

INNOFARMING – Coursus de formation à l’agriculture urbaine

Module 2

Les aspects techniques de l’agriculture urbaine

Table des matières

Informations générales sur le module	3
Résultats de l'apprentissage	4
Contenu principal et ressources	5
CHAPITRE 1: Les systèmes d'agriculture urbaine (AU) traditionnels	5
1.1. Projets d'AU soutenus par la communauté.....	5
CHAPITRE 2: Systèmes d'agriculture urbaine innovants	11
2.1. L'agriculture sur les toits.....	11
2.2. Aquaponie urbaine	19
2.3. Agriculture verticale.....	25
CHAPITRE 3: Cycles des déchets et de l'eau en contexte urbain	31
3.1. Compostage urbain.....	31
3.2. Cycle de l'eau en contexte urbain	32
Concepts clés et vocabulaire	33
Evaluation	34
Activités / exercices	40
Bibliographie, références et liens pour en savoir plus.....	42

Informations générales sur le module

Module n°2

TITRE: Les aspects techniques de l'agriculture urbaine

Auteurs: Giuseppina Pennisi, Elisa Appolloni, Ivan Paucek, Alessandro Pistillo

Introduction

Ce chapitre présente et illustre diverses typologies d'agriculture urbaine que l'on trouve dans les villes du monde entier. Une distinction est faite entre les systèmes traditionnels et innovants. Parmi les systèmes traditionnels, l'agriculture soutenue par la communauté urbaine est prise comme exemple et décrite plus en détail. Parmi les systèmes innovants, les fermes sur les toits, l'aquaponie urbaine et les fermes verticales sont décrites et détaillées. Chaque système sera analysé en fonction de ses caractéristiques, de son emplacement, de ses fonctions, de ses aspects techniques, de ses défis de développement et de ses besoins d'assistance.

L'objectif du module est de répondre à la question : « Que dois-je prendre en compte, d'un point de vue technique, si je décide de me lancer dans une activité d'agriculture urbaine ? »

Durée: 12 heures – La durée de ce module est de huit heures de cours et de quatre heures de pratique des exercices avec des ressources supplémentaires.

Résultats de l'apprentissage

Après avoir terminé avec succès la deuxième unité d'apprentissage, les participants devraient être capables de...

Connaissances	Compétences techniques	Compétences transversales
• Connaître différentes typologies d'initiatives d'AU orientées business • Connaître les caractéristiques spécifiques de l'Agriculture Soutenue par la Communauté (ASC), de l'agriculture sur toit, de la ferme verticale et de l'aquaponie • En savoir plus sur le cycle et la gestion des déchets dans les contextes urbains • Comprendre le cycle de l'eau dans un contexte urbain et savoir comment l'eau peut être recyclée grâce aux initiatives d'AU	• Être capable d'identifier les principales étapes pour construire un projet d'ASC • Être capable de savoir quels sont les enjeux liés à un site où établir un projet d'ASC en milieu urbain • Être capable de distinguer les fins agricoles d'une ferme sur le toit • Pouvoir choisir un site utilisable pour une ferme sur le toit • Savoir dimensionner un système aquaponique	• Communiquer sur les typologies de l'agriculture urbaine et les avantages et inconvénients associés • Créer une initiative d'agriculture urbaine et la relier à un contexte local • Connaître les problèmes les plus courants lors du développement d'initiatives d'agriculture urbaine et développer la capacité de résolution de problèmes

Contenu principal et ressources

CHAPITRE 1: Les systèmes d'agriculture urbaine (AU) traditionnels

L'agriculture peut revêtir plusieurs formes dans des contextes urbains, contribuant à la sécurité alimentaire et à la durabilité de l'environnement urbain (Taylor and Taylor Lovell, 2014). Les jardins familiaux et les jardins communautaires sont les formes les plus anciennes et les plus connues des systèmes agricoles urbains traditionnels. La première typologie est principalement consacrée à l'autoproduction, la seconde à l'engagement social et à la construction communautaire (Orsini et al., 2020a). D'autre part, l'agriculture urbaine soutenue par la communauté (ASC) est principalement consacrée à la création d'entreprises et de revenus. Dans cette section, nous avons décidé de décrire plus en détail l'ASC urbaine, en tant que typologie d'AU orientée vers un projet entrepreneurial. Néanmoins, dans la section Ressources utiles pour la leçon, à la fin du module, plusieurs ressources externes principalement liées à l'aménagement et à la gestion des jardins familiaux sont rapportées.

1.1. Projets d'AU soutenus par la communauté

Le concept derrière l'agriculture soutenue par la communauté (ASC) est de trouver un moyen de soutenir l'agriculture et les agriculteurs en s'assurant qu'un agriculteur (ou un groupe d'agriculteurs) a un marché pour ses récoltes. L'idée principale est qu'un groupe de consommateurs se réunisse avec des agriculteurs de leur voisinage. Ensemble, ils partagent les coûts de la saison agricole, y compris le loyer des terres, les semences, les outils et les salaires des agriculteurs. Et puis, ils partagent les produits de la ferme. Différentes typologies d'ASC urbaines ou périurbaines peuvent exister, chacune caractérisée par des caractéristiques et une gestion différentes.

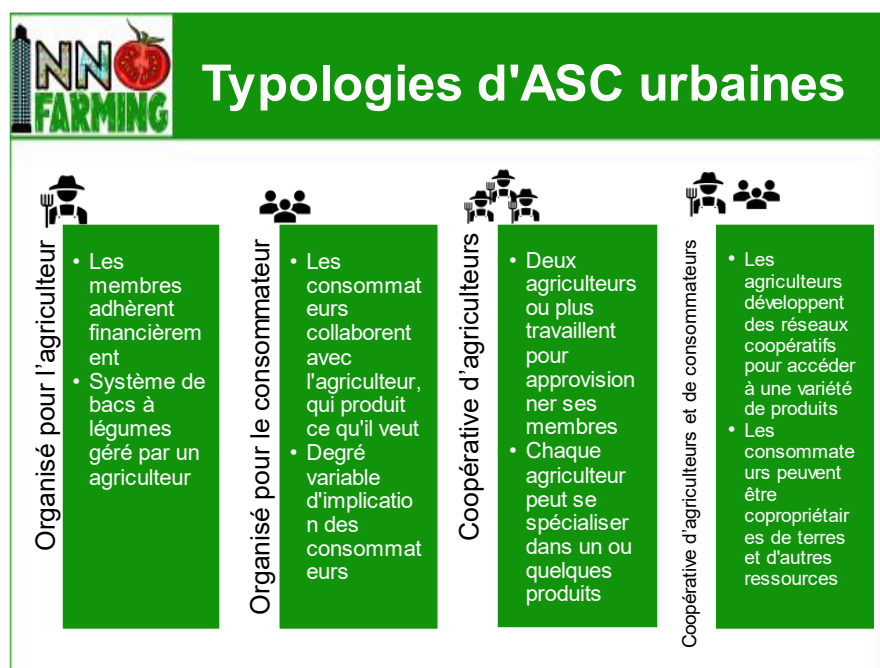


Figure 1. Les typologies des projets d'ASC urbaines (modifié par Pilley, 2001).

Un projet d'ASC bien conçu dans une communauté urbaine ou périurbaine peut produire de la nourriture, mais peut également servir de moteur économique fournissant des emplois à un agriculteur et à d'autres membres du personnel. Bien que le développement et les caractéristiques de chaque ASC soient déterminés par l'emplacement, les circonstances et la communauté, il existe certaines étapes fondamentales que toute personne souhaitant entreprendre cette activité doit prendre en compte.

Dans les sections suivantes, nous donnerons une description plus détaillée des étapes que nous considérons comme fondamentales.

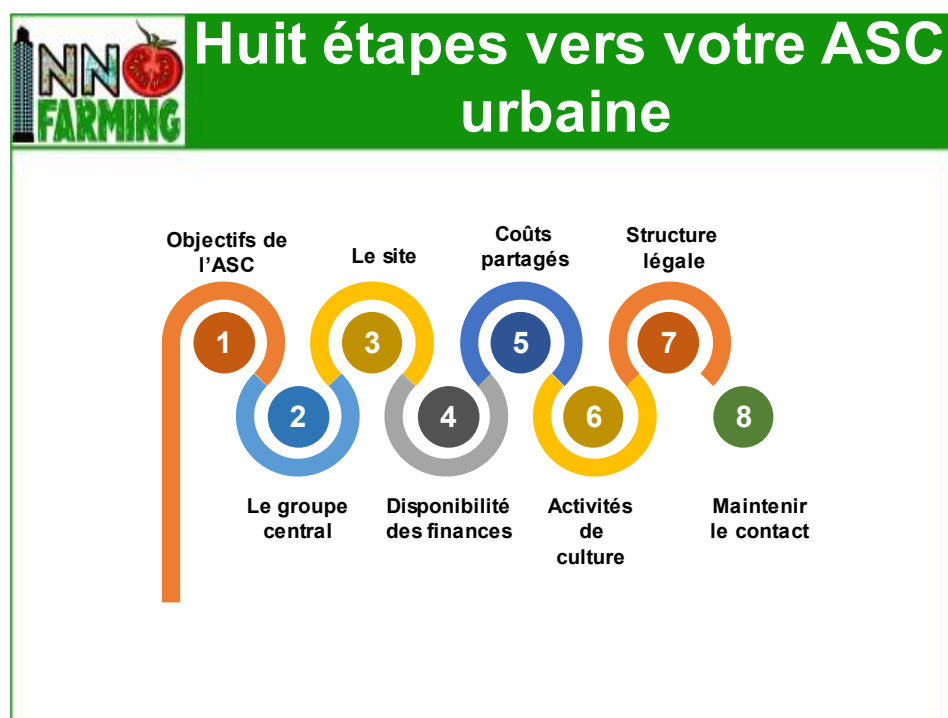


Figure 2. Huit étapes à considérer pour l'établissement d'un projet d'ASC en milieu urbain.

Les personnes.

Afin de développer un projet d'ASC en milieu urbain, il est nécessaire de créer deux groupes de personnes au-delà des agriculteurs.

Le premier est composé des consommateurs, membres qui lient le projet et perpétuent l'engagement dans la durée. Normalement, ils sont guidés par différentes raisons : manger mieux, s'inscrire dans un mouvement de culture locale, aider l'environnement, soutenir les producteurs. Ce groupe de personnes peut être trouvé en utilisant plusieurs stratégies : publier le projet d'ASC urbain dans le journal local, ou préparer une brochure, faire une présentation à des organisations civiques ou communautaires, parler à la radio locale.

Le second est le groupe central qui sera responsable de toutes les activités de gestion de l'ASC au-delà de la culture, par exemple, le recrutement des membres, la communication, la distribution de nourriture, les finances, l'organisation d'événements. Les agriculteurs peuvent faire partie du groupe central, mais sinon, le groupe central est le lien entre les agriculteurs et les consommateurs. Habituellement, le noyau dur est composé de membres du projet appartenant au premier groupe élus par une assemblée générale.

Le site.

Pour une gestion plus facile d'un projet d'ASC urbain, au début de l'activité, environ 0,5 ha de terrain pour 30 abonnements sont nécessaires, mais cela peut aussi dépendre des cultures pratiquées (par exemple, plus de terrain est nécessaire pour cultiver des courges ou des pommes de terre ou des arbres fruitiers). De plus, si une serre est disponible, moins de terre est nécessaire car les agriculteurs pourront avoir des plantations successives au cours de l'année. Mais faites attention, car si vous devez construire une serre, cela vous prendra beaucoup de temps et (dans certains cas) d'argent et, dans un contexte urbain, des permis de construire peuvent être nécessaires (Schenk and Hotchkiss, 2014).

De plus, lorsque la récolte des produits commencera, un endroit pour stocker et distribuer les marchandises sera nécessaire. En fonction de l'espace disponible, le temps de distribution peut être organisé de différentes manières. Si l'espace est petit, organisez des heures de ramassage échelonnées. Si vous n'avez pas assez de personnel, organisez l'espace afin de permettre aux gens d'entrer et de sélectionner leurs produits en toute autonomie. Enfin, si vous disposez d'un petit espace mais que plusieurs membres du personnel sont disponibles, organisez les cartons de produits pour que les gens puissent récupérer rapidement les cartons.

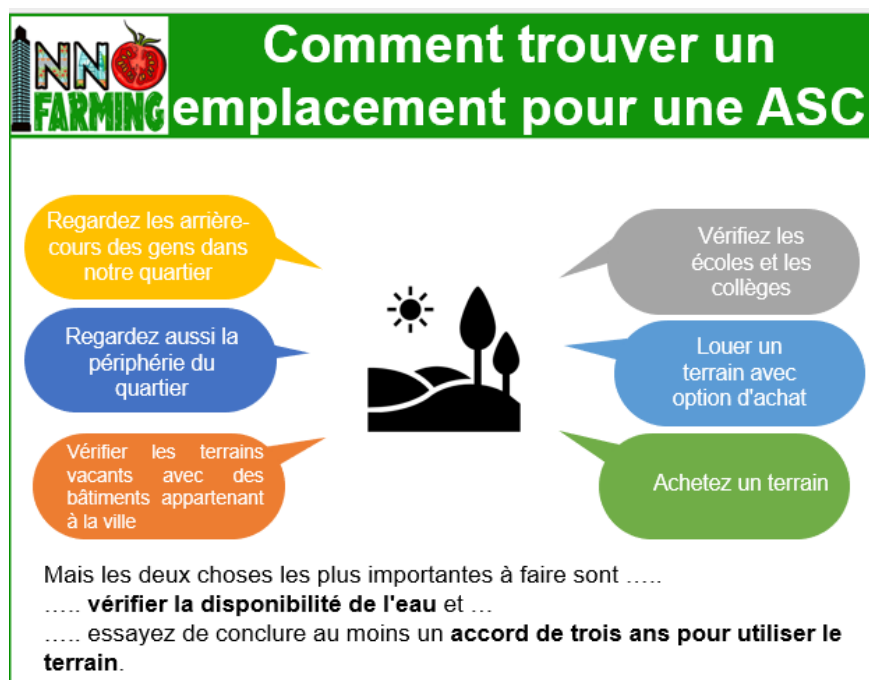


Figure 3. Démarches pour trouver un site pour un projet ASC en milieu urbain.

A la fin, le bon site sera trouvé et l'activité d'ASC pourra démarrer. Mais, il y a encore quelques défis liés au site qui devraient être considérés.

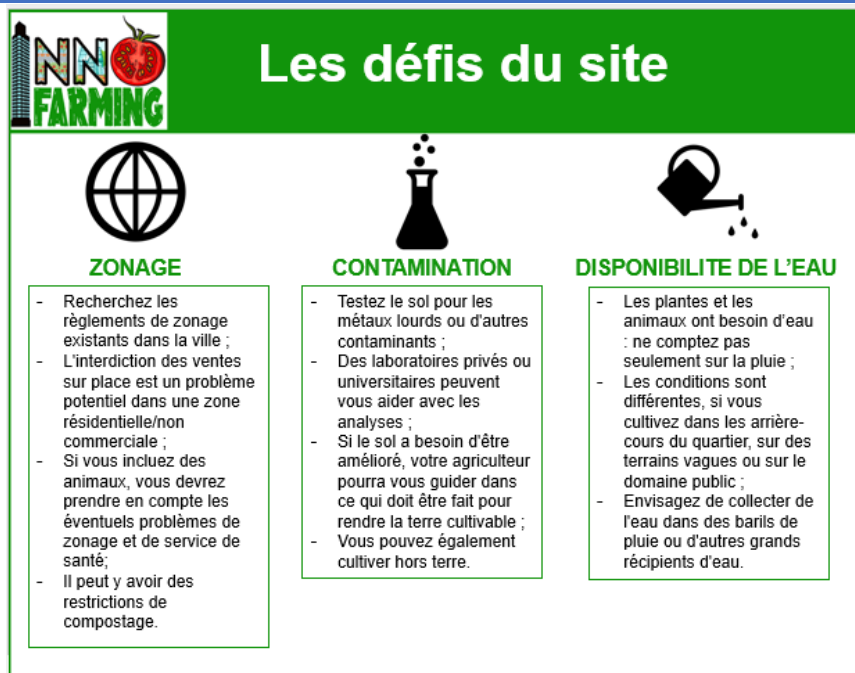


Figure 4. Autres enjeux liés au site pour un CSA urbain.

Etablir le montant de la redevance et les prix

Dans un projet d'ASC urbain, chaque membre reçoit une part de la production totale, mais il est fondamental d'essayer de quantifier et de tarifier la part. Le coût d'une part doit refléter les coûts de production totaux et tenir compte également d'un salaire pour l'agriculteur ou le producteur. Habituellement, il existe deux façons de définir le prix de l'action. La première consiste à considérer ce qu'un citoyen dépense normalement en produits frais chaque semaine et à fournir l'équivalent en produits ASC aux prix du marché.

La seconde, plus sophistiquée, consiste à préparer un devis budgétaire en début de saison, et à fixer un prix sur la base du nombre d'adhérents et sur les coûts à affronter au cours de la saison. Le budget doit tenir compte des dépenses, y compris les semences, l'équipement, les salaires du personnel (au moins un agriculteur, et éventuellement des agriculteurs adjoints et un directeur de ferme ou un coordinateur CSA), les coûts des terres, les coûts de l'eau et d'autres dépenses (par ex. impôts). En conséquence, à la fin de la saison, les déficits peuvent être facturés ou les fonds restants peuvent être restitués ou conservés pour la saison suivante.

L'économie d'échelle doit également être prise en compte : avec l'augmentation du nombre de membres, les coûts fixes sont répartis entre davantage de personnes. Ainsi, il est logique de fixer le cours de l'action en tenant compte d'une rentabilité compte tenu du nombre de membres le plus bas que l'ASC est susceptible d'atteindre. Et puis baisser le prix, si plus de personnes adhèrent au projet.

Dans un projet d'ASC en milieu urbain, les coûts d'exploitation peuvent être abaissés en impliquant les membres dans les activités de travail. Dans ce cas, il faut évaluer combien d'heures de travail sont nécessaires pour chaque action. Le travail peut être directement lié à l'agriculture, aux activités de compostage ou aux activités liées à la gestion de l'aspect commercial de l'ASC. Dans ce cas, en fixant le prix d'une heure de travail, connaissant le

nombre d'heures de travail « contenues » dans la part, les gens peuvent payer à la place du travail.

Activités agricoles.

Une bonne organisation et planification sont fondamentales pour le succès des activités et de l'entreprise. La quantification de la production pour couvrir les besoins des membres dépend de plusieurs facteurs :

1. le nombre de membres du projet d'ASC en milieu urbain, qui permet de définir la taille de la part ;
2. le produit de variété que l'ASC veut offrir ;
3. l'importance de certains produits par rapport à d'autres (par exemple, tomates vs céleri) ;
4. les mauvaises récoltes.

Les activités agricoles peuvent être gérées en utilisant un logiciel spécifique disponible en ligne, ou en créant une sorte de carte des cultures indiquant ce qui est semé, quand il est transplanté, la durée du cycle de culture, quand il est récolté, ce qui est planté et ce qui est récolté dans chaque semaine de la saison, avec des rendements estimés pour chaque culture.

Certaines publications suggèrent que vingt types différents de légumes et de légumes verts, avec plusieurs variétés de certaines cultures comme les tomates et la laitue, constituent un bon point de départ pour une ASC de taille moyenne. Au départ, choisir des espèces qui s'adaptent bien au climat est un choix optimal et moins risqué. Un choix intéressant pourrait être d'établir certaines cultures pérennes (par exemple, les asperges ou les baies) dès le début.

Certaines cultures peuvent être cultivées directement à partir de graines, mais pour de nombreux autres types de produits, vous planterez des semis démarrés à l'intérieur ou dans des châssis froids, des cerceaux ou un autre espace protégé. En conséquence, il pourrait être très utile de trouver un espace que vous pouvez utiliser pour cette opération au cours de l'année.

Dans un ASC, la nourriture doit être fournie aux gens tout au long de la saison (la durée dépend principalement des conditions météorologiques et de la disponibilité d'une serre), la planification est donc essentielle. Pour satisfaire les besoins des membres, des plantations successives pour plusieurs cultures (par exemple, laitue et autres légumes verts, légumes-racines et haricots) doivent être planifiées. Dans ce cas, faire un programme de plantation est très important.

Les principales activités pour démarrer et gérer la production dans un projet d'ASC en milieu urbain sont :

1. Préparation du sol/Fertilité : dans cette phase, l'analyse du sol est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques et chimiques du substrat de culture.
2. Compostage : les règles autorisées dans votre ville doivent être vérifiées.

3. Préparation du substrat : en milieu urbain, si vous travaillez sur le site d'un ancien bâtiment industriel ou public, vous pourriez envisager des plates-bandes surélevées, car le sol sur place pourrait être contaminé.
4. Pépinière : si vous avez une serre, vous pouvez y dédier une place ; d'autres options pour démarrer les semences à l'avance incluent des châssis froids simplement construits.
5. Lutte contre les parasites : recherchez les cultures que vous devriez cultiver ensemble pour éloigner certains insectes (plantation d'accompagnement) et envisagez la rotation des cultures et les habitats des insectes (auxiliaires et parasites) lorsque vous faites vos plans de plantation.
6. Irrigation : le système d'irrigation doit être automatisé et basé sur les caractéristiques du sol, les conditions climatiques et le taux de transpiration des cultures.
7. Récolte.

Distribution des produits.

La solution la plus simple est d'avoir un lieu dédié à la distribution (avec une chambre froide) où se déroule la culture afin que les produits ne doivent pas bouger. Deux options sont les plus courantes :

1. Parts en box : l'avantage est que chaque membre avait la même part, et c'est un gain de temps pour les membres qui n'ont qu'à récupérer leur box et partir. D'un autre côté, les membres n'ont pas le choix, et la phase de « packaging » est chronophage.
2. Emballez vous-même : les membres peuvent choisir vos produits et se rencontrer, aucun temps n'est perdu par les travailleurs pour emballer les produits ; d'un autre côté, il faut plus d'espace et il faut plus de temps pour qu'un membre vienne emballer une part que de simplement ramasser une boîte.

ASC urbaine : un exemple de Bologne (Italie)

Un exemple intéressant d'ASC périurbaine est Arvaia, situé à Bologne, en Italie. Arvaia est née en 2013, cultivant des légumes sur 3 ha de terrain. En 2015, Arvaia a remporté l'appel d'offres de la municipalité de Bologne qui a attribué l'ensemble du domaine, d'environ 47 ha, pour la gestion avec un contrat de 25 ans. En payant le loyer à la Commune, Arvaia a commencé à cultiver des légumineuses et des céréales en 2016 et a planté début 2017 le premier noyau du futur verger, qui fournira également des fruits à ses membres pendant environ six mois par an.



Figure 5. Photos de l'ASC d'Arvaia..

Arvaia cultive de manière biologique, en pratiquant une agriculture sans produits chimiques, durable pour la terre, à forte intensité de travail et non de capital et avec un faible impact sur la terre. Elle produit des légumes et des fruits de saison, sans emballage ni étapes intermédiaires, les fournissant directement aux membres qui contribuent de différentes manières à leur production. Elle garantit un revenu à ceux qui travaillent et une alimentation saine accessible à tous grâce au mécanisme de solidarité de la communauté qui soutient l'agriculture.

Aujourd'hui, Arvaia compte 476 membres et cultive 75 variétés, parmi les légumes, les fruits et les céréales. Le prix des légumes est d'environ 750€ par an par "portion". La portion est distribuée pendant 50 semaines par an et se compose d'environ 7 kg de légumes par semaine.

CHAPITRE 2: Systèmes d'agriculture urbaine innovants

De nouvelles technologies ont été développées afin de remédier à la faible fertilité des sols et/ou de la disponibilité en eau, d'optimiser la culture dans des espaces limités et de minimiser l'impact de la production horticole sur l'environnement et la santé humaine. De telles technologies se sont avérées efficaces pour répondre à ces contraintes, mais doivent être intégrées dans les systèmes agricoles et alimentaires locaux. Pour avoir une chance d'être adoptés, ils doivent être associés au transfert de connaissances et à l'assistance technique. Certains d'entre eux utilisent des substrats naturels et divers types de compost, d'autres se réfèrent à des systèmes hors sol simplifiés. Ces systèmes de culture très intensifs trouvent leur application dans les zones urbaines et périurbaines où l'espace de culture est très rare et son utilisation très compétitive. Dans les sections suivantes, les systèmes d'AU innovants les plus courants sont décrits.

2.1. L'agriculture sur les toits

L'**agriculture sur les toits** est une forme d'AU innovante basée sur le bâtiment, surmontant le problème de l'espace cultivable limité dans les villes en **exploitant les toits plats de différentes typologies de bâtiments** (par exemple, bureaux, hôpitaux, écoles, supermarchés, hôtels, bâtiments résidentiels, etc.). Les **technologies modernes de toiture** ont d'abord été développées en Allemagne, en Suisse et en Scandinavie, afin d'augmenter l'efficacité environnementale des bâtiments, de réduire le ruissellement des eaux, d'augmenter la **biodiversité urbaine** et de contrebalancer les effets d'îlot de chaleur urbain (**Caputo et al., 2017**). L'**agriculture sur les toits** peut être développée à la fois dans des conditions protégées (*serres sur les toits*) et non protégées (*fermes, jardins sur les toits en plein air*) en appliquant des technologies agricoles avancées ou domestiques, en poussant sur le sol (par exemple, des conteneurs remplis de terre, de la terre directement appliquée sur le toit surface) ou en utilisant des systèmes de culture hors sol (ex. : culture hydroponique, aquaponie) (**Appolloni et al., 2020**).

La réalisation d'une **ferme** ou d'un **jardin sur le toit** doit commencer par la **définition du projet**, en tenant compte des objectifs agricoles, des caractéristiques du site, de la typologie du jardin, des personnes impliquées et de la disponibilité des ressources. La phase de définition sera fondamentale afin d'avoir une idée claire sur les **défis** qui peuvent être rencontrés tout au long de la réalisation et de l'exploitation du projet.

Objectifs agricoles

La définition d'objectifs ou de finalités agricoles est la première étape à franchir lors du démarrage d'un projet d'agriculture en toiture. En fonction de l'objectif de culture, les expériences de culture sur toit peuvent être classées en cinq catégories différentes : commerciale, sociale, d'image, d'innovation ou de qualité de vie urbaine. (Thomaier et al., 2015).

 Objectifs de l'agriculture sur les toits	
 Image	Culture à des fins esthétiques et marketing, particulièrement appliquée aux hôtels, restaurants et cafétérias traitant la production.
 Qualité de vie urbaine	Projets d'amélioration de la qualité de vie des citoyens et des employés, offrant un espace vert où produire sa propre nourriture et se recréer. Ce type de projet est souvent appliqué sur des bâtiments résidentiels ou des bureaux.
 Commercial	Production alimentaire à but lucratif, souvent réalisée par des start-ups ou des entreprises agricoles.
 Social et éducatif	Projets visant à enseigner des valeurs sociales et écologiques, souvent appliqués dans des écoles ou des institutions à but non lucratif.
 Innovation	Culture à des fins de recherche et d'innovation, souvent appliquée dans les universités ou les centres de recherche.

Figure 6. Liste des objectifs de l'agriculture sur les toits.

L'objectif du projet affectera inévitablement le choix des techniques et des technologies et l'approche de conception de la ferme sur le toit. Sanyè-Mengual et al. (2015), dans une étude portant sur un projet expérimental sur le toit d'un logement social à Bologne (Italie), ont affirmé que, en termes d'impact environnemental, la culture conventionnelle sur sol en conteneurs est plus avantageuse que la culture hydroponique conventionnelle pendant les mois d'hiver. Au contraire, si le but est la maximisation de la productivité, les systèmes hydroponiques peuvent permettre un rendement plus élevé par rapport aux techniques agricoles conventionnelles avec la même zone de culture (Grewal and Grewal, 2012).

Emplacement du projet.

En raison de l'emplacement particulier sur un toit, les caractéristiques du site sont un aspect fondamental à prendre en compte pour le développement d'un projet d'agriculture sur toit efficace. Le choix du site peut influencer la durée (temporaire ou permanente), l'accessibilité des ressources de culture, l'échelle de production et la sécurité des utilisateurs. Par conséquent, les agriculteurs sur les toits doivent considérer plusieurs facteurs avant de mettre en place leur projet, en adaptant éventuellement l'emplacement afin de maintenir les meilleures conditions tout en exerçant l'activité de jardinage (Germain et al., 2008).

L'un des facteurs d'influence les plus importants pour la diffusion de l'agriculture sur les toits est la disponibilité des bâtiments, qui fait référence à la nécessité pour le bâtiment de résister à des charges plus élevées en raison du poids du sol et d'autres équipements. Compte tenu des charges structurelles, une classification commune des toits verts considère trois catégories principales en fonction des profondeurs de substrat, comme indiqué dans le Tableau 1.

Table 1. Principales caractéristiques du substrat des toits verts extensifs, semi-extensifs et intensifs (**Caputo et al., 2017**).

	Extensif	Semi-extensif	Intensif
Profondeur du substrat	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm
Charge structurelle	60-150 kg m ⁻²	120-200 kg m ⁻²	180-500 kg m ⁻²
Coût	bas	périodique	haut

Les charges associées à la profondeur minimale pour la culture en toiture peuvent ne pas constituer un problème majeur si la ferme est intégrée dans un nouveau bâtiment et si les charges sont prises en compte dès le début du processus de conception. Dans les bâtiments existants, ces charges peuvent ne pas être compatibles avec la capacité de charge du toit.

Ceci est également vrai pour les serres sur toit, qui n'ont pas nécessairement un poids important en termes de structure et de revêtement extérieur, en raison de la construction composée d'éléments en aluminium avec une enveloppe de panneaux en polycarbonate. Cependant, selon l'équipement utilisé pour la méthode de culture, la charge totale peut augmenter de manière critique. Comme rapporté par Caputo et al. (2017), un autre facteur clé lors de la planification d'une serre sur le toit est la charge de vent, qui devient plus importante avec la hauteur du bâtiment, nécessitant ainsi une attention particulière à la robustesse de la connexion de la serre à la structure existante du bâtiment et de la serre lui-même. Enfin, une grande attention doit être accordée aux réservoirs d'eau représentant une charge importante sur des parties de la toiture.

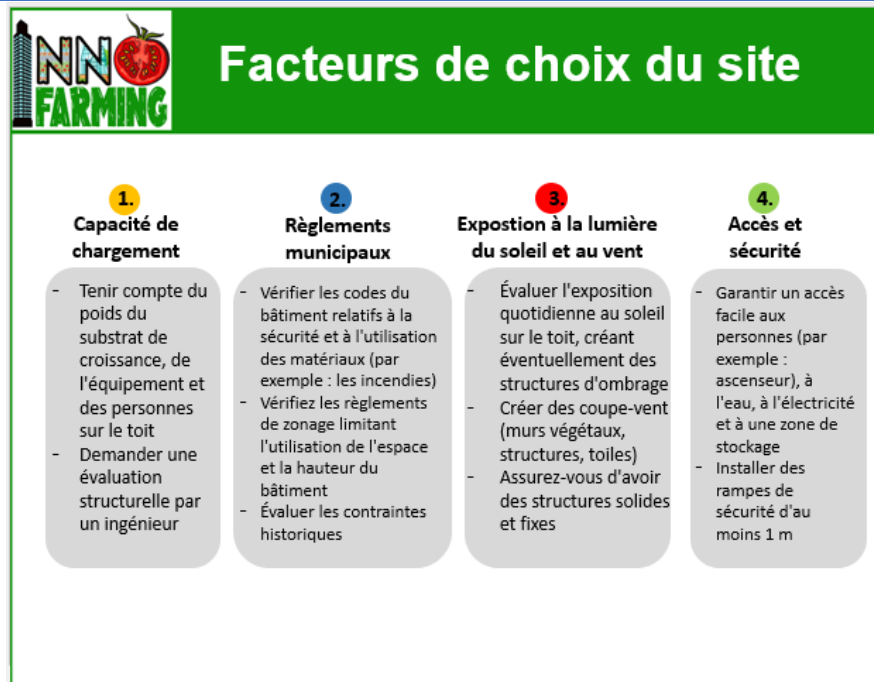


Figure 7. Facteurs à prendre en compte lors du choix d'un terrain agricole pour un jardin sur le toit

S'il n'est pas indépendant, l'accès au toit peut être un problème. Un accord formalisé avec les habitants du bâtiment est nécessaire pour la circulation verticale. Alternativement, des escaliers extérieurs peuvent être construits et ajoutés aux bâtiments existants.

La sécurité est un autre point crucial car dans les bâtiments existants, le toit n'est souvent pas conçu pour accueillir des personnes. Des garde-corps adéquats, s'ils ne sont pas déjà présents, doivent être construits.

Conception et réalisation.

Une fois le projet défini et le site choisi, la réalisation de la ferme/jardin sur le toit peut commencer. Un agriculteur sur le toit peut décider s'il demande de l'aide pour la conception du projet, en embauchant un professionnel expert tel qu'un architecte paysagiste. Cependant, la réalisation du projet peut également être réalisée de manière indépendante. Dans ce cas, 3 étapes fondamentales doivent être envisagées afin d'éviter les erreurs.

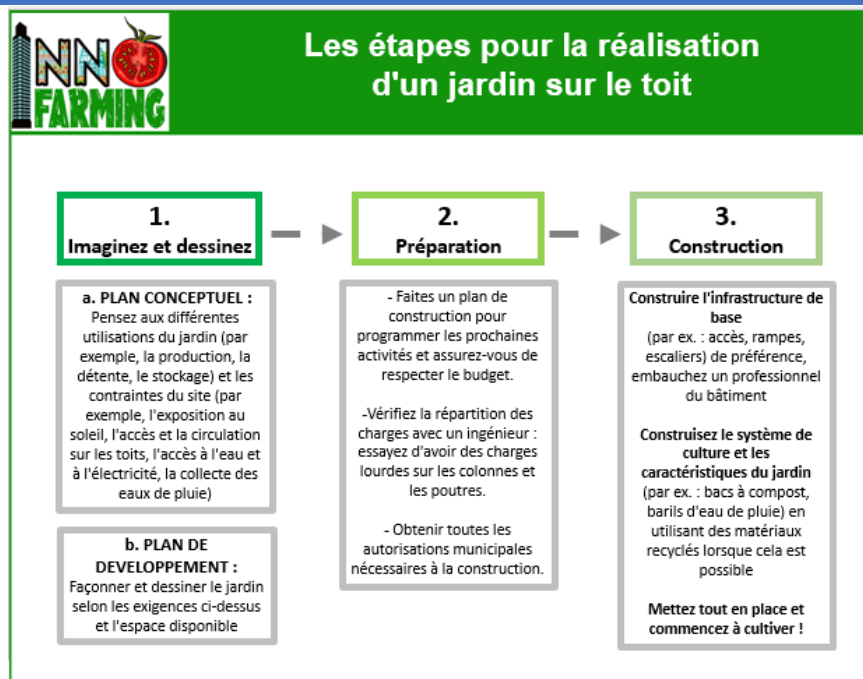


Figure 8. Étapes pour la réalisation de la ferme sur le toit.

Jardins sur les toits de la culture hydroponique simplifiée et basés sur le sol.

Les systèmes couramment utilisés pour la production sur les toits sont les systèmes à base de sol, à base d'eau ou à substrat. Les deux derniers systèmes sont communément appelés systèmes hydroponiques ou cultures hors-sol. Les avantages de la culture hydroponique sur les toits sont (Rodríguez-Delfín et al., 2017):

1. Des emplacements impropres à l'agriculture traditionnelle sont exploités ;
2. Les rendements obtenus avec les systèmes hydroponiques sont généralement plus élevés par rapport à la solution traditionnelle à base de sol (en raison d'une croissance des plantes plus rapide et vigoureuse, ainsi que d'un nombre accru de récoltes par an) ;
3. Faibles consommations d'eau et d'engrais ;
4. Aucune fuite d'engrais ;
5. La culture hydroponique sur les toits peut également être utilisée à des fins sociales pour améliorer les revenus des populations défavorisées afin de générer un travail indépendant dans leurs propres maisons.

Concernant les systèmes de culture à base de sol, ils intègrent généralement des plates-bandes (constituées de terre de champs agricoles, mélangée à de la matière organique et d'autres substrats) et des sentiers pédestres. La profondeur du sol dépendra des limites structurelles du bâtiment, de la capacité de rétention d'eau du sol et des besoins des cultures. Lorsqu'il est saturé d'eau, un mètre cube de sol peut peser jusqu'à 1,6 tonne (Fairholm, 1999), dépassant la capacité de charge du toit. Par conséquent, des substrats légers ou des milieux de culture peuvent être utilisés en alternative au sol. Les supports de culture organiques et autres, tels que la perlite et la pierre ponce, sont généralement utilisés dans des conteneurs.

Concernant les cultures hors-sol, les plus couramment adoptées sont la technique du film nutritif (NFT), ou la culture hydroponique flottante.

De plus amples détails sur les supports de culture et les cultures hors sol pour l'agriculture sur les toits peuvent être trouvés dans Rodríguez-Delfín et al. (2017), Gruda et al. (2013), et Savvas et al. (2013).

Technologie pour une serre sur le toit

Les agriculteurs peuvent décider d'utiliser une serre afin de protéger les cultures contre des conditions hostiles, telles que des températures défavorables, la pluie, le vent, les maladies et les parasites.

Le facteur clé d'une serre est la transmission de la lumière, qui peut dépendre de l'orientation de la serre, de la pente du toit, du matériau de revêtement et des pièces structurales.

Concernant l'orientation des serres, l'orientation est-ouest (E-W) est préférable à l'orientation nord-sud (N-S), selon différentes études menées sur des serres conventionnelles. Compte tenu de la pente du toit, une pente de toit de 30° est un bon compromis entre la transmission lumineuse et les coûts de construction (Montero et al., 2017).

La perte majeure de transmission lumineuse dans une serre est due aux pièces structurales, qui dans les serres sur toit sont plus abondantes, en raison des codes de construction locaux qui sont plus exigeants par rapport aux zones rurales en termes de coefficients de sécurité contre la charge de vent et la charge de neige, combinaison de charge, allocations de déplacement et ainsi de suite.

Concernant les matériaux de revêtement, le Tableau 2 contient les propriétés optiques souhaitées des serres.

Table 2. Principales caractéristiques du substrat des toits verts extensifs, semi-extensifs et intensifs (Montero et al., 2017).

Biens	Comportement optimal
Absorbance	Absorbance minimale au rayonnement solaire
Couleur	Ne doit pas servir de filtre à lumière
Photosensibilité	Résistance aux UV pour éviter la dégradation
Réflexivité	Réflexion minimale au PAR, réflexion maximale de l'IR
Transmission	Transmission maximale au PAR, transmission minimale au FIR
Diffusion solaire	Plus haut possible, sans limiter la transmission PAR

Les serres sur toit ont les mêmes finalités et exigences qu'une serre conventionnelle au sol, mais elles ont aussi des caractéristiques spécifiques, principalement liées aux pièces structurales pour se conformer aux codes de construction du bâtiment, qui sont plus stricts que les codes agricoles. Par exemple, le bâtiment ICTA-ICP de Bellaterra (Espagne) a dû adapter des structures de serre courantes : la structure en acier a été surdimensionnée pour assurer la résistance au vent, et le polycarbonate a été utilisé comme matériau de revêtement, car le polyéthylène à faible densité (LDPE) était interdit. En effet, les matériaux

pour serre sur toit doivent respecter les lois de sécurité incendie et doivent être plus résistants.



Figure 9. Serre sur le toit du bâtiment ICTA-ICP à Bellaterra (Espagne).

Le coût, l'entretien et le poids sont également considérés comme des facteurs limitatifs dans le choix des matériaux. Le polycarbonate et le polyméthacrylate de méthyle (PMM) peuvent être utilisés en panneaux monocouche (transmission lumineuse plus élevée) ou double couche (économie d'énergie thermique élevée).

Des informations générales sur les serres peuvent être trouvées dans Bonnes pratiques agricoles pour les cultures maraîchères en serre.

Gestion durable.

Une fois que le jardin sur le toit est prêt à pousser, l'agriculteur doit commencer à réfléchir à la sélection et à la gestion des plantes. Une gestion durable est un aspect important à considérer en cas de culture sur toit, afin d'éviter les risques pour la santé des personnes vivant à proximité et la concurrence des ressources pour d'autres usages urbains (Orsini et al., 2017).

Concernant les risques pour la santé, l'utilisation de pesticides, d'herbicides et d'engrais chimiques doit être évitée sur un toit, en utilisant des ressources alternatives non nocives pour la santé humaine. Le compost peut être utilisé comme engrais, tandis que l'association de plantes synergiques ou de pesticides naturels pourrait aider à contrôler naturellement le développement des insectes et des maladies. De plus, le compost étant un engrais naturel

obtenu à partir de la décomposition des déchets organiques, son application peut aider à fermer le cycle alimentaire avec des conséquences positives sur l'environnement, ainsi qu'à réduire les coûts de nutrition des plantes. Un substrat de croissance optimal est représenté par un mélange de terre, 50-30% de compost pour la nutrition et 5-10% de perlite pour le drainage.

L'eau est la ressource pour laquelle la concurrence est la plus forte en contexte urbain. L'utilisation de l'eau municipale à des fins agricoles peut déterminer une pression excessive due aux concurrences avec les usages domestiques et les activités industrielles. Pour cette raison, une ferme ou un jardin sur le toit devrait envisager l'intégration d'un système de collecte des eaux de pluie. Cette source d'approvisionnement est l'option la plus évidente pour l'irrigation des plantes, ayant une température naturellement chaude qui ne choquera pas les plantes et étant exempte de chlore qui peut limiter la croissance des plantes. Cependant, l'eau de pluie doit être collectée et stockée correctement, en évitant l'entrée des moustiques et la formation d'algues en utilisant des filets et des barils sombres.

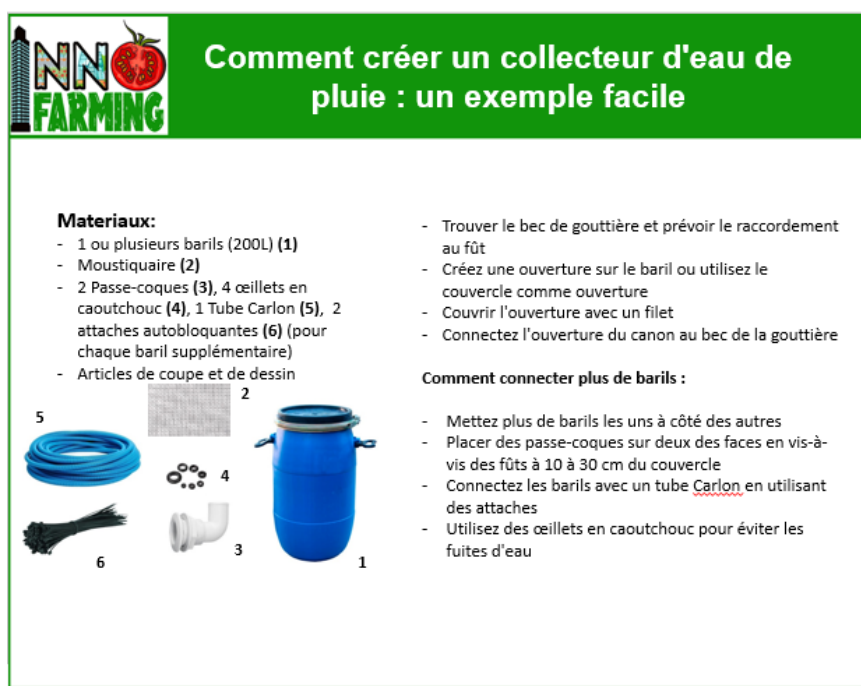


Figure 10. Étapes pour la réalisation d'un collecteur d'eau de pluie.

Brooklyn Grange: la ferme sur les toits la plus célèbre du cœur de New York

Brooklyn Grange est une ferme urbaine commerciale. À ce jour, l'entreprise exploite trois toits à New York. La ferme de Long Island City Farm d'un acre (43000 m²) a été construite en 2010 et se compose d'environ 540 tonnes de sol sur 43 000 m² de lits de culture cultivés. La ferme Navy Yard, construite en 2012, comprend 1360 tonnes de terre au sommet d'un bâtiment de 65000 m². La ferme Sunset Park, achevée en 2019, fait 140000 m² au total, dont une serre de 4800 m².

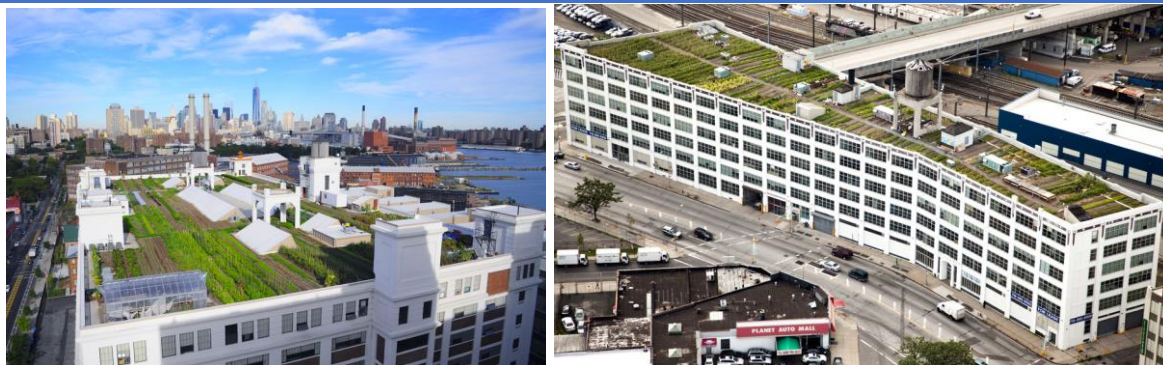


Figure 11. Fermes sur les toits de Brooklyn Grange (Source de la photo: <https://www.brooklyngrangefarm.com/about-brooklyn-grange-1>)

Brooklyn Grange est la plus grande ferme sur les toits du monde et produit 45 tonnes de légumes biologiques par an. La ferme vend les produits directement à la communauté sur cinq marchés hebdomadaires ainsi que dans plusieurs restaurants et magasins de détail locaux. Pendant l'été, le projet propose également un programme d'ASC florissant à travers la distribution d'actions.

Pour obtenir des informations techniques sur l'agriculture sur les toits : télécharger [Rooftop Agriculture](#) ou lire [Rooftop Urban Agriculture](#)

2.2. Aquaponie urbaine

L'aquaponie est un système de production alimentaire bio-intégré, résultant de la combinaison entre l'activité piscicole (aquaculture) et le système de production de plantes hors-sol (hydroponie) (Palm et al., 2018).

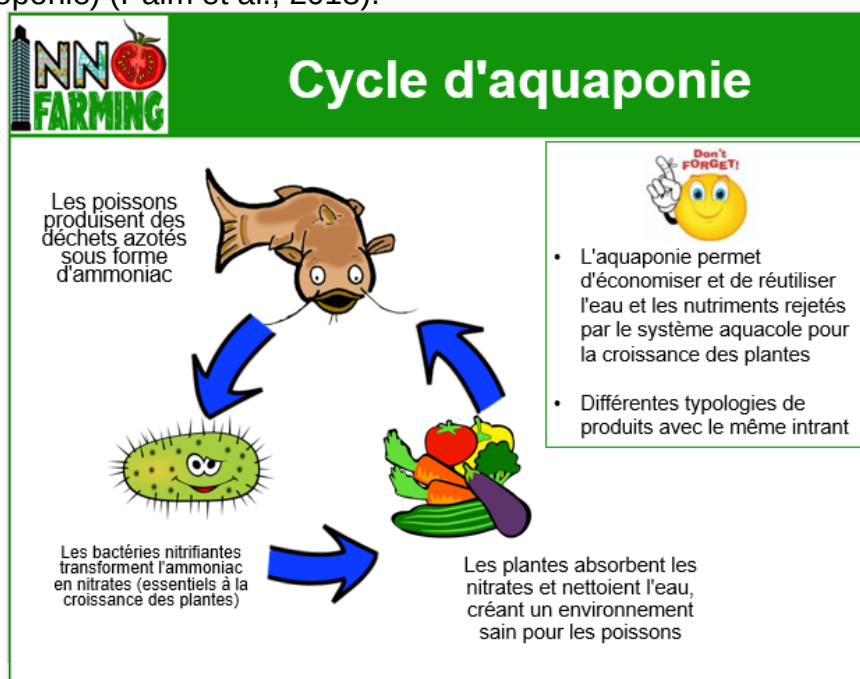


Figure 12. Fermer le cycle de l'eau et des nutriments avec l'aquaponie.

Le système.

Un système aquaponique est composé de :

1. Bac à poissons : les réservoirs pour élever et nourrir les poissons ; le dimensionnement dépend de la densité et de la biomasse des poissons visés ; une forme ronde à fond plat est recommandée pour la circulation de l'eau et les mouvements de déchets solides ; plastique (par exemple, le polyéthylène basse densité) ou le matériau en fibre de verre est recommandé en raison de leur durabilité et de leur longue durée de vie ; les bacs blancs sont conseillés pour une meilleure visualisation des poissons afin de contrôler facilement le comportement et la quantité de déchets déposés au fond du bac, et aussi pour garder l'eau fraîche ; le réservoir doit être couvert pour éviter les pertes accidentelles.
2. Filtre mécanique : unité de capture des aliments non consommés et des biofilms détachés, et de décantation des particules fines ; dans les systèmes avec une densité de stockage inférieure ($<10 \text{ kg/m}^3$) les dispositifs basés sur la sédimentation pour l'élimination des particules (pour la taille des particules $\geq 100 \text{ mm}$), tandis que les systèmes avec une densité de stockage plus élevée ($>10 \text{ kg/m}^3$) peuvent nécessiter des filtres à tambour rotatifs (pour la taille des particules $\geq 30 \text{ mm}$) et des fractionneurs de mousse (for particle size $\leq 30 \text{ mm}$).
3. Biofiltre : un endroit où les bactéries nitrifiantes peuvent se développer et transformer l'ammoniac en nitrates ; si les plantes sont cultivées dans un substrat de culture (un substrat est donc utilisé) et que la densité de peuplement est faible, un biofiltre n'est pas nécessaire ; dans toutes les autres conditions possibles, le biofiltre le plus utilisé est le réacteur à biofiltre à lit movable (MBBR), composé de petites structures en plastique à haute surface spécifique, maintenues en mouvement constant et constamment aérées (par exemple, Bioballs®).
4. Sous-système hydroponique : la partie du système où les plantes sont cultivées ; généralement, il s'agit d'un lit rempli de plusieurs substrats ou de systèmes hydroponiques (par exemple, la technique du film nutritif ou la culture en eau profonde).
5. Puisard : point le plus bas du système où s'écoule l'eau d'où elle est pompée vers les bassins d'élevage.

Commencer à concevoir un système aquaponique

La conception d'un nouveau système aquaponique doit être basée sur vos objectifs et vos exigences et doit prendre en compte :

1. le but du système (par exemple, entreprise, autoproduction, éducatif, esthétique) ;
2. le site et l'espace disponible (par exemple, pour un système commercial, au moins $1'000 \text{ m}^2$ sont nécessaires) ;
3. l'emplacement (par exemple, si le système est situé à l'intérieur, l'éclairage sera nécessaire, si le système est installé à l'extérieur, le chauffage est nécessaire, mais les coûts de construction seront probablement inférieurs) ;
4. la gestion du système (par exemple, l'automatisation est coûteuse, mais le travail manuel prend du temps) ;

La conception et la construction d'un système aquaponique suivent une série d'étapes séquentielles : étude de faisabilité et sélection du site, conception de base, conception détaillée, préparation du chantier et construction.

Etude de faisabilité : localisation et infrastructure.

Les besoins de base requis sur le site pour héberger un système aquaponique sont :

1. stabilité du site ; en raison du poids de l'eau, la capacité de charge du sol doit être vérifiée ;
2. contrôle des conditions climatiques ; pendant les périodes de basse température et de jour court, l'arrêt de la production est une option, afin de recommencer au printemps ; l'autre possibilité est de chauffer l'eau et l'air et de fournir un éclairage artificiel (mais attention aux coûts). D'autre part, les températures extrêmement élevées doivent être évitées pendant l'été. Il est possible d'installer des filets d'ombrage, ou en cas de production sous serre, peindre l'extérieur de la serre avec de la peinture blanche ;
3. services publics ; des prises électriques pour les pompes, des générateurs d'oxygène (ou d'air) et une source d'eau pour les changements d'eau ou pour le nettoyage des filtres sont nécessaires. Il est également important de considérer où les effluents doivent aller.
4. accessibilité ; l'emplacement doit être accessible pour déplacer des matériaux, des plantes récoltées, des poissons et en cas d'urgence ; d'autre part, il doit être protégé par des personnes non autorisées en raison du risque d'infections et de maladies.
5. espaces de travail ; dans cette phase d'étude de faisabilité, des lieux de stockage de la nourriture pour poissons, du matériel et des outils de nettoyage, des équipements de surveillance et des vêtements de travail doivent être envisagés.

L'équilibrage du système aquaponique

Un système aquaponique est le résultat d'un équilibre entre les plantes, les poissons et les bactéries (Sallenave, 2016). Les poissons doivent fournir des nutriments adéquats pour les plantes et les plantes doivent filtrer l'eau pour la pêche. Le biofiltre doit être suffisamment grand pour traiter tous les déchets de poisson, et un volume d'eau suffisant est nécessaire pour faire circuler ce système.

Tout d'abord, il est fondamental de dire que les poissons, les plantes et les bactéries ont différentes plages optimales de paramètres physico-chimiques de l'eau :

1. Poisson d'eau chaude: 22-32°C, pH = 6-8.5, 4-6 mg L-1 DO (oxygène dissous)
2. Poisson d'eau froide : 10-18°C, pH = 6-8.5, 6-8 mg L-1 DO
3. Plantes: 16-30°C, pH = 5.5-6.5, ≥ 3 mg L-1 DO
4. Bactéries: 14-34°C, pH = 6-8.5, 4-8 mg L-1 DO

Habituellement, l'utilisation du taux d'alimentation est le moyen le plus efficace d'équilibrer un système aquaponique. Le ratio évalue la quantité d'aliments pour poissons à ajouter chaque jour au système, en tenant compte de la surface disponible pour la croissance des plantes. Elle évolue en fonction du type de plantes cultivées (40-50 g m² jour-1 or 50-80 g m² jour-1, respectivement par légumes à feuilles de légumes fruités), et du type d'aliment utilisé.

La première étape consiste à calculer combien de plantes sont souhaitées (en considérant qu'en général la densité de plantation est de 20-25 plantes m⁻² pour les légumes-feuilles et

de 4-8 plantes m⁻² pour les légumes fruités), et par conséquent la surface de culture nécessaire.

Une fois la zone de croissance connue, il est possible de calculer la quantité d'aliments pour poissons qui peut être ajoutée au système chaque jour et, par conséquent, la biomasse de poissons nécessaire pour manger ces aliments pour poissons, étant donné que les poissons de différentes tailles ont des besoins alimentaires et des régimes différents (ce qui signifie que de nombreux petits poissons mangent autant que quelques gros poissons), mais en moyenne, les poissons consomment 1 à 2 % de leur poids corporel par jour pendant la phase de croissance. Pour finaliser le système, il faut ajouter que la densité maximale d'empoissonnement recommandée est de 20 kg de poissons pour 1000 L d'eau (aquarium).

Enfin, le volume du biofiltre doit également être calculé en tenant compte de la quantité d'aliments entrant dans le système quotidiennement et en considérant un volume minimum de 0,5 L par gramme d'aliments quotidiens.

Un exemple de calculs pour équilibrer le système aquaponique est rapporté dans la Figure 13.



Exemple de calculs pour équilibrer le système

- Un système de 100 m² est disponible pour la culture de légumes à feuilles, ce qui donne 2'500 plantes dans le système.
- En considérant le ratio du taux d'alimentation pour les légumes à feuilles :

$$100 \text{ m}^2 \cdot \frac{50 \text{ grammes d'aliment/jour}}{1 \text{ m}^2} = 500 \text{ grammes d'aliment/jour}$$
- Les poissons (biomasse) d'un système mangent 1 à 2 % de leur poids corporel par jour, donc :

$$5000 \text{ grammes d'aliment/jour} \cdot \frac{100 \text{ grammes de poissons}}{1 - 2 \text{ grammes d'aliment/jour}} = 250 - 500 \text{ kg f de poissons biomasse}$$
- Si l'on considère une densité d'empoissonnement de 20 kg m⁻², 13-25 réservoirs à poissons de 1'000 L seront nécessaires pour équilibrer le système (ou 4-8 réservoirs de 3'000 L).
- Enfin, considérant que la quantité quotidienne d'aliments entrant dans le système est de 5'000 grammes, un biofiltre de 2'500 L devrait être ajouté au système..

Figure 13. Exemple de calculs pour équilibrer un système aquaponique en fonction du taux d'alimentation.

Les pratiques du management

Afin de bien gérer le système aquaponique, certaines activités doivent être effectuées sur une base quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle (Somerville et al., 2014; Junge et al., 2020).

Activités quotidiennes.

1. Nourrissez les poissons (1 à 2 fois par jour si possible), vérifiez la quantité de nourriture consommée et, si nécessaire, ajustez les taux d'alimentation.

2. Chaque fois que vous pêchez l'aliment, vérifiez le comportement et l'apparence du poisson et retirez les poissons morts, en prenant soin de noter tout commentaire important.
3. Vérifiez que l'eau coule.
4. Vérifiez le niveau d'eau et ajoutez de l'eau supplémentaire pour compenser l'évaporation, si nécessaire.
5. Vérifiez la température de l'eau.
6. Vérifiez que les pompes à eau et à air fonctionnent bien et nettoyez leurs entrées de toute obstruction.
7. Vérifiez l'aquarium : aucune boue ne doit y être présente.
8. Vérifiez les fuites.
9. Vérifier l'aération du biofiltre et couvrir le biofiltre pour le protéger de la lumière (prévention de la prolifération des algues).
10. Vérifiez les plantes pour les parasites et gérez les parasites, si nécessaire. Enlevez les feuilles présentant des signes de maladie ou d'infestation de ravageurs.

Activités hebdomadaires.

1. Effectuez des tests de qualité de l'eau pour déterminer la température, le pH, l'ammoniac, les nitrites et les nitrates avant de nourrir les poissons. Si les niveaux dépassent les valeurs seuils, prenez les mesures appropriées :
Si NH_4^+ ou NO_2 sont trop élevés, arrêter/réduire l'alimentation
Si O_2 est trop bas, ou NH_3 ou la température est trop élevée, augmenter l'aération et réduire la température à l'aide d'un échangeur de chaleur à plaques.
2. Ajuster le pH, autant que nécessaire
3. Vérifiez les plantes à la recherche de carences
4. Éliminez les déchets de poisson du fond des aquariums et dans le biofiltre.
5. Retirez les boues du débourbeur. Il ne doit pas y avoir de boue dans les tuyaux.
6. Plantez et récoltez les légumes, au besoin.
7. Récoltez du poisson, si nécessaire. Vérifiez que les racines des plantes n'obstruent pas les tuyaux ou l'écoulement de l'eau.

Activités mensuelles.

1. Stockez de nouveaux poissons dans les réservoirs, si nécessaire.
2. Nettoyez le biofiltre, le clarificateur et tous les filtres.
3. Nettoyez le fond de l'aquarium à l'aide d'épuisettes.
4. Pesez un échantillon de poisson, ajustez la quantité d'aliments en fonction du taux d'alimentation adapté à la taille du poisson et vérifiez soigneusement toute maladie.

Plantes et poissons adaptés à l'aquaponie

Les poissons et les plantes cultivés dans un système aquaponique devraient avoir des besoins similaires en termes de température et de pH.

Les poissons généralement élevés en aquaponie sont :

1. tilapia ;
2. carpe ;

3. poisson-chat ;
4. bord bleus ;
5. poisson lune ;
6. crappie ;
7. carpes koi ;
8. poisson rouge ;
9. pacu ;
10. divers poissons d'ornement tels que les poissons-anges, les guppys, les tétras, les espadons, les mollies.

Les plantes qui peuvent être facilement cultivées dans une unité aquaponique sont :

1. légumes-feuilles (par exemple : laitue, pak choi, chou frisé, bette à carde, roquette) ;
2. herbes (par exemple : basilic, menthe, ciboulette) ;
3. légumes fruités (par exemple : tomate, poivron, concombre).

ECF FARM Berlin : une ferme aquaponique à Berlin (Allemagne).

Situé à Berlin Schöneberg, [ECF Farm Berlin](#) est l'une des installations d'aquaponie urbaine les plus modernes au monde. Les produits de la ferme sont des poissons perches et des plantes de basilic en pot. La surface agricole totale est de 1800 m², avec une superficie de serre de 1000 m². Les ouvriers agricoles sont au total 8 personnes : 2 pisciculteurs, 3 serristes et 3 agents de planification et de gestion. Habituellement, le poisson est commercialisé sous vide et conservé à 2°C, et vendu sous forme de poisson surgelé par l'intermédiaire d'une entreprise intermédiaire (qui dispose de circuits de commercialisation certifiés pour les produits de poisson frais). Parfois, ils se vendent comme du poisson frais, avec un effort logistique beaucoup plus important. Le prix du poisson est d'environ 7 €/ kg chez ECF, puis l'entreprise intermédiaire vend le produit à 9 €/kg. Les plantes en pot produisent en serre en utilisant un système hydroponique (appelé systèmes à flux et reflux), où 2 000 à 4 000 L d'eau de poisson sont recyclés des aquariums vers la serre chaque jour. Habituellement, 400 000 pots sont produits par an, qui sont vendus dans des emballages sans plastique. La chaîne de supermarchés (Rewe) paie 1-1,5 € plant-1 à la ferme, et vend 2,5 € au public.



Figure 14. Bâtiments ECF FARM Berlin (source : Pinterest) et serre (source: <https://greencardgardener.com/2017/03/27/urban-farming-berlin-style/>).

Pour des informations techniques relatives à l'aquaponie urbaine :

Télécharger [Production alimentaire aquaponique à petite échelle](#) ou lire [Systèmes de production alimentaire aquaponique](#)

2.3. Agriculture verticale

Un système agricole vertical est un système dans lequel les cultures sont cultivées dans des environnements intérieurs contrôlés avec une température, une lumière et des nutriments appropriés.

Ces fermes sont généralement situées dans des communautés urbaines ou à proximité de celles-ci. Les constructions de bâtiments abandonnés ou neufs peuvent être des sites appropriés pour développer ce système agricole. Une autre option qui attire l'attention pour placer une ferme verticale sont les conteneurs d'expédition, qui peuvent être rénovés en fermes verticales autonomes pour la croissance des plantes.

Une ferme verticale se compose de six éléments structurels principaux (Kozai and Niu, 2016):

1. une structure semblable à un entrepôt, bien isolée et presque hermétique recouverte de murs opaques ;

2. un système à plusieurs niveaux (principalement de 4 à 16 niveaux ou couches ; environ 40 cm verticalement entre les niveaux) équipé de dispositifs d'éclairage au-dessus des lits de culture ;
3. climatiseurs (également appelés pompes à chaleur), principalement utilisés pour le refroidissement et la déshumidification afin d'éliminer la chaleur générée par les lampes et la vapeur d'eau transpirée par les plantes dans la salle de culture, et les ventilateurs pour faire circuler l'air afin d'améliorer la photosynthèse et la transpiration et d'obtenir un air spatial uniforme de distribution;
4. une unité de livraison de CO₂ pour maintenir la concentration de CO₂ dans la pièce à environ 1000 ppm pendant la photopériode pour améliorer la photosynthèse des plantes ;
5. une unité de distribution de solution nutritive ;
6. une unité de contrôle environnemental comprenant des contrôleurs de conductivité électrique (CE) et de pH pour la solution nutritive

Les avantages des fermes verticales par rapport aux systèmes de culture plus traditionnels sont :

1. un rendement constant et élevé est possible tout au long de l'année ;
2. aucune utilisation de pesticides, élévation de l'efficacité de l'utilisation des terres, de l'eau et des nutriments ;
3. indépendant du rayonnement solaire ou de la fertilité du sol ;
4. chaîne logistique simplifiée ;
5. un choix plus large de variétés et une fraîcheur accrue ;
6. moins de gaspillage alimentaire, qualité plus uniforme, absence de saleté, indice de récolte élevé.

D'autre part, il convient également de noter que les serres sont également adaptables aux conditions climatiques difficiles, les coûts d'investissement pour les fermes verticales sont 4x à 10x plus élevés qu'une serre high-tech et la lumière artificielle nécessite de l'électricité tandis qu'une serre bénéficie du rayonnement solaire. Ainsi, les coûts d'électricité représentent 30% des coûts de production totaux dans une ferme verticale, et parmi ceux-ci, 50% sont liés à l'éclairage artificiel.

Cependant, afin d'avoir de plus grandes chances de succès, plusieurs facteurs importants doivent être pris en compte lors de la conception d'une ferme verticale. En ces termes, l'agriculteur vertical doit chercher à produire le meilleur produit. En effet, la culture en intérieur permet d'optimiser et de contrôler de nombreux paramètres de l'environnement de croissance des plantes, obtenant ainsi un bon développement de la culture.

Mais tout d'abord, la première décision que les producteurs devront prendre est de savoir quoi cultiver. La seconde est de savoir comment le cultiver. Par conséquent, une attention particulière a été accordée aux facteurs qui pourraient être considérés comme cruciaux lors du démarrage d'une ferme verticale. Les informations concernant ces principales considérations sont présentées dans l'ordre.

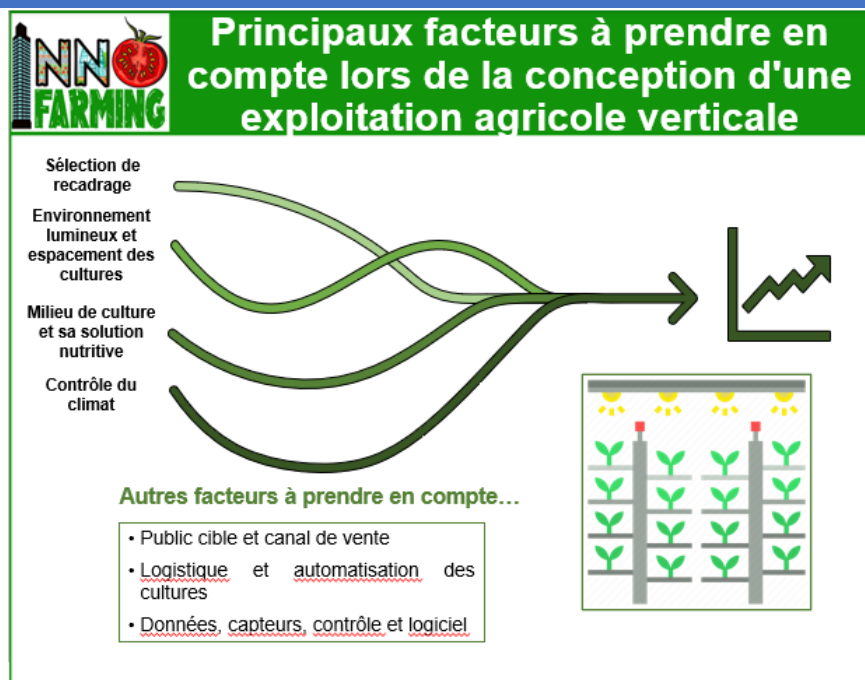


Figure 15. Principaux facteurs à considérer lors de la planification de la construction d'une ferme verticale.

Sélection de culture.

De nos jours, les légumes-feuilles et les herbes sont les cultures les plus courantes de l'industrie agricole verticale. Ces usines sont un bon choix si le but est d'être économiquement efficace. Étant donné que les légumes-feuilles et les herbes se caractérisent par une croissance rapide, plusieurs récoltes peuvent être effectuées par an et moins de coûts sont nécessaires, en particulier pour l'énergie, en raison des faibles besoins en éclairage. Par exemple, les cultures à croissance rapide telles que la laitue, le chou, la menthe, la coriandre, le persil, le basilic, etc., peuvent généralement mettre jusqu'à six semaines à produire. Des études récentes portent sur la possibilité de cultiver des plantes médicinales dans des fermes verticales. L'environnement entièrement contrôlé d'une ferme verticale a permis d'obtenir des produits finis avec les mêmes caractéristiques morphologiques et nutraceutiques tout au long de l'année. Cet aspect, pour ce type de plantes couramment utilisées pour la transformation industrielle, est d'une importance cruciale. De plus, les micro-pousses et les pousses peuvent être adaptées à la culture en vertical, mais aussi aux cultures de rente à haute valeur ajoutée (par exemple : le *Cannabis*).

Environnement lumineux et espacement des cultures

L'un des éléments essentiels du succès de l'agriculture verticale est de fournir une lumière appropriée en fonction des exigences de la culture. Chaque étage dans lequel les plantes poussent verticalement doit avoir une source d'éclairage artificiel capable de fournir une quantité de lumière pendant une certaine période de la journée afin d'assurer une croissance suffisante des plantes. Le but de cet éclairage est de simuler la lumière du jour en fonction des besoins de la culture en croissance. Si l'on considère les sources d'éclairage du marché actuel, le développement des diodes électroluminescentes (LED) est devenu la solution la plus intéressante pour la culture de plantes et de légumes, caractérisée par une faible consommation d'énergie. De plus, la lumière LED peut être configurée pour fournir

uniquement ces fréquences lumineuses en fonction des besoins de chaque plante et elles ne libèrent pas de chaleur excessive qui pourrait provoquer la combustion des plantes. Plusieurs recherches ont déjà été effectuées sur la gestion de la lumière dans les installations de fermes verticales (**Pennisi et al., 2019a; Pennisi et al., 2019b; Pennisi et al., 2020a; Pennisi et al., 2020b**).

De plus, une bonne stratégie d'espacement des plantes peut être faite pour augmenter la production en fonction de la quantité de lumière fournie. Le chevauchement des plantes ou à l'inverse, trop d'espace entre les plantes, peut entraîner une perte de productivité et non une utilisation efficace de la lumière. Une bonne répartition des plantes de manière à ce que chaque plante reçoive la quantité optimale de lumière évitera de gaspiller la lumière en éclairant les zones sans plantes.

Système de culture et sa solution nutritionnelle

La culture hydroponique est généralement utilisée dans les fermes verticales, qui est basée sur le concept de culture de plantes dans une solution riche en nutriments. Comme déjà dit dans la section sur l'agriculture sur toit, cette pratique fonctionne de manière à ce que les racines des plantes soient suspendues dans un bassin d'eau riche en nutriments avec de l'eau recirculée (par exemple, dans des systèmes flottants ou une technique de fil nutritif) ou, sinon, par des racines soutenues dans un milieu hors sol (par exemple, de la tourbe, des coques de noix de coco et de la laine de roche) auquel est fournie la solution nutritive.

Un autre système hydroponique intéressant pour les fermes verticales est l'aéroponie, une méthode dans laquelle les racines des plantes sont nourries et arrosées dans les airs, en pulvérisant la solution nutritive. La solution nutritive non absorbée par les racines est drainée dans le réservoir et recyclée. L'aéroponie est considérée comme la technologie la plus efficace en termes de capacité d'économie d'eau. Un inconvénient des systèmes aéroponiques actuels est le maintien de la santé des racines en cas de dysfonctionnement de la pompe ou de perte de puissance. Sans la pulvérisation d'eau enrichie en nutriments, les systèmes racinaires ne resteront pas longtemps en bonne santé. Ils vont rapidement se dessécher et mourir.

La ferme verticale nécessite d'accorder une attention et des connaissances particulières à la solution nutritive apportée aux plantes. Selon le type de culture et sa phase de croissance, la composition de la solution nutritive peut être modifiée dans le but de favoriser un développement optimal de la plante tout au long de son cycle de croissance.

Contrôlez tous les paramètres climatiques

Un aspect important auquel les nouveaux producteurs agricoles verticaux devraient prêter attention est de créer les meilleures conditions climatiques pour leur culture. Des paramètres tels que le contrôle de la température ou le maintien d'une humidité appropriée doivent être associés à une bonne ventilation et à une gestion adéquate du système d'air. Les systèmes de refroidissement, de déshumidification et de chauffage doivent être pris en compte pour une bonne gestion du climat. Le contrôle inadapté de ces paramètres environnementaux qui entourent la culture peut conduire à une diminution du rendement final avec des conséquences conduisant à des coûts plus élevés.

D'autre part, les agriculteurs verticaux devraient considérer tous les facteurs possibles pour une bonne planification. Il devrait être développé une stratégie de marketing afin de se faire connaître dans la communauté. Une promotion adéquate des produits finis est essentielle pour atteindre les clients. De plus, les producteurs peuvent profiter de l'ère technologique que nous vivons en surveillant et en automatisant sa production grâce à l'utilisation de capteurs, de logiciels informatiques et d'autres dispositifs de contrôle.

Dans ce contexte, l'agriculture verticale peut sembler une ferme d'avenir prometteuse, cependant, avant de démarrer un projet comme celui-ci, il convient de considérer les avantages et les inconvénients de cette agriculture. Par conséquent, la figure suivante présente les grandes opportunités de cette industrie, mais aussi certains des défis auxquels il faut faire face.

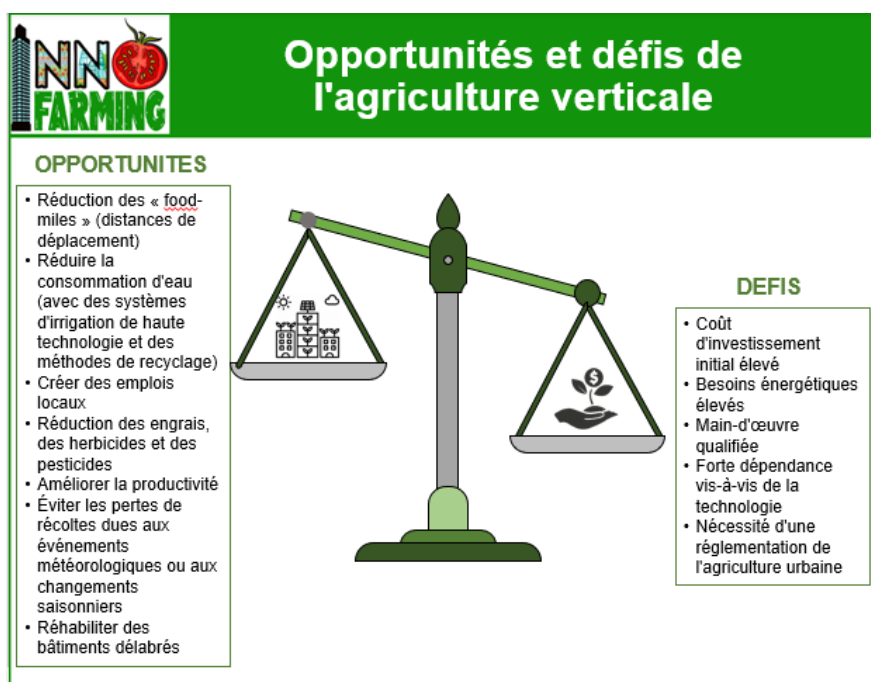


Figure 16. Opportunités et défis de l'agriculture verticale.

Le principal obstacle à la mise en œuvre d'une ferme verticale est l'investissement important nécessaire. Par conséquent, une stratégie de financement et de financement devrait être explorée. En particulier, si l'on souhaite mettre en place la ferme verticale à but lucratif, une étude sur sa viabilité économique et l'économie des espèces qui seront cultivées doit être envisagée. La décision de commencer à produire peut être prise en établissant une ferme verticale à petite ou à grande échelle en fonction des objectifs et des exigences des agriculteurs. De plus, le fait que cette agriculture soit une industrie récemment nouvelle signifie que les réglementations et les politiques sont encore en développement. Dans ce contexte, les nouveaux agriculteurs devraient explorer la loi et la politique actuelles afin d'éviter toute confusion et problèmes.

Néanmoins, les agriculteurs verticaux et son industrie essaient de trouver des solutions dans les sources renouvelables, telles que le solaire et l'éolien, comme moyen de produire de l'électricité et de réduire les coûts énergétiques dans la structure. Les réservoirs d'eau de pluie pourraient également être utiles pour l'eau potable, même si l'agriculture en intérieur utilise beaucoup moins d'eau que les pratiques agricoles conventionnelles. La ferme

verticale a le potentiel de jouer un rôle important dans la durabilité de l'alimentation dans les zones urbaines. L'avancement de la technologie peut conduire à la production de systèmes de production plus efficaces. Peut-être, dans un avenir lointain, l'agriculture verticale serait-elle en mesure de fournir de la nourriture à l'ensemble de la population urbaine de manière entièrement automatisée et durable.

AeroFarms: la plus importante entreprise d'agriculture verticale au monde

AeroFarms est une entreprise d'agriculture d'intérieur durable basée à Newark, New Jersey et utilise un système de culture aéroponique breveté pour faire pousser des produits. En 2015, AeroFarms a ouvert un espace en pleine croissance, une ancienne arène de paintball et de laser tag de 30 000 m² à Newark. En septembre 2016, le siège mondial d'AeroFarms a ouvert dans une installation de 70 000 m² à Newark, la plus grande ferme verticale intérieure au monde en fonction de la capacité de croissance annuelle (907 tonnes par an de légumes-feuilles).

L'innovation d'AeroFarms est le support en tissu breveté et réutilisable pour l'ensemencement, la germination, la culture et la récolte qu'ils ont développé. Leur support en tissu est fabriqué à partir de plastique recyclé post-consommation sans BPA, qui peut être entièrement désinfecté après la récolte et réensemencé sans risque de contamination.



Figure 17. Les systèmes de culture d'AeroFarms (source: <https://aerofarms.com/technology/>).

Pour obtenir des informations techniques sur l'agriculture verticale :
télécharger The future of farming is vertical ou lire Plant Factory

CHAPITRE 3: Cycles des déchets et de l'eau en contexte urbain

L'un des avantages de faire de l'agriculture dans le contexte urbain est la possibilité d'entrer dans les cycles des matériaux urbains et de créer de nouveaux usages, améliorant ainsi la réutilisation des déchets et des sous-produits. C'est principalement vrai pour les déchets verts de la ville (qui peuvent être utilisés comme engrais) et l'eau.

3.1. Compostage urbain

Le compostage urbain est actuellement en plein essor dans le cadre des programmes d'agriculture urbaine, car les déchets organiques compostés peuvent être utilisés comme engrais pour la croissance des plantes. Les déchets organiques désignent les déchets verts du jardin (feuilles mortes, chutes de haies ou fleurs et plantes d'intérieur fanées), les déchets animaux (bouse et fumier) et les déchets de cuisine dégradables. Le compostage est la fermentation des déchets organiques et comprend 4 phases :

1. phase mésophile : du dioxyde de carbone est libéré et de l'oxygène est consommé, la température augmente ;
2. phase thermophile : l'énergie contenue dans la matière organique se transforme en chaleur, et la température peut atteindre jusqu'à 50-60°C ;
3. phase de refroidissement : chutes de température et champignons colonisent le substrat ; la température descend en dessous de 30 °C et l'activité microbienne diminue l'arrivée d'organismes plus gros (par exemple, vers de compost, coléoptères, mille-pattes) ;
4. phase de durcissement : l'humus se forme.

Plusieurs avantages sont liés au processus de compostage dans le contexte urbain :

1. bénéfices agronomiques : le compost améliore la structure du sol, la rétention d'eau, la plasticité, la densité et la structure du sol ; l'utilisation de compost augmente la teneur en N, P et K du sol, nécessaire à la fertilité du sol ;
2. avantages économiques : l'agriculture urbaine peut être considérée comme un marché potentiel pour le compost produit en milieu urbain, réduisant les difficultés et les coûts associés au transport ;
3. bénéfices environnementaux : la production de compost réduit les coûts d'incinération et de mise en décharge ; d'autre part, réduit la dépendance aux pesticides et aux engrais chimiques ; l'utilisation de compost sur des sols contaminés peut réduire considérablement la teneur en polluants, notamment le plomb, le cuivre et les produits pétroliers dans les sols enrichis ;
4. avantages sociaux : l'utilisation du compost améliore l'éducation et la sensibilisation à la production de déchets.

Obstacles au compostage

Le compostage peut être associé à des impacts environnementaux et sanitaires. Ceux-ci sont principalement liés au fait que la biomasse du compost produit plusieurs gaz (par

exemple : N_2O , CH_4 , NO_3) qui peuvent également avoir un effet non négligeable sur la santé ou l'environnement. De plus, les micro-organismes qui favorisent le processus de compostage peuvent provoquer des maladies. Des polluants organiques peuvent également être trouvés dans les déchets organiques à partir desquels le compost est produit, ce qui peut provoquer des maladies et se transmettre par inhalation ou ingestion de particules de poussières organiques.

3.2. Cycle de l'eau en contexte urbain

L'AU dans une ville circulaire devrait satisfaire ses besoins en eau par des ressources en eau qui proviennent du bassin versant urbain, sans utiliser les ressources en eau du robinet disponibles. Les ressources en eau optimales pour les initiatives d'AU comprennent les précipitations naturelles, l'utilisation de l'eau de pluie temporairement stockée dans des citernes ou l'utilisation des eaux usées urbaines.

L'utilisation des eaux grises traitées ou non traitées a récemment reçu plus d'attention car elle récupère également des ressources en engrais telles que l'azote, le potassium, le calcium, le magnésium, le sodium et le phosphore. Les eaux grises sont définies comme des eaux usées sans aucune contribution de l'eau de toilette. Les principales préoccupations concernant la réutilisation des eaux grises ont été des problèmes de perception de la santé publique et une technologie inappropriée pour l'option de réutilisation. La quantité d'eaux grises produite dans un ménage peut varier considérablement, allant d'aussi peu que 15 L par personne et par jour pour les zones pauvres à plusieurs centaines par personne et par jour. Les facteurs qui expliquent ces énormes disparités sont principalement attribués à la situation géographique, au mode de vie, aux conditions climatiques, au type d'infrastructure, à la culture et aux habitudes, entre autres. Les eaux grises représentent jusqu'à 75 % du volume d'eaux usées produit par les ménages, et ce chiffre peut atteindre environ 90 % si des toilettes sèches sont utilisées (Oteng-Peprah et al., 2018). Certaines études ont montré que les eaux usées riches en nutriments peuvent être réutilisées de manière productive dans les systèmes agricoles urbains et périurbains, contribuant ainsi au rendement des cultures et améliorant la fertilité des sols, renforçant ainsi la résilience des zones urbaines.

Concepts clés et vocabulaire

ASC - Agriculture Soutenue par la Communauté (community supported culture - CSA)

: un système qui relie plus étroitement le producteur et les consommateurs au sein du système alimentaire en permettant au consommateur de souscrire à la récolte d'une certaine ferme ou d'un groupe de fermes. C'est un modèle socio-économique alternatif d'agriculture et de distribution alimentaire qui permet au producteur et au consommateur de partager les risques de l'agriculture.

Zonage : méthode de planification urbaine dans laquelle une municipalité ou un autre niveau de gouvernement divise les terres en zones appelées zones, à l'intérieur desquelles certaines utilisations des terres sont autorisées ou interdites.

Compost: matière organique qui a été décomposée dans un processus appelé compostage. Ce processus recycle diverses matières organiques autrement considérées comme des déchets et produit un amendement du sol (le compost).

Hydroponique : La culture des plantes sans terre. Les plantes sont nourries avec une solution aérée de nutriments et les racines sont soit soutenues dans une matrice inerte, soit flottant librement dans la solution nutritive.

Densité de stockage : une expression du nombre de poissons par unité de surface ou du poids de poissons par unité de volume d'eau à l'empoissonnement.

Biofiltre : Composant des unités de traitement d'un système aquacole dans lequel les polluants organiques sont décomposés (principalement oxydés) en raison de l'activité microbiologique. Les processus les plus importants sont la dégradation des métabolites de l'azote par les bactéries hétérotrophes et l'oxydation de l'ammoniac via le nitrite en nitrate.

Technique du film nutritif : technique hydroponique dans laquelle un jet d'eau très peu profond contenant tous les nutriments dissous nécessaires à la croissance des plantes est remis en circulation au-delà des racines nues des plantes dans un ravin étanche, également connu sous le nom de canaux.

Culture en eau profonde : méthode hydroponique de production de plantes au moyen de la suspension des racines des plantes dans une solution d'eau oxygénée riche en nutriments. Également connue sous le nom de systèmes radeau/étang ou flotteur, cette méthode utilise des radeaux flottants pour suspendre les racines des plantes dans un étang d'eau souvent de 10 à 20 cm de profondeur.

Rapport de vitesse d'alimentation : Le ratio qui aide à équilibrer un système aquaponique, reliant la quantité d'aliments ajoutée à la quantité de surface de croissance des plantes.

Evaluation

1. Une ASC urbaine est

- Un système qui met en relation le producteur et les consommateurs, en partageant les coûts et les risques de l'activité agricole, ainsi que les produits.

- un système de distribution des produits agricoles

- Un système de production agricole

2. Pour démarrer une activité d'ASC urbaine avec 30 abonnements, combien d'hectares de terrain sont nécessaires ?

- 0,5 ha au moins

- 15 ha au moins

- 50 ha au moins

3. Pour lancer une ASC urbaine, les principaux défis liés à l'emplacement sont les suivants

- Zonage, contamination du sol et disponibilité de l'eau

- Altitude du lieu, conditions climatiques et disponibilité de l'eau

- l'acceptation du voisinage, l'altitude et la contamination du sol.

4. Qu'est-ce qui rend l'agriculture sur les toits innovante par rapport aux systèmes d'agriculture urbaine traditionnels ?

- Elle utilise des espaces urbains sous-exploités en évitant la concurrence des sols.

- Elle peut être appliquée à des fins sociales et éducatives.

- Elle peut être pratiquée dans des conditions protégées (serres sur les toits).

5. Sélectionnez la bonne affirmation :

- L'agriculture sur les toits ne peut pas être pratiquée en plein air.

- L'agriculture sur les toits peut être pratiquée avec ou sans sol.

- L'agriculture sur les toits ne peut pas utiliser de technologies domestiques (par exemple, des conteneurs recyclés remplis de terre).

6. Avant de réaliser une ferme/jardin sur un toit, vous devez définir :

- L'accès au toit

- Les cultures cultivées

- L'objectif de l'agriculture

7. L'objectif agricole est principalement réalisé par...

- Les entreprises agricoles
 - Les hôtels et les restaurants
 - Les organisations à but non lucratif
8. L'agriculture sur les toits pour l'innovation vise à...
- faire évoluer et améliorer le secteur de l'agriculture sur les toits
 - Offrir un lieu agréable où se récréer
 - Enseigner des valeurs sociales et écologiques
9. Qualité de vie urbaine L'agriculture sur les toits a pour but de...
- Centres de recherche
 - Les bâtiments résidentiels
 - Cafétérias
10. Laquelle des affirmations ci-dessus est fausse ?
- Une exposition excessive au vent peut représenter une limite pour le choix du site.
 - Les codes de zonage doivent être vérifiés avant la réalisation d'une ferme/jardin sur un toit.
 - Une ferme sur un toit peut être réalisée sur n'importe quel type de toit plat.
11. Afin de choisir le bon site pour une ferme/jardin sur un toit, vous devez vérifier...
- La capacité de charge du toit
 - La façade du bâtiment
 - L'isolation acoustique du bâtiment
12. La première étape à suivre pour la réalisation d'une ferme/jardin sur un toit est la suivante :
- Construire l'infrastructure de base
 - Faire un plan conceptuel
 - Élaborer un plan de construction
13. Dans une ferme/jardin sur un toit, vous devez éviter d'utiliser...
- L'eau de pluie collectée
 - Les engrais chimiques et les pesticides
 - Le compost
14. L'aquaponie est la combinaison de :
- l'agriculture et l'aquaculture

- Aquaculture et hydroponie

- L'aéroponie et l'agriculture

15. L'aquaponie est considérée comme un système de production circulaire car :

- L'eau et les nutriments rejetés par le système d'aquaculture sont perdus dans l'environnement.

- L'eau et les nutriments rejetés par le système d'aquaculture peuvent être utilisés pour arroser et nourrir les plantes d'un système hydroponique productif.

- L'eau et les nutriments rejetés par le système d'aquaculture peuvent être utilisés pour élever d'autres poissons dans une autre unité d'aquaculture.

16. Un biofiltre est utilisé pour

- héberger des bactéries qui transforment l'ammoniac en nitrate

- purifier l'eau des résidus provenant de la culture des plantes

- Purifier l'eau qui recircule dans le système en raison de la pollution environnementale.

17. Les caractéristiques optimales d'un réservoir à poissons pour un système aquaponique sont les suivantes :

- Forme ronde, plastique et blanc

- Forme rectangulaire, plastique et noir

- Forme ronde, métal et noir

18. Un biofiltre n'est pas nécessaire dans un système aquaponique...

- Lorsque les plantes sont cultivées dans un lit de culture et que la densité de peuplement est faible.

- Lorsque les plantes sont cultivées dans une unité hydroponique avec une faible densité de peuplement.

- Lorsqu'un filtre mécanique est présent dans le système

19. Dans un système aquaponique, les plages de pH optimales sont de

- 2 et 4

- 4 et 6

- 6 et 8

20. Dans un système aquaponique, la concentration optimale d'oxygène dissous se situe entre :

- 0 – 3 mg L⁻¹

- 4 – 8 mg L⁻¹

- 8 – 10 mg L⁻¹

21. Le ratio de vitesse d'alimentation est :

- Le ratio évalue la quantité de nourriture pour poissons qui doit être ajoutée chaque jour au système en tenant compte de la surface disponible pour la croissance des plantes.
- Le ratio évalue la quantité de nourriture assimilée quotidiennement par les poissons.
- Le ratio évalue la quantité de plantes cultivées dans le système.

22. Le ratio de taux d'alimentation pour les légumes à feuilles varie :

- 40-50 g m² jour⁻¹
- 10-30 g m² jour⁻¹
- 100-150 g m² jour⁻¹

23. Le volume du biofiltre doit être calculé en prenant en compte :

- La quantité de nourriture entrant quotidiennement dans le système
- La quantité de plantes cultivées
- Le nombre de poissons élevés

24. Les espèces courantes cultivées dans un système aquaponique sont :

- Laitue et tilapia
- Tomate et requin
- Courgette et poisson-chat

25. Dans un système aquaponique, nourrir les poissons est une

- Activité quotidienne
- Une activité hebdomadaire
- Une activité mensuelle

26. Dans un système aquaponique, les tests de qualité de l'eau doivent être effectués.

- Tous les jours
- hebdomadaires
- mensuellement

27. Qu'est-ce qu'une ferme verticale ?

- La culture de plantes sur des structures de support ou des étagères dans une direction ascendante.
- La culture spécialisée de plantes grimpantes dans des systèmes verticaux formés.
- Type d'agriculture dans lequel les agriculteurs cultivent des plantes fruitières à des fins domestiques, industrielles ou commerciales.

28. Où sont normalement situées les fermes verticales ?

- Dans les zones rurales.
- Dans les zones urbaines et périurbaines.

- Sur des terres fertiles.

29. Où sont normalement logées les fermes verticales ?

- Dans les parcs urbains et les conteneurs d'expédition.
- Dans les supermarchés et les conteneurs d'expédition.
- Dans les structures des bâtiments et les conteneurs d'expédition.

30. Quels sont les principaux facteurs à prendre en compte lors de la conception d'une ferme verticale ?

- Sélection des cultures, milieu de culture et sa solution nutritive, contrôle du climat, emballage des aliments.
- Sélection des cultures, environnement lumineux et espacement des cultures, milieu de culture et sa solution nutritive, contrôle du climat.
- Sélection des cultures, milieu de culture et sa solution nutritive, transport des aliments, conditionnement des aliments.

31. Quels types de cultures conviennent à une ferme verticale ?

- Les céréales.
- Les légumes verts à feuilles et les herbes aromatiques.
- Les racines et tubercules.

32. Quelle est la solution d'éclairage la plus intéressante sur le marché actuel de l'agriculture verticale ?

- Les lampes fluorescentes.
- Les lampes à sodium haute pression.
- Les lampes à diodes électroluminescentes.

33. La composition de la solution nutritive fournie aux plantes doit être la même pour toutes les espèces cultivées.

- Vrai.
- Faux, elle peut être modifiée en fonction des besoins de chaque culture.
- Faux, elle peut être modifiée en fonction des conditions climatiques.

34. Le principal obstacle à la mise en place d'une ferme verticale est...

- Le besoin de travailleurs expérimentés.

- Le coût élevé de l'investissement initial.

- La gestion technologique élevée.

35. Lequel de ces éléments est une opportunité offerte par une ferme verticale par rapport à une ferme traditionnelle ?

- Moins d'énergie nécessaire.

- Éviter les pertes de récoltes dues aux événements climatiques ou aux changements de saison.

- Grande variabilité des cultures cultivées.

36. Comment l'agriculture verticale peut-elle être plus durable ?

- En incorporant des solutions renouvelables au système.

- En réduisant la consommation d'eau.

- En développant une stratégie de marketing appropriée.

37. Quelle est la dernière source d'eau qui devrait être utilisée dans un contexte urbain ?

- Les eaux grises

- L'eau de pluie

- L'eau du robinet

38. La charge structurelle d'un toit vert intensif est de :

- 180-500 kg m⁻²

- 60-150 kg m⁻²

- 120-200 kg m⁻²

39. La profondeur du substrat d'un toit vert extensif est de :

- 60-200 mm

- 120-250 mm

- 150-400 mm

40. Le matériau de couverture d'une serre en toiture doit avoir :

- une absorption minimale du rayonnement solaire

- Une absorption maximale du rayonnement solaire

- Doit filtrer la lumière

Activités / exercices

1. En utilisant Google Earth, cartographiez le toit plat de votre quartier et essayez de quantifier la productivité potentielle de cette surface (suivez la méthodologie rapportée dans **Orsini et al., 2014**).
2. Essayez de dimensionner une ferme aquaponique (en suivant l'exemple rapporté à la figure 13), en évaluant la productivité potentielle. Essayez également de réfléchir à une stratégie de marché possible pour vendre votre produit.

Ressources utiles pour la leçon

[Allotment Holders Handbook - A guide to allotment gardening](#)

[A guide to designing and implementing allotment gardens](#)

[How to organize an allotment community garden](#)

[The HORTIS project outputs](#)

[Seeds's gardening toolkit: building community gardens](#)

[Community garden best practices toolkit](#)

[Overview of community supported agriculture in Europe](#)

[Local Harvest: a multifarm CSA handbook](#)

[Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops](#)

[There's something growing in the roof](#)

[Small-scale aquaponic food production](#)

[Rooftop Agriculture](#)

[The future of farming is vertical](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=HHDgsK09-1k>

<https://www.youtube.com/watch?v=AmAGgb66IDw>

https://www.youtube.com/watch?v=ME_rprRImMM

Bibliographie, références et liens pour en savoir plus

Appolloni, E., Orsini, F., Specht, K., Thomaier, S., Sanyé-Mengual, E., Pennisi, G., Gianquinto, G. (2020). The global rise of Urban Rooftop Agriculture: a meta-analysis. *Nature food*. Under review.

Caputo, S., Iglesias, P., & Rumble, H. (2017). Elements of Rooftop Agriculture Design. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 39-59). Springer, Cham.

Fairholm J (1999) Urban agriculture and food security initiatives in Canada: a survey of Canadian non-governmental organizations, (IDRC). [Online] Available at: <https://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/8568/24/117781.pdf>.

Germain, A., Grégoire, B., Hautecoeur, I., Ayalon, R., & Bergeron, A. (2008). Guide to Setting Up Your Own Edible Rooftop Garden. *Alternatives and the Rooftop Garden Project*.

Grewal SS, Grewal PS (2012) Can cities become self-reliant in food? *Cities* 29:1–11

Gruda, N., Qaryouti, M. M., & Leonardi, C. (2013). Growing media. Good agricultural practices for Greenhouse Vegetable Crops-Principles for Mediterranean Climate Areas. *Plant Production and Protection*. FAO, Rome. Paper, 217, 271-302.

Junge, R., Antenen, N., Villarroel, M., Griessler Bulc, T., Ovca, A., & Milliken, S. (Eds.) (2020). *Aquaponics Textbook for Higher Education*. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3948179>.

Kozai, T., & Niu, G. (2016). Plant factory as a resource-efficient closed plant production system. In *Plant Factory* (pp. 69-90). Academic Press.

Montero, J. I., Baeza, E., Muñoz, P., Sanyé-Mengual, E., & Stanghellini, C. (2017). Technology for Rooftop Greenhouses. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 83-101). Springer, Cham.

Orsini, F., Gasperi, D., Marchetti, L., Piovene, C., Draghetti, S., Ramazzotti, S., ... & Gianquinto, G. (2014). Exploring the production capacity of rooftop gardens (RTGs) in urban agriculture: the potential impact on food and nutrition security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna. *Food Security*, 6(6), 781-792.

Orsini, F., Dubbeling, M., De Zeeuw, H., & Gianquinto, G. (Eds.). (2017). *Rooftop urban agriculture*. Springer International Publishing

Orsini, F., Pennisi, G., Michelon, M., Minelli, A., Bazzocchi, G., Sanyé-Mengual, E., Gianquinto, G. (2020a). Features and functions of urban agriculture in the Global North: a review. *Frontiers in sustainable food systems*. Under review.

Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813-842.

- Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., ... & Marcelis, L. F. (2019a). Unraveling the role of red: blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in plant science*, 10, 305.
- Pennisi, G., Orsini, F., Blasioli, S., Cellini, A., Crepaldi, A., Braschi, I., ... & Gianquinto, G. (2019b). Resource use efficiency of indoor lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation as affected by red: blue ratio provided by LED lighting. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.
- Pennisi, G., Orsini, F., Landolfo, M., Pistillo, A., Crepaldi, A., Nicola, S., ... & Gianquinto, G. (2020a). Optimal photoperiod for indoor cultivation of leafy vegetables and herbs. *Eur. J. Hortic. Sci*, 85, 329-338.
- Pennisi, G., Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S., ... & Marcelis, L. F. (2020b). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Scientia Horticulturae*, 272, 109508.
- Pilley, G. (2001). A share in the harvest-a feasibility study for community supported agriculture.
- Rodríguez-Delfín, A., Gruda, N., Eigenbrod, C., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2017). Soil based and simplified hydroponics rooftop gardens. In *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 61-81). Springer, Cham.
- Sallenave, R. 2016. Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems. New Mexico State University Circular 680.
- Sanyé-Mengual E, Orsini F, Oliver-Solà J, Rieradevall J, Montero JI, Gianquinto G (2015a). Techniques and crops for efficient rooftop gardens in Bologna, Italy. *Agron Sustain Dev*. doi:10.1007/s13593-015-0331-0
- Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y., & Gruda, N. (2013). Soilless culture. *FAO plant production and protection paper*, 217, 303-354.
- Schenk, J., & Hotchkiss, J. (2013). *Starting Your Urban CSA: A Step-by-Step Guide to Creating a Community-Supported Agriculture Project in Your Urban Neighborhood*. Bold Face Press.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (589), 1.
- Taylor, J. R., and Taylor Lovell, S. (2014). Urban home food gardens in the Global North: research traditions and future directions. *Agric. Human Values* 31, 285-305. doi: 10.1007/s10460-013-9475-1
- Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U. B. et al. (2015). Farming in and on urban buildings: present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renew. Agric. Food Syst.* 30, 43-54. doi: 10.1017/S1742170514000143