

Mémoire

Présenté par

Azza Chtioui

Master Agrosiences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt

Parcours « De l'Agronomie à l'Agroécologie »

Analyse et identification des facteurs déterminants de la consommation d'eau dans des sites d'agriculture urbaine



Pour l'obtention du diplôme du

Master Agrosiences, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt

Enseignante responsable du stage : Alexandra Jullien

Maîtres de stage : Agnès Lelièvre et Baptiste Grard

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont permis de réaliser cette étude et qui ont participé au bon déroulement professionnel et personnel de ce stage.

Je tiens à remercier mes maîtres de stage Agnès Lelièvre et Baptiste Grard qui m'ont apporté conseil et soutien. Merci à vous pour le temps consacré à nos réunions hebdomadaires et pour votre bienveillance. Merci Agnès Lelièvre de t'être déplacée durant tes vacances pour m'aider dans la rédaction de mon rapport. Merci à Alexandra Jullien, ma tutrice de stage, pour ses remarques pertinentes et son encouragement.

Et je souhaite également remercier Jean François Castell qui m'a énormément aidée dans la partie de l'estimation de l'eau. Merci infiniment pour ton temps et ta générosité.

Mes remerciements s'adressent également à toute l'équipe Agricultures urbaines d'AgroParisTech et à tous les responsables des sites de France étudiés, qui ont été très accueillants et patients à chaque visite.

Je tiens également à remercier Sophie Bomel, stagiaire également. Elle m'a beaucoup aidée en m'apportant toutes les informations sur les sites nantais et énormément de soutien. Merci à Liliane, son maître de stage pour le temps consacré à nos réunions hebdomadaires.

Je remercie également mes parents, mon frère et toute ma famille ainsi que mon ami pour leur soutien, surtout pendant le confinement.

Cette mission a été financée dans le cadre des activités de la chaire partenariale Agricultures Urbaines d'AgroParisTech.

Engagement de non plagiat

❶ Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

❷ Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

❸ **Sanction** : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

❹ Engagement :

Je soussigné (e) Azza Chtioui

Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Paris 14/08/2020

Signature :

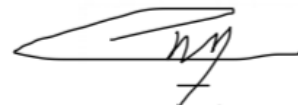


Table des matières

Introduction.....	7
A. Les agricultures urbaines	9
1. Définitions des agricultures urbaines.....	9
i. Eléments de caractérisation des micro-fermes urbaines.....	9
ii. Eléments de caractérisation des jardins familiaux (collectifs).....	10
2. Les cultures et la production alimentaire.....	10
i. Les différentes cultures de l'AU.....	10
ii. Production et rendement des différentes formes d'AU.....	10
B. Les services écosystémiques de l'AU en ville.....	11
1. La sécheresse et les îlots de chaleur.....	11
2. La réduction du ruissellement de l'eau.....	12
C. Les enjeux de la consommation d'eau en AU.....	12
D. Les sources d'eau.....	13
1. Le réseau d'eau potable.....	13
2. La récupération des eaux pluviales.....	13
3. Le raccordement au réseau d'eau brute.....	13
4. Les eaux grises.....	13
E. La consommation d'eau dans l'Agriculture Urbaine	14
1. La quantité d'eau utilisée.....	14
2. Des facteurs déterminants de la consommation en eau	14
F. Les techniques d'irrigation.....	15
1. L'irrigation localisée ou en goutte à goutte	15
2. L'irrigation par aspersion.....	15
3. L'irrigation par Wicking-Bed	15
G. La gestion de l'irrigation.....	15
1. Évapotranspiration Potentielle (ETP).....	15
2. Les besoins en eau d'une culture en fonction du Kc.....	15
3. La fréquence d'arrosage grâce à la RFU.....	15
4. Dose d'eau en fonction de la perméabilité du sol	16
5. Estimation du besoin en eau des plantes.....	16
H. Eléments de méthodologie référencés.....	17
I. Problématique du stage.....	17
J. La démarche et la stratégie.....	17
Matériels et méthodes.....	18
1. Caractérisation des sites.....	18
➤ Choix des sites utilisés dans la comparaison des 5 villes	18
➤ Choix des sites utilisés dans la comparaison des sites de France.....	19
2. Collecte des données.....	19
i. Consommation d'eau.....	19
ii. Production alimentaire.....	20
iii. Variables déterminantes dans la consommation d'eau.....	20
3. Calcul de l'estimation du besoin en eau.....	20
i. Le choix du site	21
ii. L'agencement des cultures.....	21
iii. La méthode de l'estimation du besoin en eau.....	21
➤ Coefficient cultural et dates de semis.....	21
➤ Changement dans l'humidité du sol.....	22
Résultats et discussion.....	22

A. Analyse de la consommation d'eau et identification des facteurs déterminants	22
1. Comparaison entre les villes.....	22
i. Le facteur agronomique (ou productif).....	23
ii. Le facteur climatique.....	24
2. Comparaison entre structures d'AU.....	25
i. Le facteur agronomique (ou productif).....	26
ii. Le facteur microclimatique.....	27
iii. Le facteur technique.....	27
iv. Le facteur pédologique.....	28
➤ Réserve facilement utilisable et perméabilité.....	28
➤ Matière organique.....	29
v. Le facteur réglementaire	30
vi. Les facteurs humains.....	30
➤ La sensibilité des responsables des sites à la préservation de l'eau	30
➤ Les indicateurs de l'irrigation	30
B. Les freins perçus par les responsables des sites.....	30
1. Le facteur temps.....	31
2. Le facteur économique.....	31
C. Estimation du besoin en eau.....	31
Discussion.....	33
➤ La consommation d'eau dans les villes.....	33
➤ Les facteurs techniques	33
➤ Les facteurs pédologiques.....	34
➤ Le facteur réglementaire	34
➤ Les facteurs humains.....	34
➤ Possibilités de mésestimation du besoin en eau.....	34
Conclusion.....	35
Références bibliographiques.....	36
ANNEXES.....	39
Résumé.....	43
Abstract.....	44

Table des illustrations

Figure 1 : Typologie de l'agriculture urbaine : cinq formes différentes, des fonctions communes (Aubry <i>et al.</i> , juin 2018).....	9
Figure 2 : Importance relative de l'infiltration, du ruissellement et de l'évapotranspiration selon l'occupation des sols : exemple schématique pour différents taux de perméabilisation (Barraud S. et al. 2009).....	12
Figure 3 : Comparaison des prix des services d'eau et d'assainissement constatés dans les 5 plus grandes villes européennes (NUS Consulting, 2017).....	13
Figure 4 : Le volume d'eau consommée par m ² , durant le mois d'août 2019, dans les sites d'AU situés dans les villes de Londres (Angleterre), Nantes (France), Bochum (Allemagne), Gorzow (Pologne) et New York (USA).....	23
Figure 5 : Moyenne de la production alimentaire des sites d'AU par villes.....	23
Figure 6 : Volume d'eau utilisé par kilogramme de production alimentaire.....	24
Figure 7 : Moyenne des volumes d'eau utilisés m ² (bleu) et par Kg (rose) dans chaque ville	24
Figure 8 : Le rapport ensoleillement sur pluviométrie cumulée pour chaque ville.....	25
Figure 9 : Les volumes d'eau utilisés par m ² (bleu) et par Kg (rose) dans les sites de France.....	26
Figure 10 : Les volumes d'eau utilisés par m ² (bleu) et par Kg (rose) pour chaque site en France et par système d'irrigation.....	27
Figure 11 : Les volumes d'eau utilisés par Kg produit en fonction de la structure du sol des sites de France.....	28
Figure 12 : Quantité de Matière Organique en fonction du volume d'eau utilisé par Kg produit sur les sites de France.....	29
Figure 13 : Estimation de la consommation d'eau (rose) et volume d'eau réel consommé (bleu) par mois.....	32
Tableau 1 : Productivité des jardins associatifs d'après (Pourias, 2014)	11
Tableau 2 : Consommation d'eau en agriculture urbaine.....	14
Tableau 3 : Description des sites d'AU impliqués dans le projet FEW-METER en France.....	19
Tableau 4 : Résumé des données collectées concernant les sites en France.....	25

Tables des Annexes

Annexe A : Exemple de deux pages du carnet de récolte à destination des jardiniers.....	40
Annexe B : Questionnaire pour les jardiniers et les responsables de projets.....	41
Annexe C : L'équation de Penman-Monteith	42

Introduction

L'agriculture urbaine (AU) rend plusieurs services écosystémiques aux villes et à leurs habitants. En effet, elle a de multiples fonctions, notamment alimentaire, paysagère, environnementale, économique et sociale, qui font d'elle un outil déterminant pour les villes durables (Mayol et Gangneron, 2019). Toutefois, cette forme d'agriculture peut aussi engendrer des effets non-désirables pour la ville, ou des "disservices" tels que la consommation d'énergie et d'eau (Pourias, 2014).

Par conséquent et afin de bénéficier de la multifonctionnalité des sites d'agriculture urbaine, il est essentiel d'étudier l'optimisation des flux d'énergie et des ressources dépensées dans cette forme d'agriculture.

Le projet FEW-METER se propose de soulever cette question en mettant en place un dispositif de recherche participative dans plusieurs villes européennes (Paris, Nantes, Londres, Gorzow, Bochum) et une américaine (New York).

L'objectif de ce projet est essentiellement de comprendre la contribution des formes d'agriculture urbaine existantes au développement urbain durable et de mesurer l'efficacité de la production alimentaire vis-à-vis des consommations d'énergie et d'eau qui lui sont associées, pour ensuite identifier les freins et les leviers à l'amélioration de l'impact des structures étudiées sur le métabolisme urbain.

Le travail que nous présentons dans ce rapport s'insère dans ce projet et portera particulièrement sur l'analyse de la gestion de l'eau.

Dans un contexte de dérèglement climatique, la gestion de l'eau se révèle être une source de défis accrus : on voit de plus en plus d'inondations en hiver et de sécheresses en été.

L'agriculture urbaine pourrait être une des réponses à cet enjeu dans les villes (Losken, 2018) car les potagers et les jardins urbains peuvent être employés dans la gestion intégrée des eaux pluviales en retardant l'arrivée des eaux dans les drains, mais ils contribuent également à la diminution des îlots de chaleur (Uri, 2015).

Cependant, l'agriculture urbaine consomme beaucoup d'eau potable, ce qui pourrait présenter un frein à la rétention des eaux de pluies. De plus, l'eau potable a un coût assez élevé pour la ville et dans certains cas pour le porteur de projet (Sanyé-Mengual *et al.*, 2018) et son utilisation est en compétition avec l'industrie et l'emploi domestique (Buechler, Merkala et Keraita, 2006).

Par conséquent et afin de bénéficier des services de l'agriculture urbaine dans la problématique de l'eau dans les villes, il est essentiel de mettre en place une gestion optimale de cette ressource, qui permettrait aux plantes de se développer sans stress hydrique afin de favoriser un rendement agricole de qualité (Ricard et Lecompte, 2015) tout en permettant une meilleure rétention des eaux des pluies et en minimisant l'emploi de l'eau potable.

De plus, les recherches portant sur la gestion de l'eau dans l'agriculture urbaine ne sont pas nombreuses et dans les rares études, que nous avons trouvées, les données de consommation d'eau sont dispersées et celles de l'efficacité sont très variables.

Devant le manque d'étude sur ce sujet, nous nous sommes proposés d'étudier la problématique en nous posant les questions suivantes:

- Comment l'eau est-elle employée dans les structures d'AUs sélectionnées et quels sont les déterminants de sa consommation ?
- Dans quelle mesure est-il possible d'estimer théoriquement le besoin en eau d'une structure d'AU et de souligner les points d'amélioration possibles à partir des déterminants identifiés ?
- Quels sont les freins et les leviers à une gestion optimale, durable et résiliente de l'eau dans les AUs ?

L'objet de mon travail sera donc d'étudier la gestion de cette ressource dans les sites d'AU sélectionnés en trois étapes : (1) analyser la consommation réelle, (2) identifier les facteurs déterminants du volume consommé et enfin (3) établir une estimation théorique de la consommation d'eau, la comparer à la consommation réelle et identifier les freins et les leviers à son optimisation.

A. Les agricultures urbaines

1. Définitions des agricultures urbaines

L'agriculture urbaine est définie de plusieurs manières (Aubry, 2012 ; Daniel 2017). D'après Aubry (2012), la définition de l'agriculture urbaine change suivant la personne qui la pratique. Il est néanmoins possible de trouver des points communs aux projets existants, comme le présente Mougeot (2000) dans sa définition :

« Une production située dans (intra-urbaine) ou à la frange (péri-urbaine) d'une ville, cité ou métropole qui produit, élève, transforme et distribue une diversité de produits alimentaires ou non, (ré)utilisant largement les ressources humaines et matérielles, produits et services trouvés dans et autour de la zone urbaine et fournissant des ressources humaines et matérielles, produits et services majoritairement à cette zone urbaine.»

Ici, Mougeot (2000) met en évidence que la localisation, la diversité des services et des produits et les ressources utilisées dans cette forme d'agriculture sont essentiellement situés en zones urbaines ou périurbaines.

Sachant que tous les jours, dans le monde, de nouvelles formes d'AU naissent, les classifications divergent et évoluent (Daniel, 2017 et Aubry *et al.*, 2018). Nous avons choisi la classification de Aubry *et al.* (2018) qui présente une typologie comptant 5 types distingués selon leurs modes de production et de fonctionnement, ainsi que leurs liens avec la ville (figure 1):

- Agriculture périurbaine classique
- Agriculture collective
- Agriculture urbaine sociale et solidaire
- Agriculture urbaine high et low-tech
- Agriculture urbaine individuelle

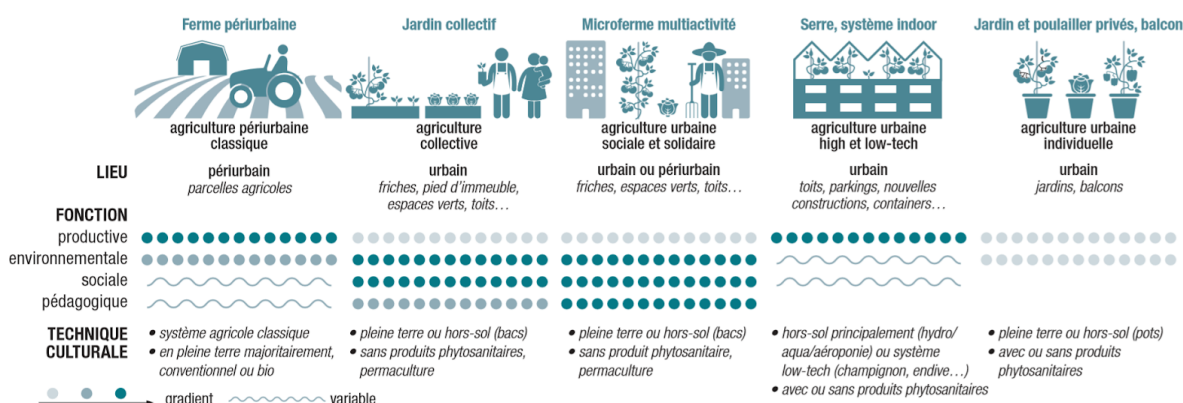


Figure 1 : Typologie de l'agriculture urbaine : cinq formes différentes, des fonctions communes (Aubry *et al.*, 2018).

Dans ce rapport nous nous intéresserons essentiellement aux micro-fermes en milieu urbain et aux jardins collectifs car les sites que nous allons étudier font partie de ces catégories.

i. Éléments de caractérisation des micro-fermes urbaines

De plus en plus de micro-fermes urbaines émergent sur plusieurs continents, notamment en Europe, en Asie et en Amérique du Nord sur des espaces urbains relativement

petits (<1 ha) et délaissés. Jusqu'à aujourd'hui, les travaux de recherches et les données existants sur les micro-fermes et leurs potentiels alimentaires restent relativement limités (Chang et Morel, 2018).

D'après Daniel (2017), elles contribuent à la production alimentaire des villes, cependant ce n'est pas forcément leur objectif principal. Elles ont également pour but la sensibilisation à l'environnement et l'organisation d'événements sociaux et d'activités participatives, impliquant beaucoup de volontaires et de bénévoles, pour la réinsertion d'urbains dans le milieu agricole et la promotion d'une philosophie écologique (Daniel, 2017).

La production des micro-fermes est majoritairement destinée à la vente au détail sur le site même ou à des magasins de producteurs, des marchés de plein vent ou des restaurants (Morel, 2018).

ii. Eléments de caractérisation des jardins familiaux ou collectifs

Les jardins collectifs sont constitués de plusieurs parcelles rassemblées en un même site d'agriculture urbaine et gérés par les collectivités territoriales ou par des associations à but non lucratif.

Les parcelles sont entretenues par des particuliers qui y produisent pour leur propre consommation ou celle de leurs familles, seuls ou en commun. En plus de la production de denrées alimentaires, la fonction de ces jardins a évolué au cours du temps pour répondre aux besoins des citoyens d'aujourd'hui, notamment des besoins pédagogiques, écologiques et sociaux (Pourias, 2014).

En ce qui concerne la récolte des jardiniers, elle est majoritairement donnée aux jardiniers et leurs proches ou à des organismes caritatifs (Draper et Freedman, 2010).

2. Les cultures et la production alimentaire

i. Les différentes cultures de l'agriculture urbaine

Les micro-fermes produisent des denrées alimentaires très variées allant de 35 à 70 espèces de légumes cultivés sur un espace d'une superficie inférieure à 1,5 ha (Morel, 2017). En moyenne, une dizaine de légumes y sont cultivés, répondant aux préférences de leurs clients et nécessaires à leurs objectifs et activités sociales, éducatives ou écologiques (Marchand, 2014 et Morel, 2017).

Alors que dans les jardins collectifs, la diversité et le nombre de cultures produites varient énormément en fonction de la superficie de l'espace cultivé et sont aussi influencés par la multiculturalité des jardiniers.

Le nombre de cultures varie de 6 à 36 espèces cultivées sur des superficies allant de 4m² à 137m². Les cultures principales sont les tomates, les haricots, les salades, les choux et la pomme de terre (Pourias, 2014).

ii. Production et rendement des différentes formes d'AU

Dans une étude de la FAO (2010), les productions agricoles urbaines ont été quantifiées dans des micro-fermes et les résultats de cette recherche ont montré que, sur une superficie de 1m², il est possible de cultiver : 30 kg de tomates par an, 36 laitues en 2 mois, 10 choux en 3 mois ou 100 oignons en 4 mois, le tout à raison de moins de trois litres d'eau par jour (FAO, 2010).

La quantification de la production alimentaire des fermes urbaines se fait souvent par des méthodes de sciences participatives. Le tableau 1 recense des résultats obtenus dans d'autres études.

Source	Ville et date	Nombre de jardins	Superficie (m ²)	Récolte (kg)	Rendement moyen (kg/m ²)
Gittleman <i>et al.</i> , 2012	New-York (2010)	67	6 880	39 800	5,8
Gittleman <i>et al.</i> , 2012	New-York (2011)	35	3 800	5 900	1,5
Vitiello et Nairn, 2008	Philadelphie (2008)	226	153 800	924 032	6
Algert <i>et al.</i> , 2014	San José (2012)	10	384	1 325,3	3,4
Smith et Harrington, 2014	Madison (2010)	14			2,06

Tableau 1 : Productivité des jardins associatifs d'après (Pourias, 2014).

Des travaux de recherche, effectués à Bordeaux sur trois jardins gérés par des familles, ont démontré que le rendement moyen des 15 jardiniers varie de 0,8 kg/m² à 1,4 kg/m². Ces résultats sont obtenus auprès des jardiniers qui ne pèsent pas toujours leurs récoltes et qui ne prennent pas en compte les salades et les cucurbitacées qui sont comptées à l'unité et non en kg (Saint-Ges, 2018).

Une autre étude de Pourias (2014), effectuée dans des jardins familiaux à Paris, présente un rendement moyen estimé à 1,2 kg/m². Par ailleurs, une autre étude a été initiée par Chang et Morel (2018) en employant un modèle de prédiction mis en place suite à des entretiens semi-directifs auprès de jardiniers gérants des micro-fermes maraîchères. Les résultats des rendements ont été obtenus par variété : le rendement des courgettes varie de 0,8 à 5,2 kg/m², celui des tomates de 0,4 à 2,7 kg/m², pour les concombres de 7 à 1,1 kg/m², etc.

En outre, dans le maraîchage professionnel, le rendement des tomates est estimé à 3,3 kg/m² et celui des laitues est compris entre 2,7 et 3,5 kg/m² (Maynard et Hochmuth, 1997).

B. Les services écosystémiques de l'AU en ville

Une mauvaise gestion de l'eau couplée à des phénomènes de sécheresse récurrents en été et des inondations en hiver engendrent des défis auxquels font face les villes du monde d'aujourd'hui.

L'agriculture urbaine peut contribuer à la résolution de cette question. En effet, la réduction du ruissellement des pluies et la diminution des îlots de chaleurs sont deux services écosystémiques que peut apporter l'agriculture urbaine aux villes.

1. La sécheresse et les îlots de chaleur

Le dérèglement climatique engendre l'effet d'îlot de chaleur urbain qui est accentué par la réflexion de la chaleur par les bâtiments et la chaussée. L'agriculture urbaine est utilisée comme un moyen de réduction de ces îlots de chaleur dans les stratégies de conception de nouvelles villes adaptées au contexte climatique d'aujourd'hui (Dubbeling, 2019).

2. La réduction du ruissellement de l'eau

Bien que la rétention d'eau soit un service écosystémique non négligeable que présente l'agriculture urbaine, celui-ci reste très peu quantifié. Cependant, certaines villes, comme New York, financent la mise en place de jardins sur les toits pour leur capacité de rétention (Aubry, 2014).

Dans une des études sur la réduction du ruissellement des eaux de pluies par les toits verts, une expérience a été menée sur plusieurs années dans des régions ayant différentes pluviométries annuelles et les résultats ont montré que les toits verts peuvent retenir de 40% jusqu'à plus de 90 % des eaux pluviales, selon l'intensité de la couverture verte et l'épaisseur de la structure du toit (Losken, 2018).

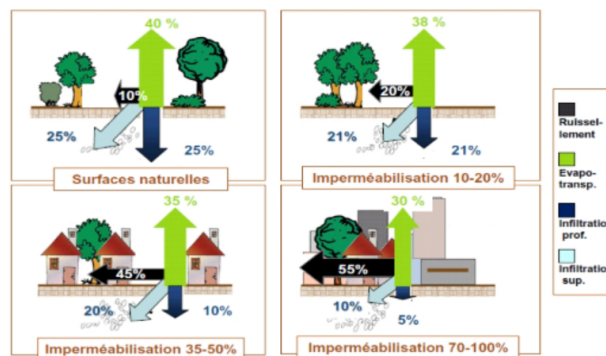


Figure 2 : Importance relative de l'infiltration, du ruissellement et de l'évapotranspiration selon l'occupation des sols : exemple schématique pour différents taux de perméabilisation (Barraud et al., 2009).

C. Les enjeux de la consommation d'eau en AU

Bien que l'agriculture urbaine apporte des services écosystémiques à la ville, elle peut aussi engendrer des disservices tels que le gaspillage de l'eau, qui est déjà un objet de compétition entre l'industrie et l'emploi domestique (Buechler, Merkala et Keraita, 2006) et qui, en plus, coûte cher à la ville ou aux porteurs de projets.

En effet, le prix de l'eau n'est pas toujours pris en considération dans la recherche en Agriculture Urbaine bien que ce soit un facteur important. Quand la facture d'eau est à la charge du porteur du projet, le coût de celle-ci peut aller de 25 % à 30 % du coût total (Sanyé-Mengual et al., 2018).

Dans une étude menée sur l'évaluation du cycle de vie d'aliments produits dans les ménages, à Padua en Italie, il a été démontré que le coût de l'eau est de 1,39 euros/m³, ce qui représente 90 euros par an (en considérant les périodes d'utilisation d'eau chaude et froide) pour un jardin de 30,6 m² (Sanyé-Mengual et al., 2018).

En France, le coût d'un m³ est estimé à 3,5 euros (Figure 3). Ce coût englobe l'assainissement et l'acheminement de cette ressource aux robinets (FP2E, 2015).

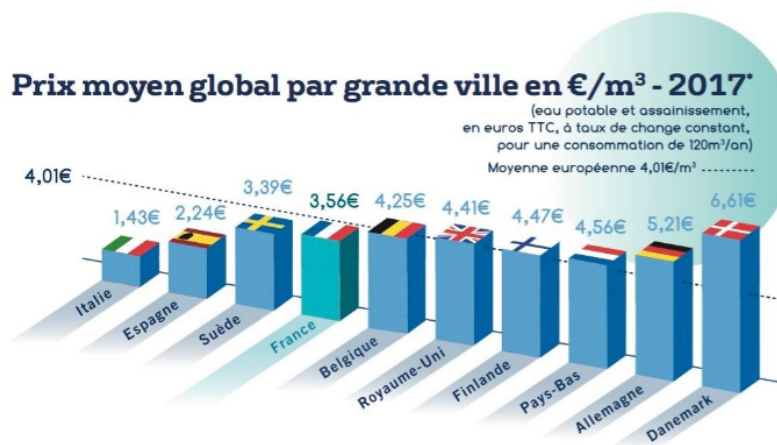


Figure 3 : Comparaison des prix des services d'eau et d'assainissement constatés dans les 5 plus grandes villes européennes (NUS Consulting ANNEE)

D. Les sources d'eau

L'eau d'irrigation en agriculture urbaine peut provenir de plusieurs sources :

- 1. Le réseau d'eau potable** : L'utilisation de l'eau potable est la solution la plus courante chez les jardiniers des villes, car elle est facilement accessible (Zalay, 2013).
- 2. La récupération des eaux pluviales** : La récupération des eaux pluviales est une solution à préconiser car cela diminue l'utilisation de l'eau du robinet mais il n'est possible d'en bénéficier que lorsque l'espace cultivé est équipé d'un système de stockage. Seulement, ce système n'est pas toujours adapté à la structure agricole, comme par exemple les jardins sur les toits qui ne peuvent supporter une grande charge (Uri, 2015).
De plus, les eaux de pluies récupérées peuvent être chargées de métaux lourds tel que le zinc (Mottier, 1994), qui est un constituant de beaucoup de toitures, sur lesquelles l'eau ruisselle (Zalay, 2013). Et enfin, le stockage des eaux pluviales nécessite un entretien régulier (nettoyage des filtres, vidange et désinfection de la cuve, vérification des vannes...) suivi et réglementé par la Mairie (service-public.fr, 2020).
- 3. Le raccordement au réseau d'eau brute** : L'eau brute est une eau industrielle, qui peut être utilisée en cas de présence de deux réseaux (un réseau industriel parallèle à celui de l'eau potable, utilisé dans certaines villes pour l'entretien des espaces verts par exemple). Le problème de cette source est qu'elle est non potable, qu'elle peut être contaminée, ce qui présente un risque pour les personnes non informées qui viendraient à être en contact avec celle-ci. C'est pourquoi son utilisation est limitée aux professionnels (Zalay, 2013).
- 4. Les eaux grises** : Les eaux grises sont les eaux usées, généralement par les emplois domestiques comme la douche, le lavabo, la machine à laver, le bain ou le lavage de vêtements. Elles sont moins contaminées que les eaux noires. Quand les eaux grises sont utilisées sur place ou à proximité, elles peuvent réduire la demande de nouveaux approvisionnements en eau. Le système d'eau grise peut être utilisé pour l'irrigation grâce à des ajustements relativement simples dans la plomberie de base. Il est par exemple possible d'y ajouter un bio-filtre pour assainir cette eau avant sa réutilisation dans l'irrigation (Nolasco, 2020).

E. La consommation d'eau dans l'Agriculture Urbaine

1. La quantité d'eau utilisée

La FAO estime que 3 L d'eau / jour est la quantité nécessaire pour produire 30 kg de tomates/an, ou 10 choux/90 jours, 36 laitues/60 jours et 100 oignons tous les 120 jours. (FAO, 2010)

Dans une étude menée à Rome, des chercheurs ont fait une estimation de la quantité d'eau nécessaire à l'agriculture urbaine existante dans la ville, durant la période comprise entre Avril et Septembre 2017. Les résultats montrent que le besoin en eau, en production horticole, est de 573 L/m² en irrigation très efficace (goutte à goutte) et de 1147 L/m² en irrigation moins efficace (par aspersion) (Pulighe *et al.*, 2017).

Dans le but de déterminer la quantité d'eau réellement employée dans l'agriculture urbaine, en Californie, une expérience a été mise en place dans des jardins communautaires durant la période connue pour ses températures élevées, du 1er Août au 15 septembre.

A l'aide d'un dispositif participatif, les chercheurs ont pu rassembler des données auprès des jardiniers et ont comparé les résultats de 5 jardins communautaires. Les résultats montrent que la quantité d'eau utilisée par jour variait en fonction du participant, allant de moins de 1,3 L/m² à 104 L/m², avec une moyenne de 31,4 L/m² (Egerer *et al.*, 2018).

Une autre étude a été menée au Burkina Faso. En différenciant les cultures, les chercheurs montrent qu'ils ont eu besoin en moyenne et par jour de 320 L/m² pour 5,8 à 7,1 kg de tomates/m²; 406 L/m² pour 5 à 5,5 kg de carottes et 306 L/m² pour 3,5 à 4,4 kg de laitues (Sangare *et al.*, 2012).

Notons qu'en culture maraîchère professionnelle en pleine terre, les maraîchers utilisent en moyenne 350 L/m² par an en France (GABB 32, 2009). Le tableau 2 résume ces données.

Source	Ville	Période	Quantité d'eau (L/m ²)	Type de culture	Rendement moyen (kg/m ²)
FAO, 2010		1 an	3/jour	Tomate	30
FAO, 2010		60 jours	3/jour	Laitue	36 pièces
Egerer <i>et al.</i> , 2018	Californie	Août- Septembre	31,4		
Sangare <i>et al.</i> , 2012	Burkina Faso	Décembre-Janvier	406	Carotte	5 - 5,5
Sangare <i>et al.</i> , 2013	Burkina Faso	Février-Avril	306	Laitue	3,5 - 4,4
Sangare <i>et al.</i> , 2014	Burkina Faso	Mai-Août	320	Tomate	5,8 - 7,1
Pulighe <i>et al.</i> , 2017	Rome	Avril-Septembre	573 (Goutte à goutte)	Horticulture	
Pulighe <i>et al.</i> , 2017	Rome	Avril-Septembre	1147 (Aspersion)	Horticulture	

Tableau 2 : Consommation d'eau en agriculture urbaine.

2. Les facteurs déterminants de la consommation en eau

La consommation en eau dans l'agriculture urbaine varie en fonction de plusieurs variables, en effet, celle-ci peut varier en fonction des conditions climatiques, des comportements humains, notamment de l'implication du responsable de la structure et de sa sensibilité aux questions de

l'environnement, des pratiques culturales telles que le paillage et l'intensité de la couverture végétale (Egerer *et al.*, 2018) ainsi que du système d'irrigation employé (Niranjani, 2016).

F. Les techniques d'irrigation

Afin d'apporter aux plantes la quantité d'eau suffisante, il est essentiel de mettre en place un système d'irrigation bien pensé. Dans la partie qui suit, nous présentons des systèmes d'irrigation utilisés spécifiquement en maraîchage :

1. **L'irrigation localisée ou en goutte à goutte** est économe en eau et évite d'humidifier le feuillage car elle fournit l'eau directement au pied des plantes. Ce système est le plus préconisé lorsque les plantes cultivées sont particulièrement sensibles aux maladies cryptogamiques (Mailhol *et al.*, 2009).
2. **L'irrigation par aspersion** est la technique la plus employée dans les structures agricoles de pleine terre, car l'asperseur est facilement déplaçable, cependant elle n'est préconisée que dans le cas de cultures peu sensibles aux maladies cryptogamiques telles que la betterave, la carotte, la mâche et les légumes semés. (Sud et Bio, 2016).
3. **L'irrigation par Wicking-Bed (WB)** est un système d'irrigation par capillarité. Une étude australienne a comparé sa performance aux meilleures techniques d'irrigation de précision et il s'est avéré que les WBs sont aussi performants en termes d'efficacité de l'utilisation de l'eau, du rendement des fruits et de leur qualité que celles-ci. Les résultats montrent aussi que l'emploi de cette technique diminue le besoin en main d'œuvre car la fréquence d'irrigation est inférieure pour la même efficacité d'utilisation de l'eau (Niranjani, 2016).

En plus du choix d'un système d'irrigation adéquat, il est essentiel de penser à d'autres outils décisionnels pour la gestion de l'irrigation.

G. La gestion de l'irrigation

La quantité d'eau nécessaire à une culture peut être évaluée de différentes manières. Elle peut, par exemple, être basée sur la technique du toucher du sol, de l'aspect des cultures, des prévisions météorologiques, des mesures de précipitations, etc.

Il est également possible d'affiner la quantification du besoin en eau sur les sites agricoles en utilisant certains outils tels que la tarière et le tensiomètre et en établissant un bilan hydrique. Pour ce faire, certains éléments importants sont à prendre en considération :

1. **Évapotranspiration Potentielle (ETP)** : Les besoins en eau des plantes varient en fonction du climat (température, ensoleillement, vent...) et sont donnés par la mesure de l'ETP. L'ETP est définie comme étant la quantité d'eau susceptible d'être évaporée dans un couvert végétal. (FAO, 1990).
2. **Les besoins en eau d'une culture en fonction du Kc** : Le coefficient Kc est une valeur qui caractérise le besoin en eau d'une culture, en fonction de son stade de développement. N'étant lié qu'à la physiologie de la plante, cette valeur ne varie pas en fonction du climat et elle est utilisable sur tout un territoire (FAO, 1990).
3. **La fréquence d'arrosage grâce à la RFU** : La RFU est la Réserve en eau Facilement Utilisable par les plantes. Cette réserve est celle disponible à la plante. La RFU détermine

la taille du réservoir en eau présent dans le sol en fonction de sa texture et doit être régulièrement vérifiée avec un tensiomètre ou une tarière. Un sol argileux, par exemple, est connu pour avoir une capacité de rétention en eau relativement grande, donc sa RFU va être élevée (Sapir et Sné, 2002).

4. **Dose d'eau en fonction de la perméabilité du sol** : La quantité d'eau à apporter à une culture dépend aussi de la perméabilité du sol ou de sa capacité à retenir l'eau. Par exemple, l'apport en eau en sol argilo-limoneux est supérieur à un sol à dominante sableuse (Sud et Bio, 2016).
5. **Estimation du besoin en eau des plantes** : Le besoin en eau des plantes varie en fonction de plusieurs variables, notamment des conditions climatiques, des cultures et des types de sol. Le bilan hydrique est calculé de la manière suivante (AQUASTAT, FAO) :

$$ICU = ETc - P - \Delta S$$

avec:

ICU = consommation d'eau pour l'irrigation nécessaire pour satisfaire la demande des cultures (mm)

P = pluie efficace (mm)

ΔS = changement dans l'humidité du sol (mm)

ETc = évapotranspiration potentielle de la culture (mm)

$$ETc(t) = IA \times \sum c(CIc \times Kc \times ETo(t))$$

avec:

t = période de temps (en jours)

ETc(t) = évapotranspiration d'une cellule irriguée pendant la période t (en mm)

IA = superficie réellement irriguée en pourcentage de la superficie de la cellule de grille pour la cellule donnée (en ha)

c = culture irriguée

$\sum c$ = somme pour les différentes cultures irriguées

CIc = intensité de la culture c

Kc = coefficient cultural de la culture c, variant en fonction de la culture et du stade de croissance

ETo = évapotranspiration de référence (mm)

Une autre manière de calculer le besoin en eau d'une culture a été utilisée dans une étude à Rome (Pulighe *et al.*, 2017):

Le besoin en eau des plantes est calculé sur une période donnée par la formule suivante :

$$\sum IWR = (Kc \cdot ETo(i)) - Peff(i)$$

avec :

(i): le mois

Peff: pluie efficace

$$Peff = 0,8P - 25, \text{ si } P > 75\text{mm}$$

$$Peff = 0,6P - 10 \text{ si } P < 75\text{mm}$$

avec: P: Précipitation en mm

ETo = évapotranspiration de référence (en mm)

Kc = coefficient cultural moyen pour la culture horticole

H. Eléments de méthodologie référencés

Le carnet de récolte est l'outil le plus utilisé dans les études de recherches participatives effectuées dans les micro-fermes. Ces carnets permettent aux jardiniers d'y recenser volontairement les quantités produites dans leurs jardins (Pourias, 2014 ; Saint-Ges, 2018 ; Schwartz *et al.*, 2016).

Cette méthode a été employée dans le projet JASSUR1 et a permis d'évaluer les récoltes et de déterminer la place et l'importance de la production alimentaire dans les fermes urbaines étudiées (Pourias, 2014).

I. Problématique du stage

Dans un contexte de réchauffement climatique, la gestion de l'eau est particulièrement pertinente : en excès, l'eau de pluie peut être la cause d'inondations. Au contraire, en cas de déficience, elle est cause de sécheresses. Une des stratégies à développer pour agir sur cette question dans la ville est l'agriculture urbaine. En effet, cette dernière offre plusieurs services écosystémiques à la ville, dont la rétention de l'eau et la diminution des îlots de chaleurs.

Afin de bénéficier de ces services écosystémiques, il est important de raisonner la gestion de l'eau car l'arrosage non raisonné peut induire des disservices tels qu'une diminution de la capacité de rétention des espaces végétalisés, un impact sur la croissance et le rendement des plantes, un coût élevé pour la ville et le porteur de projet et une augmentation de la compétition pour l'eau potable en ville.

Par ailleurs, ce sujet présente un manque de données scientifiques sur la consommation d'eau et la gestion de l'irrigation dans l'agriculture urbaine.

Ayant pris connaissance de l'enjeu que représente la gestion de l'eau dans l'AU et le manque de données sur ce sujet, nous nous sommes proposés d'étudier la problématique avec 3 questions principales, divisées en sous-questions :

- i. Comment l'eau est-elle employée dans les structures d'AUs sélectionnées?
 - Quelle est la quantité d'eau employée dans les sites ?
 - Quel est le rapport entre la consommation d'eau et le rendement alimentaire ?
 - Comment identifier les variables humaines, techniques, culturelles, pédologiques et climatiques déterminantes dans la consommation d'eau des sites sélectionnés ?
 - Quels sont les freins perçus par les responsables de projets et les jardiniers à l'emploi de l'eau ?
- ii. Dans quelle mesure est-il possible d'estimer le besoin en eau d'une structure d'AU et d'identifier les points d'amélioration à partir des déterminants précédemment identifiés ?
- iii. Quels sont les freins et les leviers à une gestion optimale, durable et résiliente de l'eau dans les AUs ?

J. La démarche et la stratégie

L'objectif principal de mon stage est d'analyser la consommation en eau des sites d'AUs sélectionnés dans toutes les villes et ensuite dans les villes de France, afin d'identifier les freins et les leviers à une gestion durable et résiliente de cette ressource. Nous avons divisé cet objectif principal en 3 sous-objectifs :

- i. Le premier objectif est d'étudier la consommation en eau réelle dans les sites sélectionnés et d'analyser les déterminants possibles de cette consommation. Ce sous-objectif se divise en deux parties :
 - a. La première partie portera sur une comparaison de la consommation d'eau entre les sites d'AUs des villes, leurs productions et l'effet du climat sur cette consommation. Pour ce faire, nous avons utilisé les données du projet FEW METER (2018-2021) collectées l'année dernière (en 2019).
 - b. La deuxième partie portera sur une comparaison des consommations d'eau et des productions entre les sites de France, ainsi que les effets des différentes structures de sols, des systèmes d'irrigation, des sources d'eau et des facteurs humains. Pour cela, nous avons utilisé les données collectées l'année dernière (2019) dans le cadre du projet FEW METER et pour mieux comprendre le facteur humain, nous avons mis en place un questionnaire dédié aux jardiniers et aux responsables des sites.
- ii. Le deuxième objectif est d'identifier les freins perçus par les jardiniers et les responsables des sites à une gestion optimale de l'eau. Pour ce faire, nous avons mis en place un questionnaire dédié aux participants.
- iii. Le troisième objectif est de calculer le besoin en eau pour une micro-ferme afin de mesurer la différence entre la consommation réelle et le besoin estimé et d'identifier les points d'amélioration possibles. Pour ce faire, nous allons établir un bilan hydrique basé sur le climat, le type du sol et les besoins des cultures d'un assolement type d'un des sites sélectionnés.

Matériels et méthodes

1. Caractérisation des sites

Ce mémoire s'appuie sur 12 sites situés dans 5 pays : 5 sites en France (3 à Nantes et 2 à Paris), 2 en Pologne (Gorzow), 2 en Angleterre (Londres), 2 en Allemagne (Bochum) et 1 aux Etats Unis (New York). Toutes ces structures sont inscrites dans le projet FEW METER, ce qui nous a permis d'avoir accès à plusieurs types de données nécessaires à notre analyse, notamment la consommation d'eau et la production des sites des 6 villes, mais également les systèmes d'irrigation, les sources d'eau, les types de sols et les pratiques culturelles liées à l'eau des sites de France.

➤ Choix des sites utilisés dans la comparaison de 5 villes

Dans cette partie, nous avons utilisé tous les sites sauf ceux de Paris car seules ces deux structures sont situées sur le toit et ceci afin d'éviter la différence de l'effet du rayonnement solaire ou du vent.

A partir de la base de données de FEW METER, nous avons pu récupérer les relevés des compteurs d'eau ainsi que les quantités de production alimentaire de ces sites afin d'établir une comparaison de la consommation d'eau entre les différentes villes et le rapport avec leur production agricole. Par ailleurs, la différence de conditions climatiques entre les villes a permis d'étudier un éventuel effet du climat sur la consommation d'eau.

➤ **Choix des sites utilisés dans la comparaison de France**

Dans cette partie nous avons choisi de baser notre réflexion, uniquement, sur les sites d'AU situés en France car nous avons souhaité éliminer un éventuel impact climatique sur le volume d'eau consommé.

De plus, ce sont des sites avec lesquels l'équipe Agricultures Urbaines d'AgroParisTech a déjà tissé des relations dans le cadre du projet SEMOIRS (2018-2020), ce qui a facilité nos entretiens avec les responsables des sites, mais qui nous a également permis d'avoir des données de l'année précédente, notamment les relevés des compteurs d'eau, les productions agricoles, les systèmes d'irrigation, les sources d'eau et les analyses des sols. Ensuite, ces sites présentent différentes formes d'AU avec des objectifs variés, des moyens d'irrigation diversifiés et différentes manières de gérer l'utilisation de l'eau ce qui nous donne la possibilité d'étudier le sujet sous plusieurs angles.

Le Tableau 3 décrit plus précisément les 5 sites français étudiés.

	S1	S2	S3	S4	S5
Villes	Paris		Nantes		
Type d'AU	Micro-ferme urbaine	Micro-ferme urbaine	Jardin familial	Micro-ferme Périurbaine	Micro-ferme urbaine
Localisation	Sur le toit	Sur le toit	Au niveau du sol	Au niveau du sol	Au niveau du sol
Substrat	Pleine terre	Hors sol (en bac)	Pleine terre	Pleine terre	Hors sol (en bac)
Objectif principal	Intégration Professionnelle	Education	Loisirs et production alimentaire	Production alimentaire	Production alimentaire
Objectifs secondaires	Production alimentaire et éducation	Production alimentaire et sensibilisation à l'environnement	Espace convivial, bien-être, diversité sociale	Expérimentation	Pédagogique, environnemental et sensibilisation.
Surface totale (m²)	700	2 234	22 820	2500 (sous serres) – 500 (plein champs)	960

Tableau 3 : Description des sites d'AU impliqués dans le projet FEW-meter en France (Nantes et Paris).

2. Collecte des données

Afin de collecter les données de production, une démarche semi-participative a été mise en place, avec les responsables des sites ou les porteurs de projets qui se sont portés volontaires pour participer au projet FEW METER. Cette méthode a permis de collecter des informations qui n'auraient pas été mesurables ou visibles par un suivi de terrain extérieur. Nous avons mis en place une collecte de données cette année, mais vu les circonstances spécifiques à la crise du COVID 19, certains jardiniers n'ont pas pu accéder à leurs sites. Nous avons donc décidé d'utiliser les données de l'année dernière qui ont été collectées de la même manière que cette année dans le cadre du projet FEW METER.

i. Consommation d'eau

Pour mesurer leur consommation d'eau, des compteurs d'eau facilement raccordables aux robinets ont été installés par les chercheurs l'année dernière. Ces mêmes chercheurs se sont

régulièrement déplacés sur les sites pour relever les compteurs d'eau installés sur les différentes parcelles des sites d'AU. L'emploi des compteurs a été possible sur tous les sites, sauf sur S3 car ils n'utilisent que l'eau de pluie récupérée dans des cuves. L'association responsable de S3 a favorisé l'utilisation de l'eau de pluie, et l'eau du robinet n'est employée que lorsque les cuves se vident. Dans ce cas, les jardiniers sont autorisés à remplir les cuves avec le tuyau et à arroser leurs parcelles à l'aide d'arroseurs (en aucun cas, ils n'étaient autorisés à arroser directement avec le tuyau). Les chercheurs leur ont donc demandé de noter la contenance et le nombre d'arroseurs utilisés.

ii. Production alimentaire

Afin de mesurer la production alimentaire, des carnets de récoltes ont été mis à disposition des volontaires. Ils y inscrivent la date de récolte et la quantité récoltée pour chaque produit alimentaire (ANNEXE A).

iii. Variables déterminantes dans la consommation d'eau

Afin d'étudier les variables déterminantes de la consommation d'eau nous avons établi des comparaisons entre les consommations d'eau entre les sites en nous basant sur les relevés des compteurs d'eau et de productions collectés l'année dernière dans le cadre du projet FEW METER.

Pour étudier la variable climatique, nous avons utilisé le site INFOCLIMAT, dans lequel nous avons trouvé les données météorologiques (température, pluviométrie, ensoleillement et vitesse du vent) des villes étudiées.

Ensuite, pour analyser les autres variables, notamment microclimatiques, techniques (système d'irrigation et paillage), pédologiques (type du sol) et la source d'eau, nous avons utilisé les données auxquels nous avons accès grâce au projet.

Enfin, pour déterminer les facteurs humains et les freins à la gestion de l'eau perçus par les jardiniers et les responsables des sites, nous avons mis en place un questionnaire (ANNEXE B), qui nous a permis de :

- connaître la sensibilité des porteurs de projets aux enjeux de l'eau ;
- comprendre les indicateurs pris en compte par les porteurs de projets dans la gestion de l'eau (exemple: climat, humidité, type du sol et type de culture) ;
- identifier les techniques, les dispositifs et les pratiques agricoles mis en place par les agriculteurs urbains pour optimiser la consommation d'eau ;
- identifier et comprendre les freins à une meilleure gestion de l'eau.

3. Calcul de l'estimation du besoin en eau

Dans cette partie, nous nous sommes focalisés sur la consommation d'eau d'un seul site, S1 (celui qui consomme le plus d'eau). Nous avons d'abord calculé théoriquement le besoin en eau de ce site afin de pouvoir le comparer à la consommation réelle et ensuite identifier les points d'amélioration inspirés de la littérature et des hypothèses émises à partir de nos analyses. Nous

avons donc fait un bilan hydrique, qui prend en compte le climat, le microclimat, le type de sol, le besoin des cultures et nous en avons déduit le besoin en eau.

i. Le choix du site

Nous avons choisi d'établir une estimation basée sur les données de production et d'assolement des plantes du site S1, car c'est la structure qui a la plus grande consommation d'eau et celle qui a le plus de difficultés liées à la gestion de l'eau, mais c'est aussi parce que nous avons accès aux données climatiques relevées sur le toit d'Agroparistech en 2019. Collectées sur un toit, nous avons supposé que nos données sont plus proches de celles des sites situés en hauteur car, en plus d'être à Paris, ils sont en hauteur et donc sont exposés à un microclimat (vent et rayonnement) (Juif *et al.*, 2018) potentiellement similaire à celui du toit d'AgroParisTech.

ii. L'agencement des cultures

Nous avons basé nos calculs sur l'assolement principal appliqué dans le site S1. Cet assolement se compose principalement de quatre familles de cultures : les solanacées (tomates), les cucurbitacées (courges), les fabacées (haricot) et les brassicacées (laitue).

La production de S1 est en bio-intensif et donc l'espacement entre les cultures est très faible. Nous avons donc imaginé un assolement type constitué de 2 plants de tomate par m², 1,6 plants de courges par m², 13,3 plants de haricot par m² et 10 laitues par m².

iii. La méthode de l'estimation du besoin en eau

Pour connaître le besoin en eau d'une culture par jour, nous avons d'abord fait un bilan hydrique et ensuite nous en avons déduit le déficit hydrique. Puis, nous avons fait le calcul du besoin en eau sur toute l'année 2019. Pour ce faire, nous avons repris la formule utilisée par la FAO :

$$ICU = ET_c - P - \Delta S$$

où: ICU = consommation d'eau pour l'irrigation nécessaire pour satisfaire la demande des cultures (en mm)

ET_c = évapotranspiration potentielle de la culture (en mm)

$$ET_c = ET_o(t) \times K_c$$

ET_o(t) = évapotranspiration de référence au cours de la période de temps t donnée (en mm)

K_c = coefficient cultural ou d'affectation des sols (sans dimension)

P = pluie efficace (en mm)

ΔS = changement dans l'humidité du sol (en mm)

Pour le calcul de l'ET_o, nous avons utilisé l'équation de Penman-Monteith (1948) détaillée dans l'annexe D.

➤ Coefficient cultural et dates de semis :

Les K_c que nous avons utilisés sont homogénéisés et suivent une estimation mensuelle, ce qui veut dire qu'un K_c est le même sur tout le mois.

Nous avons aussi considéré que les dates de récoltes et de semis sont les mêmes au sein d'une même espèce.

➤ **Changement dans l'humidité du sol :**

Nous avons estimé le volume de la réserve utile à partir de l'étude de la structure du sol. Ce dernier étant limono-sableux avec un pourcentage de 70 % de sable, sa réserve utile est en moyenne de 1,5 mm par cm. Sachant que le sol de S1 est de profondeur égale à 1 m, nous avons considéré que la réserve facilement utilisable (RFU) est de 150 mm (Poudou, 2016).

Dans l'idée d'éviter que les cultures soient sous stress hydrique ou au contraire en excès hydrique, nous avons fait nos calculs de sorte que le niveau d'eau ne descende pas en dessous de la RFU et ne dépasse pas la valeur de la réserve utile. Nous supposons que l'eau excédant la réserve utile est ruisselée ou drainée.

Le site S1 maximise l'utilisation de l'espace, donc le sol est majoritairement couvert. Les parties de sol laissées nues sont très faibles et nous avons négligé leur évaporation. Dans la comparaison de l'estimation du besoin en eau avec la consommation du site S1, nous avons utilisé les données allant du mois de Mars au mois de Décembre 2019.

Résultats et discussion

A. Analyse de la consommation d'eau et identification des facteurs déterminants

1. Comparaison entre les villes

Comme nous l'avons précédemment mentionné, d'après la littérature la consommation d'eau dans les sites d'agriculture urbaine dépend de plusieurs facteurs, notamment pédologiques, techniques, culturels, humains et climatiques.

Nous allons tenter d'identifier des hypothèses pouvant expliquer l'incidence de tous ces facteurs sur la consommation d'eau des sites que nous avons sélectionnés, en nous basant sur les données et les résultats obtenus à partir de la collecte de données participatives obtenues dans le cadre du projet Few Meter durant le mois d'août 2019 dans les 5 pays (France, Pologne, Angleterre, Allemagne et Etats Unis).

Le graphique ci-dessous (Figure 4) illustre la variabilité de la consommation entre les villes, mais aussi entre les sites. La consommation d'eau varie de 152 L/m² dans le premier site londonien à 0,97 L/m² dans des sites situés à Gorzow sur la période étudiée. Entre les deux, nous trouvons Nantes avec un volume moyen de 67,37 L/m², ensuite Gorzow avec une moyenne de 3,40 L/m² et enfin Bochum avec une moyenne de 2,44 L/m².

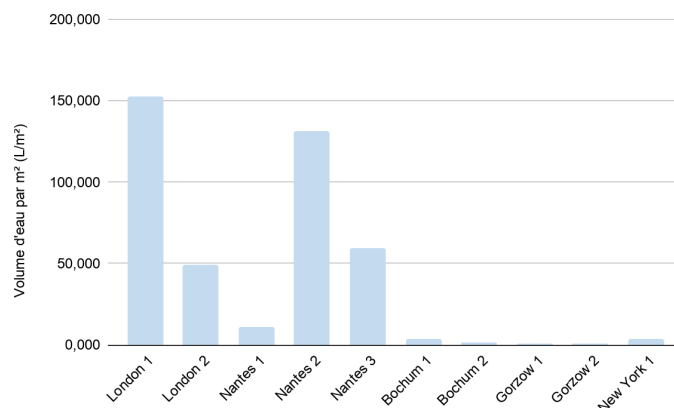


Figure 4 : Le volume d'eau consommée par m² durant le mois d'août 2019 dans les sites d'AU situés dans les villes de Londres (Angleterre), Nantes (France), Bochum (Allemagne), Gorzow (Pologne) et New York (USA).

i. Le facteur agronomique (ou productif)

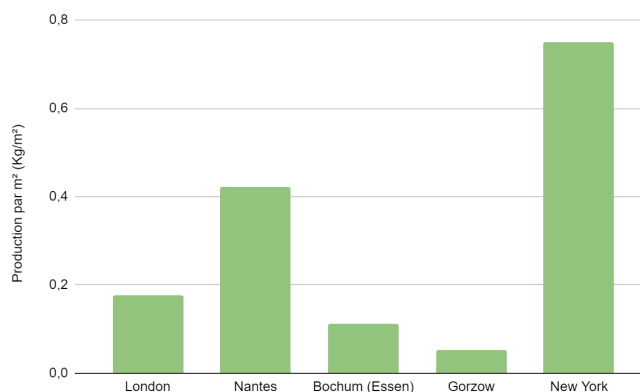


Figure 5 : Moyenne de la production alimentaire des sites d'AU par ville.

Ayant différents objectifs, tous les sites n'ont pas la même production alimentaire et par conséquent le volume d'eau par m² peut varier en fonction de la production. Le site de New York utilise le volume d'eau le plus faible par m², alors qu'il a la production la plus élevée, égale à 0,75 Kg/m² (Figure 5). Les sites de Londres sont ceux qui utilisent le volume d'eau le plus élevé, cependant ils ont une production relativement moyenne égale à 0,17 Kg/m².

Les résultats de nos calculs, illustrés sur les figures 6 et 7, ont montré que les sites de Londres utilisent le volume d'eau le plus élevé par kg produit avec une moyenne de 543 L/Kg, suivis par les sites de Nantes, avec une moyenne de 183,36 L/Kg, des sites allemands avec une moyenne de 23,26 L/Kg, des sites polonais avec une moyenne de 19,1 L/Kg et enfin du site de New York avec une moyenne 4,53 L/Kg.

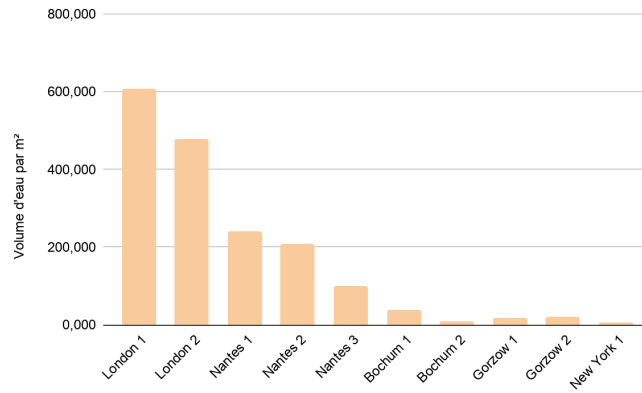


Figure 6 : Volume d'eau utilisé par kg de production alimentaire

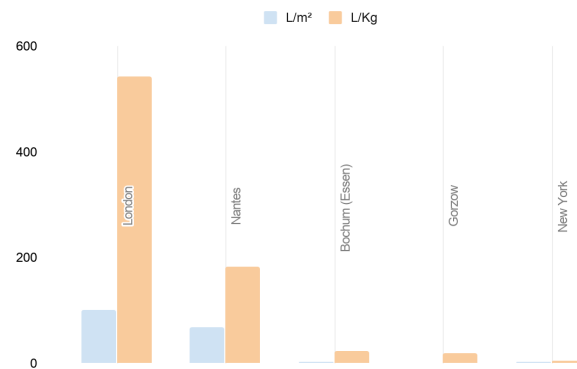


Figure 7 : Moyenne des volumes d'eau utilisés par m² (bleu) et par Kg (rose) dans chaque ville.

Nous avons choisi de baser le reste de notre réflexion sur le rapport volume d'eau par kilogramme produit durant le mois d'août 2019.

En nous basant sur les facteurs déterminants identifiés dans la littérature ainsi que sur notre enquête menée auprès des responsables de sites, nous avons tenté d'identifier des hypothèses pouvant expliquer cette variabilité. Nous allons étudier l'impact de chaque facteur indépendamment des autres pour ensuite faire une analyse globale.

ii. Le facteur climatique

Afin d'étudier ce facteur, nous avons tenté de faire une analogie entre les variables climatiques, notamment la température, la pluviométrie, l'ensoleillement et la vitesse du vent et les sites des différentes villes.

Nous avons remarqué une relation possible entre la pluviométrie et le volume d'eau utilisé par kilogramme de production alimentaire. En effet, plus le volume de pluie augmente, plus le volume d'eau consommé dans les villes diminue, sauf pour la ville de Bochum en Allemagne. Nous avons tenté d'expliquer cette exception en regardant les autres facteurs climatiques et nous avons noté une différence d'ensoleillement très marquée de la ville de Bochum par rapport aux autres villes.

Durant le mois d'août 2019, l'ensoleillement cumulé à Bochum est égale à 58,1 heures alors que l'ensoleillement cumulé dans toutes les autres villes est supérieur à 200 heures (Infoclimat).

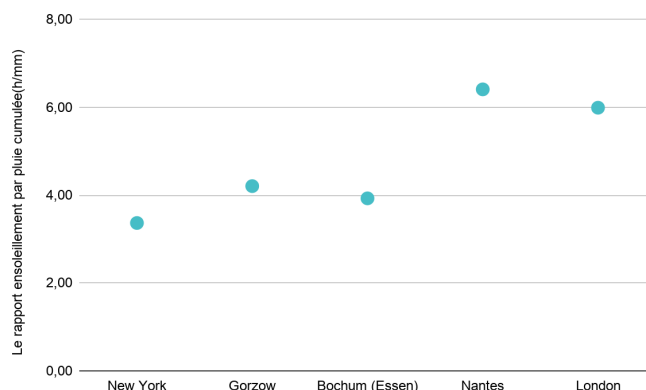


Figure 8 : Le rapport ensoleillement sur pluviométrie cumulée pour chaque ville.

Afin de comprendre un peu plus l'influence possible de la pluviométrie combinée à l'ensoleillement, nous avons établi un rapport ensoleillement/pluviométrie (heure/mm). Comme nous pouvons le voir sur la figure 8, Nantes et Londres, étant les villes qui utilisent le plus d'eau, ont le rapport ensoleillement/pluviométrie cumulée le plus élevé (supérieur à 5,99). Alors que les sites de Bochum et Gorzow ont des rapports moins élevés et New York a le rapport le plus faible.

A partir de ces deux constatations, nous pensons que la pluviométrie et l'ensoleillement sont deux facteurs dont l'impact est à étudier dans la consommation d'eau en agriculture urbaine. Dans la suite du rapport, nous nous sommes intéressés spécifiquement aux sites de France car nous avons plus de données sur ces structures, notamment techniques (système d'irrigation et paillage), pédologiques (structure du sol et matière organique) et réglementaires mais nous avons également la possibilité de nous entretenir avec les responsables des fermes pour acquérir plus d'informations. De plus nous avons souhaité éviter l'influence de la différence climatique entre les pays.

2. Comparaison entre structures d'AU

Dans cette partie, nous allons tenter d'identifier des hypothèses explicatives de la variation de la consommation d'eau entre sites d'agriculture urbaine. Pour ce faire, nous avons choisi de nous concentrer sur les sites de France, comme expliqué précédemment. Le tableau ci-dessous (Tableau 4) résume les données collectées relatives aux 5 sites étudiés en France :

	S1	S2	S3	S4	S5
Villes	Paris		Nantes		
Volume d'eau d'août 2019 (L/m²)	528,7	156	11,14	131,65	59,33
Toit ou plein champ	Toit	Toit	plein champ	plein champ	plein champ
Type d'AU	Micro-ferme urbaine	Micro-ferme urbaine	Jardin familial	Micro-ferme Périurbaine	Micro-ferme urbaine
Production août 2019 (Kg/m²)	1,017	0,449	0,046	0,632	0,589
Volume d'eau août 2019 (L/Kg)	519,54	347,12	241,3	208,17	100,64
Type de sol	Limono-Sableux +++	Limon	Limono-Sableux ++	Limono-Sableux ++	Limono-Sableux +

Matière organique	19,7 %	49,4 %	5,2 %	3,6 %	21,7 %
Facteurs techniques (système d'irrigation)	Goutte à Goutte, Aspersion	Goutte à goutte, Arrosoir, Oya	Arrosoir	Goutte à goutte, Aspersion	Goutte à goutte
Pratiques culturales (paillage)	Pas de paillage	Paillage	Paillage	Paillage	Paillage
Source d'eau	Eau potable	Eau potable	Eaux de pluie + Eau potable	Eau potable	Eau potable

Tableau 4 : Résumé des données collectées concernant les sites en France.

Les relevés des compteurs du mois d'août 2019 montrent que la consommation d'eau varie dans les sites de 528,7 L/m² pour S1 à 11,14 L/m² pour S3. Entre les deux, nous avons S2 avec 156,06 L/m², S4 avec 131,65 L/m² et S5 avec 59,33 L/m². La moyenne de la consommation d'eau est donc égale à 177,37 L/m².

Dans la suite de notre travail, nous avons étudié les différents facteurs pouvant influencer la consommation d'eau dans ces sites.

i. Le facteur agronomique (ou productif)

N'ayant pas les mêmes objectifs, les sites n'ont pas la même production alimentaire. Comme on peut le voir sur la figure 9, la production varie de 1 kg/m² pour S1 à 0,04 kg/m² pour S3. Entre ces deux sites, nous trouvons S4 avec 0,6 kg/m², S5 avec 0,58 kg/m² et S2 avec 0,44 kg/m².

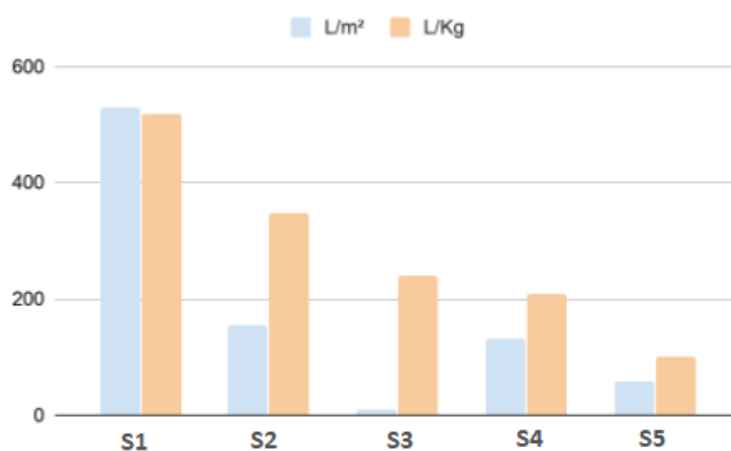


Figure 9 : Les volumes d'eau utilisés par m² (bleu) et par Kg (rose) dans les sites de France.

Cependant, lorsque l'on regarde le rapport entre le volume d'eau utilisé et la production des sites pour le mois d'août, nous remarquons que S1 est le site qui utilise le plus d'eau par kg de production avec un rapport égal à 520 L/kg, par contre c'est S5 qui utilise le moins d'eau avec un rapport égal à 100 L/kg. Entre les deux nous trouvons S2 avec un rapport de 347 L/kg, ensuite S3 avec un rapport de 241 L/kg et puis S4 avec un rapport de 208 L/kg.

Plus l'objectif de production est élevé, plus on utilise d'eau par kilogramme produit dans les sites d'AU étudiés, sauf pour S3. En effet, S3 semble avoir un rapport L/kg produit relativement élevé.

Nous allons tenter d'expliquer cette tendance, d'abord, par le facteur microclimatique.

ii. Le facteur microclimatique

Nous avons remarqué un écart assez grand entre la consommation d'eau des sites de Nantes et celle à Paris. En effet, la moyenne des rapports L/kg à Paris s'élève à 433 alors que la moyenne des rapports à Nantes est égale à 183.

Le climat des deux villes est très similaire REF ?, cependant les sites de Paris sont situés sur des toits alors que ceux de Nantes sont au sol. Cette différence peut être une des raisons du grand écart de consommation d'eau entre les deux villes. En effet, S2 et S1 sont plus exposés en particulier au vent et au rayonnement solaire, ce qui peut engendrer un dessèchement des plantes plus élevé et donc un besoin supérieur en eau à celui des sites situés au sol.

Par ailleurs, S1 utilise 1,5 fois plus d'eau par kg produit, ce qui peut également être causé par le fait que S2 est clôturé par un mur qui fait brise-vent, ce qui limite son exposition au vent et peut donc induire une diminution de la consommation d'eau. Cette différence dans la consommation peut également être due au choix du système d'irrigation et à l'utilisation ou pas du paillage.

iii. Le facteur technique

Considérant la différence de microclimat potentielle, nous avons choisi d'étudier les deux villes séparément pour le reste des facteurs.

Ce facteur que nous avons nommé technique se résume essentiellement au système d'irrigation et à l'utilisation ou non de paillage. En effet, ces deux variables jouent sur le volume d'eau employé en AU, comme nous l'avons vu dans la littérature.

Si l'on compare les deux sites de Paris (sur le toit), nous pouvons déduire que le système de goutte à goutte associé à l'utilisation de l'arrosoir et des oyas peut être plus efficace que le système de goutte à goutte associé à l'asperseur (Figure 10).

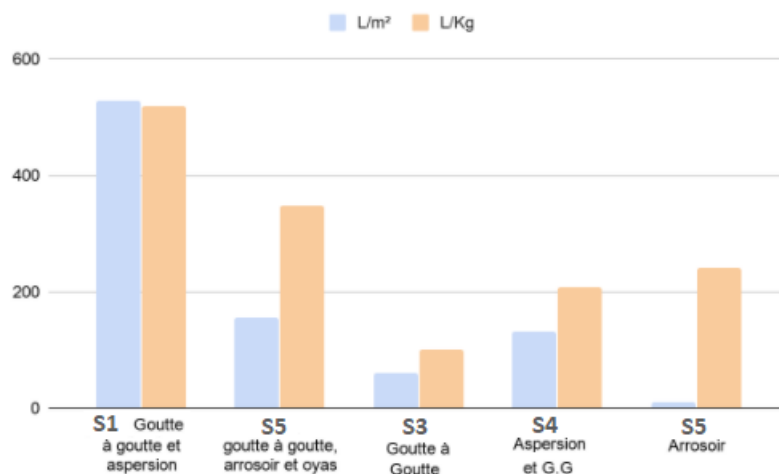


Figure 10 : Volume d'eau utilisé par m² (bleu) et par kg (rose) pour chaque site en France et par système d'irrigation.

La comparaison des sites de Nantes (Figure 10) laisse penser que le système goutte à goutte est plus efficace que le système goutte à goutte associé à l'asperseur et que l'utilisation de l'arrosoir seul est encore moins efficace que les deux autres systèmes.

D'après les résultats des deux villes, nous faisons l'hypothèse que le système d'irrigation en goutte à goutte est plus efficace en termes d'économie d'eau que le système d'aspersion.

Par ailleurs, à partir de notre enquête, nous avons pu comprendre que le paillage est la pratique culturale que tous les responsables et jardiniers relient à la rétention de l'eau dans le sol. Cette pratique a été employée sur tous les sites en 2019 sauf à S1, le site qui consomme le plus d'eau. En plus du paillage et du système d'irrigation, la structure du sol est aussi connue pour être déterminante de la quantité d'eau utilisée.

iv. Le facteur pédologique

Dans cette partie, nous avons étudié l'impact que peuvent avoir les différentes structures de sols et leurs teneurs en matière organique sur la consommation d'eau des sites.

➤ Réserve facilement utilisable et perméabilité

Sur la figure 11, nous pouvons voir que le site de S2 a un sol limoneux avec 20% d'argile, 33 % de limon et 46 % de sable. En moyenne, ce type de sol a une RFU comprise entre 25 mm et 35 mm pour un enracinement compris entre 20 cm et 30 cm alors que le sol de S1 est limono-sableux avec 7 % d'argile, 22,5 % de limon et 70,5 % de sable, ce qui veut dire que sa RFU est comprise entre 12 cm et 20 cm pour la même profondeur d'enracinement (Sud et Bio, 2016).

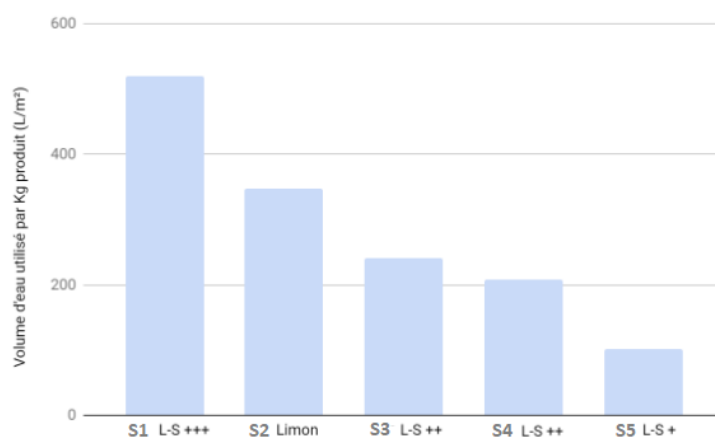


Figure 11 : Volume d'eau utilisé par kg produit et de la structure du sol des sites de France.

La structure du sol de S2 présente donc une capacité de rétention d'eau relativement grande. Cependant, la profondeur du sol de S2 est très faible. En effet, les plantes de S2 sont cultivées dans des bacs qui sont de profondeur moyenne égale à 20 cm, ce qui limite sa RFU.

Alors que la micro-ferme S1 a une profondeur de 1 m, ce qui est amplement suffisant pour l'enracinement d'une culture maraîchère, le sol étant à 70% sableux (Figure 11), il ne présente pas une grande RFU.

D'autre part, la texture du sol de S2 a une perméabilité inférieure à celle de S1. En effet, ce dernier étant de texture limono-sableuse, il présente une perméabilité comprise entre 25 et 50 mm/heure, tandis que le sol de S2 présente une perméabilité modérément faible égale à 13

mm/heure. Donc le sol de S1 a tendance à perdre plus d'eau, par infiltration que le sol de S2 (FAO, 1990).

Les sites de Nantes ont tous des textures sablo-limoneuses avec une différence au niveau des pourcentages des composants. Les sites S4 et S3 ont un sol très similaire avec respectivement 59 % et 57% de sable, 30 % de limon et 11% et 13% d'argile. Leur texture similaire induit qu'ils ont la même capacité de rétention et la même RFU ce qui peut expliquer que le volume d'eau utilisé par kg de production soit très proche. D'autre part, le sol de S5 a une texture moins sableuse que les deux autres avec 50 % de sable, 35 % de limon et 15 % d'argile (FAO, 1990). Ceci implique que le sol de S5 ou S4 a une perméabilité inférieure aux deux autres sols et donc présente moins de pertes d'eau par infiltration, ce qui pourrait expliquer en partie le faible volume d'eau utilisé par kg de production.

➤ Matière organique

Étant un des facteurs déterminants de la rétention d'eau dans un sol, nous avons étudié la teneur en MO dans nos sols. La comparaison des différents sites se résume dans la figure 12. Si l'on compare les sites de Paris, le sol de S2 contient 2,5 fois plus de MO que le sol de S1.

Les sols de S3 et de S4 présentent une teneur en MO respectivement 4 et 6 fois inférieure à celle de S5.

Ces résultats montrent que S2 peut avoir une plus grande capacité de rétention que S1 et S5 et une capacité de rétention supérieure à celle de S4 et S3.

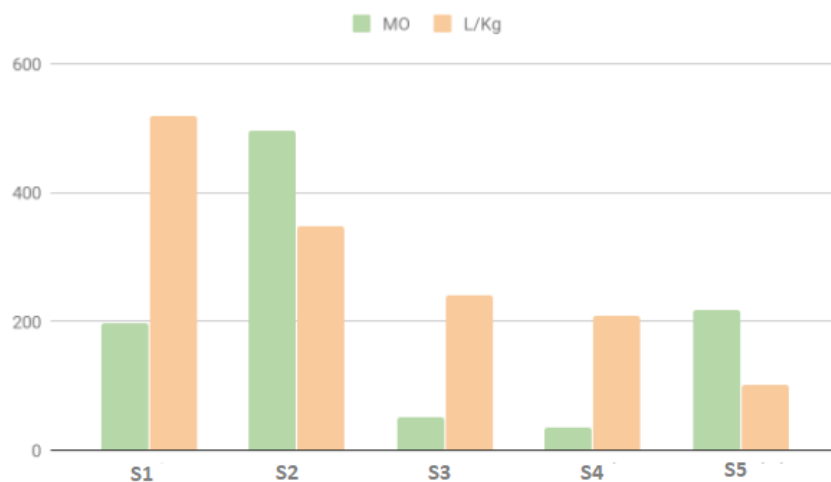


Figure 12 : Quantité de Matière Organique (vert) et volume d'eau utilisé par kg produit (rose) sur les sites de France.

En résumé, du côté de Paris, le sol de S1, de par sa structure à tendance sableuse, a un faible volume de RFU, un plus grand risque d'infiltration et une capacité de rétention inférieure à celle du sol de S2, ce qui peut expliquer en partie la différence de consommation d'eau entre ces deux sites.

Et du côté de Nantes, le sol de S5 présente un plus grand volume de RFU, un risque plus faible de pertes d'eau par infiltration ou drainage et une plus grande capacité de rétention d'eau. Ceci peut être une des raisons pour lesquelles S5 utilise moins d'eau pour la production d'un kg que les deux autres sites nantais.

En plus des facteurs microclimatiques, techniques et pédologiques, la réglementation imposée sur l'utilisation de la source principale d'eau peut avoir un impact sur l'utilisation d'eau dans les sites d'AU.

v. Le facteur réglementaire

Tous nos sites ont accès à l'eau potable provenant du robinet et n'ont pas de règles à suivre dans son utilisation, sauf pour S3.

Dans ce dernier, l'association responsable de ce projet a installé un récupérateur d'eau de pluie pour chaque parcelle, à partir duquel chaque jardinier arrose ses cultures et il n'a le droit d'utiliser l'eau du robinet que lorsque son récupérateur d'eau est complètement vide. Le récupérateur d'eau a par ailleurs une limite de remplissage, ce qui aurait dû inciter les jardiniers à diminuer leur consommation d'eau. Pourtant le volume d'eau utilisé pour un kg de production de S3 est supérieur aux deux autres sites de Nantes.

vi. Les facteurs humains

Les enquêtes effectuées auprès des responsables des sites et des jardiniers nous ont permis d'identifier la sensibilité des participants à la nécessité de préserver l'eau, les indicateurs qu'ils prennent en compte pour irriguer et les freins qui limitent une meilleure gestion de l'eau.

➤ La sensibilité des responsables des sites à la préservation de l'eau

Les responsables des sites ont tous déclaré une volonté de diminuer leur consommation d'eau sur leurs sites et ceci pour différentes raisons. Certains d'entre eux ont participé au projet Semoirs (2018-2020) et ils ont donc pu constater une surutilisation de l'eau sur leur site. D'autre part, les participants sont tous sensibles aux différents enjeux de l'environnement et notamment ceux de l'eau.

➤ Les indicateurs de l'irrigation

En essayant de déterminer les indicateurs pris en compte par les responsables et les jardiniers, nous avons pu identifier 4 indicateurs principaux : (1) le premier indicateur est la variation des facteurs climatiques, essentiellement la température et la pluviométrie ; (2) le deuxième indicateur est l'humidité du sol, déterminée par la technique du "doigt dans le sol" ; (3) le troisième indicateur est l'état des plantes et (4) le quatrième est le type de culture et son stade de développement.

Après avoir analysé les facteurs déterminants pour la gestion de l'eau dans les sites d'AU, notamment climatiques, microclimatiques, techniques, pédologiques, réglementaires et humains, nous avons cherché à approfondir notre étude en menant une enquête auprès des responsables de projets et des jardiniers.

B. Les freins perçus par les responsables des sites

Notre enquête nous a permis de confirmer l'influence de certains facteurs que nous avons étudiés précédemment tels que la structure du sol et sa profondeur, la réglementation et le climat. Mais elle nous a également permis d'identifier de nouveaux facteurs limitant une meilleure gestion de l'eau pour les responsables des sites et les jardiniers.

➤ **Le facteur temps**

Le facteur temps a été identifié en amont du questionnaire. Ce facteur nous semble très déterminant pour la gestion de l'eau et la diminution de la consommation d'eau dans les sites d'agriculture urbaine.

D'abord, les participants, ayant déjà énormément de travail, n'ont pas beaucoup de temps à consacrer à l'acquisition de connaissance et d'expertise au sujet de la gestion de l'eau et au plan d'irrigation. Ensuite, les responsables des sites sont des salariés, ce qui veut dire qu'ils travaillent 8 h par jour au maximum et ne sont pas là le week-end. Ceci implique qu'ils ne peuvent pas irriguer après 18h quand le temps est plus frais et donc, dans le cas des sols plutôt sableux où il est préférable d'augmenter la fréquence d'irrigation, la question du temps est une contrainte. Les week-ends, ils ne peuvent pas non plus irriguer, ce qui peut engendrer du stress hydrique pour les plantes.

En outre, les jardiniers du jardin familial S3, pour la majorité d'entre eux, ont d'autres occupations et arrosent en fonction du temps dont ils disposent.

A l'inverse, le responsable de S5 et S4, les deux sites qui consomment le moins d'eau, est propriétaire du projet et passe plus de temps dans ses sites.

➤ **Le facteur économique**

Le facteur économique est le deuxième facteur que nous avons identifié lors de nos entretiens avec les participants. En effet, ce facteur est revenu trois fois.

En premier, celui-ci a été évoqué par des responsables de sites comme une contrainte à l'installation du récupérateur d'eau de pluie car ce dernier est coûteux pour leur structure.

Par ailleurs, nous avons pensé que l'eau du robinet étant accessible à tous et les porteurs de projet ne payant pas la facture, le facteur économique ne serait pas une contrainte pour eux sur ce point. Cependant, le responsable du site S1 nous a fait part de sa crainte de devoir rompre le partenariat avec le propriétaire du bâtiment sur lequel se trouve sa structure d'agriculture urbaine, car ce dernier estime que la ferme consomme beaucoup d'eau et que la facture d'eau lui revient trop cher. En effet, le m³ coûte 3,43 euros et la consommation d'eau en 2019 sur tout le site de S1 est égale 1151 m³, ce qui coûte 3948 €/an.

Et en troisième et dernier lieu, un des participants a mentionné le fait qu'un système d'arrosage automatique leur faciliterait beaucoup le travail mais ils ne peuvent pas se le permettre vu leur budget.

C. Estimation du besoin en eau

Nous avons fait une estimation du besoin en eau avec la méthode AQUASTAT de la FAO, que nous avons citée précédemment. Cette méthode nous a permis d'estimer le besoin en eau, en prenant en compte le climat, les besoins des cultures et le type de sol. Ce calcul peut sur- ou sous-estimer, comme nous l'expliquons dans la discussion, mais c'est un outil qui peut permettre au responsable du site de prévoir son irrigation et d'évaluer sa consommation d'eau,

tout en utilisant les autres techniques d'évaluation tels que le toucher du sol, l'état de la plante, etc.

Après avoir fait les calculs, sur l'année 2019, nous avons obtenu le graphique suivant (Figure 13) :

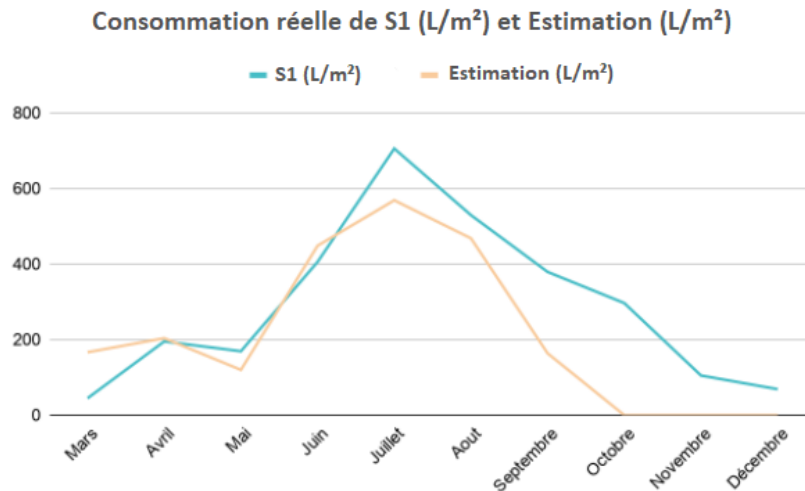


Figure 13 : Estimation de la consommation d'eau (rose) et volume d'eau réellement consommé (bleu) par mois en 2019.

Quand nous comparons les deux courbes, nous voyons que S1 a une consommation supérieure de 760,38 L/m² à celle de notre estimation. Si notre estimation est juste, notre calcul induit que S1 a utilisé 301871 L/m² en plus du volume nécessaire estimé par an. Toutefois, nous reverrons les possibilités de sur- et sous-estimation dans la discussion.

Nous pouvons aussi noter que la consommation de S1 est inférieure au cours des mois de mars, avril et juin de respectivement 121,6 L/m², 8,6 L/m² et 42,7 L/m². Ensuite, nous pouvons voir que les plus grands écarts sont enregistrés au cours des mois de Juillet, Septembre et Octobre avec respectivement 137 L/m², 215 L/m² et 296,5 L/m² de différence.

En prenant en considération les hypothèses que nous avons émises précédemment sur l'influence des facteurs déterminants sur le volume d'eau nécessaire à l'irrigation, les données identifiées dans la littérature et les freins soulignés par le responsable de ce site, nous faisons l'hypothèse qu'il y a des points d'amélioration.

Afin de diminuer la consommation d'eau, il serait intéressant de voir comment il serait possible de :

- diminuer l'exposition des cultures au vent en installant un brise-vent ;
- améliorer la texture du sol en apportant de l'argile et du compost et utiliser du paillage ;
- installer un système d'irrigation goutte à goutte sur tout l'espace et augmenter la fréquence d'irrigation en utilisant un programmeur automatique ;
- essayer les wicking bed car d'après Niranjani (2016), ce système diminue le besoin de mains d'œuvre et donc répond peut-être à la contrainte de temps signalée ;
- acquérir plus de connaissances sur la manière de faire un bilan hydrique afin de prévoir la consommation d'eau.

Discussion

Dans ce rapport, nous avons étudié les déterminants de la gestion de l'irrigation dans des sites d'agriculture urbaine qui sont les facteurs techniques, climatiques, microclimatiques, pédologiques, réglementaires, humains, temporels et financiers. Par la suite, nous avons établi une estimation du besoin en eau du site S1, que nous avons comparé à la réalité.

➤ La consommation d'eau dans les villes

La variabilité de consommation d'eau dans les différentes villes étudiées dans notre travail, se retrouve dans la littérature. En effet, le volume d'eau utilisé peut aller de 31,4 L/m² sur deux mois d'été en Californie (Egerer *et al.*, 2018) à 407 L/m² en deux mois d'hiver au Burkina Faso (Sangare *et al.*, 2012).

➤ La consommation d'eau dans les sites français

Cependant, les résultats des moyennes de la consommation d'eau en France que nous avons obtenu sont supérieurs à la moyenne obtenue par Egerer *et al.* (2018). En effet, leurs résultats montrent que durant la période comprise entre août et septembre, la moyenne de consommation est égale à 31,4 L/m² alors qu'en France, la moyenne est de 177,38 L/m² durant le mois d'août.

➤ Le facteur microclimatique

D'après les réponses des participants, nous avons pu constater que la pluviométrie et la température sont, pour la majorité d'entre eux, des déterminants du choix du moment de l'irrigation et du volume d'eau apporté. Ceci concorde avec notre hypothèse sur la possibilité de l'existence d'un lien entre le rapport Ensoleillement/ Pluviométrie et la consommation d'eau.

Par ailleurs, dans son étude, Egerer *et al.* (2018) démontre que plus le temps est sec et la température élevée, plus le volume d'eau d'irrigation augmente.

➤ Les facteurs techniques

L'hypothèse que nous avons émise sur le fait que le système d'irrigation en goutte à goutte est plus efficace que le système d'aspersion est appuyée par l'étude de Mailhol (2009).

Par ailleurs, nous avons remarqué que le site (S1) qui consomme le plus d'eau n'avait pas utilisé de paillage. Dans ce même site, après avoir participé au projet SEMOIRS, ils ont pris conscience de l'excès de consommation d'eau et ont utilisé du paillage en 2020 avec une grande baisse de consommation d'eau sur la période suivie pendant le stage (données non finalisées), ce qui appuie notre hypothèse.

Cependant les données que nous avons ne sont pas suffisantes pour conclure. En plus, Egerer *et al.* (2018) a conclu dans sa recherche que c'est le contraire qui a été noté. En effet, dans ses résultats, il affirme que, plus les jardiniers utilisent de paillis, plus abondamment ils arrosent. Pour expliquer cela, le chercheur suppose que les jardiniers mettent de la paille pour d'autres intérêts que celui de la rétention d'eau et que donc les jardiniers ne diminuent pas leur consommation d'eau en employant la technique du paillage.

Dans le cas de nos sites, les responsables savent tous que le besoin en eau des cultures diminue avec la paille. C'est donc peut-être pour cette raison que nous avons des résultats différents.

➤ **Le facteur pédologique**

Dans notre analyse du lien entre la texture du sol et la consommation d'eau, nous avons souligné que mis à part le fait que la texture du sol est déterminante pour la réserve utile et que plus le sol est sableux, plus il est drainant et donc cause des pertes d'eau relativement plus grandes, nous avons également souligné que la profondeur du sol est une spécificité qui peut être importante en agriculture urbaine. En effet, les cultures de S2 sont plantées dans des bacs dont la profondeur moyenne est égale à 20 cm et donc bien que la structure de son sol soit adéquate au bon développement des plantes, sa capacité de rétention en est réduite.

D'autre part, nous avons étudié la teneur en matière organique des sols et nous avons fait l'hypothèse que plus le sol est riche en matière organique plus la capacité de rétention est élevée. Cette idée est confirmée dans le rapport de la FAO (1990).

➤ **Le facteur réglementaire**

Sachant que le but de notre travail est de diminuer l'utilisation de l'eau du robinet, la source d'eau que l'on préconise le plus est l'eau de pluie. Toutefois, la réglementation appliquée à l'utilisation de cette source semble représenter un frein pour les porteurs de projets.

D'une part, comme nous l'avons vu dans le site S3, un récupérateur d'eau est installé, mais le goutte à goutte est interdit. Ce qui est tout à fait compréhensible, vu le nombre de jardiniers, toutefois une solution intermédiaire est à envisager.

D'autre part, l'installation du récupérateur d'eau et son entretien sont soumis à une réglementation stricte qui semble être contraignante pour les porteurs de projets.

➤ **Le facteur humain**

Nous ne pouvons pas faire de conclusion sur le lien entre la consommation d'eau et la sensibilité des participants aux questions du changement climatique et c'est ce que Egerer *et al.* (2018) ont aussi affirmé. Cependant, ce que nous avons remarqué, c'est que les participants, malgré leur conscience environnementale, ne se rendaient pas compte de l'excès d'eau utilisée, faute d'un manque de connaissances et de temps à consacrer à la question de la gestion de l'eau comme ils l'ont partagé avec nous.

➤ **Possibilités de mésestimation du besoin en eau**

Dans le but d'établir une estimation du volume d'eau nécessaire à une irrigation optimale, avec un modèle facilement reproductible, nous avons basé nos calculs sur plusieurs hypothèses qui peuvent fausser notre résultat en sous- ou surestimant les besoins en eau.

Nous avons choisi d'étudier un seul assolement de 4 familles de cultures en bio-intensif. Allant du plus exigeant au moins exigeant en eau, nous avons considéré que cet assolement est représentatif de tout le site. Ce qui peut induire une mésestimation du besoin réel en eau.

Nous avons également omis les pertes pouvant être engendrées par l'évaporation du sol nu et nous avons considéré de façon arbitraire que toutes les plantes sont capables d'absorber l'eau

par capillarité, au niveau de la réserve utile, quel que soit le stade de développement et l'espèce.

Nous avons également fait le choix de faire une estimation du volume d'eau nécessaire pour une irrigation optimale afin d'éviter que la plante soit exposée à un stress hydrique ou au contraire à un excès d'eau. Nous avons donc considéré que les plantes sont arrosées jusqu'au niveau de la RU et nous considérons que si l'eau arrive à un niveau supérieur à la RU, celle-ci est drainée ou ruisselée.

D'autre part, les K_c que nous avons utilisés sont homogénéisés et suivent une estimation mensuelle, ce qui veut dire qu'un K_c est le même sur tout le mois.

Nous avons aussi utilisé les données climatiques du toit d'AgroParisTech, ce qui veut dire que nous avons considéré qu'il n'y a pas une grande différence au niveau des phénomènes climatiques. Nous avons aussi considéré que les dates de récoltes et de semis sont les mêmes au sein d'une même espèce.

Ces hypothèses contribuent à mésestimer la diversité des besoins en eau des cultures, qui présentent dans la réalité des successions différentes, des recouvrements différents et des expositions variées aux aléas climatiques.

Nous avons aussi omis le tassement du sol, qui peut avoir un effet sur la diffusion de l'eau et nous avons aussi négligé les effets possibles des pratiques culturales ayant une influence sur la rétention de l'eau, notamment le paillage, le bâchage, les tunnels, etc.

Malgré la possibilité d'une sur- ou sous-estimation du besoin en eau que nous avons faite, celle-ci peut être un outil de prévision de l'irrigation utile aux responsables des sites, qui ont tous signalé un manque de connaissances des techniques de gestion et de prévision de l'irrigation.

Conclusion

Dans notre étude, nous avons pu noter que les volumes d'eau consommés d'un site à l'autre varient énormément en fonction de plusieurs facteurs, notamment climatiques (pluviométrie et ensoleillement), microclimatiques (vent et rayonnement), techniques (système d'irrigation et paillage), pédologiques (profondeur, teneur en matière organique, perméabilité et capacité de rétention du sol), réglementaires (source d'eau et réglementation imposée) et humains (sensibilité du responsable aux enjeux de gestion de l'eau, temps disponible pour l'entretien du site et l'acquisition de connaissances) et financiers (coût de l'eau et de l'achat de matériel).

De plus, nous avons établi une estimation du besoin en eau de l'un de nos sites qui nous a permis d'évaluer la différence entre le volume d'eau calculé théoriquement et celui réellement employé, pour ensuite la discuter. Cette estimation simplifiée pourrait servir de modèle pour le calcul du besoin en eau des sites et participer à la réflexion des gestionnaires des sites.

Dans ce travail, nous avons initié une réflexion qui peut être approfondie par une recherche sur une plus longue période de production.

Références bibliographiques

- Aubry. C. (2011). Diversité et durabilité de l'agriculture urbaine ; une nécessaire adaptation des concepts ?. *Norois*, n° 221, (Innovations et agricultures urbaines durables), p. 11-24.
- Aubry. C. (2014). Les agricultures urbaines et les questionnements de la recherche Dans *Pour* (N° 224), p. 35 à 49.
- Aubry. C. (2018). La renaissance des jardins collectifs franciliens de l'institut d'aménagement et d'urbanisme. Ile de France Environnement. www.iau-idf.fr N° 773.
- Barraud. S. et al. (2009). L'infiltration en questions - Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. Programme MGD Infiltration – RGCU, version 2, p. 63.
- Buechler, S., G. D. Mekala, and B. Keraita. (2006). Wastewater use for urban and peri-urban agriculture. *Cities Farming for the Future: Urban Agriculture for Green and Productive Cities*, 2006, p. 43–73.
- C. Juif. et al., (2018). Recommandations techniques de l'agriculture urbaine en toiture. Adivert.
- Chang, M., & Morel, K. (2018). Reconciling economic viability and socio-ecological aspirations in London urban microfarms. *Agronomy for Sustainable Development*. p. 38(1). <https://doi.org/10.1007/S13593-018-0487-5>.
- Daniel, A. (2017). Fonctionnement et durabilité des micro-fermes urbaines Une observation participative sur le cas des fermes franciliennes.
- Draper C. et Freedman D. (2010). Review and analysis of the benefits, purposes, and motivations associated with community gardening in the United States. *Journal of Community Practice*, vol. 18, n° 4, p. 458–492.
- Egerer, MOonia H, Lin, Brenda B, M. Philpott, Stacy. (2018). Water Use Behavior, Learning, and Adaptation to Future Change in Urban Gardens. *Frontiers*. Collection.
- Elimelech Sapir et Moshé Sné. (2002). L'irrigation par aspersion. CINADCO Ministère de l'agriculture et du développement rural Centre de coopération internationale pour le développement agricole, 101p.
- F. Lupia, V Baiocchi, K Lelo, G. Pulighe. (2017). Exploring rooftop rainwater harvesting potential for food production in urban areas. *Agriculture* 7 (6), 46.
- FAO. (1990). Gestion des eaux en irrigation Manuel de formation n° 5 Méthodes d'irrigation.
- FAO. (2010). Des micros jardins pour une meilleure sécurité alimentaire et nutritionnelle. Horticulture Urbaine et Périurbaine Note d'information 6.
- GABB 32. (2009). Guide d'installation en maraîchage biologique avec données du gers réalisées par le GABBA 32.

Gilbert Losken. (2018). Dachbegrünungen. Guideline for planning, Construction and Maintenance of green roof. Landscape development and landscaping research society (FLL).

Janett Nolasco. (2013). Sustainable Water Management for Urban Agriculture: Planting Justice, Oakland. Pacific Institute.

Joimel, S, Cortet, J, Jolivet, C. C., Sabry, N. PA CHENOT, E. D., Branchu, P., Schwartz, C. (2016). Physico-chemical characteristics of topsoil for contrasted forest, agricultural, urban and industrial land uses in France. Science of the Total Environment, 2016. 545–546, 40–47.

M. Dubbeling. (2019). L'agriculture urbaine comme stratégie de réduction des risques face au changement climatique et aux catastrophes. La revue de l'institut Veolia-Fact Reports.

M. Zalay. (2013). Mon projet d'agriculture urbaine en ile de France. Guide pratique d'information et d'orientation.

Mailhol, J.-C, Ruelle, P, Khaledian, M.-R., Mubarak, I, Rosique, P. (2009). Systèmes d'irrigation et économies d'eau sous climat méditerranéen : étude expérimentale et modélisation, in : Durabilité des systèmes de cultures en zone méditerranéenne, Gestion des ressources en eau et en sol. Actes du symposium AGDUMED, p. 156-165.

Marchand, P. (2014). Les jardins associatifs urbains, la culture de son alimentation : Une démarche exploratoire dans des jardins associatifs urbains au sein de quartiers d'habitat social à Marseille. p. 143.

Maynard, D.N et G.J. Hochmuth. (1997). Knott's handbook for vegetables growers. John Wiley and sons. New York, 582 p.

Morel, K. (2017). Viabilité des micro-fermes maraîchères biologiques. Une étude inductive combinant méthodes qualitatives et modélisation. To cite this version : HAL Id : tel-01557495 Par.

Mottier V. (1994). Les eaux de ruissellement de toits : qualité et dynamique de la charge polluante. Thèse Ecole nationale des ponts et chaussées 245p.

Mougeot, L.J.A. (2000). Urban Agriculture: Definition, Presence, Potentials and Risks, Ottawa, International Development Research Centre, thematic paper n° 1, 42 p.

Niranjani. P. K. (2016). Evaluating the Efficiency of Wicking Bed Irrigation Systems for Small-Scale Urban Agriculture. Journal Horticulturae.

Nus Consulting. (2017). 11ème édition du baromètre NUS Consulting sur les prix des services d'eau et d'assainissement en Europe.

Pascal Mayol et Etienne Gangneron. (2019). L'agriculture urbaine : un outil déterminant pour des villes durables, Journal officiel de la république française, 2019, p11.

Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. London A193:120-146.

Plateau, L., Maughan, N., Pipart, N., Visser, M., Hermesse, J., & Maréchal, K. (2019). La viabilité du maraîchage urbain à l'épreuve de l'installation professionnelle.

Pourias, J. (2014). Production alimentaire et pratiques culturelles en agriculture urbaine. Analyse agronomique de la fonction alimentaire des jardins associatifs urbains à Paris et Montréal.

Ricard, S et Lecompte, F. (2015). Pilotage de l'irrigation en cultures légumières : enquêtes sur les outils et les pratiques. Picleg.

Saint-Ges, V. (2018). Jardins familiaux, jardins partagés à Bordeaux entre alimentation et multifonctionnalités. In *Situ*, (37), 0-17. <https://doi.org/10.4000/insitu.18956>.

Sanyé-Mengual, et al. (2018). Eco-Efficiency Assessment and Food Security Potential of Home Gardening: A Case Study in Padua, Italy. MDPI.

Sheikh K. Sangare, Emmanuel Compaoré, Andreas Burkert, Marnik Vanclooster, Michel P. Sedogo, Charles L. Biolders. (2012). Field-scale analysis of water and nutrient use efficiency for vegetable production in a West African urban agricultural system. *Chemistry Nutrient Cycling in Agroecosystems*.

Stanislas Poudou. (2016). Évaluer la réserve utile de son sol. *Agriculture et territoire*.

Sud et Bio. (2016). Association internationale LANGUEDOC-ROUSSILLON Maîtriser son irrigation en maraîchage biologique CIRCUITS COURTS BIO EN LANGUEDOC-ROUSSILLON.

Uri, C. (2015). L'Agriculture urbaine à Bordeaux, Panorama des projets exemplaires et premiers éléments de stratégie. *A'urba*.

AQUASTAT, FAO

<http://www.fao.org/aquastat/fr/data-analysis/irrig-water-use/irrig-water-requirement>

FP2E, 2015 10ème baromètre des prix des services d'eau en Europe

<https://www.fp2e.org/10eme-barometre-des-prix-des-services-deau-en-europe/>

Infoclimat

<https://www.infoclimat.fr/>

SEMOIRS

<https://www6.versailles-grignon.inrae.fr/ecosys/Recherche/Projets/SEMOIRS>

Service-public.fr, 2020

<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F31481#:~:text=L'eau%20de%20pluie%20peut%20%C3%AAtre%20r%C3%A9cup%C3%A9r%C3%A9%20exclusivement%20%C3%A0%20l,dans%20la%20cuve%20de%20stockage>.

FEW METER

<https://jpi-urbaneurope.eu/project/few-meter/>

Annexes

Annexe A

Exemple de deux pages du carnet de récolte à destination des jardiniers



Few-meter - Carnet / 2020

Production

Date de la récolte	Parcelle	Légumes ou animal (avec le nom de la variété)	Quantité récoltée et observation	Destination et prix de vente éventuel (€/kg)
<i>Ex : 12/07/2018</i>	<i>Exemple : Bac n°...</i>	<i>Ex : tomate cerise, tomate</i>	<i>Ex : 450g avec beaucoup de pucerons</i>	<i>Ex : vente à ... / don à 5€/kg</i>



Few-meter - Carnet / 2020

EAU

Arrosage – Quantité d'eau utilisé

Date	Nombre d'arrosoirs utilisés ou volume d'arrosage en litres (L)
<i>Ex. : 02/05/2019</i>	<i>Ex. : 2 arrosoirs de <u>11L</u> = 22 L</i>

Annexe B
Questionnaire pour les jardiniers et les responsables de projets

ENTRETIEN

1. Quel système d'irrigation utilisez-vous et pourquoi ?
2. Quels sont les indicateurs que vous prenez en compte dans la décision d'irrigation ?
3. Est-ce que vous appliquez des pratiques culturales pour optimiser l'emploi de l'eau ?
(*Ex : paillage, amélioration de la texture du sol...*)
4. Pourquoi avez-vous choisi d'utiliser cette source d'eau et pas une autre ?
5. Est-ce qu'il y'a une réglementation particulière autour de l'utilisation de l'eau, sa source ou sa quantité ?
6. Est-ce que vous souhaitez optimiser la gestion de l'eau du site ? et dans quel objectif ?
7. Quels sont les freins à l'optimisation de l'utilisation de l'eau dans votre site, selon vous ?
(*Ex: manque de temps, réglementation, inaccessibilité de certaines sources*).

Annexe C

L'équation de Penman-Monteith

$$ETP = [(\Delta/\gamma) * (Rn/L)] / [(\Delta/\gamma) + 1] + Ea / [(\Delta/\gamma) + 1]$$

Formule de Penman

$$ETP = T(Rn) + T(Ea)$$

Terme radiatif : T(Rn)

$$T(Rn) = [(\Delta/\gamma) * (Rn/L)] / [(\Delta/\gamma) + 1]$$

Avec : Δ : pente de la tangente à la courbe donnant la pression de vapeur saturante E_s en fonction de la température T

$$\Delta = (E_s/T) * (6463/T - 3.927)$$

Avec : $E_s = 6.11 * 107.5 * t / (237.3 + t)$ pascal, avec $t(^{\circ}C)$; formule de Tetens (pression de vapeur saturante)

γ : constante psychrométrique = 0.66 mb/K

L : chaleur latente d'évaporation de l'eau = 2.46 MJ/kg (Guyot 1992)

Rn : rayonnement net

$$Rn = (1-a) * R_s + (R_a - R_t) \text{ MJ/m}^2/\text{j}$$

Avec : a = albédo de la surface évaporante ($1-a = 0.80$ pour un couvert végétal)

R_s = rayonnement solaire global

R_a = rayonnement atmosphérique

R_t = rayonnement terrestre

$$R_a - R_t = -\sigma * T^4 * (0.56 - 0.08 * \ddot{O}e) * (0.1 + 0.9 * n/N)$$

Avec : σ : constante de Stefan-Boltzman = $4.9 * 10^{-9}$ MJ/m²/jour/K⁴

T : température de l'air K

e : tension de vapeur à la température du point de rosée ou tension de vapeur partielle à la température de l'air T (humidité relative = $100 * e/E_s$)

n/N : fraction d'insolation

Terme advectif : T(Ea)

$$T(Ea) = Ea / [(\Delta/\gamma) + 1]$$

Avec : $Ea = 0.26 * (E_s - e) * f(u)$, pouvoir évaporant de l'air

Avec : $f(u) = ta + coef * u$

Avec : ta = constante advective (couvert végétal = 1)

$coef$ = coefficient vent en fonction de la hauteur de mesure (0.54 pour mesure à

2m)

u = vitesse moyenne du vent

Les données mesurées à AgroParistech sont les suivantes :

R_s	MJ/m ² /jour
T	$^{\circ}C$
H_r	%
vent	m/s

La fraction d'insolation n/N n'est pas mesurée

Le rayonnement atmosphérique n'est pas mesuré

D'après la formule de Penman utilisée dans les fichiers Agroclim, on a :

$$(1-a) * R_s = (1-a) * R_0 * (0.18 + 0.62 * n/N)$$

d'où

$$0.62 * n/N + 0.18 = (1-a) * R_s / (1-a) * R_0$$

$$n/N = 1/0.62 * (R_s/R_0 - 0.18)$$

$$n/N = 1/0.62 * R_s/R_0 - 0.18/0.62$$

$$H_r = 100 * e / E_s$$

$$e/E_s = H_r/100$$

$$e = H_r/100 * E_s$$

Résumé

Dans un contexte de dérèglement climatique, la gestion de l'eau se révèle être une source de défis accrus. On voit de plus en plus d'inondations en hiver et de sécheresses en été. L'agriculture urbaine pourrait être une des réponses à cet enjeu dans les villes.

En effet, les potagers et les jardins urbains peuvent être employés dans la gestion intégrée des eaux pluviales en retardant l'arrivée des eaux dans les drains, mais ils contribuent aussi à la diminution des îlots de chaleur.

Cependant, l'agriculture urbaine consomme beaucoup d'eau potable, ce qui pourrait présenter un frein à sa participation à la durabilité des villes. De plus, l'eau potable a un coût assez élevé pour la ville et, dans certains cas, pour le porteur de projet et son utilisation est en compétition avec l'industrie et l'emploi domestique. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la question de la gestion de l'eau durant le mois d'août 2019 dans 12 sites d'agriculture urbaine situés dans six villes différentes : Paris, Nantes, Gorzow, Bochum, Londres et New York.

Nous avons étudié des facteurs pouvant être déterminants pour la consommation d'eau dans l'agriculture urbaine et nous avons montré que sur la période considérée, les variables climatiques, microclimatiques, techniques, pédologiques, réglementaires, humaines et financières pouvaient influencer la gestion de l'eau dans l'agriculture urbaine.

Par ailleurs, devant le manque d'études sur le sujet et la variabilité des données sur la consommation d'eau dans les sites d'agriculture urbaine, nous avons établi une estimation théorique du volume d'eau nécessaire à un des sites que nous étudions. Dans notre calcul, nous avons pris en compte le climat, la structure du sol et le besoin des plantes d'un assolement type. Cette estimation a permis de souligner la différence entre le volume d'eau consommé par le site étudié et celui estimé et à partir de cette comparaison, nous avons proposé des pistes d'amélioration pouvant être utilisées par le porteur du projet.

Abstract

In a context of climatic change, water management is proving to be a source of increased challenges. We see more flooding in winter and drought in summer. Urban agriculture could be one of the answers to this issue plaguing our cities.

In fact, garden plots and urban farms can be used in integrated rainwater management by delaying the arrival of water in drains, but also by contributing to the reduction of heat islands. However, urban agriculture uses a lot of drinking water, which could reduce its participation to urban sustainability. In addition, drinking water has a fairly high cost for the city and in some cases the project leader, and is in competition with industrial and domestic uses.

In this work, we focused on the issue of water management during the month of August 2019 in 12 urban agriculture sites located in six different cities : Paris, Nantes, Gorzow, Bochum, London and New York.

We studied factors that could be impacting water consumption in urban agriculture and we showed that, for the considered period, the climatic, microclimatic, technical, pedological, regulatory, human and financial variables could influence the water management in urban agriculture.

In addition, given the lack of studies on the subject and the variability of data on water consumption in urban agriculture, we established a theoretical estimation of the volume of water required at one of the sites we are studying. In our calculation, we took into account the climate, soil structure and needs of the plants of a typical rotation. This estimation made it possible to highlight the difference with the actual volume of water consumed by the studied site, and using this comparison, we suggested ideas for improvement that can be used by the project leaders.