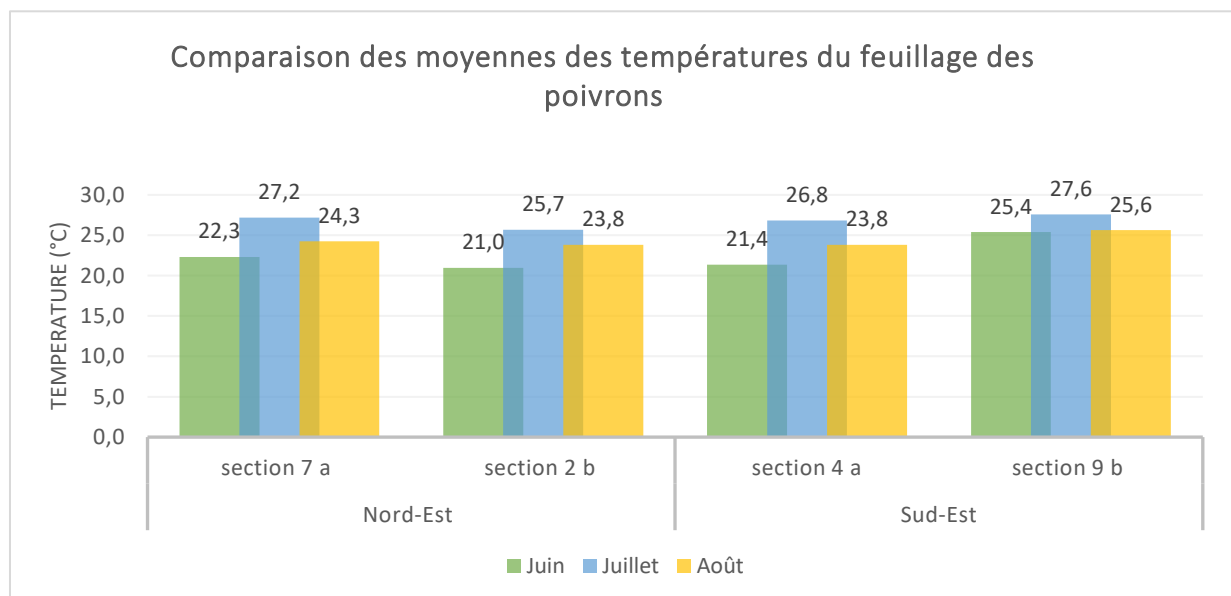


Figure 14- Comparaison des températures du feuillage des poivrons

➤ Comparaison des Figure 13 et Figure 14 entre elles :

Durant le mois de **Juin**, les moyennes des températures des membranes sont inférieures à celles du feuillage des poivrons situés dans les sections au Nord-Est et Sud-Est. Par exemple, les membranes de la section Nord-Est (a) ont une température de 18,9°C pour une température de feuillage de 22,3°C sur la même section. De même pour la section Sud-Est (b) avec une moyenne de température de membranes de 24,7°C pour une température de feuillage de 25,4°C.

Le mois de **Juillet** expose la même tendance pour toutes les sections aux Nord-Est et Sud-Est. À l'exception de la section située au Nord-Est (b) où la moyenne de température de membranes est de 26,3°C pour une température de feuillage correspondante de 25,7°C.

Le mois d'**Août** présente une situation intéressante puisque les membranes situées au Nord-Est (a/b) ont une température supérieure à celle du feuillage, c'est-à-dire, 24,5°C (Nord-Est a) et 23,9°C (Nord-

Est b) comme température de membranes contre 24,3°C (Nord-Est a) et 23,8°C (Nord-Est b) pour les températures de feuillage. Contrairement aux sections situées au Sud-Est où les moyennes des températures de membranes sont inférieures aux températures du feuillage. Bien que l'exposition Nord-Est présente un phénomène contraire, il est pertinent de noter que l'écart entre les températures de membranes et de feuillage est minime, soit 0,2°C de différence pour le positionnement haut membrane et 0,1°C pour le positionnement bas membrane.

En conclusion, il semble que les températures de membranes soient inférieures à celles du feuillage des poivrons dans toutes les conditions. Cela paraît logique puisque les poivrons sont situés dans les membranes et leurs feuillages procurent de l'ombre à la membrane. De plus, le rayonnement solaire est en premier capté par les feuilles des poivrons, ce qui contribue à obtenir des températures plus élevées.

4.1.4. Rendement

Les poivrons ont été semés le 12 Avril dans les serres de l'UQAM. Il y a eu quatre récoltes à partir du 23 Août. Il est probable qu'il y ait encore une récolte au mois d'octobre. Le rendement total des poivrons est de 14,273 kg pour 413 poivrons. Le **Tableau 8** expose les grands chiffres du rendement des poivrons selon l'orientation et le positionnement des membranes. 55% du rendement total provient de l'orientation Nord-Est (7, 837 kg) contre 45% pour l'orientation Sud-Est (6, 436 kg). Il y a une différence de récolte de seulement 13 poivrons entre les deux orientations. Concernant le critère positionnement de la membrane, l'écart de rendement entre les deux est encore plus mince. En effet, 50,21% de poids totaux de poivrons sont situés sur le haut de la membrane (a) contre 49,79% sur le bas de la membrane (b). Une différence de 3 poivrons est comptabilisée pour ce critère.

Tableau 8- Récapitulatif du rendement

ORIENTATION	POIDS (kg)	NOMBRES RÉCOLTES
<i>Nord-Est</i>	7, 837	213
<i>Sud-Est</i>	6, 436	200
POSITIONNEMENT		
<i>(a)</i>	7, 166	208
<i>(b)</i>	7, 107	205

La **Figure 15** compare le rendement des poivrons obtenus durant les quatre récoltes en fonction de l'orientation et du positionnement des membranes. Les pics de production correspondent à la deuxième et troisième récolte avec par exemple pour la section située au Nord-Est (b) 1,7 kg de poivrons récoltés au 28 Août et 1,8 kg au 7 Septembre. Cette même section est la plus productive avec 4,302 kg de poivrons récoltés durant toute la saison de production. La section au Sud-Est (a) compte 3,6 kg de poivrons et celle au Nord-Est (a), 3,5 kg. Elles sont à peu près équivalentes. La section la moins productive se trouve au Sud-Est (b) avec 2,8 kg de poivrons. Ces différences sont en majeure partie expliquées par la mortalité de certains plants à cause de problèmes d'irrigation.

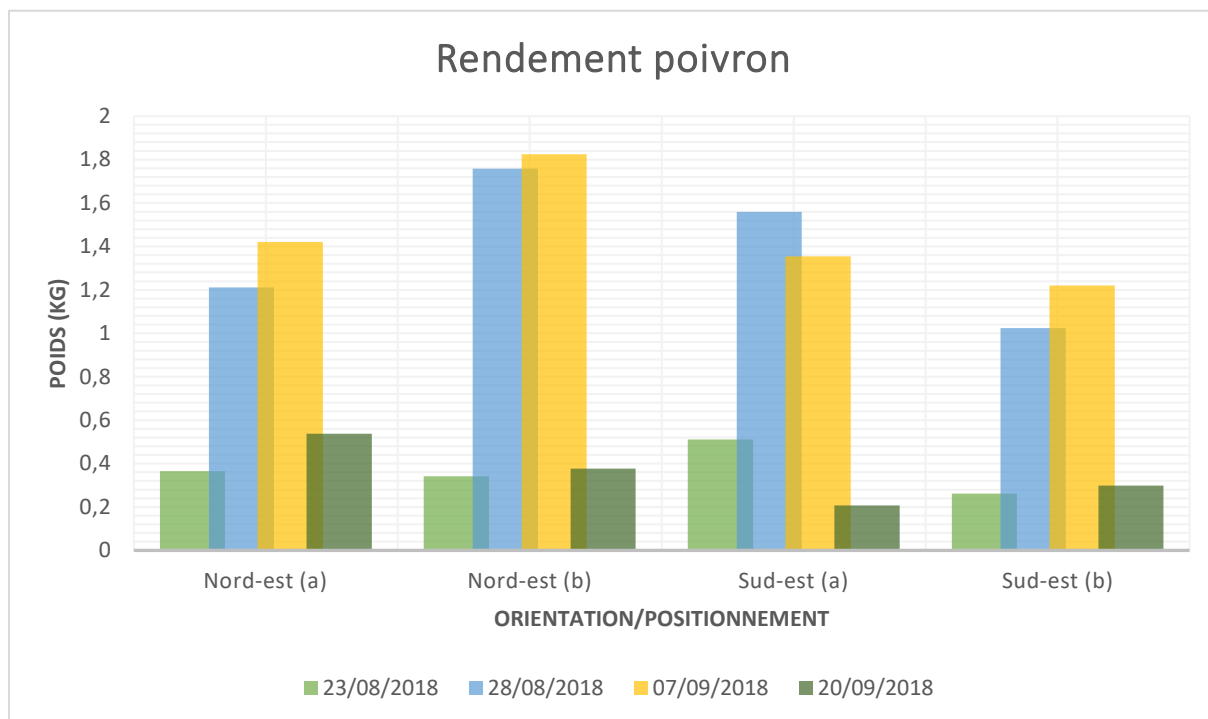


Figure 15- Rendement des poivrons en fonction de l'orientation et du positionnement des membranes

4.1.5. Conclusion

Pour conclure l'étude sur le poivron, les orientations Nord-Est et Sud-Est et le positionnement des membranes n'influencent pas significativement la croissance des poivrons.

Les températures des membranes situées au Sud-Est sont plus importantes que celles au Nord-Est. De même pour le positionnement bas membrane qui génère des températures de membranes plus élevées que le positionnement haut membrane.

La température du feuillage des poivrons au Nord-Est (a) est plus élevée que pour les poivrons au Sud-Est (a). Le phénomène inverse est constatable pour les poivrons au Nord-Est (b) et au Sud-Est (b). Les températures de membranes sont inférieures à celles du feuillage des poivrons dans toutes les conditions.

Le rendement total des poivrons s'élève à 14,273 kg sur la saison de production correspondant à quatre récoltes. Il semble ne pas y avoir de différence entre le rendement des poivrons récoltés au Nord-Est et au Sud-Est. Cependant, la section située au Nord-Est (b) est la plus productive (30% du rendement total) et la section située au Sud-Est (b) est la moins productive avec 20% du rendement total.

4.2. Étude sur le pak choï

4.2.1. Expérimentation Juin-Juillet

Les semis de pak choï ont été réalisés le 27 Avril dans les serres de l'UQAM. Ils ont été transplantés dans les quatre demi-sections des murs végétalisés le 1^{er} Juin. Le semis direct a été réalisé le même jour dans la première section. Elle est située au Nord-Est. Les membranes n°1, 2, 4 et 5 présentent le même mode de remplissage, c'est-à-dire que 7 pak choï ont été semés en position haute membrane et 7 autres en position basse membrane. Contrairement à la membrane n°3 où 14 pak choï ont été semés uniquement en position basse membrane. Les pak choï issus de la transplantation classique ont été récoltés le 4 Juillet, tandis que ceux issus du semis direct ont été récoltés le 31 Juillet.

a. Rendement du 4 Juillet

La **Figure 16** expose le rendement des quatre demi-sections où le pak choï est présent au 4 Juillet. La demi-section située au Nord-Est (b) est la plus productive avec 425, 2 g. Alors que la demi-section située au Sud-Est (b) est la moins productive avec 198,6 g. Il est intéressant de remarquer que dans la majorité des demi-sections, au moins 87% des pak choï sont montés en graines. Seule la demi-section la moins productive n'a que 60% des pak choï qui sont montés en graines.

Grâce au **Tableau 9**, il est possible de connaître le nombre de plants morts par demi-section. La demi-section au Sud-Est (b) compte 34 plants morts, soit 48,6%. Cette forte mortalité, causée par des problèmes d'irrigation, explique un rendement plus faible et une montée en graines différente des pak choï des autres demi-sections. La demi-section au Nord-Est (b) n'a que 13% de mortalité, ce qui explique pourquoi celle-ci se dresse comme la meilleure demi-section en termes de rendement. Après pesage, quelques pak choï ont été éliminés, car leurs feuilles étaient abimées à cause des ravageurs *Trichoplusia ni* (fausse arpentuse du chou), *Phyllotreta cruciferae* (altise des crucifères) et des *Aphis sp.* (puceron). Ces pak choï n'étaient pas commercialisables pour un producteur. Aucun pak choï de la demi-section au Nord-Est (b) n'a été éliminé. En moyenne, 6 pak choï ont été compostés pour chaque demi-section.

En conclusion, la demi-section au Nord-Est (b) est la plus intéressante concernant le rendement et le faible nombre de morts par rapport aux autres demi-sections. Le pourcentage de pak choï montés en graines est très élevé pour toutes les demi-sections. La fin du mois de Juin et le début du mois de Juillet ont été particulièrement chauds sur le toit, ce qui explique une forte montée en graines. De plus, les pak choï ont été particulièrement sensibles aux ravageurs tels que la fausse arpentuse, l'altise et le puceron.

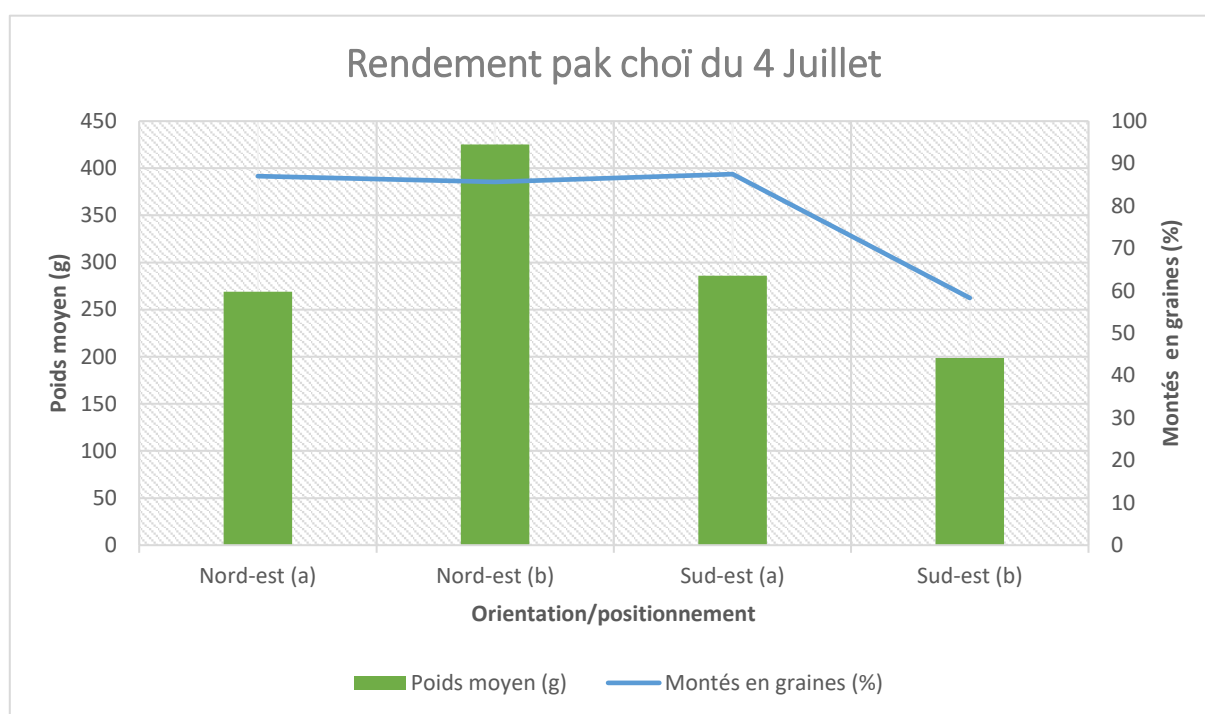


Figure 16- Rendement pak choï (4 Juillet)

Tableau 9- Informations complémentaires (récolte 4 Juillet)

	Nombres de morts	Nombres éliminés	Causes
<i>Nord-Est (a)</i>	24	6	Fosse arpentuse/ altise
<i>Nord-Est (b)</i>	9	0	-
<i>Sud-Est (a)</i>	22	5	Altise/ fausse arpentuse
<i>Sud-Est (b)</i>	34	6	Pucerons/ fausse arpentuse

b. Rendement du 31 Juillet

La **Figure 17** montre la répartition du rendement dans les cinq membranes de la première section dédiée au semis direct. Le positionnement est pris en compte ainsi que le pourcentage de pak choï montés en graines. Les membranes n°1, 2, 4 et 5 ont des rendements compris entre 130 et 250 g de pak choï. Le positionnement haut membrane des membranes n°1 et 2 semble être moins productif que le positionnement bas membrane. Tandis que le contraire est remarquable pour les membranes n°4 et 5. Les pak choï de la membrane 1 (a) sont les plus intéressants puisque seulement 17% sont montés en graines pour un rendement de 209 g. Alors que la majorité des autres membranes ont un taux très élevé de montée en graines. La membrane n° 3 a produit 492 g de pak choï dont 93% sont montés en graines. Sa production n'est pas exceptionnelle par rapport aux autres membranes puisque 14 pak choï ont été semés contrairement aux autres membranes, où il y a eu une différence pour le positionnement haut et bas membrane (7 chacun). Le **Tableau 10** expose le pourcentage de morts et le nombre de pak choï récoltés pour chaque membrane. Le nombre de pak choï récoltés est élevé dans chaque membrane, il se rapproche du nombre total possible (14).

Cela peut s'expliquer par le fait que dans certaines membranes, plusieurs pak choï ont été semés dans le même pocheton. Il y a eu un éclaircissement, mais certains ont été oubliés. Ainsi, la membrane n°5 présente 14 pak choï récoltés alors qu'il y a eu 6,6% de pak choï morts. La mortalité n'a pas été très élevée pour cette section de semis direct. La membrane n°3 ne présente aucun mort et la membrane n°4 qui détient le taux de morts le plus élevé n'est qu'à 27,7%.

En conclusion, les pak choï récoltés dans la section semis direct n'étaient pas commercialisables, car la pression des ravageurs tels que les altises a été trop forte. Le mois de Juillet a été un mois très chaud à Montréal expliquant le pourcentage élevé des pak choï montés en graines. En effet, ils n'ont pas eu le temps de bien se développer à cause de la chaleur, des altises et sont montés en graines très rapidement.

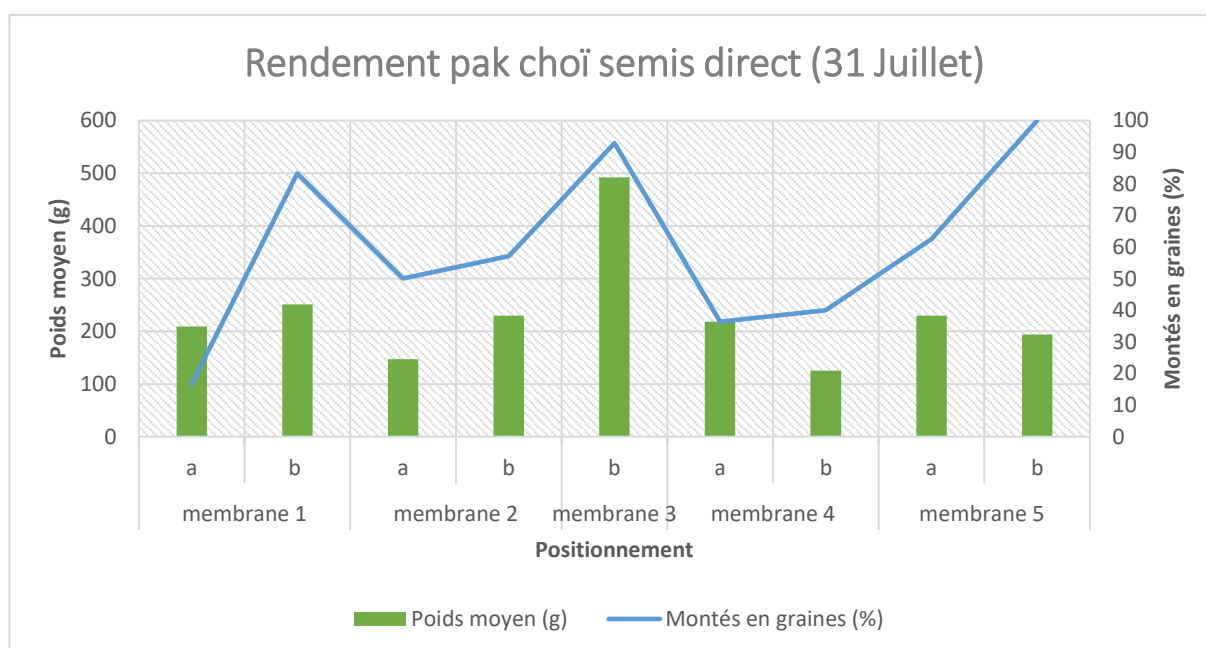


Figure 17- Rendement pak choï (31 Juillet)

Tableau 10- Informations complémentaires (récolte 31 Juillet)

	% Morts	Total récolte
1 ^{re} membrane	14,2	12
2 ^e membrane	21,4	11
3 ^e membrane	0	14
4 ^e membrane	27,7	16
5 ^e membrane	6,6	14

c. Conclusion

Le rendement total de la section dédiée au semis direct (Nord-Est b) s'élève à 2,096 kg et à 1,178 kg pour les quatre autres demi-sections dédiées à la transplantation. Les résultats sont intéressants, car le rendement du semis direct au Nord-Est (b) est plus élevé que le rendement des quatre autres demi-sections. Alors qu'il y a seulement 70 potentiels plants de pak choï dans la section semis direct contre 280 potentiels plants de pak choï pour les quatre autres demi-sections. Il en relève que la mortalité a

été très importante dans les sections destinées à la transplantation. Les problèmes d'irrigation ainsi que la pression des ravageurs ont eu un impact négatif sur le rendement. Étant donné les résultats, il y a donc un intérêt d'effectuer du semis direct plutôt que la transplantation. La chaleur sur le toit a contribué à la rapide montée en graines des pak choï dans toutes les sections.

4.2.2. Expérimentation Août-Septembre-Octobre

La deuxième expérimentation sur les pak choï a pour objectif de trouver la meilleure date de semis de fin de saison pour une production tardive, ce qui permettrait d'éviter une montée en graines et de rallonger la saison de culture. Les différents semis ont été réalisés durant le mois d'Août, et le suivi des différents stades a été effectué hebdomadairement durant le mois de Septembre. Cependant, il ne sera pas possible de traiter cette partie dans le cadre de ce mémoire puisque les pak choï des différentes dates de semis ne sont pas encore arrivés à terme.

4.3. Étude sur l'origan et la betterave

4.3.1. Comparaison des rendements de l'origan

Les semis de l'origan ont été réalisés le 3 Avril dans les serres de l'UQAM. Ils ont été transplantés dans les murs végétalisés le 1^{er} Juin. Malheureusement, les semis n'étaient pas en très bon état et il a été impossible de remplir les quatre demi-sections. En effet, une demi-section (section 3a) située au Nord-Est (a) et celles (sections 4b et 9a) situées au Sud-Est sont comptabilisées dans le rendement final. Il y a eu deux récoltes réalisées pour l'origan : une première le 20 Juillet et une deuxième le 28 août. La **Figure 18** expose la comparaison des rendements des deux récoltes en fonction de l'orientation et du positionnement des membranes. Il est intéressant de noter que le rendement de l'origan récolté au 20 Juillet est moins abondant que pendant la deuxième récolte, le 28 août. En effet, il y a une différence de 2kg entre la première récolte (2kg) et la deuxième récolte (4,4kg). Cette différence peut s'expliquer par le fait que la deuxième récolte a tardé dans le temps et aurait pu être récoltée plus tôt. Le rendement total de la saison s'élève à 6,4kg d'origan avec potentiellement une troisième récolte en Octobre. En comparaison, la section au Nord-Est (a) est plus productive que la section au Sud-Est (a) pour les deux périodes de récolte. En effet, le poids moyen de la section au Nord-Est (a) s'élève à 891g d'origan pour seulement 505g d'origan dans la section au Sud-Est (a) au 20 Juillet.

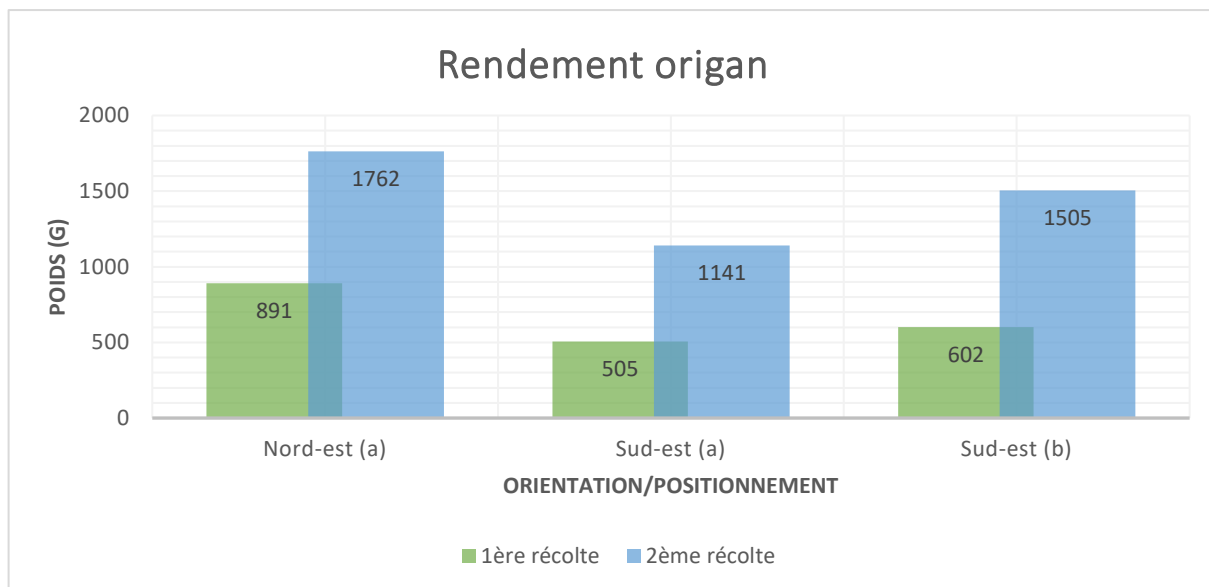


Figure 18- Rendement Origan

Le **Tableau 11** fournit le descriptif du rendement total d'origan associé au pourcentage de morts par demi-section pour les deux périodes de récolte. Théoriquement, dans un système parfait, le nombre total de plants d'origan par demi-section s'élève à 70. La mortalité est plus élevée lors de la deuxième récolte, avec une moyenne de 34,7% contre 26,1% pour la première récolte. De même, il y a eu un changement conséquent dans la demi-section située au Nord-Est (a) entre le 20 Juillet et le 28 Août puisque le nombre de plants récoltés a baissé de 14 plants.

Ces différences sont le résultat de défauts dans le système d'irrigation. Les tuyaux gouttes à gouttes n'ont pas fonctionné d'une manière identique entre les différentes demi-sections.

Tableau 11- Informations complémentaires sur les récoltes d'origan

	% MORTS	TOTAL RÉCOLTE
1^{re} récolte (20/07/2018)		
Nord-Est (a)	21,4	55
Sud-Est (a)	27,1	51
Sud-Est (b)	30	47
2^e récolte (28/08/2018)		
Nord-Est (a)	41,4	41
Sud-Est (a)	28,6	50
Sud-Est (b)	34,3	41

4.3.2. Comparaison des rendements de la betterave

a. Section semis direct

La première section est réservée au semis direct. Elle est située au Nord-Est. Les betteraves ont été directement semées dans les pochetons des membranes le 1^{er} Juin. Les membranes n°1, 2, 4 et 5 présentent le même mode de remplissage, c'est-à-dire que 7 betteraves ont été semées en position haute membrane et 7 autres en position basse membrane. Contrairement à la membrane n°3 où 14 betteraves ont été semées uniquement en position haute membrane (**Tableau 12**).

Tableau 12- Nombre théorique de betteraves dans la section semis-direct

	Nombre théorique de betteraves	
	Position (a)	Position (b)
1 ^{re} membrane	7	7
2 ^e membrane	7	7
3 ^e membrane	14	
4 ^e membrane	7	7
5 ^e membrane	7	7

La **Figure 19** montre la répartition du rendement en fonction des cinq membranes, tout en prenant en compte la mortalité des betteraves dans chaque membrane. Les betteraves ont été récoltées le 7 Septembre et le 21 Septembre. La membrane n°2 est la membrane la plus productive avec 473 g de betteraves en position (a) et 427 en position (b). Il y a peu de différence entre les deux positions. Cette productivité est expliquée par le fait qu'il n'y a aucune mortalité sur toute la membrane. La production de chacune des membranes n°1, 4 et 5 ne dépasse pas 220 g de betteraves. En effet, la membrane n°4 compte 158 g de betteraves en position (a) et 4 plants morts, tandis que la position (b) compte 167 g de betteraves, dont 1 plant mort. La mortalité est élevée pour ces membranes. Les causes sont diverses : problème d'irrigation ou une mauvaise germination. La membrane n°3 a une productivité de 633 g de betteraves, dont 4 plants morts. De manière générale, les calibres des betteraves étaient hétérogènes, certaines étaient non commercialisables, car le tubercule était trop petit.

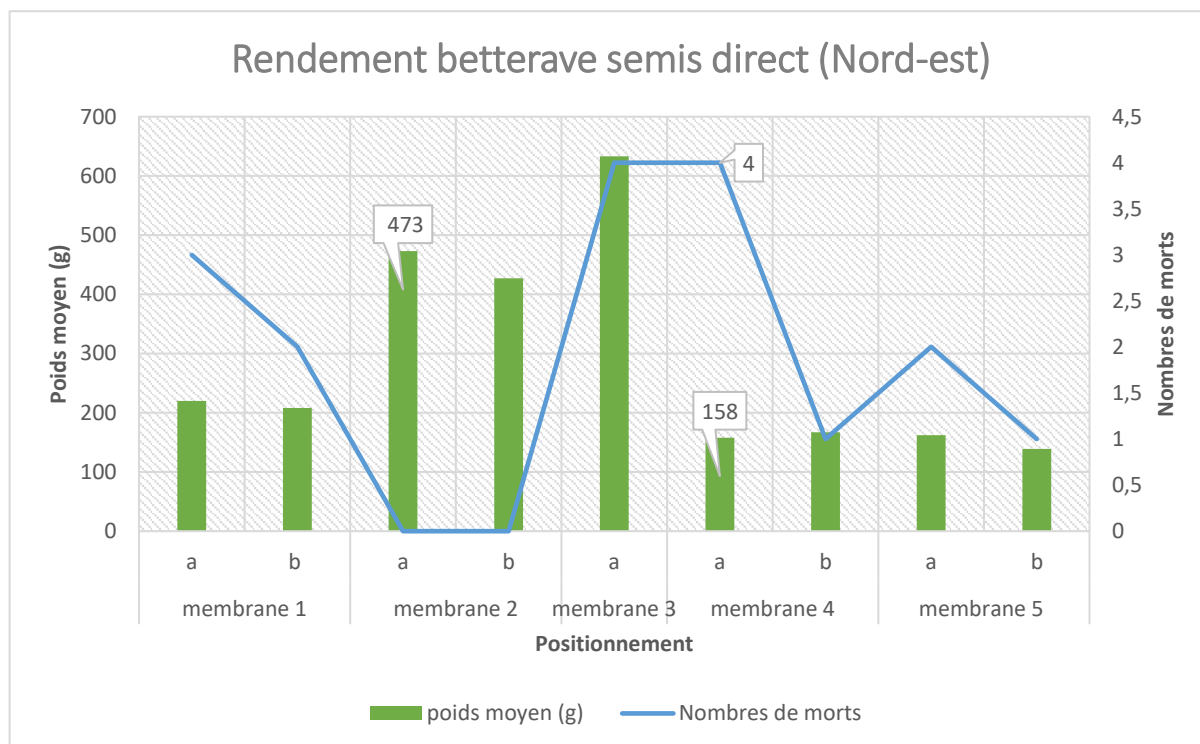


Figure 19- Comparaison de rendement dans la section semis-direct (Nord-est)

b. Semis et transplantation

Les betteraves ont été semées le 14 Mai dans les serres de l'UQAM puis transplantées dans les quatre demi-sections pour combler toutes les conditions. Les récoltes ont été réalisées aux mêmes dates que pour la section semis-direct. La **Figure 20** expose le rendement des betteraves dans les quatre demi-sections en fonction de l'orientation et du positionnement des membranes. La mortalité est prise en compte. La demi-section située au Nord-Est (a) est la plus productive avec 1 534 g de betteraves récoltées. Seulement 10 plants de betteraves sont morts, ce qui représente la plus faible mortalité des quatre demi-sections. La production des demi-sections au Nord-Est (b), Sud-Est (a) et (b) est quasiment similaire. En effet, la demi-section au Sud-Est (a) possède une mortalité élevée (23 plants de betterave) puisque tous les plants sur une membrane sont morts à cause d'un problème d'irrigation. Néanmoins, cette section a produit 778 g de betteraves. Contrairement à la demi-section au Sud-Est (b) où 687 g de betteraves ont été récoltés pour 16 plants morts. Les calibres des betteraves étaient donc plus petits.

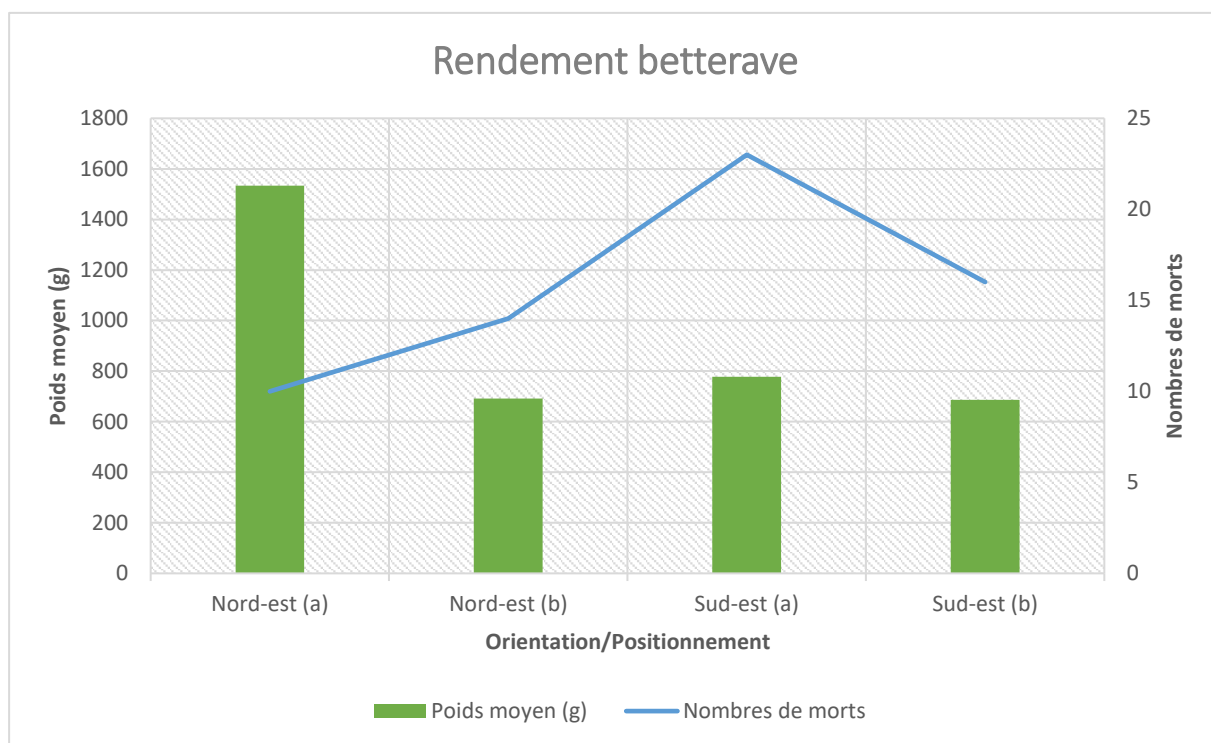


Figure 20- Rendement betterave

c. Conclusion

Les betteraves ont mis beaucoup de temps pour venir à maturité, que ce soit dans le système semis direct (3,5 mois) ou le système classique de semis puis transplantation (4 mois), surtout que les trois espèces testées ont été choisies en fonction de leur précocité (entre 55 et 65 jours). De plus, les calibres étaient très hétérogènes dans une même section. Il n'y a quasiment pas de différence entre les différentes positions de la membrane ainsi que l'orientation. Les écarts de productivité entre les orientations Nord-Est et Sud-Est obtenus sont dus aux problèmes d'irrigation rencontrés. Le rendement total des sections classiques est de 3,691 kg et de 2,587 kg pour la section semis direct située au Nord-Est. La différence de rendement entre les deux systèmes n'est pas conséquente étant donné que le deuxième système comptait 4 demi-sections, soit théoriquement 168 betteraves. Il y a eu une erreur lors de la transplantation dans les membranes où les transplants de betterave à cadre ont été mélangés à ceux de la betterave. Par conséquent, 112 plants de betteraves ont été remplacés. Alors que le système semis-direct comptait une seule demi-section, soit théoriquement 70 betteraves. Effectuer préalablement les semis dans une serre et transplanter les plants dans les membranes ne permet pas une récolte plus hâtive des betteraves.

4.4. Étude sur le contexte microclimatique du toit

4.4.1. Répartition de la chaleur sur le toit

Tout d'abord, la **Figure 21** expose les différents projets présents sur le toit du Palais des congrès, à savoir : le projet piments d'Espelette, fraises, VERTical, Culti-VERT, toits verts et Vignes en ville. Ce modèle de carte, acquis grâce à un drone, servira de base pour présenter la synthèse des températures obtenues durant les mois de Juillet et Août.

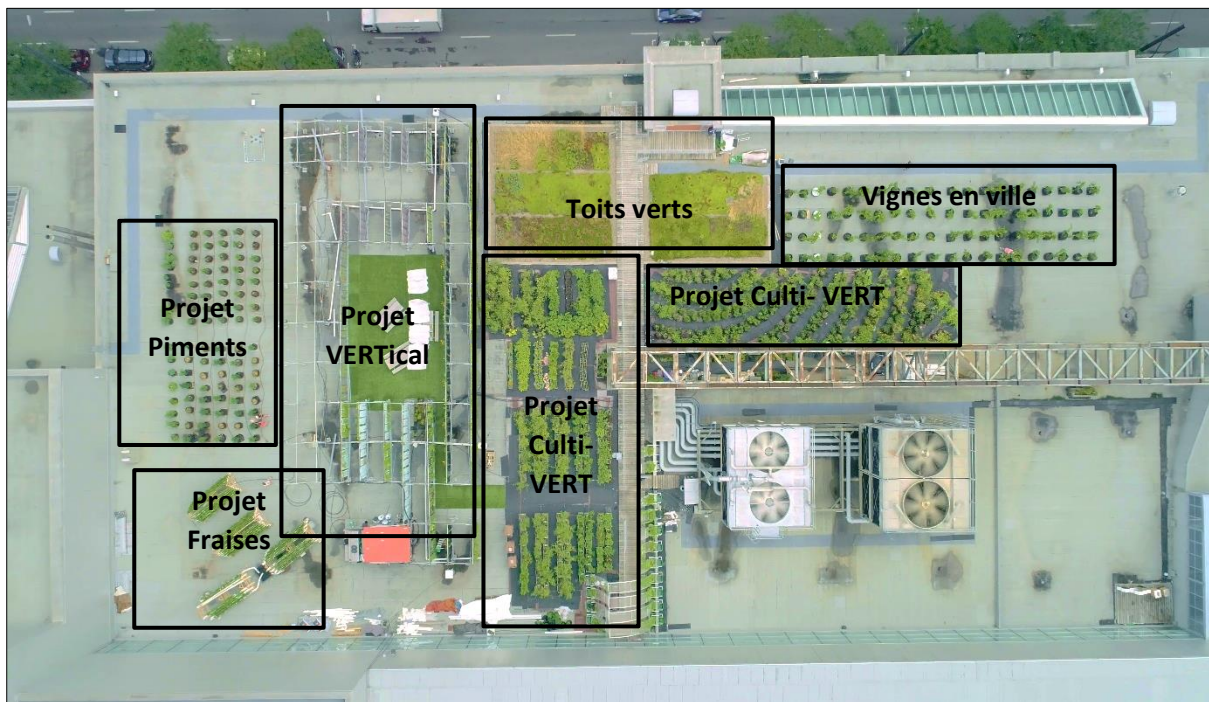


Figure 21- Carte des projets sur le toit du Palais des congrès

Les cartes de chaleur proviennent des moyennes des températures de chaque point pour les mois de Juillet et Août. Afin de justifier cette méthode, des écarts types ont été calculés pour chaque point et jour de mesure. Ainsi l'étude des écarts types a montré une homogénéité pour le matin et l'après-midi de Juillet et Août et une forte hétérogénéité pour le midi de ces deux mois. Il est donc précis d'utiliser les moyennes des températures pour le matin et l'après-midi de Juillet et Août. Cependant, une cartographie des écarts types a été réalisée pour le midi de ces deux mois. Les couleurs obtenues sont des extrapolations dans l'espace de chaque point de mesure permettant ainsi une meilleure visualisation de la répartition de la chaleur.

a. Comparaison entre le matin et l'après-midi (Juillet/Août)

La **Figure 22** est une carte de chaleur des moyennes des températures matinales en Juillet et la **Figure 23** expose les moyennes des températures de l'après-midi durant le même mois. Durant la matinée, la chaleur est concentrée vers la partie Sud du projet Vignes en ville et s'étend du côté des climatiseurs où aucun projet n'est présent. Les températures dans cette zone sont supérieures à 28°C.

De même, du côté des projets piments d'Espelette et fraises, les températures sont un peu plus basses que celles de la zone précédente et se situent dans un écart de températures compris entre 26 et 28 °C. Le projet VERTical, les toits verts et le projet Culti-VERT sont les zones où la température est la moins élevée. Cette répartition de la chaleur peut être expliquée par la position du soleil dans le ciel et par l'ombre que procurent des projets tels que les murs végétalisés. Alors qu'un changement est visible dans l'après-midi. En effet, deux zones de fortes températures sont visibles aux deux extrémités du toit, soit le côté piments d'Espelette/ fraises et le côté Vignes en ville où la température est comprise entre 57,5 et 70 °C. En parallèle de ces pôles de chaleur extrême, tout le centre du toit (projet VERTical, Culti-VERT, toits verts et début de Vignes en ville) est caractérisé par des températures moins élevées, inférieures à 32,5°C. Il est vrai que l'extrémité du toit située à proximité des projets piments d'Espelette et fraises est caractérisée par un mur en aluminium réfléchissant la lumière du soleil sur cette zone. Il a pour conséquence un réchauffement et un stockage important de la chaleur sur le revêtement du toit. L'autre zone de chaleur située au Sud du projet Vignes en ville est quant à elle dépourvue de projet. Il n'y a pas d'atténuation de chaleur, alors que l'ombre produit par les murs végétalisés et le projet Culti-VERT permet un rafraîchissement conséquent des températures de surface. Les végétaux présents sur les toits verts diminuent la chaleur absorbée par le sol.

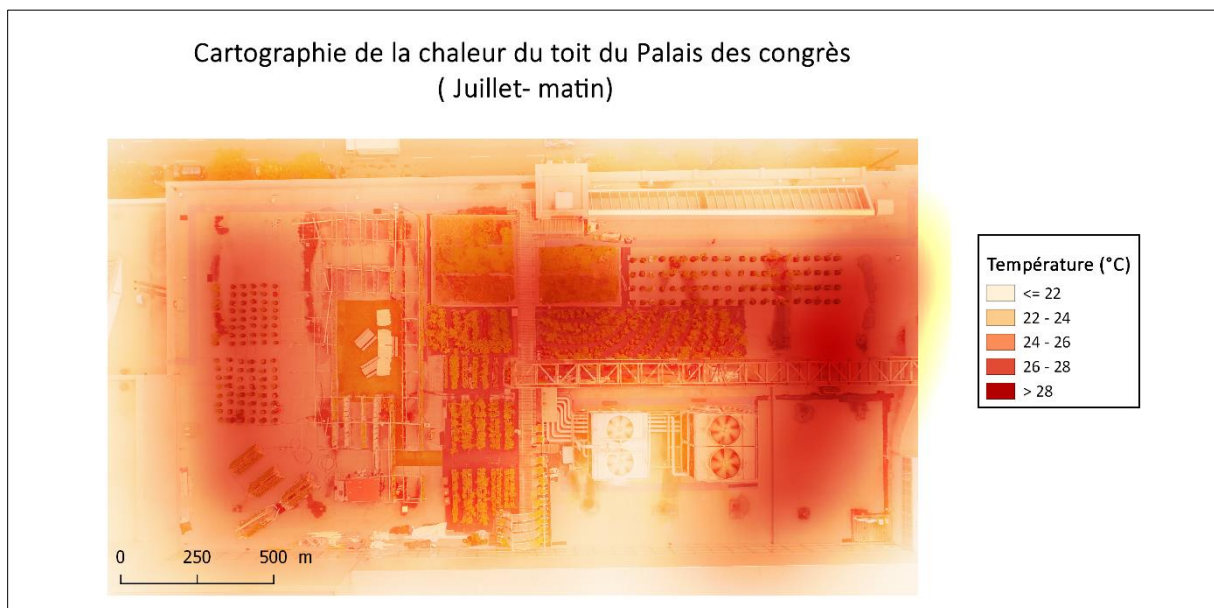


Figure 22- Carte de chaleur (Juillet-matin)

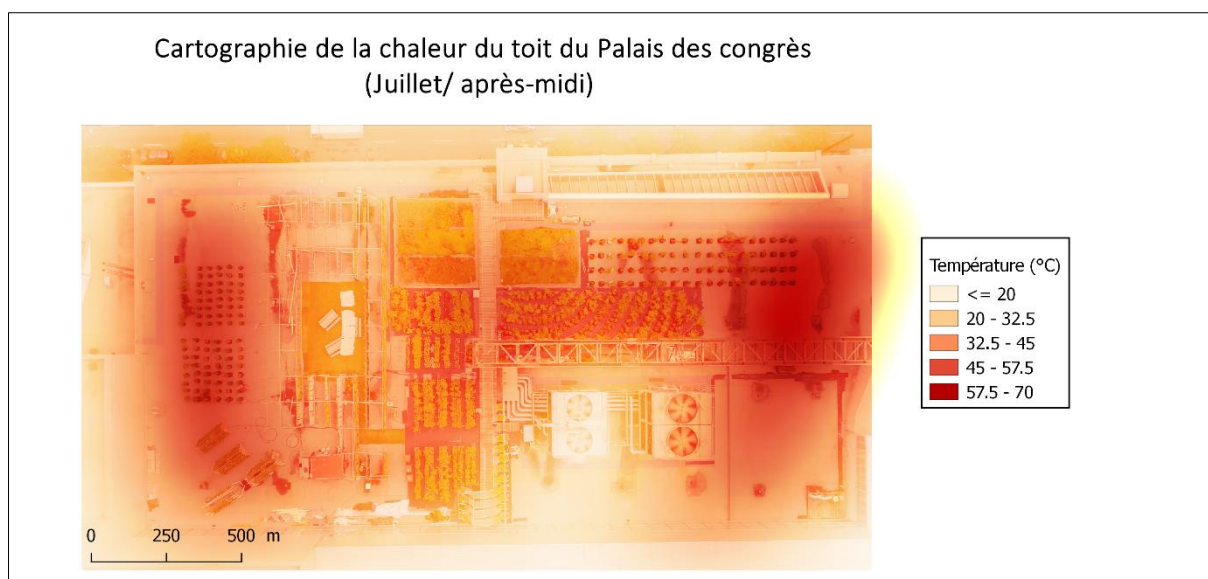


Figure 23- Carte de chaleur (Juillet/ après-midi)

La **Figure 24** montre la répartition moyenne de la chaleur matinale du mois d'Août et la **Figure 25** en après-midi durant le même mois. Les cartes sont similaires à celles obtenues en Juillet à la seule différence que la matinée est en moyenne plus chaude au mois d'Août et les températures plus fraîches en après-midi. En effet, au mois d'Août, les températures moyennes matinales varient entre 23 et 32 °C contrairement au mois de Juillet où elles varient entre 22 et 28 °C. Alors que les températures en après-midi varient entre 20 et 50 °C au mois d'Août contre 20 à 70°C au mois de Juillet. Les différences sont minimales entre les deux mois, et une grande partie des températures sont comprises dans le même ordre de grandeur.

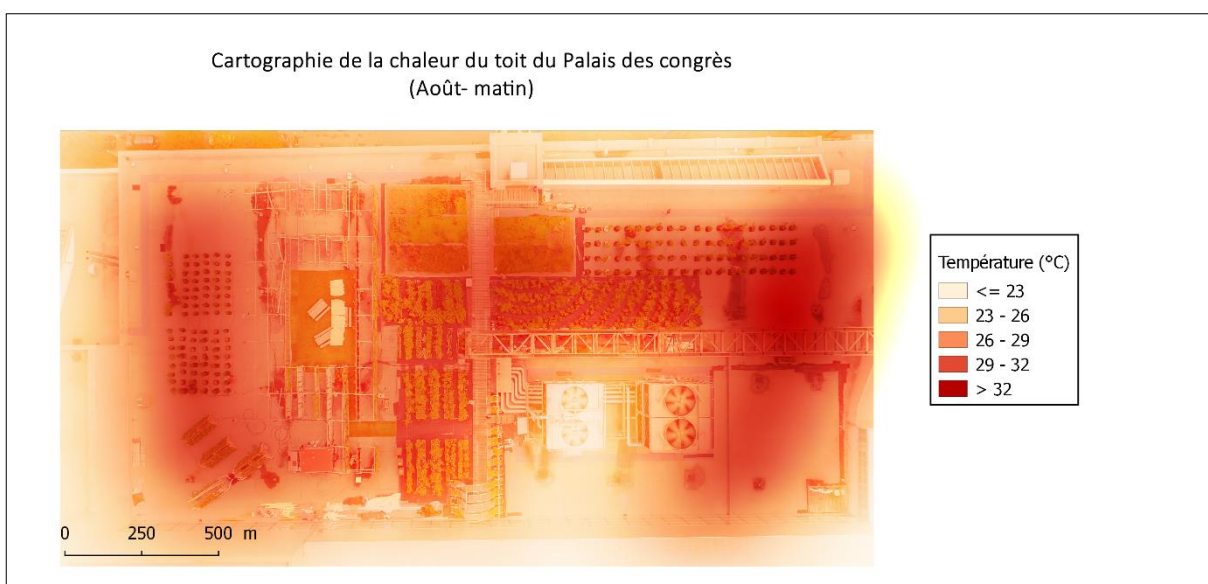


Figure 24- Carte de chaleur (Août- matin)

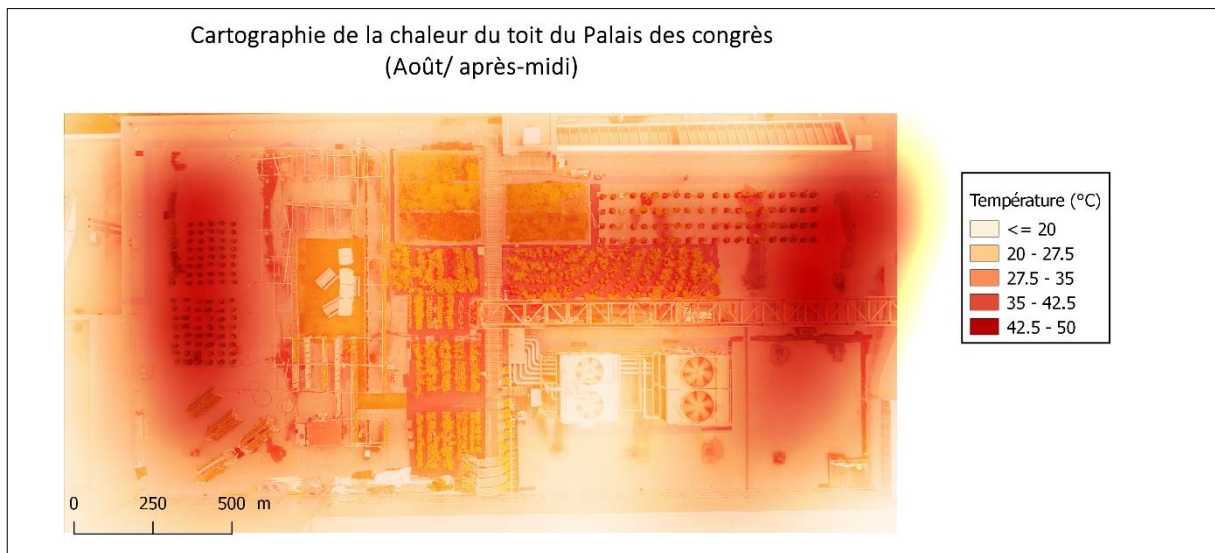


Figure 25- Carte de chaleur (Août/ après-midi)

b. Comparaison entre les écarts types et les températures moyennes

La **Figure 26** expose la cartographie des écarts types des températures du midi en Juillet. En effet, la carte montre une forte hétérogénéité des écarts types de ces températures (de 6 à 24). Ces écarts sont explicables par l'effet de la masse nuageuse et du soleil qui varient selon la position sur le toit. De plus les écarts types élevés proviennent des deux lieux identifiés apparemment (les deux extrémités du toit) où la surface a stocké une quantité importante de chaleur contrairement aux autres positions et où aucun élément externe ne contribue à l'abaissement de cette chaleur comme les murs végétalisés par exemple. Cette supposition est vérifiée par la **Figure 27** montrant la répartition moyenne de la chaleur le midi en Juillet. Les deux zones foncées correspondent aux mêmes zones où les écarts types sont élevés.

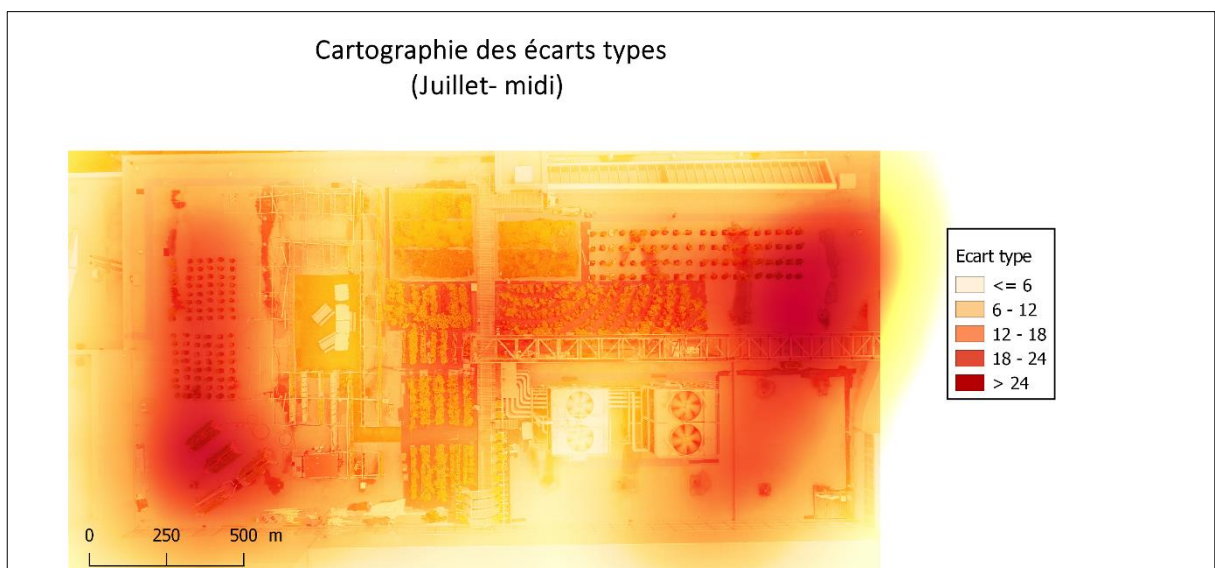


Figure 26- Cartographie des écarts types (Juillet-midi)

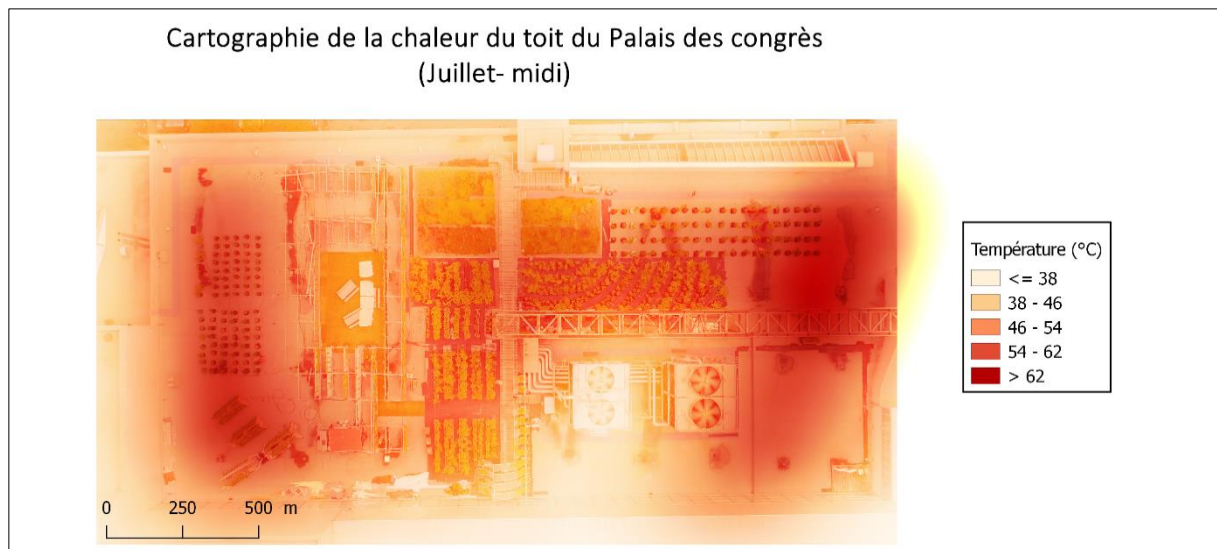


Figure 27- Carte de chaleur (Juillet- midi)

Les **Figure 28** et **Figure 29** représentent la répartition des écarts types des températures et la carte de chaleur pour les températures moyennes du midi du mois d’Août. Les mêmes tendances sont remarquables pour les deux cartes du midi au mois d’Août que pour les deux autres cartes correspondantes du midi au mois de Juillet. Les seules différences proviennent des échelles où les écarts types du mois d’Août varient de 4 à 16 alors que pour Juillet, ils fluctuent de 6 à 24. Ces différences sont explicables par la deuxième échelle de la carte de chaleur des températures moyennes du midi où les températures sont moins élevées au mois d’Août [28 ;52] que pendant le mois de Juillet [38 ;62].

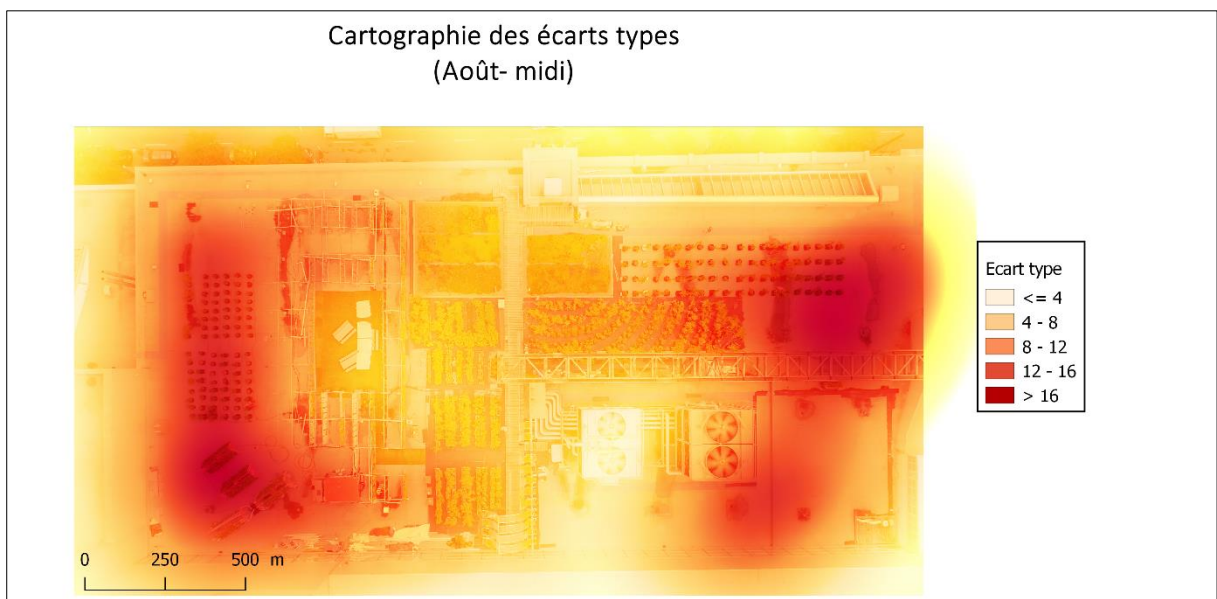


Figure 28- Cartographie des écarts types (Août- midi)

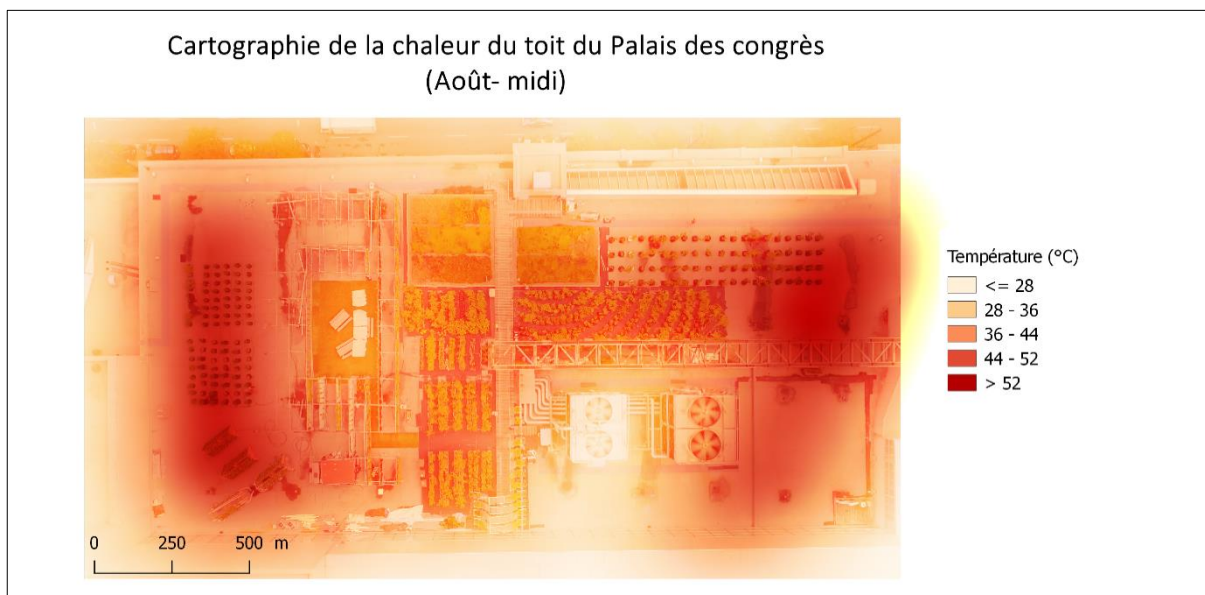


Figure 29- Carte de chaleur (Août- midi)

c. Conclusion

L'étude des moyennes des températures de surface sur le toit a mené à l'identification de trois différentes zones. Les deux premières zones correspondent aux deux extrémités du toit. La zone n°1 est placée du côté des projets piments d'Espelette et de fraises. La zone n°2 est située à l'opposé de la zone n°1, à savoir du côté de la fin du projet Vignes en ville. La dernière zone (zone n°3) représente tout le centre du toit à savoir, le projet VERTical, Culti-VERT, toits verts et la première moitié de Vignes en ville. Les moments de la journée ont une influence sur la répartition de la chaleur. En effet, le matin est caractérisé par un effet moindre de la couverture nuageuse sur les températures de surface entraînant une homogénéité de la chaleur. Cependant les zones n°1 et 2 détiennent tout de même des températures plus élevées que la zone n°3. Le midi et l'après-midi ont des effets similaires entre eux sur les températures de surface. Une forte hétérogénéité des écarts types des températures du midi est observable et traduit des températures de surface très élevées dans les zones n°1 et 2 contrairement à la zone n°3. Cette même zone est caractérisée par un fort couvert végétal qui permet l'atténuation de la chaleur. Les mois de Juillet et d'Août sont identiques en termes de phénomènes. La seule différence entre ces mois réside dans les échelles de température. Elles sont plus élevées le midi et le soir en Juillet qu'en Août et moins élevées le matin en Juillet plutôt qu'au mois d'Août.

4.4.2. Températures de l'air sur un toit vs Montréal

Le test de Student pour deux échantillons indépendants (test bilatéral) admet comme hypothèses :

- H_0 : La différence entre les moyennes est égale à 0
- H_a : La différence entre les moyennes n'est pas égale à 0

Le niveau de signification seuil alpha est considéré comme étant égal à 0,05. Si la p-value calculée est supérieure au seuil alpha, il n'est pas possible de rejeter H_0 et les deux moyennes sont considérées comme identiques.

Le **Tableau 13** résume les résultats des tests de Student. Seulement la température minimale de Juillet et Août, ainsi que la température moyenne du mois d'Août ont une p-value inférieure à alpha. La différence entre les moyennes de la station UQAM et MC TAVISH n'est donc pas égale à 0 pour la température minimale de Juillet, Août et la température moyenne du mois Août. Par conséquent, la différence pour ces moyennes entre les deux stations est significative.

Tableau 13- Résultats des tests de Student

	P-value	Significativité
<i>Juin (température min)</i>	0,070	-
<i>Juin (température max)</i>	0,414	-
<i>Juin (température moyenne)</i>	0,245	-
<i>Juillet (température min)</i>	0,006	+
<i>Juillet (température max)</i>	0,485	-
<i>Juillet (température moyenne)</i>	0,086	-
<i>Août (température min)</i>	0,005	+
<i>Août (température max)</i>	0,319	-
<i>Août (température moyenne)</i>	0,004	+

Les **Figure 30**, **Figure 31** et **Figure 32** exposent de trois différentes manières les résultats au test de Student. La **Figure 30** représente une boîte à moustaches de la température minimale du mois d'Août pour chacune des stations. La médiane de la station UQAM est plus élevée que celle de la station MC TAVISH. La différence des températures est visible sur les deux boîtes à moustaches. La **Figure 31** représente un diagramme de dominance de la température moyenne du mois d'Août. La surface occupée par la température moyenne obtenue depuis la station UQAM est plus importante que celle obtenue depuis la station MC TAVISH. Il en résulte que la température moyenne mesurée sur le toit de l'UQAM est plus élevée que celle depuis la station MC TAVISH. La **Figure 32** expose un scattergrams de la température minimale du mois de Juillet. La moyenne de la température minimale de l'UQAM est plus élevée que celle de MC TAVISH. En effet, une majorité des températures enregistrées à l'UQAM durant tout le mois se situe au-dessus de celles enregistrées à MC TAVISH.

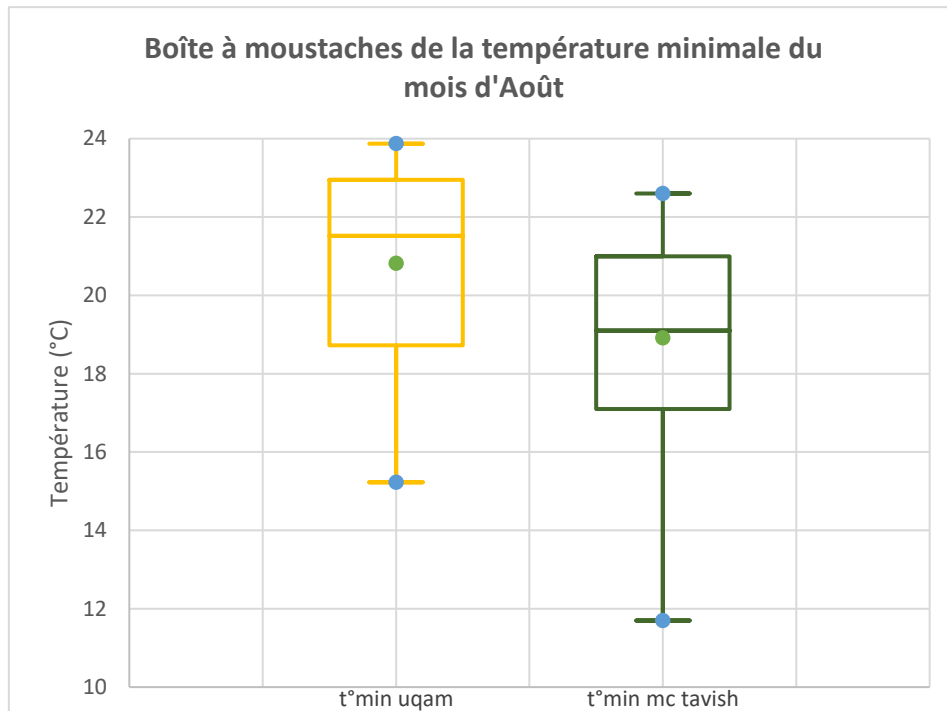


Figure 30- Boîte à moustaches de la température minimale (Août)

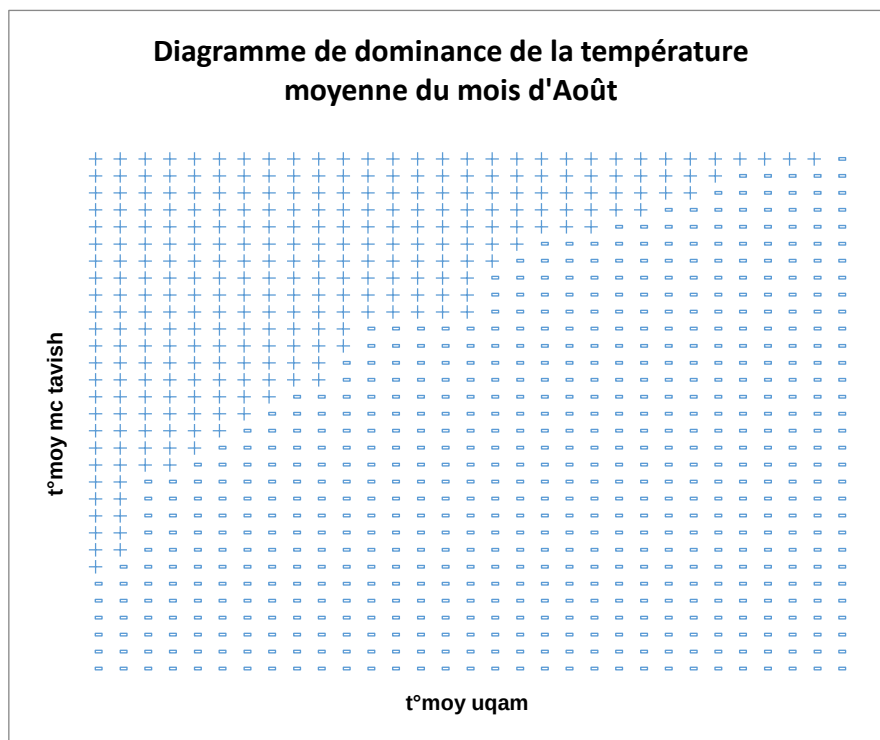


Figure 31- Diagramme de dominance de la température moyenne (Août)

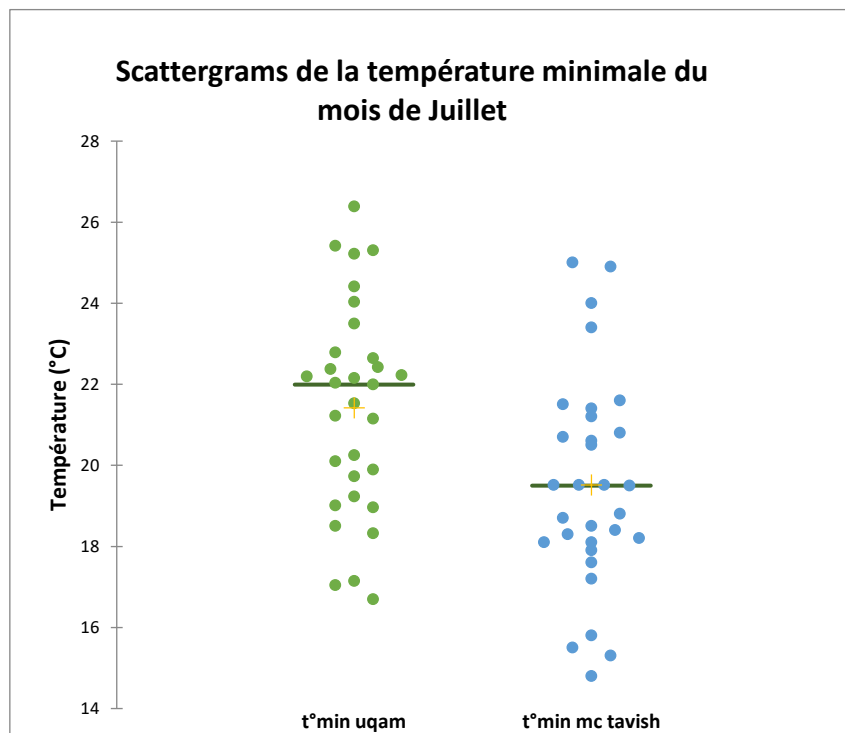


Figure 32- Scattergrams de la température minimale (Juillet)

En conclusion, une majorité des températures enregistrées durant les mois de Juin, Juillet et Août ne diffère pas en fonction des deux stations météo. Cependant les températures minimales de Juillet et Août ainsi que la température moyenne de ce même mois, ont montré des différences significatives. En effet, l'exploitation de ces données pour chaque critère permet de relever une tendance où la température enregistrée sur le toit de l'UQAM est toujours plus élevée que celle enregistrée à la station MC TAVISH.

V- DISCUSSION ET PERSPECTIVES

5.1. Étude sur l'adaptabilité des espèces

L'objectif de l'étude était de tester parmi les quatre espèces (poivron, pak choï, origan, betterave) lesquelles étaient adaptées à la culture verticale sur un toit. Afin de mieux apprivoiser la culture sur murs végétalisés, il y a eu un intérêt à connaître l'influence de l'orientation et du positionnement des membranes sur la croissance et le rendement des espèces. De plus, l'interaction entre les espèces et les membranes a été étudiée par le biais de la température des membranes et du feuillage des plants positionnés sur celles-ci. L'intérêt du semis direct par rapport à une transplantation classique est un point qui a aussi été évoqué.

L'orientation, le positionnement des membranes et l'interaction entre les deux n'influencent pas de manière significative la croissance des poivrons. La température des membranes situées au Sud-Est est plus élevée qu'au Nord-Est. La membrane haute (a) a comme particularité une température plus faible que la membrane basse (b). La température du feuillage des poivrons situés au Nord-Est (a) est plus élevée que ceux situés au Sud-Est (a). Le contraire est observable pour le positionnement bas membrane. Enfin, la température des membranes est plus faible que celle du feuillage des poivrons associés dans toutes les conditions. Il n'a pas été possible de réaliser une modulation statistique pour regarder si l'orientation et le positionnement ont vraiment une influence significative sur la température des membranes et du feuillage et l'interaction entre les deux. Initialement, une température sur la troisième membrane dans chaque condition a été réalisée à raison de deux fois par semaine. Tandis qu'un plant de poivron a été choisi dans chaque condition afin d'effectuer trois mesures de température pour l'établissement d'une moyenne. Cette étude est tout de même intéressante, car elle permet de montrer une tendance générale concernant la température des membranes et du feuillage. Pour les années futures, afin de concrétiser cette étude, il faudrait pouvoir l'effectuer à plus grande échelle afin d'obtenir plus d'individus permettant de réaliser une ANOVA. Pourquoi ne pas utiliser toutes les sections disponibles sur le projet VERTical en incluant les sections hors expérimentation. Cela permettrait d'obtenir un nombre significatif d'individus indépendants les uns des autres. À cette étude, il serait intéressant d'inclure grâce à la station météo récemment disponible sur le toit, l'orientation et la puissance du vent afin de voir leurs impacts dans l'assèchement des membranes et donc du réchauffement de celles-ci. Une corrélation avec le besoin en eau de la plante pourrait être effectuée.

Le rendement total des poivrons se chiffre à 14,273 kg pour 413 poivrons récoltés. Il n'y a pas de différences importantes entre l'orientation Nord-Est et Sud-Est. Cependant l'orientation Nord-Est (b) se dresse comme la demi-section la plus productive. Il est important de souligner que la mortalité a été élevée chez les plants de poivron en raison d'un défaut du système d'irrigation. C'est pour cela que la section située au Sud-Est (b) a été la moins productive. La chaleur était intense durant le mois de juillet et il suffisait d'une panne d'une journée dans le réseau goutte à goutte pour que les plants de poivrons meurent. Le système d'irrigation sera abordé après la synthèse des rendements de toutes les espèces. Outre l'irrigation, le problème rencontré concernait la longueur des plants et le poids des fruits. Afin d'y remédier, un système de tuteurage a été mis en place. Des ficelles ont été accrochées sur les membranes pour soutenir les tiges des poivrons. Le poivron pourrait être une espèce intéressante à explorer dans la culture verticale.

Le rendement des pak choï en transplantation normale est de 1,178 kg pour 193 de pak choï récoltés. Une nouvelle fois, la demi-section au Nord-Est (b) est la plus intéressante en termes de rendement. Le rendement des pak choï situés dans la section dédiée au semis direct est de 2,096 kg pour 68 pak choï récoltés. Le semis direct s'affiche comme une meilleure méthode pour la production de pak choï. Il n'est donc pas nécessaire d'effectuer des semis dans une serre pour ensuite les transplanter dans les murs. Cependant, la saison de production a commencé tardivement, le 1^{er} Juin. La manutention pour installer les murs végétalisés était longue et fastidieuse. La commande tardive de nouvelles gouttières a eu un impact négatif dans la production des pak choï car il a fallu attendre cette commande pour débiter les installations. Il a donc été décidé pour le bloc expérimental, d'utiliser provisoirement les anciennes gouttières. Les pak choï ont souffert de la chaleur ayant pour conséquence une montée en graines très rapide. De plus, la pression des ravageurs tels que l'altise, la fausse arpeuse et quelques pucerons ont grandement abîmé les pak choï. Il y a donc un intérêt à effectuer les semis tôt ou tard dans la saison quand les températures sont plus fraîches et que la pression des ravageurs est moindre. Des filets de protection installés sur les murs végétalisés permettraient de lutter contre les altises. De plus, le problème d'irrigation a fortement touché les pak choï.

Le rendement de la betterave en transplantation normale est de 3,691 kg pour 103 betteraves récoltées tandis que le rendement en semis direct est de 2,587 kg pour 61 betteraves récoltées. Le semis direct est aussi une bonne méthode de production pour la betterave dans les murs végétalisés en considérant les rendements obtenus. Il est aussi important de rappeler que la section semis direct concerne théoriquement 70 plants de betteraves tandis que la transplantation concerne théoriquement 168 plants de betteraves. Cependant, la betterave n'est pas la meilleure espèce destinée à la production verticale. Il aura fallu près de 4 mois pour qu'elle arrive à maturité. Cette période de production est trop longue pour des producteurs urbains où la saison de culture est limitée dans le temps.

Le rendement de l'origan se dresse à 6,4 kg pour 285 origans récoltés. L'orientation Nord-Est (a) est la plus productive. Cependant, de nombreux morts sont observables dans les demi-sections réservées à l'origan. La raison est toujours due au réseau d'irrigation défaillant.

Le système d'irrigation est le biais le plus important de cette étude. Pour chaque espèce, le nombre de morts a été conséquent. Sans une parfaite irrigation, il est difficile d'étudier l'adaptabilité des espèces et d'obtenir des rendements significatifs et comparables à d'autres systèmes de production. Le système d'irrigation fonctionne pour tout le projet VERTical y compris la partie non expérimentale. Il est scindé en trois zones correspondantes à des sections. Il est possible de régler l'arrosage par zone. Les murs de la section expérimentale sont inclus dans les zones n°2 et 3. Un des problèmes rencontrés était l'arrêt de l'irrigation à cause de pannes électriques. Ce problème arrivait souvent en fin de semaine. Les pochetons étant petits, les plantes n'ont pas accès à une réserve en eau et le terreau se dessèche très vite impliquant ainsi la mort des plants. Avec le temps, les membranes s'incurvent sous le poids des plantes et le système gouttes à gouttes ne distribue pas l'eau de façon homogène. Ainsi les pochetons aux extrémités le long des membranes sont souvent ceux qui manquent d'eau. Afin de régler le problème, des barres métalliques ont été placées au centre de chaque membrane pour les rigidifier. Le problème persistait dans la membrane haute. L'étude sur la production de murs végétalisés réalisée au Texas a été confrontée au même problème d'irrigation (DVORAK & ALI, 2016).

Une proposition d'amélioration serait de placer, en plus, des barres métalliques au sommet de chaque membrane. Une réflexion sur un tuteur à l'arrière de chaque membrane pourrait être envisagée pour les années futures.

En conclusion, la betterave n'est pas considérée comme une espèce adaptée à la production sur murs végétalisés. L'origan se dresse comme la meilleure des quatre espèces pour cette technique de culture. Les plantes aromatiques ne sont pas des plantes très exigeantes et s'adaptent totalement aux murs végétalisés. Le projet VERTical hors expérimentation en témoigne. Le poivron pourrait être aussi considéré comme une plante adaptée si une solution durable de tuteurage est incluse dans le plan de culture n'affectant pas le système goutte à goutte en incurvant les membranes. De même, le pak choï pourrait être adapté à condition de prévoir un plan de lutte contre les altises et de connaître les dates de semis idéales afin d'éviter une montaison précoce. Il pourrait être intéressant d'effectuer une modélisation statistique pour voir l'impact de l'orientation Nord-Est et Sud-Est sur le rendement. Pour que celle-ci soit fiable, il ne faudrait plus compter l'irrigation comme un biais de l'étude. La bette à cadre pourrait être une bonne candidate à ce type de production. En effet, une erreur a été commise lors de la transplantation des betteraves et quelques semis de bette à cadre ont été transplantés.

5.2. Étude sur le contexte microclimatique du toit

L'objectif de cette partie était de comprendre l'environnement microclimatique dans lequel le projet VERTical s'insère. Pour cela, une prise régulière de la température de surface à 30 endroits stratégiques du toit a permis la réalisation de différentes cartes de chaleur pour les mois de Juillet et Août. De plus, une comparaison statistique, entre les données récoltées grâce à la station météo sur le toit de l'UQAM et une autre station météo située dans le quartier accessible grâce à Environnement Canada, renseigne sur la significativité de la différence de température sur un toit et à un niveau moins élevé.

Les cartographies de la répartition de la température sur le toit pendant le matin, midi, après-midi de Juillet et Août permettent de mettre en évidence trois zones distinctes. La première zone correspond aux projets piments d'Espelette et de fraises. La deuxième zone commence à la fin du projet Vignes en ville et à la zone à côté dépourvue de projet. Enfin, la troisième zone met en lumière le projet VERTical, Culti-VERT, les toits verts et la première partie du projet Vignes en ville. Les deux premières zones correspondent aux deux zones les plus chaudes du toit. En effet, ces zones sont situées aux deux extrémités du toit et sont dépourvues de surfaces végétales couvrantes. Bien que la première zone soit comprise dans le projet piments d'Espelette, les points de mesures ont été pensés en dehors de cette zone. À l'origine de l'établissement du séquençage du toit par des points de mesure, les projets piments d'Espelette et de fraises n'étaient pas installés. Les points se sont retrouvés à l'extérieur de ces projets en les entourant. Un mur gris est présent au début de cette zone (côté fraises). Il absorbe fortement les rayonnements solaires et les renvoie sur le sol, réchauffant fortement cet endroit. De même pour la deuxième zone dépourvue de végétation. Le revêtement du toit absorbe directement la chaleur et se comporte comme un radiateur urbain. La **Figure 33** montre l'importance de la couleur du revêtement dans l'absorption et la réflexion de la chaleur. Le rayonnement solaire est réfléchi sur une surface blanche sans absorption de la chaleur. Alors qu'une surface noire absorbe une quantité importante de chaleur tout en réfléchissant le rayonnement solaire.

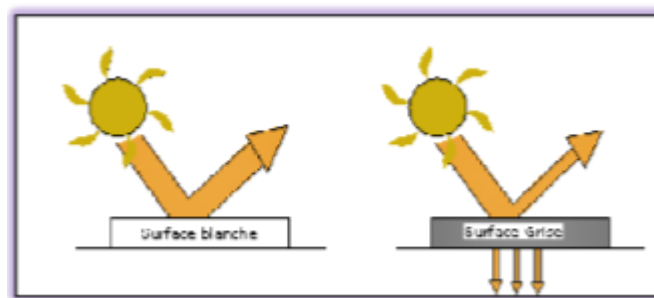


Figure 33- Réflexion/absorption (BOULFANI, 2010)

La troisième zone est caractérisée par une surface importante de végétation. En effet, les murs végétalisés procurent de l'ombre et du frais au sol. De même pour les toits verts et le projet culti-VERT où ce dernier est tellement dense que les plants de tomates ont permis une densification du couvert végétal. La **Figure 34** expose la différence de température de surface entre trois matériaux : un gazon arrosé, un toit en ardoise et un chemin en asphalte. La température du toit en ardoise est de 70°C alors que le gazon n'est que de 37°C. Les revêtements de sol via leurs taux d'absorption, de conductivité et de réflectivité des rayonnements thermiques et de capacité d'absorption impactent positivement ou négativement le microclimat (BOULFANI, 2010).

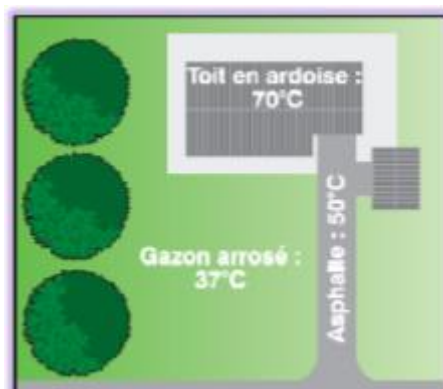


Figure 34- Température de surface de différents matériaux (BOULFANI, 2010)

Les différents moments de la journée n'ont pas tous la même influence sur les températures de surface. Le matin présente une répartition de la chaleur plus homogène sur le toit due à la position du soleil dans le ciel. Cependant les températures ne sont pas si élevées même dans la première et deuxième zone en Juillet et Août. La différence arrive durant le midi et l'après-midi où les trois différentes zones se dessinent parfaitement que ce soit en Juillet ou en Août. Il existe tout de même un biais pour la cartographie de l'après-midi de Juillet où les mesures ne sont pas déroulées dans la même tranche horaire que pour le mois d'Août [16-18h]. Le mois de Juillet a été très chaud, et le travail sur le toit commençait très tôt de manière à terminer vers midi. Dans un système parfait, il aurait fallu prendre les mesures tous les jours de la semaine à la même heure. Cependant, ceci n'est pas réalisable.

Il pourrait être intéressant de poursuivre cette étude sur la répartition de la chaleur sur le toit en ajoutant plus de points de mesure. Cela permettrait une extrapolation dans l'espace des points encore plus juste.

Les données de température obtenues grâce à la station météo située sur le toit de l'UQAM et celle d'Environnement Canada, MC TAVISH, ont permis la réalisation d'un test de Student afin de regarder la significativité des différences. La plupart des différences ne sont pas significatives, mais les températures minimales du mois de Juillet et d'Août et les températures moyennes du mois d'Août sont considérées comme significatives. Pour chaque critère, les températures sur le toit de l'UQAM sont plus élevées que celles de MC TAVISH. Cependant, la station météo sur le toit de l'UQAM se situe seulement à 80 m au-dessus du niveau de la mer, tandis que la station MC TAVISH est à 72,8 m au-dessus du niveau de la mer. Les quelques mètres de différence ne sont pas conséquents pour étudier la différence de température de l'air ambiant sur un toit et à la surface de la rue. À l'origine, il était prévu d'utiliser la station météo disponible sur le toit du Palais des congrès, mais cette dernière a été livrée tard en saison (mi-Août). Il était donc trop tard pour utiliser les données. Le choix s'est donc porté sur celle disponible sur le toit de l'UQAM située dans le même quartier. Pour les autres années, il serait très intéressant de réitérer l'étude en prenant les données de la station météo sur le toit du Palais des congrès. L'étude pourrait se mener sur une année entière et non sur quelques mois de façon à optimiser la fiabilité des tests.

CONCLUSION

Lors de l'expérimentation du projet VERTical, quatre espèces, l'origan, le pak choï, la betterave et le poivron ont pu être testées. L'objectif était de regarder l'adaptation de ces espèces à la production sur murs végétalisés. Celle-ci a été étudiée via le rendement obtenu pour chaque espèce. L'influence de la température, l'orientation et le positionnement des membranes ont aussi été abordés. Afin de comprendre l'environnement microclimatique dans lequel s'insère cette production sur murs végétalisés, plusieurs cartographies de la répartition de la chaleur sur le toit du Palais des congrès, à différents moments de la journée, ont été effectuées. De plus, les températures enregistrées sur deux stations météo situées dans le même quartier ont été comparées statistiquement afin de mieux visualiser les différences sur un toit et dans la rue.

Il en résulte que l'orientation et le positionnement des membranes n'influencent pas de manière significative la croissance du poivron. Les températures des membranes sont toujours inférieures aux températures du feuillage des poivrons dans toutes les conditions. De plus, il existe des différences notables entre les températures des membranes situées au Sud-Est par rapport à celles au Nord-Est. L'ensoleillement détient un rôle prépondérant dans les températures plus élevées des membranes au Sud-Est. Un problème commun pour toutes les espèces a été un défaut du système d'irrigation qui a entraîné une forte mortalité biaisant ainsi les rendements de ces quatre espèces étudiées. Le rendement des poivrons s'est montré prometteur avec 14,273 kg produits sur 413 poivrons récoltés. De même pour l'origan, qui malgré des semis en mauvais état, a pu croître de façon exponentielle durant toute la saison de culture et produire au total 6,4 kg. Pour ces deux espèces, les membranes situées au Nord-Est ont été les plus productives. Concernant les essais sur la betterave et le pak choï, les rendements ont montré qu'il était plus intéressant de préférer le semis direct plutôt que le semis dans une serre suivi d'une transplantation dans les murs. Les pak choï se sont montrés fragilisés par la pression des ravageurs, notamment des altises. Du fait des fortes températures sur le toit durant les mois de Juin et Juillet, une montaison rapide a été observée pour quasiment tous les pak choï ne les rendant pas commercialisables. La maturité des betteraves a été très longue, car elles sont restées près de 4 mois dans les murs végétalisés.

En conclusion l'origan est une espèce adaptée à la production verticale. De même pour le poivron à condition qu'un système de tuteurage soit préalablement élaboré. La longue période de maturation des betteraves les rend inaptes à ce type de production. Le pak choï pourrait être considéré comme une espèce adaptée à condition d'établir un plan d'action pour lutter contre les altises et de déterminer la meilleure période de semis à réaliser afin d'éviter une montée en graines précoce.

Pour l'année prochaine, il serait intéressant de poursuivre l'étude sur la température des membranes et le lien avec les espèces en incluant tout le projet hors expérimentation. Cela permettrait d'acquérir un plus grand panel d'individus et de pouvoir réaliser une modélisation statistique pour conclure sur l'implication de l'orientation et du positionnement des membranes dans la température de celles-ci et du feuillage des espèces associées. De plus, il serait dommage de ne pas utiliser les informations fournies par la station météo sur le toit. Il pourrait être judicieux d'inclure la puissance et l'orientation du vent à ce modèle afin de regarder le lien entre l'assèchement des membranes, leurs températures et le besoin en eau des plantes. Concernant le choix potentiel des espèces à tester, la betterave à cadre s'est montrée adaptée à cette production.

Les fines herbes sont de bonnes candidates, mais il faudrait pouvoir trouver des débouchées commerciales intéressantes dans le cas où les producteurs urbains opteraient pour ce type de production.

La compréhension de l'environnement microclimatique du toit a permis de mettre en avant trois zones de chaleur sur le toit. La première zone correspond aux projets piments d'Espelette et de fraises, la deuxième zone à la fin du projet Vignes en ville et la troisième zone aux projets VERTical, Culti-VERT, toits verts et la première moitié du projet Vignes en ville. La première et deuxième zone constituent les zones où de fortes températures ont été observées durant les mois de Juillet et Août. La dense couverture végétale présente dans la troisième zone lui confère des températures plutôt douces. Ces différences sont notamment très visibles pendant les périodes du midi et de l'après-midi. Les températures enregistrées dans la station située sur le toit de l'UQAM ont montré quelques différences significatives par rapport à la station MC TAVISH disponible par Environnement Canada. Les températures minimales de Juillet et Août sont significativement plus élevées sur le toit de l'UQAM, y compris la température moyenne du mois d'Août.

Il serait intéressant de poursuivre l'étude sur la cartographie des zones de chaleur sur le toit du Palais des congrès. Pour ce faire, il faudrait ajouter des points de mesure au système de manière à couvrir totalement le toit et rendre plus juste leur extrapolation. Les tranches horaires de prise de données devront être identiques. Dans une optique d'amélioration, la station météo présente sur le toit devrait être préférée à la station sur le toit de l'UQAM. Une comparaison des températures minimales, maximales et moyennes pourra être élaborée entre la station du toit et la station MC TAVISH. Il serait intéressant d'effectuer cette étude sur une année complète afin d'optimiser l'interprétation des résultats.

BIBLIOGRAPHIE

- ACKERMAN, K. (2012). *Urban Agriculture: opportunities and constraints*.
- ACKERMAN, K., CONARD, M., CULLIGAN, P., PLUNZ, R., PLUNZ, M.-P., & WHITTINGHILL, L. (2014). Sustainable Food Systems for Future Cities: The Potential of Urban Agriculture. *The Economic and Social Review*, Vol. 45,.
- AKBARI, H. (2002). Shade Trees Reduce Building Energy Use and CO2 Emissions From Power Plants. *Environmental Pollution*, Vol. 116.
- ALEXANDRI, E., & JONES, P. (2008). Temperature Decreases in an Urban Canyon Due to Green Walls and Green Roofs in Diverse Climates. *Building and Environment*, Vol. 43.
- ANQUEZ, P., & HERLEM, A. (2011, Avril). *Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions*. Récupéré sur http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PDF-ILOTS.PDF
- APA NORD PAS DE CALAIS. (2014). *Végétation urbaine, les enjeux pour l'environnement et la santé*. Récupéré sur http://www.appanpc.fr/_docs/7/Fichier/23-150324044906.pdf
- AROM'ANTIQUE. (s.d.). *Origan grec*. Récupéré sur <https://www.plantearomatique.com/nos-plantes/263-origan-grec-2.html>
- BANG, C., SABO, J., & FAETH, S. (2010). *Reduced wind speed improves plant growth in a desert city*.
- BENZERZOUR, M. (2004). *Transformations urbaines et variations du microclimat : application au centre ancien de Nantes et proposition d'un indicateur "morpho-climatique"*. Récupéré sur HAL archives-ouvertes.fr: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00428536/file/these_benzerzour.pdf
- BILODEAU, J., & LEMIEUX, V. (2017, Novembre). Bilans des productions horticoles et des événements 2017.
- BINET, C. (n.d.). *Le contrôle de l'établissement urbain au Québec: 25 ans de valse-hésitation*. Récupéré sur <http://vision2025.uqac.ca/amenagement/ClaireBinet.pdf>
- BLANC DE GRIS. (n.d.). *Blanc de Gris*. Récupéré sur <http://www.blancdegris.com/>
- BOILY, M.-E. (2012, Octobre). *Agriculture urbaine périurbaine au Québec, état de situation et perspectives*. Récupéré sur <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Agricultureurbaineetperiurbaine.pdf>
- BOUCHER, I. (2006, Septembre). *Les toits verts*. Récupéré sur https://www.mamrot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/observatoire_municipal/veille/toits_verts.pdf
- BOULFANI, W. (2010). *Climat et microclimat urbain*. Récupéré sur http://thesis.univ-biskra.dz/2426/4/CH%201_Climat%20et%20microclimat%20urbain.pdf
- BOULIANNE, M., OLIVIER-D'AVIGNON, G., & GALARNEAU, V. (2010). Les retombées sociales du jardinage communautaire et collectif dans la conurbation de Québec. *Vertigo*.

- BRASILES, V., & DUCHEMIN, E. (2017, Mars). Étude des prototypes de toiles de croissance et analyse de divers paramètres physiques et agronomiques des toiles dans le cadre de la mise à l'essai de la technologie utilisée par la ferme verticale sur le toit du palais congrès de Montréal.
- BRASILES, V., & DUCHEMIN, E. (2017, Mars). Étude des prototypes de toiles de croissance et analyse de divers paramètres physiques et agronomiques des toiles dans le cadre de la mise à l'essai de la technologie utilisée par la ferme verticale sur le toit du palais congrès de Montréal.
- BROOKLYN GRANGE . (s.d.). *Brooklyn Grange Farm*. Récupéré sur <https://www.brooklyngrangefarm.com/about-brooklyn-grange-1/>
- CHAGNON, M. (2008). *Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier*. Récupéré sur Agri-réseau: http://www.agrireseau.qc.ca/apiculture/documents/D%C3%A9clin%20poll_FR_MC3_M_Chagnon.pdf
- COLOMBERT, M. (2008). *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*. Université Paris-Est: Thèse de Doctorat, 538 p. .
- COLVILLE, R., HUTCHINSON, E., MINDELL, J., & WARREN, R. (2001). *The transport sector as a source of air pollution*.
- COMMUNAUTE METROPOLITAINE DE MONTREAL. (2018, Juin). *La CMM en chiffres*. Récupéré sur <http://cmm.qc.ca/donnees-et-territoire/observatoire-grand-montreal/>
- CRAPAUD. (2018). *Historique*. Récupéré sur CRAPAUD: <https://www.lecrapaud.org/>
- CREGG, B., & DIX, M. (2001). *Tree moisture stress and insect damage in urban areas in relation to heat island effects*.
- DANIEL, A.-C. (2013, Mai). *Aperçu de l'agriculture urbaine, en Europe et en Amérique du Nord*. Récupéré sur AgroParisTech.
- DUCHEMIN , E., WEGMULLER, F., & LEGAULT, A.-M. (2008). Urban agriculture: multi-dimensional tools for social development in poor neighbourhoods. *Field Actions Science Reports; the journal of field actions (vol.1)*.
- DUCHEMIN, E. (2013). Avant-Propos. *Agriculture urbaine : Aménager et nourrir la ville (Vertigo)*.
- DVORAK, B., & ALI, A. (2016). Rooftop agriculture. Dans M. SAMER, *Urban Agriculture*.
- EAGLE STREET ROOFTOP FARM. (s.d.). *Eagle Street Rooftop Farm*. Récupéré sur <https://rooftopfarms.org/>
- FAO. (2009, Octobre). *L'agriculture mondiale à l'horizon 2050*. Récupéré sur http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_FR/L%E2%80%99agriculture_mondiale_%C3%A0_l%E2%80%99horizon_2050.pdf
- FAO. (2018). *L'agriculture urbaine*. Récupéré sur Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture: <http://www.fao.org/urban-agriculture/fr/>
- FELLER ET AL. (1995). *Echelle BBCH pour les légumes à base de chou*. Récupéré sur <https://www.syngenta.fr/agriculture-durable/reglementation/dossier-bbch/article/echelle-bbch-choux>

- FELLER ET AL. (1995). *Légumes des solanacées*. Récupéré sur <https://ojs.openagrar.de/index.php/BBCH/article/view/1875/2215>
- FERMES LUFA. (2018). *Les fermes Lufa*. Récupéré sur <https://montreal.lufa.com/fr/fermes>
- GAUDREAU, V. (2011, Juin). *Analyse de l'agriculture urbaine dans les grands centres urbains en Amérique du Nord*.
- GETTER, K., & ROWE, D. (2006). The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *HortScience*, Vol. 41, No. 5.
- GIGUERE, M. (2009). *Mesures de lutte au îlots de chaleur urbains*. Récupéré sur Institut National de Santé Publique du Québec : http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988_MesuresIlotsChaleur.pdf
- GODIN, P. (2008). *Réduction du food miles: approvisionnement local et agriculture urbaine*. Récupéré sur Francvert: <http://www.francvert.org/pages/53dossierreductiondufoodmiles.asp>
- GOVERNEMENT DU QUEBEC. (2010). *Communauté métropolitaine*. Récupéré sur Affaires municipales et Occupation du territoire : <https://www.mamot.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/acteurs-et-processus/communaute-metropolitaine/>
- GRAEFE, S., SCHLECHT, E., & BUERKERT, A. (2008). Opportunities and Challenges of Urban and Peri-Urban Agriculture in Niamey, Niger. *Outlook on Agriculture* Vol. 37, No. 1.
- GREGG, J., JONES, C., & DAWSON, T. (2006). *Physiological and developmental effects of O3 on cottonwood growth in urban and rural sites*.
- GRIMM, N., FOSTER, D., GROFFMAN, P., GROVE, J., HOPKINSON, C., NADELHOFFER, K., . . . PETERS, D. (2008). *The changing landscape: Ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients*.
- HISTA, J. (2007). *Enjeux autour de l'agriculture urbaine contemporaine*. Récupéré sur Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (CAAAQ): http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/MEMOIRE/13-12-L-Jardins_collectifs.pdf
- HODGES, L., SURATMAN, M., BRANDLE, J., & HUBBARD, K. (2004). *Growth and yield of snap beans as affected by wind protection and microclimate changes due to shelterbelts and planting dates*.
- HOME JARDIN. (2018). *betterave potagère*. Récupéré sur http://www.homejardin.com/betterave_potagere/beta_vulgaris.html
- IGA. (2018). *IGA présente le plus grand potager bio sur un toit de supermarché au pays*. Récupéré sur https://www.iga.net/fr/salle_de_presse/communiqués_2017/iga_presente_le_plus_grand_potager_bio_sur_un_toit_de_supermarche_au_pays
- INSPQ. (2009). *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbain*. Récupéré sur Institut National de la Santé Publique (INSPQ): http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/988_MesuresIlotsChaleur.pdf
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUEBEC. (2018, Mars). *Le Québec chiffres en main*. Récupéré sur http://www.stat.gouv.qc.ca/quebec-chiffre-main/pdf/qcm2018_fr.pdf
- ISE. (2007). *Institut des sciences de l'environnement (ISE)*. Récupéré sur <https://archipel.uqam.ca/view/divisions/ISE/2007.default.html>

- KUDO, G., NISHIKAWA, Y., KASAGI, T., & KOSUGE, S. (2004). *Does seed production of spring ephemerals decrease when spring comes early?*
- KUHNS, J., & RENTING, H. (n.d). Typologies des activités en agriculture urbaine. Dans U. G. Train, *Modules et Ressources (IO2)- Module 1 introduction aux concepts et types d'agriculture urbaine*.
- LABORATOIRE AGRICULTURE URBAINE (AU/LAB). (2018). *Laboratoire agriculture urbaine*. Récupéré sur <http://www.au-lab.ca/>
- LABORATOIRE SUR L'AGRICULTURE URBAINE . (2018). *Cultive ta Ville*. Récupéré sur <https://cultivetaville.com/fr/jardin/statistiques/>
- LABRECQUE, M., & VERGRIETE, Y. (2008). *Études des Biotopes urbains et périurbains de la CMM volet 3: synthèse des indicateurs de rétention des eaux par les végétaux et possibilité d'application, en milieu urbain et périurbain, sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal*.
- MAPAQ. (2018). *Agriculture urbaine*. Récupéré sur Agriculture Pêcheries et Alimentation Québec: <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/agricultureurbaine/Pages/agricultureurbaine.aspx>
- MEIER. (2001). *Stades phénologiques des mono- et dicotylédones cultivées*. Récupéré sur http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_veroeff/bbch/BBCH-Skala_franz%C3%B6sisch.pdf
- NUGENT, R. (2002). *The Impact of Urban Agriculture on the Household and Local Economies*. Récupéré sur RUAF Foundation International Workshop of Urban Agriculture Growing Cities, Growing Food Accessed: <http://www.ruaf.org>
- ODERNDORFER, E., LUNDHOLM, J., BASS, J., COFFMAN, B., DOSHI, H., DUNNET, N., . . . ROWE, B. (2007). Green Roofs as Urban Ecosystems: ecological Structures, Functions and Services. *BioScience*, vol. 57, n° 10, pp. p. 823-833.
- OKE, T. (1987). *Boundary layer climates*. London et New York: Methun.
- PALAIS DES CONGRES DE MONTREAL. (2018). *Laboratoire d'agriculture urbaine du Palais des congrès de Montréal*. Récupéré sur Palais des congrès de Montréal: <https://congresmtl.com/centre-de-congres/developpement-durable/laboratoire-dagriculture-urbaine-palais-congres-de-montreal/>
- PETERS, C., BILLS, N., LEMBO, A., WILKINS, J., & FICK, G. (2009). Mapping Potential Foodsheds in New York State: A Spatial Model for Evaluating the Capacity to Localize Food Production. *Renewable Agriculture and Food Systems*, Vol. 24, No. 1.
- PRO SPECIE RARA. (2018). *Poivrons*. Récupéré sur <https://www.prospecierara.ch/fr/catalogue-des-varietes/ge-3125>
- ROBINSON, J., & BRITZ, S. (2000). *Tolerance of a field grown soybean cultivar to elevated ozone level is concurrent with higher leaflet ascorbic acid level, higher ascorbate-dehydroascorbate redox status, and long term photosynthetic productivity*.
- ROETZER, T., WITTENZELLER, M., HAECKEL, H., & NEKOVAR, J. (2000). *Phenology in central Europe: Differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas*.

- SAXE, H. (1994). *Relative sensitivity of greenhouse pot plants to long-term exposures of NO-containing and NO₂-containing air* .
- SEMIS URBAINS. (2018). *Bok choi Shanghai Green*. Récupéré sur <https://www.semisurbains.com/produit/bok-choi-shanghai-green/>
- SMIT, J., NASR, J., & RATTA, A. (1996). *Urban Agriculture : Food, Jobs and Sustainable Cities*. Récupéré sur <http://www.jacsmmit.com/book/Chap02.pdf>
- SOMMET MONDIAL DE L'ALIMENTATION. (1996). *Introduction aux concepts de la sécurité alimentaire*. Récupéré sur <http://www.fao.org/3/a-al936f.pdf>
- SPECTRUM TECHNOLOGIES, INC. (2016). *Product manual watchdog*. Récupéré sur https://www.specmeters.com/assets/1/22/Retriever___Pups_Wireless_Network1.pdf
- STOKES. (2018). *GOLDEN*. Récupéré sur <http://www.stokeseeds.com/product.aspx?ProductID=39972&CategoryID=948&checkCookies=1>
- TENDLAND, A. (2009, Juillet-Août). *L'agriculture urbaine au Québec- des jardins et des villes. Alternatives*.
- VILLE DE MONTREAL. (2012). *L'état de l'agriculture urbaine à Montréal*. Récupéré sur http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/CHANTIER_DEMOCRATIE_FR/MEDIA/DOCUMENTS/AGRICULTUREURBAINEMONTREAL_2012.PDF
- WALTHER, G., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T., . . . BAIRLEIN, F. (2002). *Ecological responses to recent climate change*.
- WANG, W., & PATAKI, D. (2010). *Spatial patterns of plant isotope tracers in the Los Angeles urban region*.
- WEGMULLER, F., & DUCHEMIN, E. (2010). *Multifonctionnalité de l'agriculture urbaine à Montréal: Étude des discours sur la base des programmes des jardins communautaires*. Récupéré sur Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food (ISDA): <http://www.isda2010.net/var/isda2010/storage/original/application/2c4854a62e247d96542c5c46d149ef80.pdf>
- WHITTINGHILL, L., & ROWE, B. (2011, Août). *The role of green roof technology in urban agriculture* . Récupéré sur https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/DBF55A3247A3270F8F790C3C8CF302C8/S174217051100038Xa.pdf/role_of_green_roof_technology_in_urban_agriculture.pdf
- WILLIAMS, T., & ABBERTON, M. (2004). 2004. Earlier flowering between 1962 and 2002 in agricultural varieties of white clover.
- WORTMAN, S., & LOVELL, S. (2013). Environmental Challenges Threatening the Growth of Urban Agriculture in the United States. *Journal of Environmental Quality*.
- ZISKA, L., GEORGE, D., & FRENZ, D. (2007). *Establishment and persistence of common ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) in disturbed soil as a function of an urban-rural macro-environment*.

TABLE DES FIGURES

Figure 1- Murs végétalisés.....	10
Figure 2- échelles climatiques	14
Figure 3- Phénomène îlot de chaleur	15
Figure 4- Aperçu d'une section	20
Figure 5- expérimentation VERTical	20
Figure 6- Aperçu de plusieurs pochetons.....	21
Figure 7- Plan d'expérimentation.....	23
Figure 8- Organisation des relevés pour l'évaluation de la croissance des poivrons.....	24
Figure 9- Schématisation de l'étude des Pak Choï	26
Figure 10- Cartographie du toit et numérotation des points de mesures	27
Figure 11- Évolution des stades phénologiques des poivrons	29
Figure 12- Moyenne de la longueur des tiges des poivrons selon la variable explicative "orientation"	31
Figure 13- Comparaison des températures des membranes des poivrons	32
Figure 14- Comparaison des températures du feuillage des poivrons	33
Figure 15- Rendement des poivrons en fonction de l'orientation et du positionnement des membranes	35
Figure 16- Rendement pak choï (4 Juillet).....	37
Figure 17- Rendement pak choï (31 Juillet).....	38
Figure 18- Rendement Origan	40
Figure 19- Comparaison de rendement dans la section semis-direct (Nord-est)	42
Figure 20- Rendement betterave	43
Figure 21- Carte des projets sur le toit du Palais des congrès	44
Figure 22- Carte de chaleur (Juillet-matin).....	45
Figure 23- Carte de chaleur (Juillet/ après-midi).....	46
Figure 24- Carte de chaleur (Août- matin)	46
Figure 25- Carte de chaleur (Août/ après-midi)	47
Figure 26- Cartographie des écarts types (Juillet-midi).....	47
Figure 27- Carte de chaleur (Juillet- midi)	48
Figure 28- Cartographie des écarts types (Août- midi)	48
Figure 29- Carte de chaleur (Août- midi).....	49
Figure 30- Boîte à moustaches de la température minimale (Août).....	51
Figure 31- Diagramme de dominance de la température moyenne (Août)	51
Figure 32- Scattergrams de la température minimale (Juillet)	52
Figure 33- Réflexion/absorption.....	56
Figure 34- Température de surface de différents matériaux.....	56

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1- Différences de toits verts	8
Tableau 2- la rétention d'eau des différentes toiles	11
Tableau 3- La croissance des plantules	12
Tableau 4- Espèces testées.....	22
Tableau 5- Résultats des tests de Shapiro-Wilk	28
Tableau 6- Principaux résultats de l'ANOVA à 2 facteurs.....	30
Tableau 7- Analyse de la somme des carrés de type 3 (21 juin)	30
Tableau 8- Récapitulatif du rendement	34
Tableau 9- Informations complémentaires (récolte 4 Juillet)	37
Tableau 10- Informations complémentaires (récolte 31 Juillet)	38
Tableau 11- Informations complémentaires sur les récoltes d'origan	40
Tableau 12- Nombre théorique de betteraves dans la section semis-direct	41
Tableau 13- Résultats des tests de Student	50