



URBAN Green Education for ENTeRprising Agricultural INnovation

Urban Green Train Modules et Ressources (IO2)

Module 2: Défis liés à l'utilisation des ressources



Erasmus+

Avec le soutien du programme Erasmus+ de l'Union Européenne

MODULE 2 “Défis liés à l’utilisation des ressources”

Coordination: F. Orsini, G. Gianquinto (Université de Bologne, IT)

AUTEURS

Chapitre 2.1	F. Orsini, G. Gianquinto (Université de Bologne, IT) G. Bazzocchi (Horticity, IT)
Chapitre 2.2	E. Sanyè-Mengual (Université de Bologne, IT)
Chapitre 2.3	E. Chantoiseau, L. Vidal-Beaudet, P. Cannavo, V. Beaujouan (Agrocampus Ouest Angers / Agreenium, France)
Chapitre 2.4	F. Orsini, E. Sanyè-Mengual, G. Gianquinto (Université de Bologne, IT); G. Bazzocchi Horticity, IT
Chapitre 2.5	W. Lorleberg, B. Pölling (South-Westphalia Université des Sciences Appliquées; DE)

Ce travail est protégé par licence Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 2.5 Generic.
Pour une copie de cette licence, voir <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/>



Ce projet a été financé avec le soutien de la Commission Européenne et l’Agence Nationale Italienne du programme Erasmus+. Cette publication reflète les opinions des seuls auteurs, et les organisations de financement ne peuvent pas être tenues responsables pour toute utilisation qui pourrait être faite de l’information contenue.



TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	4
MODULE 2 “Défis liés à l’utilisation des ressources”	6
Objectifs.....	6
Structure.....	6
Objectifs d’apprentissage.....	7
CONTENU ET RESSOURCES	8
2.1 – L’agriculture urbaine pour la biodiversité et l’écologie	8
2.2 - L’Agriculture Urbaine pour la réduction de l’empreinte écologique.....	15
2.3 - L’agriculture urbaine pour l’efficacité des ressources et la gestion des déchets.....	19
2.4 - L’agriculture Urbaine pour l’amélioration du climat urbain	40
2.5 Points importants : pensez à la dimension économique	48

INTRODUCTION

Ce module et les ressources pédagogiques relatives ont été développés dans le cadre d'URBAN GREEN TRAIN (URBAN GReen Education for ENTteRprising Agricultural INnovation), un projet financé par la Commission Européenne et l'Agence Nationale Italienne pour le Programme ERASMUS+. L'objectif du projet ERASMUS+ URBAN GREEN TRAIN (2014-1-IT02-KA200-003689) est d'encourager les initiatives entrepreneuriales en agriculture urbaine en se basant sur l'échange de connaissance et sur la coopération mutuelle entre différents acteurs, afin de répondre à la demande générale pour l'innovation urbaine verte.

L'un des principaux aboutissements d'Urban Green Train (UGT) est la mise en place de Modules et de Ressources (IO2) spécialement créés comme une boîte à outils utile pour toute personne cherchant à agir directement ou indirectement dans le domaine de l'agriculture urbaine.

L'ensemble comprend 5 Modules convenant à un apprentissage en présentiel ou à distance, pour une durée totale de 150 heures. Le contenu et la structuration des modules a été défini sur la base d'une analyse précise des besoins de formation d'acteurs clés pertinents en agriculture urbaine, conduit par les partenaires du projet dans leurs pays respectifs et illustré dans la publication "[URBAN AGRICULTURE INITIATIVES TOWARD A MINDSET CHANGE](#)". Les modules URBAN GREEN TRAIN sont :

Module 1 : Introduction au concept et types d'agriculture urbaine

Module 2 : Défis liés à l'utilisation des ressources

Module 3 : Les types et systèmes de production en agriculture urbaine et circuits courts

Module 4 : Mise en réseau et gouvernance

Module 5 : Le monde des entreprises et la demande urbaine

Les Modules et Ressources d' URBAN GREEN TRAIN (IO2) ont été testés au cours d'un cours pilote international d'Août 2016 à Janvier 2017, à la fois en ligne et sous forme mixte offert à une large gamme de participants venant de différents pays Européens et de différents contextes professionnels, à travers la Plateforme e-learning de l'université de Bologne. Grâce aux réactions des participants au cours pilote, tuteurs et experts, les Modules et Ressources ont été améliorés et finalisés et mis à disposition dans le présent document aux institutions d'enseignement supérieur et d'autres organismes de formation publics ou privés, dans le but d'offrir un apprentissage complet et structuré traitant de tous les aspects importants des nouvelles approches entrepreneuriales en agriculture.

Le projet URBAN GREEN TRAIN est coordonné par l'Université de Bologne, Alma Mater Studiorum – Département des Sciences agricoles (www.scienzeagricarie.unibo.it) et développé en coopération avec les partenaires suivants :

- Agreenium / Agrocampus Ouest, Paris, France <https://agreenium.fr>
- Vegepolys, Angers, France www.vegepolys.eu
- South-Westphalia Université des Sciences Appliquées, Département Agriculture, Soest, Allemagne <http://www4.fh-swf.de>.
- Hei-tro GmbH, Dortmund, Allemagne www.hei-tro.com/
- Horticity srl, Bologne, Italie www.horticity.it
- STePS srl, Bologne, Italie www.stepsurope.it

- Mammut Film srl, Bologne, Italie www.mammutfilm.it
- Grow the Planet, Italie www.growtheplanet.com
- Fondation RUAF, Pays-Bas www.ruaf.org

Pour plus d'information : www.urbangreentrain.eu

MODULE 2 “Défis liés à l’utilisation des ressources”

Objectifs

L’objectif de ce module est de présenter aux participants les grandes lignes des relations entre l’agriculture urbaine et l’écologie urbaine. Des stratégies pour améliorer le rôle de l’agriculture urbaine dans la réduction de l’empreinte écologique de la ville seront définies et mises en perspectives. Les étudiants exploreront les différents éléments qui contribuent à la gestion des ressources et à la gestion des déchets, ainsi que le bien-être des citoyens. En conclusion de ce module, les étudiants seront aptes à identifier et évaluer les opportunités entrepreneuriales et les possibilités d’innovation pour chaque défi.

Structure

Le contenu du module 2 a été organisé comme suit :

- **2.1 L’AU pour la biodiversité et l’écologie**
 - 2.1.1. L’urbanisation et la perte de biodiversité
 - 2.1.2. L’AU et la ceinture verte
 - 2.1.3. Gestion durable des intrants agricoles
 - 2.1.4. Services écosystémiques avec des anciens/nouveaux géotypes
 - 2.1.5. Gestion des sols pollués
- **2.2 L’AU pour réduire l’empreinte écologique de la ville**
 - 2.2.1. Réduction du changement climatique : production locale et kilomètres alimentaires
 - 2.2.2. Stimulation de la fraîcheur : réduction du gâchis de nourriture et implications environnementales
 - 2.2.3. Justice environnementale : minimiser les échanges globaux en promouvant le local
 - 2.2.4. Estimation des dimensions de la durabilité de l’AU
- **2.3 L’AU pour l’efficacité des ressources et la gestion des déchets**
 - 2.3.1. Terrasses végétalisées et murs végétaux : faible consommation d’énergie par les bâtiments.
 - 2.3.2. Des déchets aux ressources : l’utilisation potentielle des bio-déchets
 - 2.3.3. Récupération des eaux de pluies et des eaux grises
- **2.4 L’AU pour améliorer le climat de la ville**
 - 2.4.1. L’AU pour améliorer le climat de la ville
 - 2.4.2. Infrastructures « vertes » filtrantes d’air
 - 2.4.3. Minimiser les îlots de chaleur urbains
 - 2.4.4. Initiatives de financement de l’AU pour améliorer le climat de la ville
- **2.5 Points importants : Pensez à la dimension économique**

Objectifs d'apprentissage

Les principaux objectifs de ce Module n°2 sont les suivants :

THEME	TEMPS	OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE	ATTENDUS D'APPRENTISSAGE
2.1 L'AU pour la biodiversité et l'écologie	5.5 h	Introduire la relation entre ville et biodiversité Introduire le concept de trames vertes Définir comment gérer de façon durable les intrants Présenter le rôle des ressources génétiques végétales dans la fourniture de services écosystémiques Expliquer comment l'AU peut être pratiquée sur des sols pollués Relier les enjeux écologiques et les systèmes d'AU	Les participants sont capables de : Décrire le lien entre les villes et la biodiversité Définir les trames vertes et les identifier dans un plan urbain Identifier les pratiques agricoles respectueuses des écosystèmes et de la biodiversité Planifier et gérer des systèmes agricoles écologiques
2.2 L'AU pour réduire l'empreinte écologique de la ville	4.5 h	Comprendre l'empreinte environnementale des systèmes alimentaires actuels Comprendre l'importance des gâchis alimentaires sur l'empreinte environnementale des villes Définir des systèmes alimentaires sur une base de cycle de vie sur les plans économiques, environnementaux et sociaux	Les participants sont capables de : Etablir de façon critique les systèmes alimentaires sur les plans économiques, environnementaux et sociaux Planifier et développer des projets d'agriculture de proximité
2.3 L'AU pour l'efficacité des ressources et la gestion des déchets	9 h	Comprendre l'efficacité énergétique à l'échelle de la ville Identifier le noeud énergétique entre les infrastructures construites et celles vertes Comprendre l'intérêt des techniques de compostage pour la gestion efficace des villes Définir le cycle de l'eau dans un environnement urbain et son utilisation efficace dans le cadre de l'AU Définir l'espace et les terrains comme des ressources dans l'environnement urbain	Les participants sont capables de : Construire et mettre en oeuvre des projets d'UA basés sur l'utilisation efficace des ressources
2.4 L'AU pour améliorer le climat de la ville	5 h	Comprendre le lien entre urbanisation et pollution de l'air Relier les infrastructures vertes aux services écosystémiques tels que la filtration de l'air ou la régulation du microclimat	Les participants sont capables de : Imaginer des infrastructures vertes filtrant l'air Construire une AU résilient d'un point de vue climatique
2.5 Points importants : Pensez à la dimension économique	1 h	Identifier les possibles innovations sur les différents thèmes du module	Les participants sont capables de : Considérer les enjeux de la ville et créer une activité économique d'AU Lister les innovations potentielles

CONTENU ET RESSOURCES

2.1 – L’agriculture urbaine pour la biodiversité et l’écologie

Introduction

Ce chapitre va présenter aux étudiants les relations entre les villes et la biodiversité ainsi que le concept de trame verte. Au cours de ce chapitre, il sera expliqué des démarches de gestion durable des activités agricoles, le rôle des ressources génotypiques de la plante dans les services écosystémiques, et, comment l’horticulture urbaine peut être pratiquée dans des sols pollués. De plus, les étudiants exploreront également les liens entre les problèmes écologiques en systèmes d’agriculture urbaine. A l’issue de ce chapitre, les participants seront capables de décrire le lien entre les villes et la biodiversité, définir les trames vertes et les identifier sur un plan, d’identifier les pratiques agricoles respectueuses de l’environnement et de la biodiversité puis de planifier et de gérer des systèmes agricoles écologiques.

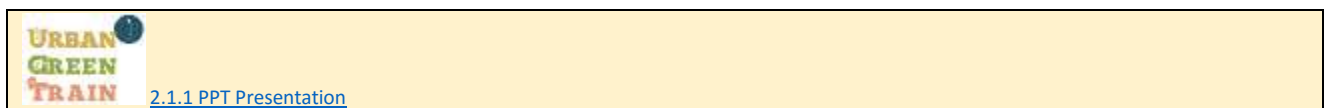
2.1.1 - Urbanisation et perte de la biodiversité

Durant le siècle dernier, la population s’est progressivement déplacée des espaces ruraux vers les espaces urbains. Aujourd’hui, à peine la moitié de la population mondiale vit dans un environnement rural. Les sites de production de nourriture doivent se situer de plus en plus près des centres de consommation à cause de l’augmentation du taux d’urbanisation. Par conséquent, l’agriculture urbaine gagne en importance dans le monde entier et il est devenu nécessaire de mettre en place de nouvelles stratégies pour répondre à la demande en nourriture et à la sécurité alimentaire de ceux qui vivent dans les environnements urbains. Ce chapitre va alors parler des sujets suivants :

- **Tendance d’urbanisation.** Depuis 2007, la population urbaine a dépassé en nombre la population rurale, conduisant à de très fortes progressions des aires urbaines. Les tendances prédisent qu’en 2050, la population urbaine constituera 70% de la population totale. Les villes se développent principalement dans les zones critiques de biodiversité (hotspots).
- **Zones critiques de biodiversité (hotspots) mondialement et distribution des villes.** Les zones critiques sont des zones globales de conservation. Ces zones sont caractérisées par des niveaux exceptionnels de plantes endémiques (au moins 1500 espèces d’espèces vasculaire) et par de sérieux niveau de perte d’habitat (perte d’au moins 70% des habitats originaux). Mondialement, 34 zones critiques de biodiversité ont été identifiées. On estime que prises toutes ensembles, ces zones critiques accueillent une biodiversité de très forte valeur, incluant au moins 150 000 espèces de plantes endémiques et 77% des espèces de vertébrés de la planète. Ces 34 zones sensibles qui ont été identifiées à une échelle mondiale par le Conservatoire International contiennent toutes des espaces urbains. Les villes riches en biodiversité sont nombreuses et sont situées dans une multitude de localisations comme Bruxelles, Le Cap, Chicago, Curitiba, Frankfurt, Mexico, New York et Singapour, pour ne nommer que celles-ci. Bruxelles par exemple contient plus de 50% de la flore belges. Le Cap héberge 50% des espèces végétales en danger critique en l’Afrique du Sud et approximativement 3 000 espèces indigènes de plantes vasculaires. Singapour possède plus de 10 écosystèmes en son sein et de récentes études ont dénombrées plus de 500 nouvelles espèces animales et végétales, dont plus de 100 sont nouvelles pour la science.

- **Perte globale de la biodiversité.** A travers le monde, les écosystèmes ont continué à être transformés pour l'agriculture et d'autres usages à un rythme soutenu depuis au moins le siècle dernier. Ces transformations ont été plus lentes dans les zones, telles que les forêts méditerranéennes, où la majorité des terres avaient déjà été converties en 1950 et où la plus grande part des habitats originels avait déjà disparu. La disparition d'espèces fait partie intégrante de l'histoire de la Terre. Cependant, pendant les 100 dernières années, les humains ont augmenté ce taux d'extinction d'au moins 100 fois par rapport au taux naturel. Le taux d'extinction actuel est bien plus important que le taux d'apparition de nouvelles espèces, et il en résulte une perte nette en biodiversité.
- **Croissance des villes et biodiversité.** La croissance des villes entraîne la diminution des terres agricoles, la déforestation et la perte d'habitat, la réduction des milieux ouverts, la pollution et l'imperméabilisation des sols, le tout entraînant une réduction de résilience du climat, une fragmentation des écosystèmes et une perte de biodiversité.
- **Ecosystèmes urbains.** Les écosystèmes urbains sont artificiels et offrent des conditions de vie bien spécifiques. La biodiversité dans l'environnement urbain est extrêmement spécifique et varie en relations avec les pressions et activités humaines.
- **Biodiversité et services écosystémiques.** L'écosystème est une manière de comprendre le fonctionnement de la nature ; il résulte de ses différentes composantes (plantes, animaux, microorganismes, eau, air etc.) mais aussi et surtout des interactions entre ces composantes. Le fonctionnement des écosystèmes est à la base du bien-être humain et de l'activité économique car une grande partie des ressources que l'humanité utilise tous les jours est directement ou indirectement basée sur des produits issus de la nature. Les bénéfices que les humains tirent de la nature constituent les services écosystémiques. Ils peuvent être divisés en 4 catégories : service supports, service d'approvisionnement, service de régulation, services culturels et sociaux.

Suivez le diaporama suivant :



2.1.2 - Agriculture Urbaine et trames vertes

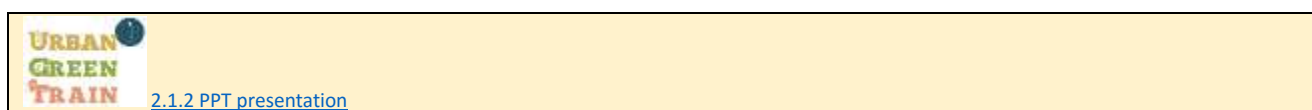
D'après le Secrétaire des Nations Unies Ban Ki-moon (Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique, 2012), les défis sur l'urbanisation sont conséquents. En effet, les villes bien conçues peuvent durablement permettre à un grand nombre de personnes de vivre dans un espace relativement petit, offrant une bonne qualité de vie et permettant une meilleure efficacité de l'utilisation des ressources. Comme vu dans le chapitre précédent, les infrastructures vertes et les services écosystémiques correspondants sont des facteurs clés pour la viabilité des villes. Ce chapitre va aborder le thème du rôle positif que jouent les villes concernant la préservation et la mise en valeur de la biodiversité. L'AU peut devenir, au travers de la construction de trames vertes (corridors écologiques) à l'intérieur des villes, un facteur déterminant pour l'amélioration à la fois du bien-être humain et de la protection de l'environnement. Ce chapitre va aborder les sujets suivants :

- **Biodiversité urbaine, des messages clés.** La biodiversité urbaine, c'est la variété et la richesse d'organismes vivants rencontrés au sein ou à proximité de zones d'implantation humaines. Messages clés : 1) L'urbanisation est à la fois un challenge et une opportunité de gérer globalement les services écosystémiques. 2) Une riche biodiversité peut exister dans les villes. 3) La biodiversité et les services écosystémiques constituent un capital naturel essentiel. 4) Le maintien des écosystèmes fonctionnels peut considérablement améliorer la santé humaine et le bien-être. 5) Les

services des écosystémiques en ville et la biodiversité peuvent contribuer aux adaptations changement climatique et à son atténuation. 6) Augmenter la biodiversité des systèmes de nourriture urbains peut améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle. 7) Les services écosystémiques doivent être intégrés dans la politique urbaine et ses aménagements. 8) Une gestion efficace des services écosystémiques et de la biodiversité doit impliquer une approche multi-échelle, multi-sectoriel, et multi-acteurs. 9) Les villes offrent une unique opportunité pour l'apprentissage et l'éducation à un avenir durable et résilient. 10) Les villes ont un grand potentiel pour générer des innovations et de outils de gouvernance, et, par conséquent, peuvent et doivent être moteur du développement durable.

- **Infrastructures vertes pour la biodiversité.** Dans les villes, il existe divers types d'infrastructures vertes : toitures végétalisées, intensives ou extensives, jardins urbains, et fleurs sauvages dans les parterres.
- **Trames vertes (définition).** Les trames vertes (corridors écologiques) aident à maintenir une cohésion dans les écosystèmes fragmentés. Grâce à la connexion entre les différents habitats, la viabilité des espèces animales et végétales est améliorée par des habitats élargis, la dispersion de jeunes animaux et la réutilisation des habitats vides. Les réseaux écologiques sont composés de zones centrales, de couloirs et de zones tampons. Les couloirs créent une connexion permanente entre les zones centrales. Les zones centrales et les couloirs sont entourés de zones tampons, qui servent de protection contre des influences extérieures qui pourraient les perturber. Derrière les zones centrales et les couloirs connectés se trouve une aire avec des terres sélectionnées pour un usage durable avec une préservation des nombreuses fonctions des écosystèmes.

Visionnez le diaporama suivant :



2.1.3 - Gestion durables des intrants agricoles

L'AU recueille de plus en plus l'attention du public, et commence à être considérée comme une activité durable qui réduit les kilomètres alimentaires, créant des communautés et un sentiment d'appartenance, permettant une activité physique et par-dessus tout améliore le sentiment de bien-être dans les villes. En effet, quand les plantes grandissent dans un environnement urbain, un nombre important de questions agronomiques sont soulevées. Est-ce vraiment plus durable de faire pousser des plantes dans des pots individuels plutôt que dans une ferme ? La production est-elle saine ? Comment un fermier urbain non expérimenté peut faire cultiver durablement des plants agricoles ? Comment les ressources (par exemple eau, nutriments des plantes) peuvent-elles être intelligemment gérées ? Comment les ravageurs et les maladies peuvent-elles être contrôlées sans dommages pour l'environnement et les utilisateurs ?

Ces questions ont été abordées dans le cadre du projet de l'UE HORTIS (Horticulture in Towns for Inclusion and Socialisation). Le projet, fondé dans le cadre du Programme Lifelong Learning (LLP-GRUNDTVIG) a pour objectif la dissémination des bonnes pratiques d'agricultures urbaines, avec comme but final de développer une agriculture urbaine durable dans les villes européennes. Parmi les résultats du projet, une série d'e-books a été produite et est gratuitement téléchargeable sur le site internet du projet (www.hortis-europe.net).

Les cinq e-books traitent des sujets suivants :

- Jardins communautaires durables dans les villes
- Gestion durables de jardins urbains
- Système de culture de jardins urbains
- Système de culture hors sols simplifiés pour une production urbaine de légumes
- Manger plus près de la maison : un manuel de consommation urbaine

Veuillez lire au moins un chapitre de l'e-book sur la gestion durable des jardins urbains. Après la lecture, veuillez faire l'exercice 2.1.3.



[2.1.3 Sustainable Urban Garden Management](#)



Exercice 2.1.3: lisez le chapitre du livre, puis répondez aux questions suivantes et discutez avec les autres participants.

1. Quel chapitre avez-vous lu ?
2. Pouvez-vous lister au moins cinq messages de “consommer maison” que vous avez appris dans ce chapitre ?

2.1.4 - Services écosystémiques par des anciens et nouveaux géotypes s

Introduction

La leçon qui suit va fournir les connaissances essentielles sur la pertinence de la biodiversité génétique des plantes et sur la contribution possible de l'agriculture urbaine pour sa préservation.

La vidéo qui suit, une partie du documentaire « God save the green », illustre les particularités de la biodiversité d'un toit dans la ville de Turin, Italie.



Exercice 2.1.4. Après avoir regardé la vidéo, répondez aux questions suivantes :

1) Quel sont les services écosystémiques qui peuvent être fournis par les toits végétalisés comme présentés dans la vidéo (veuillez les citer dans l'ordre de pertinence) ?

- a. Régulation thermique
- b. Promotion de la biodiversité
- c. Contrôle des flux d'eaux
- d. Production de nourriture
- e. Thérapeutiques / antistress

2) Quelle est selon vous l'élément le plus important à prendre en compte avant de créer une terrasse végétalisée similaire à celle présentée dans la vidéo (veuillez les lister dans l'ordre de pertinence) ?

- a. Poids de la charge
- b. Fréquences des vents
- c. Sélection des cultivars
- d. Etanchéité du toit
- e. Accessibilité du toit
- f. Barrières de sécurité

Agriculture et amélioration des plantes

Ces dernières années, une préoccupation croissante porte sur l'adoption d'hybrides commerciaux en agriculture. La sélection de cultivars a été associée à la perte des génotypes traditionnels, une recrudescence d'allergies et de maladies, ainsi qu'à la diminution de la résilience aux changements environnementaux et climatiques. En effet, la sélection variétale ne peut pas être considérée comme une tendance récente en agriculture, et est actuellement estimée comme datant depuis 9 000 à 11 000 ans. Initialement, les premiers fermiers sélectionnaient les plantes servant à la nourriture qui présentaient des caractéristiques recherchées et les utilisaient comme sources de graines pour les générations suivantes, cela permettant une accumulation de caractéristiques favorable au cours du temps. A partir des expériences de Gregor Mendel, l'hybridation fut introduite, conduisant aux applications actuelles sélection variétale, qui englobe de nombreuses disciplines, incluant la biologie moléculaire, la cytologie, la systématique, la physiologie, la pathologie, l'entomologie, la chimie et les statistiques.

Les interactions majeures entre l'agriculture et la biodiversité globale sont apparues vers la fin du 19^{ème} siècle et au commencement du 20^{ème}, quand un déclin marqué des prairies extensives est apparu, alors que les nouvelles technologies agricoles se développaient. Cette intensification s'est accélérée pendant la

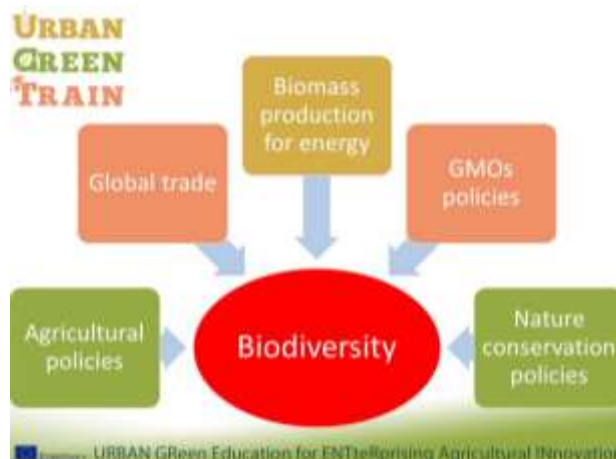
seconde moitié du 20^{ème} siècle par le biais de l'adoption de la Politique Agricole Commune (PAC) et lors de la globalisation des marchés agricoles. Il en a résulté l'augmentation de la dégradation des habitats, la surproduction de produits alimentaires, intensifications des pratiques agricoles, et la concentration de la production dans des fermes moins nombreuses mais plus spécialisées. Ce n'est qu'au début des années 1990, que les réformes de la PAC ont commencé à reconnaître le rôle de l'agriculture dans l'environnement, et à intégrer des politiques valorisant la promotion de la biodiversité et la préservation au niveau de l'exploitation agricole. Les résultats de ce schéma agro-environnemental dans la réalisation des objectifs de conservation varient considérablement à travers l'Europe. Il a été montré régulièrement que l'effet de la mise en jachère sur la richesse en espèces et la densité des populations dépend de l'âge de la zone de mise en jachère, de la surface totale et de l'intensité de l'agriculture.

Aujourd'hui, le paysage agricole recouvre 45% (180 millions d'hectares) du territoire de l'Union Européenne (EU27). Les terres agricoles diffèrent cependant en termes de biodiversité, selon les conditions du sol, la disponibilité en eau, le climat, la pente et selon des facteurs de gestion. Invariablement, l'Agence Européenne Environnementale (AEE) a identifié en 2004 trois types de systèmes agricoles de Haute Valeur Naturelle (HVN), qui sont respectivement :

- Type 1 : Terres cultivées avec une grande proportion de végétation semi naturelle.
- Type 2 : Terres cultivées dominées par une agriculture de faible intensité ou par une mosaïque associant à une échelle fine des terres semi-naturelles et cultivées.
- Type 3 : Terres cultivées favorables à des espèces rares ou avec une grande proportion de population européennes ou mondiales.

Se basant sur cette classification, le maintien de cette biodiversité dépend directement des types traditionnels d'usage agricole des terres, qui tendent à diminuer globalement à cause de la déprise agricole et de l'intensification de l'utilisation des terres. Tant que les terres cultivées classées HVN diminueront, toutes ces espèces adaptées à leur diversité de structure et de ressources seront menacées.

La principale pression qui affecte actuellement la biodiversité des terres cultivées est décrite dans le schéma ci-dessous :



Facteurs principaux ayant un impact sur la biodiversité dans les systèmes agricoles

Les schémas réglementaires et administratifs européen comme nationaux ont été adoptés pour maintenir la biodiversité dans les territoires agricoles et urbains. Ils incluent notamment les suivants :

- L'établissement de réserves naturelles (Réseau Natura 2000, comprenant plus de 25000 sites et couvrant une surface de 1 millions de km² (UE,2007)).
- Achat de terres et gestion de celles-ci dans le but de conserver la biodiversité, comme ce qui a été adopté aux Pays-Bas et au Royaume Uni.

- Soutien au maintien ou à la restauration des habitats naturels grâce à des fonds dédiés (par exemple programme EU Life+).
- Programmes de conservation de la biodiversité par l'achat de terres agricoles, par exemple www.euronatur.org.
- Mesures de soutien mise en place par des compagnies privées (par exemple Projet IUCN en Agriculture Durable et la Biodiversité des Steppes en Ukraine et Russie)
- Mesures de soutien relatives promues par les collectivités régionales/nationales pour la promotion de marchés régionaux/locaux ou pour le tourisme.

De plus, les labels environnementaux (par exemple agriculture biologique, biodynamique) et l'agriculture communautaire (pour les circuits courts) améliore la durabilité environnementale de l'agriculture et préservent la biodiversité.

Dans le but de maximiser l'impact de l'agriculture sur la préservation de la biodiversité et sa promotion, les activités suivantes peuvent être abordées :



Tutorial : Comment conserver des graines de tomates

Veuillez regarder la vidéo suivante à propos de l'usage et du maintien des génotypes traditionnels dans l'horticulture urbaine, tirés du projet de l'UE HORTIS :



Regardez la video sur : <https://www.youtube.com/watch?v=u9Wotav21Tc>

Le rôle de l'agriculture urbaine dans la préservation de la biodiversité

L'AU peut jouer un rôle clé dans la préservation de la biodiversité pour les raisons suivantes :

1. Elle est située proche ou à proximité des centres urbains, où la biodiversité est un enjeu fort mais également en danger.
2. Elle peut représenter à la fois un risque et une promotion pour la biodiversité urbaine, selon son mode de gestion.
3. Elle peut sensibiliser les citoyens au sujet de la pertinence d'un mode de vie respectueux de l'environnement et en accord avec celui-ci.

4. Elle peut constituer un réservoir de biodiversité lorsque les cultivars locaux/traditionnels se développent.

2.1.5 - Gestion des sols pollués



Exercice 2.1.5 : Veuillez lire l'article suivant et ajouter un commentaire dans le forum correspondant avec les autres participants



[2.1.5 Heavy metal accumulation in vegetables grown in urban gardens](#)

2.2 - L'Agriculture Urbaine pour la réduction de l'empreinte écologique

Introduction

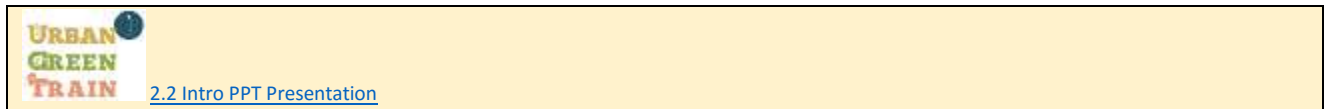
Ce module se focalise sur l'empreinte écologique des aires urbaines et des produits alimentaires ainsi que sur la contribution potentielle de l'AU pour en minimiser les impacts négatifs. L'empreinte écologique (impact de l'activité humaine mesurée en termes de surface de terres biologiquement productives et d'eau nécessaire pour produire des produits consommables et pour assimiler les déchets générés) fait référence à la dimension planétaire de durabilité dont le but est d'assurer un futur viable. Par conséquent, l'empreinte écologique tient compte des ressources nécessaires pour une activité donnée. Dans le cas des villes, qui représentent moins de 3% de la surface de la terre, les villes contribuent largement aux impacts environnementaux globaux. Le métabolisme urbain actuel implique une consommation de nombreuses ressources (nourriture, eau, énergie et terres) qui sont converties en déchets et des émissions par les multiples activités urbaines. Les concepteurs et aménageurs urbains cherchent à mettre en œuvre des stratégies durables pour l'environnement urbain dans le but de réduire les conséquences environnementales du métabolisme actuel. De telles initiatives peuvent porter sur la réduction de la consommation des ressources et la minimisation des émissions et déchets, en promouvant dans le même temps l'autosuffisance, la production locale et le métabolisme circulaire (réutilisation, recyclage, économie circulaire).

Ce chapitre portera sur sujets suivants :

- Changement climatique et production de nourriture

- Production locale et kilomètre alimentaires
- Implications environnementales et déchets alimentaires
- Evaluation de la durabilité

Le diaporama suivant introduit ce sujet et définit les concepts les plus importants.



Exercice 2.2 Veuillez lire les sections 1 et 2 de l'article (lien ci dessous), qui montre les implications environnementales de l'AU en termes d'utilisation de ressources et de métabolisme urbain puis ajoutez un commentaire sur le groupe de discussion avec les autres participants.



[2.2 \(1\) Urban versus conventional agriculture, taxonomy of resource profiles: a review](#)

2.2.1. - Atténuation du changement climatique : production locale et kilomètres alimentaires

Le secteur qui produit la plus grande quantité de gaz à effet de serre au niveau européen est la production de nourriture. Pendant que la production agricole agit sur le changement climatique (par exemple changement d'utilisation des terres, consommation des ressources, application de fertilisants, consommation de carburants, perte de nourriture et déchets alimentaire), les effets du changement climatique sur les écosystèmes naturels tels que la désertification ou l'érosion des sols affectent drastiquement l'agriculture et la production alimentaire. L'ensemble de la chaîne alimentaire contribue au changement climatique, particulièrement dans les étapes qui impliquent des transports. Dans le contexte de mettre en place un futur durable, les mouvements de nourriture locale (circuits courts) ont créés des réseaux alimentaires alternatifs pour raccourcir les longues distances dans le but de réduire la participation au changement climatique. Le concept « d'éviter les kilomètres alimentaires » a été utilisé dans la littérature pour évaluer les différents impacts environnementaux des circuits alimentaires, locaux ou importés, principalement en termes de consommation d'énergie et de changement climatique. Encore plus, les systèmes de circuits courts sont également connus sous le nom de « 0 km ». L'utilisation des espaces urbains pour accroître la production alimentaire locale à travers des initiatives d'AU peut contribuer positivement à réduire l'impact environnemental relatif à la consommation de nourriture.

Le diaporama suivant détaille la relation entre les changements climatiques et la production locale en définissant des concepts et en présentant des études de cas.



2.2.2 - Favoriser la fraîcheur : réduction des déchets alimentaires et répercussions environnementales

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), environ 30 % de la nourriture produite est gaspillée, soit 1,3 milliard de tonnes par an. Selon les chiffres de la Commission Européenne, seulement 100 millions de tonnes de déchets alimentaires sont produits et cette valeur pourrait s'élever jusqu'à 120 tonnes d'ici 2020 si aucune mesure de réduction n'est mise en place.

Ainsi, le gaspillage alimentaire est aujourd'hui un point crucial de la question de la sécurité alimentaire mondiale. Des programmes sont conçus et mis en œuvre afin de promouvoir la réduction de l'émission de déchets alimentaires aux différents stades de production et consommation. La production locale peut contribuer de manière positive à cette visée en réduisant la chaîne d'approvisionnement alimentaire.

Les documents ci-dessous présentent d'abord des faits majeurs relatifs au gaspillage alimentaire puis une vidéo produite par l'UNEP concernant les conséquences du gaspillage alimentaire.



Exercice 2.2.2. Lire l'article suivant et répondre aux questions ci-dessous et débattre avec les autres participants.



2.2.2 (1) Balance énergétique comparative des pommes produites localement et importées.

- Quelles sont les circuits d'approvisionnement qui sont comparés
- Quels indicateurs environnementaux sont utilisés par les auteurs ?
- Que suggèrent les résultats principaux concernant la consommation de produits locaux et les impacts environnementaux ?

2.2.3 - Justice environnementale : minimisation des échanges géographiques par la promotion du local.

L'industrie alimentaire mondialisée génère plusieurs injustices environnementales, telles que l'érosion des sols, la déforestation, la réduction de la biodiversité, l'appauvrissement ou la contamination de l'eau. De plus, l'étalement urbain a progressivement créé des injustices environnementales locales puisque les quartiers défavorisés sont liés à des environnements détériorés avec de mauvaises conditions de vie. Les mouvements pour une alimentation locale cherchent à réduire les échanges à l'échelle large de l'industrie alimentaire mondiale en développant des systèmes alimentaires alternatifs. En outre, les projets d'agriculture urbaine favorisent dans les villes la justice sociale et la restauration des quartiers.



Exercice 2.2.3. Lire l'e-book ci-dessous qui explore les systèmes alimentaires et les chaînes locales de fournisseurs utilisée en agriculture urbaine, débattre avec les autres participants.



[2.2.3 Eating closer to home: an urban consumer's manual](#)

2.2.4 - Evaluation de la durabilité de l'agriculture urbaine

Les systèmes d'agriculture urbaines cherchent à minimiser les impacts de la production alimentaire locale au niveau des trois piliers de la durabilité : l'Environnement, la Société et l'Economie. Les chercheurs travaillent actuellement sur le développement de d'outils d'évaluation qui jugeraient la durabilité d'un point de vue global. Par exemple des outils de cycle de vie ont été développés pour l'environnement (évaluation du cycle de vie), l'économie (coût du cycle de vie) et de la société (évaluation sociale du cycle de vie). Dans cette partie, nous traiterons de la manière d'évaluation de la durabilité d'un point de vue quantitatif.



Exercice 2.2.4. Lire l'article suivant et participer au groupe de discussion/ débattre avec les autres participant.



[2.2.4 Techniques et cultures pour des jardins de toits productifs à Bologne en Italie.](#)

Guide pour le débat

- Quels indicateurs environnementaux sont considérés ? Incluez-vous des indicateurs environnementaux supplémentaires et pourquoi ?
- Quel est le principe de l'éco-efficacité ? Est-ce que l'éco-efficacité est un concept pour lequel il est facile de communiquer les résultats avec le grand public ?
- Quels indicateurs peuvent être utilisés pour évaluer la dimension sociale ?

2.3 - L'agriculture urbaine pour l'efficacité des ressources et la gestion des déchets

Introduction

Ce chapitre permettra aux étudiants de comprendre l'efficacité énergétique à l'échelle d'une ville, d'identifier les liens énergétiques entre les constructions et les infrastructures vertes, de comprendre l'intérêt et la pertinence du compost dans une gestion urbaine efficace. Ce chapitre définira aussi le cycle de l'eau dans un environnement urbain, l'utilisation efficace de l'eau en association avec l'agriculture urbaine et présentera le sol et l'espace comme une ressource du développement urbain. Ce chapitre permettra aux étudiants d'être à même de concevoir et de mettre en œuvre des projets d'agriculture urbaine efficace en termes de ressources.

2.3.1 - Serres sur les toits et murs végétaux : bâtiment à faible dépense énergétique pour la climatisation

Introduction

Pourquoi des toitures et des murs végétalisés ?

Les raisons d'intégrer à une construction un mur ou une serre sur le toit sont multiples :

- Améliorations de la qualité de vie :
 - Améliorations de l'aspect visuel (cependant, cela concerne principalement les murs végétaux, ou encore les toitures végétalisées sans serres)
 - Réduction du niveau sonore.
 - Répondre aux besoins sociaux et environnementaux d'un retour de la nature en ville en offrant un milieu propice aux animaux et aux espèces végétales.
 - Améliorations de la gestion des eaux pluviales, l'utilisation des toitures pour la culture permettant de stocker temporairement une partie de ces eaux de pluie en permettant de réduire le ruissèlement.
- Production locale d'aliments, principalement sur les bâtiments existants et industriels (cela concerne en majorité les plantations sur les toits à des visées pratiques)
- Réduire la demande énergétique
 - Murs végétaux
 - Serres sur les toits
 - Façade double-peau végétalisée

Ce dernier point est le sujet de cette partie, et sera étudié ici de manière approfondie. Les deux premiers points seront développés dans les sections suivantes de ce cours.

Portée de la leçon

Les effets thermiques des constructions écologiques et des serres seront abordés, avec une attention particulière sur les murs végétaux et les cultures sur toits. En raison de l'intérêt grandissant pour l'agriculture implantée sur des immeubles et pour les solutions se basant sur la nature, ce cours comprend les serres sur et dans les immeubles, ainsi que la végétation des façades double-paroi au comportement similaire à des serres verticales.

À la suite d'un récapitulatif rapide des différents systèmes de construction écologique, on présentera certaines bases de la physique des transferts de chaleurs. On exposera seulement les résultats principaux pertinents pour l'étude des besoins énergétiques des constructions.

Systèmes de culture

Système de culture sur toit

Un large panel des systèmes de cultures sur toits existe en fonctions de leurs objectifs, depuis les systèmes de simple décoration jusqu'aux serres de production. Cette diversité mène à de grandes variations dans la complexité et le cout des installations. D'un point de vue technique, les différents systèmes de culture se distinguent par leur épaisseur, principalement celle de leur substrat. Des substrats plus fins sont plus simples, mais ne permettent pas le développement de plantes de grande taille, tandis que de grands arbres peuvent être plantés dans des substrats épais (supérieur à 30 cm).



Toiture intensive à Monaco (à gauche) ; extensive à Dardilli en France (au milieu) et semi-intensive La Rochelle (France, à droite)

Ces différences vont avoir un effet sur les transferts d'énergie entre l'intérieur et l'extérieur des toitures, puisqu'un substrat plus épais fournira une isolation thermique plus importante.

Système de culture des murs végétaux

Concernant les murs végétaux, les possibilités sont limitées par la géométrie verticale, et il y a une différence selon la présence ou non d'un milieu de croissance sur toute la hauteur du mur.



Système de façade végétale (Kontoleon et Eumorfopoulou, 2010)



Exemple de murs vivants (Système intensif) (Kontoleon et Eumorfopoulou, 2010)



Différentes méthodes de fixation des plants à la structure des murs végétaux extensifs (Mazzali et al., 2013)

Les plantes, et plus particulièrement leurs feuilles, réduisent l'ensoleillement et la température de surface. Et donc les besoins de refroidissement du bâtiment en été. De plus, et comme pour la toiture, la présence de substrat ou du milieu de culture augmenterait l'isolation.

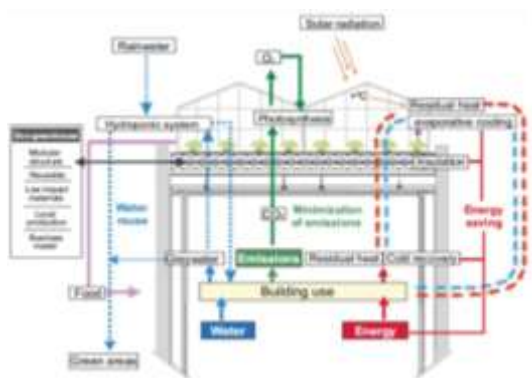
Serres urbaines sur les immeubles

Les serres mises en place sur les toits sont plus ou moins identiques aux serres classiques. Puisque les objectifs principaux des serres urbaines sont davantage centrés sur la production alimentaire locale afin de réduire l'empreinte environnementale de la consommation alimentaire, peu de données concernant les avantages énergétiques sont disponibles.



Serres de toit (nexuscorp.com)

La différence avec les serres classiques, et les avantages pour la consommation énergétique des constructions, concerne l'association avec le bâtiment au-dessous. En effet, la réutilisation de l'énergie de part et d'autre du bâtiment permet les économies d'énergie. La serre peut servir comme assistant ou comme un système de conditionnement d'air complet en été pour le bâtiment en dessous. Le système de chauffage de ce dernier sera utilisé pour réchauffer la serre.



Conceptualisation de Rooftop Eco.Greenhouse, et des échanges d'eau, d'énergie et de CO₂ entre la serre et le bâtiment (Cerón-Palma et al., 2012)

Certains bâtiments sont construits avec une façade dite « double-peau » où les murs des structures sont doublés, au niveau de la partie extérieure, par une enveloppe en verre. Le but est d'utiliser l'effet de serre afin de réchauffer l'espace intermédiaire en hiver, et ensuite l'utiliser pour tempérer l'air intérieur. En été, l'espace entre les deux épaisseurs de la façade double-peau est utilisé pour collecter ou évacuer les radiations du soleil absorbées par les façades en ventilant l'air.

Cependant, durant les étés de fortes chaleurs le besoin de fraîcheur augmente, et un système d'ombrage peu augmenter l'efficacité de la façade double-peau. Dans ce contexte, l'utilisation de plantes peut-être une manière efficace et peu coûteuse de limiter la charge du système de conditionnement d'air. Le système résultant est ainsi très similaire à une serre verticale.

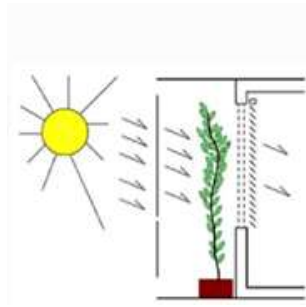


Schéma d'une installation de plante dans une façade double-peau (Zhou et Chen, 2010)

Les effets de rafraîchissement sont principalement dus à la réduction de la quantité de rayons solaires atteignant les murs intérieurs grâce à l'ombrage créé par les feuilles. De plus, la transpiration des plants joue un rôle important dans la diminution de la température de l'air.

Principes des transferts thermiques

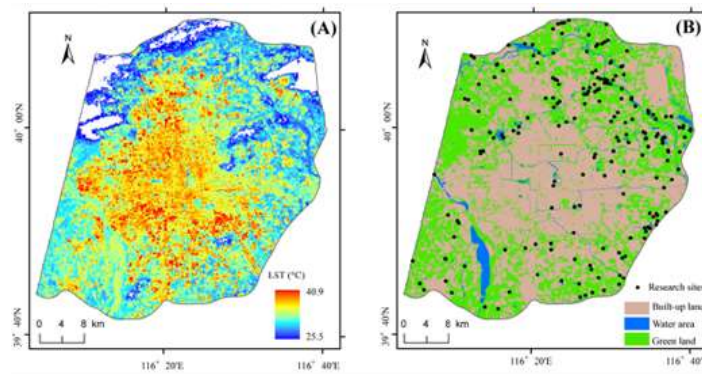
Il existe trois modes de transfert de chaleur :

- **Conduction** : Il s'agit du principal mode de transfert de chaleur dans un solide. Il se produit lorsqu'une partie du corps est chaud ; ces molécules vibrent plus rapidement que celles de la partie plus froide. Leur énergie cinétique est conduite vers une partie adjacente du corps — molécule par molécule — jusqu'à ce que l'énergie cinétique (et donc la température) soit homogène.
- **Convection** : Dans ce cas, la chaleur transportée de molécules jusqu'aux molécules adjacentes est couplée avec un transport de molécule par un mouvement de fluide. Le transfert de chaleur global est généralement plus rapide quand la vitesse des molécules est importante. Cela concerne majoritairement des fluides (liquides et gaz). Si le transport de chaleur est l'origine (la force motrice) du mouvement du fluide, on parle de convection naturelle. Le mouvement du fluide peut aussi exister sans transfert de chaleur, on parle alors de convection forcée.
- **Radiation** : Ce mode de transfert de chaleur concerne les échanges de chaleur entre des surfaces à différentes températures. Il est causé par le fait que chaque corps émet une énergie électromagnétique, en fonction de sa température de surface et de sa constitution. L'énergie est diffusée depuis les surfaces chaudes vers les surfaces froides, mais, contrairement aux deux autres modes de transfert thermiques, aussi depuis les surfaces froides vers les surfaces chaudes.

Généralement, on constate la présence de ces trois modes de transfert quand on examine les échanges thermiques d'un bâtiment. Puisque les écoconstructions impliquent de grandes modifications des transferts radiatifs et conductifs entre le bâtiment et l'environnement extérieur, alors que le transfert de chaleur convectif subit moins de modifications. C'est pour cela que le développement qui va suivre se concentrera sur la conduction et la radiation.

Intérêts de la végétalisation des bâtiments

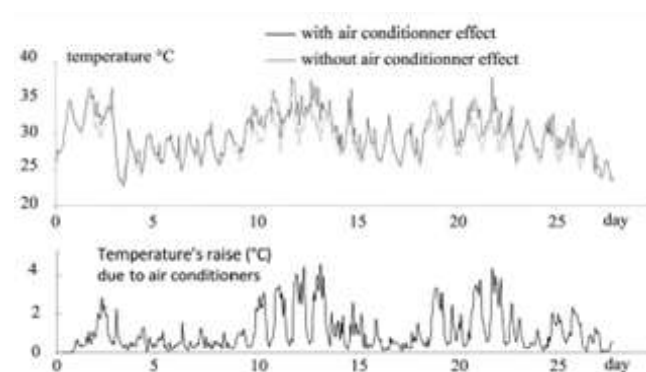
En raison des activités humaines, le climat des aires urbaines est significativement plus chaud que celui des espaces ruraux.



Température de surface des terres (a), Occupation des sols (b), et la localisation de 197 plans d'eau (b) à l'intérieur de la sixième route périphérique de Pékin (Sun and Chen, 2012)

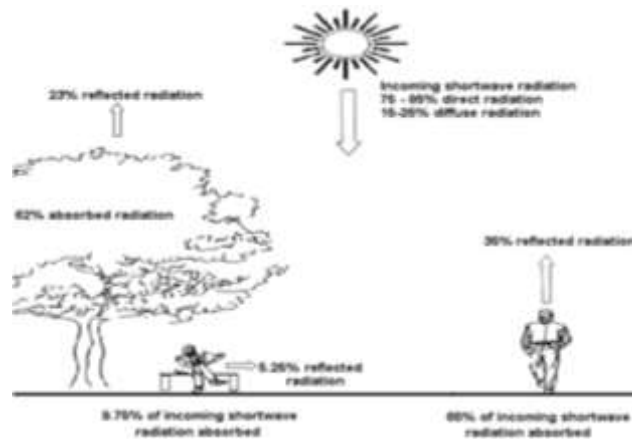
En été, cela mène à l'inconfort pour les habitants, avec le réchauffement climatique global qui tend à augmenter les températures estivales et ainsi empirer la situation. En effet, la consommation électrique due à l'îlot de chaleur urbain est doublée selon Santamouris (2014).

Dans les pays développés et en développement, cela cause une augmentation de la climatisation dans le but d'assurer le confort des bâtiments pour leurs occupants. Pourtant, l'air conditionné induit le réchauffement de l'air extérieur, en aggravant ainsi la situation. De plus, l'usage répandu de combustibles fossiles pour produire l'électricité utilisée par la climatisation augmente l'émission d'une grande quantité de gaz à effet de serre.



Évolution des températures moyennes dans les rues, et impact de l'utilisation de climatisation (Bozonnet et al., 2013)

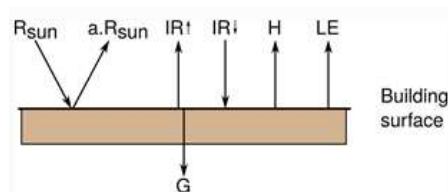
Dans ce contexte, l'écoconstruction est un moyen pour réduire la consommation d'énergie des bâtiments en limitant les besoins en air conditionné. De plus, certaines des solutions décrites par la suite peuvent se révéler intéressantes dans le but de limiter les pertes de chaleur durant les périodes de froid, et d'ainsi réduire la consommation d'énergie durant l'hiver.



Impact sur de la réduction des radiations grâce aux arbres sur la balance de l'énergie rayonnante humaine.

Au voisinage de la ville, des études montrent que la végétation (soit grâce aux arbres ou au gazon) a un effet positif sur le climat estival ou d'une ville. Par exemple, Armson (2012) attribue à l'engazonnement une diminution des températures de surfaces de 24 °C.

En ce qui concerne les bâtiments, les échanges d'énergies en été peuvent être décrits par le schéma suivant :

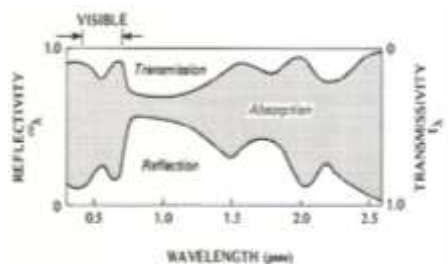


Dans le but de réduire le besoin de climatisation durant l'été, c'est-à-dire l'énergie qui traverse le toit et les murs (repéré par la lettre G ci-dessus), les apports doivent être réduits et les produits doivent augmenter. Comme nous le verrons par la suite, les plantes et végétaux sont des moyens efficaces d'agir sur tous les flux de chaleurs concernés.

Échanges radiatifs

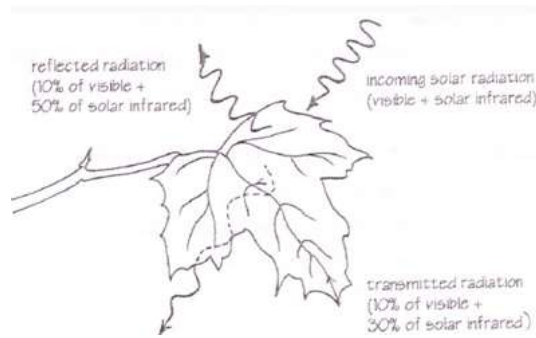
La première approche afin de limiter l'entrée de chaleur dans un bâtiment est de réduire la quantité d'éclairage solaire direct qui atteint le toit et les murs en créant de l'ombrage, ou en augmentant l'albédo de ces surfaces, c'est-à-dire la quantité de rayons solaires réfléchis.

Pour les longueurs d'onde émises par le soleil, les propriétés optiques de la feuille sont décrites par la figure suivante.



Relation entre longueurs d'onde et la réflexivité, la transmissivité et l'absorbance d'une feuille verte (Armson, 2012)

La transmission, qui est la part de la radiation traversant la feuille, elle est limitée et une partie importante des rayons arrivant sur la surface est réfléchi.

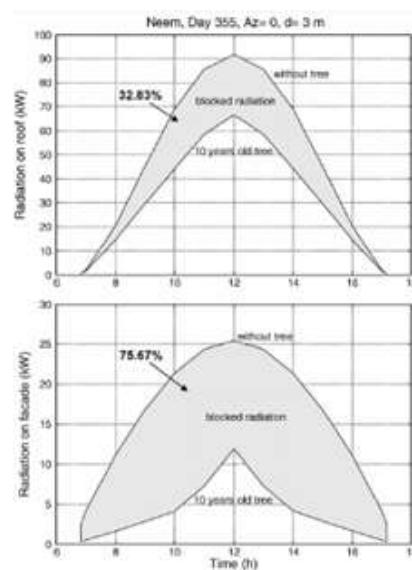


Bilan radiatif d'une feuille verte (Armson, 2012)

L'équilibre radiatif d'une feuille est représenté sur la figure ci-dessus. Moins du tiers des radiations entrantes sont transmis, ce qui explique l'usage généralisé des arbres pour créer de l'ombrage.

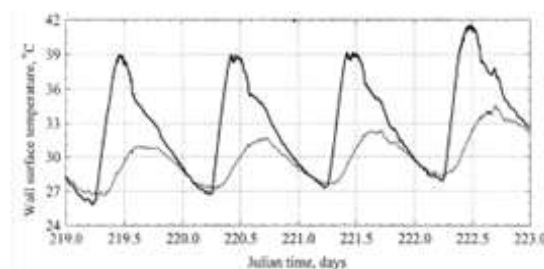
Ombrage : empêcher les radiations solaires d'atteindre un bâtiment

La principale manière de réduire les entrées d'énergie dans un bâtiment et d'empêcher l'entrée d'énergie par des radiations solaires. Pour cela, il est courant d'utiliser des arbres dans le but d'ombrer un bâtiment.



Trois ombrages sur un bâtiment, sur un toit (au-dessus) et sur la façade sud (en dessous) (Gómez-Muñoz et al., 2010)

De nombreuses études ont été menées pour confirmer le fait que l'ombrage réduit la température des murs extérieurs.



Température de surface des murs dans les espaces se trouvant à l'ombre (ligne fine) ou non (ligne épaisse) (Papadakis et al., 2001)

Les profits sur les charges de refroidissement varient en fonction du climat et de la latitude, et la plupart des études sont réalisées dans des villes de basses latitudes, où le gain attendu est plus important. La littérature donne quelques exemples d'économie d'énergie pour des charges de refroidissement : 3,23 et 6,46 kWh m⁻² en Californie (Akbari et Konopacki, 2005).

Les mêmes principes s'appliquent de même pour les toitures et murs végétalisés comme décrits par Pulselli et al. (2014). Comme attendu, l'effet d'ombrage est étroitement lié au LAI (Leaf Area Index, c'est-à-dire l'indice de surface foliaire, soit la surface foliaire par m² de sol (ou encore de mur ou de toit)).

Il existe une relation linéaire entre le LAI et l'effet d'ombrage (Wong et al., 2009), et pour un facteur de transmission lumineux très faible (atteignable avec une culture dense), les gains d'énergie peuvent être réduits de 40 % (Wong et al., 2009). Cependant, ils sont intéressants d'un point de vue d'énergétique du bâtiment, puisque les feuilles isolent le bâtiment de la lumière du soleil en été quand la climatisation est nécessaire, mais les plantes caduques perdent leurs feuilles en hiver quand le soleil a un apport thermique appréciable.

Néanmoins, les effets d'ombrage des murs et toitures végétalisés se distinguent difficilement de l'effet des variations de l'albédo induites par les feuilles.

Albédo

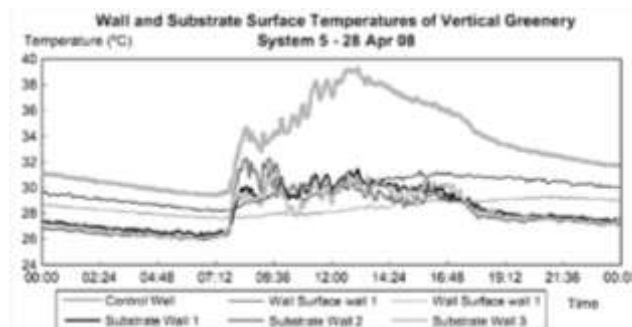
En plus de l'insolation, les températures des surfaces extérieures dépendent de l'albédo. L'albédo est en effet la part du rayonnement solaire qui est réfléchi par une surface. Dans les villes, l'utilisation historique des matériaux de faible albédo est une des causes les plus importantes de l'effet de l'îlot de chaleur urbain.

Pour cette raison, les nouvelles constructions tendent à utiliser des matériaux à fort albédo dans le but d'augmenter la réflexion des rayons solaires et ainsi réduire la température de surface. Comme il a été décrit précédemment, cela implique une diminution des transferts de chaleur conductifs au travers des murs et de toit.

Les mesures d'albédo, comme pour l'air et la température de surface, montrent que plus l'albédo est élevé, plus la température est faible (Chatzidimitriou et Yannas, 2015). Si la température de surface est influencée par l'albédo de surface, la température de l'air est à peine modifiée par le comportement de la surface. La réduction moyenne de la température est d'environ 0,3 K pour une augmentation de l'albédo de 0,1 point (Santamouris, 2014).

En utilisant une surface à fort albédo, on peut diminuer de 10 à 40 % les charges de refroidissement durant l'été pour une perte de 5 à 10 % en chauffage (Santamouris, 2014). Pour la Caroline du Sud, l'économie sur la consommation d'air conditionné s'élèverait entre 40 et 70 Wh m⁻²jour⁻¹ en fonction du type de bâtiment (Akbari et al., 2005).

Comme il a été décrit grâce aux figures ci-dessus, l'utilisation des végétaux peut mener à la limitation de la température de surface. Les espèces de plantes et LAI ont une grande influence sur la température de surface.



Températures de surface des murs pour différents systèmes de révégétation (Wong et al., 2010)

Pour une température de l'air de 33 °C, Simmons et al. (2008) relèvent une température de surface de toit de :

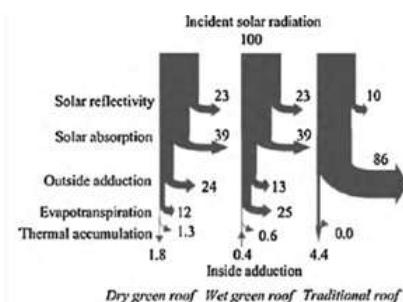
- 68 °C pour une toiture noire.
- 42 °C pour une toiture blanche
- de 31 à 38 °C pour une toiture végétalisée.

Cependant, cette baisse de température pour la toiture végétalisée n'est pas entièrement due aux propriétés radiatives, mais surtout au rafraîchissement dû à l'évaporation (Santamouris, 2014).

Evapotranspiration

Les plantes vivantes absorbent une grande quantité d'énergie par leur feuille, mais gardent leurs températures constantes grâce à la transpiration, qui a lieu en transformant l'eau liquide en vapeur. L'énergie requise est prise depuis les feuilles et l'air environnant, permettant à leur température de chuter.

Par conséquent, les surfaces revégétalisées sont plus froides que les zones environnantes. Habituellement, environ 30 % des rayonnements solaires arrivant sur ces surfaces sont transformés par transpiration (Tilley et al., 2012). Puisque les plantes produisent un ombrage similaire à des systèmes artificiels (Pérez et al., 2011), la température des murs porteurs et toitures peut être très inférieure à celle des surfaces conventionnelles. La température de surface d'un mur végétal peut être jusqu'à 8 °C inférieurs à celui d'un toit « frais » (à fort albédo).



Comparaison de l'échange énergétique d'un mur sec ou humide avec une toiture traditionnelle durant l'été. (Lazzarin et al., 2005)

Cependant, cet effet a lieu tant que les végétaux transpirent. Quand ils sont sujets au stress hydrique, des régulations biologiques empêchent les pertes d'eau de la plante et la transpiration est réduite. C'est pour cette raison que les effets rafraîchissants d'un mur ou d'une toiture végétalisée dépendent très fortement de la disponibilité de l'eau dans le substrat.

En fonction des plantes et de leur développement, 40 à 80 % des rayonnements solaires peuvent être réfléchis et absorbés (Wong et al., 2010). Un test mis en place dans le sud des États-Unis par Pérez et al. (2011) établit que seulement 15 % du rayonnement solaire arrivant traverse une plantation de *virginia creeper*, 18 % à travers *Honeysuckle*, 41 % à travers *Clematis* et 20 % à travers *Ivy*. Plus que les espèces, le LAI ainsi que l'épaisseur du couvert jouent un rôle majeur dans les entrées de chaleur finales (Kumar et Kaushik, 2005).

De plus, la transpiration induit une modification de la teneur en eau et de l'humidité relative (Pérez et al., 2011). Le microclimat ainsi généré est bénéfique puisqu'il est plus proche de la zone de confort pour l'homme que l'air initialement présent. Cependant, l'influence de l'écoconstruction sur l'effet de l'îlot de chaleur urbain est limitée à un rafraîchissement d'environ 1 °C à 60 cm du mur (Wong et al.,) en raison de l'effet du vent.

Enfin, ce n'est pas uniquement la végétalisation qui permet de réduire la chaleur entrante dans les bâtiments, mais la création d'un climat plus frais et hydraté qui est bénéfique pour la climatisation de l'air.

En effet, un air plus frais à la source chaude permet au cycle de réfrigération thermodynamique d'être plus efficace (Getter et Rowe, 2006).

Les effets de la Culture des murs et toitures végétalisés :

Le premier effet du verdissement des murs et des toits végétalisés est de réduire la température de surface grâce aux principes précédemment expliqués. Cela entrainera une diminution du flux de température conductif à l'intérieur des bâtiments.

Excepté les paramètres de la plante (épaisseur, LAI...), les effets de la végétation dépendent des paramètres du bâtiment :

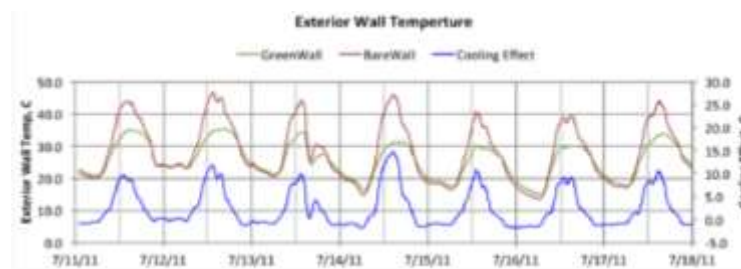
- La position géographique, puisque les effets d'ombrage augmentent à faible latitude
- Localisation, puisque peu d'effet est attendu pour des bâtiments déjà situés à l'ombre
- L'exposition, de meilleures conditions pour le mur exposé au sud ou la toiture que pour le mur nord.
- Le climat, le rafraichissement dû à l'évaporation à un meilleur potentiel pour un air ambiant principalement chaud et sec.

Par conséquent, un large panel d'effets permettant de rafraichir l'air peut être trouvé dans la littérature, et un ajout approprié des effets du verdissement des toitures et façades sur les constructions reste à faire.

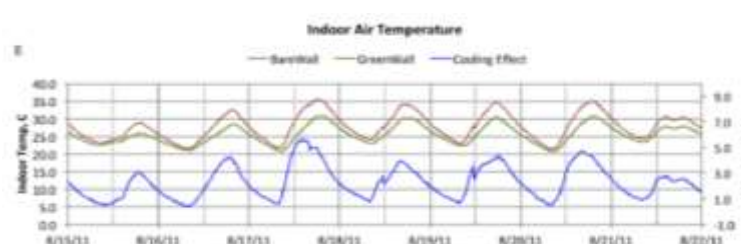
Comme il a été établi précédemment l'effet rafraichissant moyen sur la température de surface dépend de la latitude. Un effet rafraichissant de 5 à 10 °C au long de l'été peut-être attendu pour une latitude de 40 °C, avec un maximum des rafraichissements d'environ 15 °C (Tilley et al., 2012, Pérez et al. 2011).

L'effet rafraichissant est meilleur quand la latitude diminue ou que le climat est plus sec. En effet, pour une latitude approximativement identique, le rafraichissement moyen peut atteindre 20 °C dans le nord de la Grèce (Kontoleon et Eumorfopoulou, 2010) et jusqu'à 38 °C au Texas (Simmons et al., 2008). Cependant, à Singapour (1,3 ° degré de latitude) ce gain est "uniquement" de 30 °C en raison d'une humidité relative de l'air plus élevée.

Le mur ouest est plus chaud que celui à l'est en raison de l'inertie thermique : durant l'après-midi, le mur commence à se rafraichir alors que le mur ouest est déjà chaud grâce à l'air sec et la réflexion des bâtiments environnants. De manière évidente, l'effet rafraichissant dépend de l'activité végétative et est maximum aux environs de midi ou au début de l'après-midi.



Température des murs extérieurs (Tilley et al., 2012)



Si les variations des surfaces extérieures peuvent être importantes en raison de l'ensoleillement et de l'inertie de la structure du bâtiment, les variations de l'air intérieur sont limitées. De plus, les conditions intérieures sont généralement contrôlées par un système de conditionnement d'air qui est conçu pour éviter ces dernières.

Dans ces conditions, la réduction moyenne de la température intérieure induite par la végétalisation des murs ou des toitures est limitée à 4 °C (Getter et Rowe, 2006 ; Tilley et al. 2012). Cependant, des petites variations de température peuvent conduire à de grandes variations du système de conditionnement d'air, une chute de la température de 0,5 °C pouvant correspondre à 8 % d'économie de la consommation électrique déviée à la climatisation (Getter et Rowe, 2006).

Influence de la demande en eau pour l'irrigation et la consommation

L'effet de la végétation dépend fortement du niveau d'irrigation. En effet, si l'eau est moins disponible pour les plantes, elles réduiront leur transpiration. Cela induit une annulation de l'effet rafraichissant de la transpiration.

Pour cela, les surfaces végétalisées sont plus froides juste après l'irrigation. Par exemple, le gazon est 3,5 °C plus froids juste après l'irrigation (Chatzidimitriou et Yannas, 2015). De plus, l'humidité du sol provoque une isolation supplémentaire (Wong et al., 2003).

Au cours de l'été, le besoin en eau pour l'irrigation peut être difficile à justifier en raison de la pression exercée sur les réserves d'eau. De plus, s'ils ne sont pas correctement irrigués, les murs et toitures végétalisés perdront de leur efficacité à réduire la température (Virk et al., 2015).

Pour un LAI entre 3 et 4, la consommation d'eau varie entre 0,5 et 2,6 litres par mètre carré par jour en fonction des conditions climatiques à Toronto (Tilley et al., 2012). La chaleur latente de la vaporisation de cette eau représente un tiers des radiations solaires. Pour un climat plus chaud et plus sec, l'évaporation peut représenter une grande quantité d'eau. Marasco et al. (2014) mesurèrent jusqu'à 15,4 litres par mètre carré par jour à New York et Takebayashi et Moriyama (2009) jusqu'à 18 litres par mètre carré par jour au Japon.

Un système de culture faisant office d'isolant

L'apport d'énergie traversant la structure des bâtiments est limité par la culture des murs et des toitures, pas uniquement en raison des températures de surface, mais aussi en raison de l'effet isolant du système de culture.

En effet, les systèmes de cultures représentent un ajout de couches sur les murs ou toits ce qui augmente la résistance thermique de la structure. L'épaisseur de telles couches dépend du système végétatif, depuis quelques millimètres pour des murs végétaux composés de couches de feutre jusqu'à un mètre de substrat pour des plantations aux racines étendues.

Puisque les substrats communs ont une conductivité thermique faible, ils sont donc de bonnes couches isolantes. Le gain sur la consommation électrique dépend des structures et de l'isolation initiales du bâtiment.

Minke et Witter (1982) (via Bass et Baskaran (2003)) ont estimé qu'un système de culture sur toiture composé de 20 cm de substrat et de 20 à 40 cm herbe dense avait une résistance thermique équivalent que 15 cm de laine de roche. Une couche d'environ 50 cm de substrat peut réduire la pointe de consommation pour le refroidissement de 25 % (Bass et Baskaran, 2003).

Les mesures montrent que 40 cm de substrat permettent une augmentation du R (résistance thermique) du toit de 1,72 à 2,20 (Wong et al., 2003), ce qui représente une diminution d'environ 30 % du flux de chaleur.

Castleton et al. (2010) ont cité une augmentation du R de 1,7 à 2,4, induisant une économie annuelle de 6 % pour la climatisation et 0,5 % pour le chauffage. Dans les deux cas, l'isolation classique demeure nécessaire.

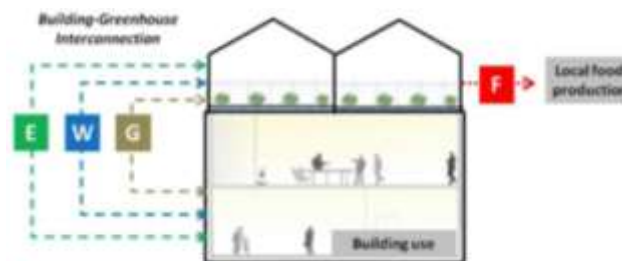
Des modifications de la résistance thermique provoquent une réduction des transferts de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur, réduisant ainsi les charges de refroidissement durant l'été et le chauffage l'hiver.

Intérêt des serres

Serres sur les toitures

Pour le climat méditerranéen, Cerón-Palma et al. (2012) ont établi que des serres fermées ou semi-fermées seraient efficaces pour concevoir des systèmes de serres de production dotées de faibles émissions et de faibles entrées. Le but est de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage durant la saison froide et de recycler l'eau de drainages des parcelles irriguées (Montero et al., 2009).

La proposition de "Rooftop Eco.Greenhouses" (RTEG) consiste en une serre connectée à un bâtiment en termes d'énergie, eau et flux de CO₂.



Serre de toit intégrée. Énergie (E), Eau (W) et CO₂ sont échangées entre le bâtiment et la serre (Esther Sanyé-Mengual, 2015)

L'étude conduite à Barcelone par Cerón-Palma et al. (2012) dans une serre intégrée conclue que la serre sur toit considérée avait un impact environnemental plus élevé (de 17 à 75 %) qu'une serre multitunnels, ainsi qu'un coût économique 2,8 fois supérieur. Cependant, quand on considère la chaîne de production jusqu'au niveau de consommation, la serre sur le toit fournit une économie de 42 % sur les coûts écologiques et de 21 % sur les coûts économiques.

Une comparaison entre la chaîne alimentaire conventionnelle avec la chaîne de production locale RTG montre que des tomates RTG produites à Barcelone pourraient remplacer l'emplacement traditionnel de la production de tomate, et donc d'éviter la consommation de 441 g d'équivalent-CO₂ et 12 MJ par kilo de tomate.

Au niveau du système bâtiment-serre, Ceron-Palma et al. (2011) ont réalisé une modélisation préliminaire et ont mis en évidence le fait que l'introduction de chaleur résiduelle de la serre vers le bâtiment au cours d'un jour d'hiver idéal pourrait remplacer 87 kWh de la demande de chauffage.

Si l'objectif primaire sur l'économie et l'écologie sont remplis, les avantages pour la consommation d'énergie du bâtiment en dessous de la serre ne sont pas prouvés pour de telles conditions.

Caplow et Nelkin (2007) ont utilisé une serre plus classique sur un immeuble de New York. La serre est équipée de bloc de refroidissement par évaporation, et l'air froid peut être utilisé pour rafraîchir le bâtiment. De plus, la serre fournit aussi une isolation durant l'été en éliminant certains des rayonnements du soleil reçus. Durant l'été, quand les structures sont combinées, on estime que l'élimination de rayons reçus par le toit de l'immeuble entraîne une diminution de 37 kWh par jour de la demande de climatisation, pour une consommation approximative de 3,9 tonnes d'eau.

En hiver, les pertes thermiques à travers la toiture du bâtiment sont réduites grâce à la serre, car il s'agit du sol de la serre, avec une température intermédiaire entre la température intérieure du bâtiment et celle de l'extérieur. En hiver, Caplow et Nelkin (2007) ont estimé que les charges thermiques sont de 366 kWh pour la serre et 7 kWh pour le bâtiment. Globalement, on n'économise que 6 kWh par jour.

Du point de vue de la conservation d'énergies traditionnelles, les économies annuelles potentielles sont approximativement égales aux charges de refroidissement des bâtiments, 344 MWh, parce que cette charge se confondra avec la consommation de ventilation/évaporation à basse énergie dans la serre si les structures sont intégrées.

Façade végétalisée double peau :

L'utilisation de plante dans des façades double-peau est un moyen efficace de réduire l'énergie solaire apportée au bâtiment. Fang et al. (2011) énoncent que 60 % des rayons solaires émis sont absorbés par les plantes (en utilisant *tillandsia usneoides* pour un bâtiment à Shanghai). C'est cohérent avec les conclusions de Stec et al. (2005) qui donnent une diminution entre 50 et 70 %. Leur efficacité peut être supérieure à celle des stores classiques.



Tillandsia usneoides : Rideau de plante utilisé par Fang et al. (2011)

Cela entraîne une réduction importante des variations de température des murs intérieurs au cours d'une journée chaude. Stec et al. (2005) ont mesuré une amplitude de température de 5-30 °C avec des plantes au lieu de 10-60 °C sans.

La température de l'air est peu réduite et Fang et al. (2011) ont reporté une diminution de 2,3 °C à l'intérieur de la façade double-peau pour une densité de plante de 750 g m⁻² pour une façade double-peau sous un climat chaud (Shanghai). Cependant, cela peut mener à des diminutions significatives du taux de charge du système de conditionnement d'air. Chan et al. (2009) ont donné une diminution de 26 % de l'énergie utilisée pour le refroidissement annuel en comparant à un bâtiment standard à façade double-peau avec des verres réfléchissants. Ce qui est cohérent avec les conclusions de Stec et al. (2005) qui proposent une économie de 20 %.

Cependant, les plantes peuvent causer des problèmes comme des incohérences entre leur croissance et les besoins des occupants du bâtiment. En effet, la densité de plantes et les processus de développement ne peuvent être contrôlés finement par les occupants. En outre, l'entretien des plantes et du système de

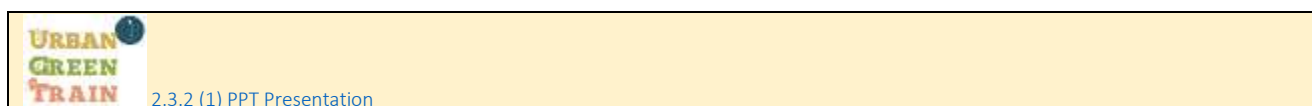
culture (irrigation, ramassage des feuilles mortes...) est une tâche couteuse et spécialisée. Enfin, choisir des plantes est difficile en raison de l'environnement et des contraintes d'entretiens (Fang et al., 2011).

2.3.2 Des déchets aux ressources: les usages potentiels des déchets biologiques

Introduction

En Europe, plus de 75% de la population vit en ville. Les principales conséquences sont la grande consommation de matériaux naturels pour construire la ville et la grande production de déchets exportés hors des villes. La ville peut être considérée comme un écosystème urbain avec un métabolisme linéaire qui peut être comparé à un modèle d'entrée/sortie de matériaux.

Suivre les diapositives suivantes :



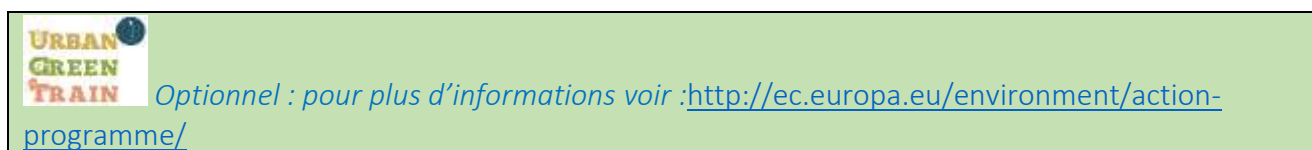
En Europe, les citoyens utilisent actuellement 16 tonnes de matériaux par personne et par an, dont 6 tonnes deviennent des déchets. En 2010, la production totale de déchets dans l'UE a atteint 2,5 milliards de tonnes. De ce total, seulement une petite part (36%) (quoique en augmentation) est recyclé et le reste est enterré ou incinéré. De cette partie, 600 millions de tonnes auraient pu être recyclées ou re-utilisées (Commission Européenne)

<http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/>).

Tous ces déchets ont un impact important sur : (i) la pollution, (ii) l'émission de gaz à effet de serre et (iii) les pertes de matériaux (<http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/WASTE%20BROCHURE.pdf>).

La question est alors : comment limiter l'export des déchets hors des villes ?

Il est nécessaire de changer le métabolisme de nos villes en un modèle circulaire en transformant les déchets en une potentielle ressource de "matériaux naturels secondaires" pour agir de manière plus efficace et plus durable. Le développement de ce type de stratégie est une des clefs pour la mise en place d'une économie circulaire dans la ville. Les actions majeures de politique de gestion des déchets sont d'améliorer la prévention (changer le comportement du consommateur) et le recyclage des déchets, de limiter l'incinération des matériaux non-recyclables et l'enfouissement des déchets.



Type de déchets urbains

Les déchets municipaux (collectivité et ménages) représentent un tiers à la moitié des déchets urbains si l'on exclut les décombres de démolition. Les déchets municipaux se composent des déchets de ménages et d'autres déchets similaires à ceux-ci (commerces, bureaux et institutions publiques). Leur gestion dépend des politiques publiques et des budgets. Les déchets biologiques représentent un tiers des déchets municipaux. Chaque personne en Europe produit actuellement une demi tonne de ce genre de déchets

Suivre le diaporama suivant :

Les déchets biologiques sont définis comme biodégradables et sont composés (i) des déchets de parcs et jardins (ii) de la nourriture et des déchets de cuisine des ménages, restaurants, traiteurs, et (iii) des déchets comparables provenant d'usine de transformation de nourriture. Cela n'inclut pas les résidus forestiers ou agricoles, fumiers, boues d'épuration ou encore d'autre déchets biodégradables comme les textiles naturels, le papier ou le bois transformé. Cela exclut aussi les sous-produits de la production agricole pour l'alimentation qui ne deviennent jamais des déchets. (Commission Européenne, <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/>).

Manière de recycler les bio-déchets

Un nombre important d'instruments juridiques de l'Union Européenne répondent au problème de traitement des bio-déchets. Actuellement, la plus grande menace environnementale des bio-déchets (et d'autres déchets biodégradables) est la production de méthane issu de la décomposition des déchets dans les décharges, qui comptait pour 3% des émissions des gaz à effet de serre dans l'Europe des 15 en 1995. La décharge est la pire option de gestion des déchets concernant les bio-déchets. Cela génère des impacts négatifs avec une détérioration des paysages et des eaux locales et la pollution de l'air en raison de la production de méthane et d'effluents. La directive sur la mise en décharge (1999/31/EC) obligeant les états membres à réduire de 35% la quantité de déchets biodégradables municipaux mis décharge par rapport au niveau de 1995 et ce d'ici 2016 (pour certains pays d'ici 2020), devrait permettre de réduire ces menaces de manière significative.

Optionnel : pour d'avantage d'informations, merci de lire les publications suivantes

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31999L0031>

Les bénéfices les plus significatifs de la gestion des bio-déchets sont la production de source renouvelable d'énergie et de compost recyclé afin d'améliorer l'efficacité des ressources et la qualité des sols. Le compostage est le traitement le plus biologique utilisé pour les déchets verts et les débris de bois.

Suivre le diaporama suivant :

Optionnel : pour plus d'informations nous recommandons de regarder la vidéo suivante sur la production de biogaz : <https://www.youtube.com/watch?v=B660d2c-RkA>

Regarder cette vidéo sur le compostage industriel et identifier les conditions nécessaires à la réussite d'un bon compostage.



Watch the video at: <https://www.youtube.com/watch?v=QBSGuUg2D9E>

Utilisation potentielles des bio-déchets pour la production de végétaux :

Le compost est utilisé dans l'agriculture, pour l'aménagement paysager, afin de créer un support de culture ou un sol construit, ainsi que pour la restauration des terres. Les instruments juridiques de l'Union Européenne régulant l'usage des bio-déchets sont exposés dans le « Livre Vert sur la gestion de bio-déchets dans l'union Européenne » (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52008DC0811>)

Suivre les diapositives ci-dessous:



2.3.2 (4) PPT Présentation

La popularité des jardins en toitures terrasses et des jardins urbains initié par des organismes communautaires associés ou des jardiniers urbains augmente la demande de sol urbains. Les jardiniers et fermiers urbains veulent des informations concernant la qualité des sols disponibles. Ils souhaitent connaître les teneurs en éléments contaminants afin de préserver leur santé et l'environnement.

Il existe des solutions pour améliorer la fertilité des sols urbains. Parmi ces dernières, l'introduction de grande quantité de matière organique (jusqu'à 40% du volume) est un paramètre important pour favoriser une fertilité de sols à long terme (Vidal-Beaudet et al., 2012; Cannavo et al., 2014). En effet, la matière organique procure de nombreux bénéfices pour les sols : fertilité physique (structuration des sols pour une meilleure rétention de l'eau et circulation de l'air), fertilité chimique (réservoir nutritif, capacité d'échange cationique) et fertilité biologique (carbone, minéraux et ressources énergétiques pour les organismes du sols). La composition d'un compost est généralement contrôlée et standardisée. En France, la NF U 44-051 pose les limites de sa composition : matière organique et teneur en matière sèche, trace de métaux, hydrocarbures et teneur en composés micro-organiques. Parmi les composts disponibles, les déchets verts sont les plus utilisés dans les zones urbaines et péri-urbaines, en raison des grandes quantités de taille des végétaux produites dans les villes.

Si le sol est contaminé ou dans le cas des toitures terrasse ou des jardins hors-sol, il est nécessaire d'apporter un nouveau substrat avec des propriétés appropriées et des recommandations de performances définies par le projet des espaces verts.

Utiliser de la terre végétale provenant de parcelles agricoles pour le verdissement des villes est actuellement controversé en raison de la diminution de la surface des sols arables. Une idée alternative pour la protection de ses ressources naturelles consiste à réutiliser les déchets dans le but de construire des sols fonctionnels (Séré et al., 2008). Les villes sont continuellement modifiées à travers la démolition d'anciennes structures et elles produisent des déchets de démolition, tels que des briques, ciment, ballast de voie de chemin de fer et terres excavées. Ces débris sont régulièrement transportés en dehors des villes mais seulement une fraction est recyclée (Marshall and Farahbakhsh, 2013). En 2009 par exemple, on estime que les activités de génie civil auraient généré 250 millions de tonnes de déchets en France. Les matériaux compostables et les déchets verts provenant de la maintenance des parcs et jardins sont aussi générés dans les villes et massivement exportés en dehors des aires urbaines pour produire du compost ou de l'énergie. Certains de ces matériaux peuvent être introduits dans les sols conçus pour être adaptés à l'environnement urbain. De tels sols sont capables de supporter la croissance des plantes, le développement des arbres et les faibles trafics. Ainsi, ils doivent posséder une capacité portante adéquate, des bonnes propriétés agronomiques et une capacité de drainage suffisante. De plus, ils doivent se conformer aux restrictions environnementales pour limiter l'émission des polluants dans la nappe phréatique.



Exercice 2.3.2. Répondre aux questions suivantes, après avoir regardé la vidéo à propos du compostage industriel et identifier les bonnes pratiques du compostage.

- Identifier la concentration des éléments à vérifier pour utiliser les biodéchets comme compost.
- Essayer de déterminer les critères pour obtenir un bon compost.
- Identifier les fonctions et services écosystémiques du compost pour l'agriculture urbaine.

2.3.3 Rainwater harvesting and greywater recovery

Introduction

D'ici à 2050, 66% de la population mondiale vivra dans des aires urbaines. La conséquence majeure sera l'artificialisation progressive des sols en raison de l'étalement urbain. Le cycle de l'eau dans les espaces urbains est considérablement différent en comparaison des zones naturelles. En effet, en raison d'importantes zones imperméabilisées, la majorité des écoulements d'eau dans les espaces urbains est le ruissellement et par conséquent des inondations en découlent. Ensuite, les infiltrations d'eau sont possibles uniquement quand des sols plantés sont présents alors qu'il s'agit du flux principal d'eau pour les sols naturels. Ainsi, un des défis majeurs est de favoriser la rétention et/ou l'infiltration d'eau en augmentant les espaces végétalisés tels que des toitures végétalisées ou les parcs et jardins.

Les personnes vivant dans des villes ont de plus en plus le souci des espaces verts pour leur bien-être. En effet, la végétation urbaine peut produire de nombreux bénéfices tels que :

- Bénéfices humains (santé, liens sociaux)
- Bénéfices de l'équilibre naturel (biodiversité, régulation thermique, qualité de l'air, circulation de l'eau et protection des sols.)
- Bénéfices économiques (promotion de la construction, réutilisation des déchets végétaux, agriculture urbaine, attractivité du territoire)

Les villes développent des stratégies de verdissement et de renaturation dont le succès dépend de la qualité et des fonctions du sol servant de support pour les plantes ainsi que de la qualité de l'eau pour la croissance des plantes.

Dans le but de réconcilier l'étalement urbain et la population démographique, le ruissellement de l'eau, avec les espaces verts, des solutions innovantes en terme de gestion de l'eau sont requises.

L'objectif de cette leçon est de présenter les alternatives possibles pour la gestion de l'eau, ainsi que les éléments clés pour prendre en compte un usage efficace de l'eau dans les zones urbaines.

Hydrologie des zones urbaines

Dans les paysages naturels, les sols et la végétation absorbent 90% des eaux de pluies par infiltration vers le sol et l'évapotranspiration. Dans une ville, l'asphalte, la chaussée, et les toits évacuent rapidement l'eau, en créant de grand volumes d'écoulement à débit rapide. Les aires développées créent plus de 500% d'écoulement supplémentaire que les espaces naturels de même taille. L'écoulement augmente la charge en polluants et plus de traitements sont nécessaires pour réutiliser l'eau ou les eaux évacuées.

Les solutions pour les gestions de l'eau urbaine sont la capture de l'eau à l'aide de bassins de stockage à ciel ouvert ou enterrés, ou bien de bassins d'infiltration utilisant des revêtements poreux avec de l'asphalte innovante et poreuse.

Les infrastructures vertes peuvent faciliter la gestion de l'eau à l'échelle d'un quartier

- les feuilles des arbres réduisent l'écoulement des eaux en interceptant les eaux de pluies.
- les toitures végétalisées peuvent stocker temporairement de l'eau de pluie et favorisent l'évapotranspiration.
- les infiltrations d'eau sur un terrain diminuent la quantité d'eau et réduisent le débit maximal.

En général, les augmentations de l'écoulement ont lieu quand les zones de végétation diminuent, et l'écoulement diminue si des murs végétaux existent. Dans des zones de bien plus grande densité des toitures végétalisées sont un moyen efficace de diminuer les écoulements.

L'infiltration d'eau dans les sols dépend des propriétés physiques du sol, notamment : structure du sol, granulométrie, et conductivité hydraulique.

Suivre la diapositive suivante :



Potentiel des toitures végétalisées pour le contrôle des eaux de ruissellement

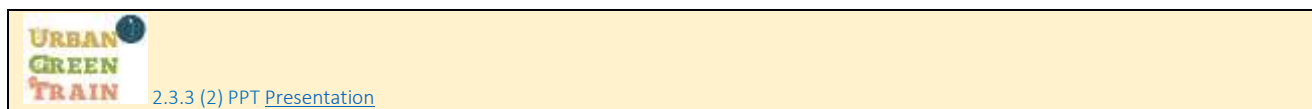
Les origines des toitures végétalisées ont commencé il y a des centaines d'années. Le toit végétalisé le plus médiatisé est celui de Hanging Gardens de Babylon.

Les toitures végétalisées sont faites d'un système de couches placées au-dessus du toit pour supporter le sol et la végétation.

C'est un phénomène relativement nouveau qui a été développé en Allemagne dans les années 1960 et qui s'est répandu à plusieurs autres pays. Les toitures végétalisées sont aussi devenues de plus en plus populaires aux Etats-Unis, bien qu'elles ne soient pas aussi communes qu'en Europe. Il existe trois types de toitures végétales : toitures intensives, elles sont les plus fines avec un minimum de 12.8 cm d'épaisseur de substrat, et peuvent aussi supporter une large variété de plantes mais elles sont plus lourdes et demandent plus d'entretien ; les toitures extensives, qui sont peu profondes, variant de 2 à 10 cm de profondeur, plus légères que les toitures végétalisées intensives, et requièrent un entretien minimal ; enfin les toitures végétalisées semi-intensives ont des caractéristiques intermédiaires.

Le support de culture utilisé pour les toitures végétalisées peut avoir différentes fonctions (support de la végétation, filtre), propriétés (capacité de rétention d'eau) et compositions.

Suivre la diapositive suivante :



Les eaux usées (eau grises)

Les eaux usées sont générées par les habitations ou les bâtiments de bureau à partir de l'eau courante sans contamination de matière fécale. A la source des eaux usées se trouvent les éviers, douches, bains, machines à laver le linge et la vaisselle. Les eaux usées des toilettes sont appelées eaux d'égouts ou eaux noires ce qui indique qu'elle contiennent des déchets humains. Cependant, sous certaines conditions, des traces de matières fécales peuvent entrer dans les eaux usées (eaux grises) via des rejets depuis les douches ou les machines à laver.

Généralement, les eaux usées (grey water) sont plus saines à transporter et plus faciles à traiter pour la chasse d'eau d'une même maison ou bien pour l'irrigation d'une culture, ou pour bien d'autres usages d'eau non potable.

L'application de la réutilisation d'eaux usées dans les systèmes urbains entraînent des bénéfices importants pour le système d'approvisionnement de l'eau en réduisant la demande d'une eau claire et propre mais aussi pour le sous-système des eaux usées, en réduisant la quantité d'eau usée requise pour être déplacée puis traitée.

La composition des eaux usées dépend majoritairement de son origine géographique, type de bâtiment, activités des occupants. La plupart des eaux usées sont plus faciles à traiter et à recycler que l'eau d'égout, en raison du bas niveau de contaminants. Si elle est collectée en utilisant un système de plomberie séparé de l'eau d'égouts, elle peut être directement utilisée.

Si elle est stockée, elle doit être utilisée dans un laps de temps court ou alors elle commencera à se putréfier en raison des solides organiques présents dans l'eau. Elle ne peut donc pas être utilisée comme boisson.

Les processus de traitement qui peuvent être utilisés sont des systèmes biologiques (des zones humides construites, des murs vivants, des bioréacteurs) ou mécaniques (filtration au sable).

En France, si le traitement des eaux usées est opéré et approprié, son réemploi est possible pour le remplissage de la chasse d'eau, l'irrigation des espaces verts et le nettoyage des surfaces extérieures.

L'avantage principal d'utiliser de l'eau usée pour l'irrigation est la préservation des ressources en eau et l'apport de nutritif ; le désavantage majeur est la salinité, l'accumulation de métaux et la présence de pathogènes.

Suivre la diapositive suivante :



Bassin de rétention d'eau du ruissèlement de la route

Les flux d'eau dans les espaces urbains sont différents en comparaison aux zones naturelles. Le ruissèlement des eaux de pluie sur les routes (vecteur de pollution) est une nécessité. Une des solutions possibles est la rétention/infiltration dans des bassins de rétention d'eau.

Ces bassins peuvent avoir plusieurs rôles : réguler les flux d'eau de pluie, recharger des eaux sous-terraines, épurer. A la base, ils présentent un sol perméable qui améliore l'infiltration de l'eau, surmontés par différentes couches de sédiments

Les propriétés des couches de sédiments sont :

- texture fine
- haute teneur en matière organique
- haute capacité de rétention d'eau
- faible capacité d'infiltration
- comportement hydrophobe

Le contenu en matière organique affecte la conductivité hydraulique à saturation; plus le contenu en matière organique est important, plus K_s est faible.

Suivre la diapositive suivante :



[2.3.3 \(4\) PPT Presentation](#)



Exercice 2.3.3. Suivre la diapositive ci-dessus et réfléchir autour de cette demande [2.3.3 \(5\) PPT Présentation](#)

2.4 - L'agriculture Urbaine pour l'amélioration du climat urbain

Introduction

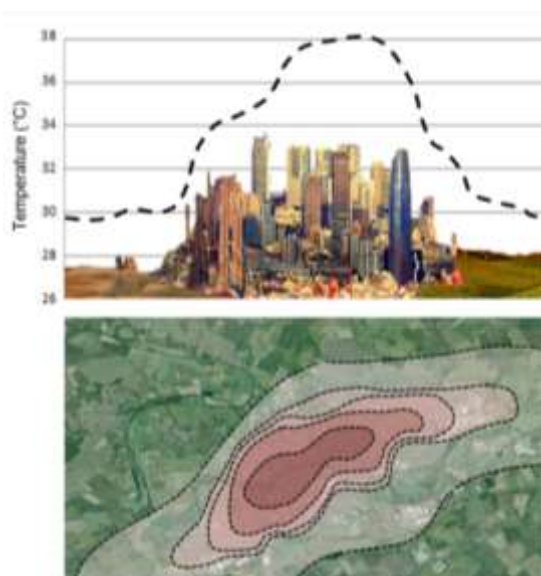
Ce chapitre permettra aux élèves de comprendre le lien entre l'urbanisation et la pollution atmosphérique ; et de relier les infrastructures vertes aux services écosystémiques, y compris le filtrage de l'air et la régulation des microclimats. A la fin de ce chapitre, les participants seront capables de concevoir des infrastructures capables de filtrer l'air dans des infrastructures écologiques et de réaliser des expériences d'agriculture urbaine résilientes au climat.

2.4.1 L'agriculture Urbaine pour améliorer le climat urbain

Les dernières décades se caractérisent par une urbanisation intense, continue, et complexe, et aujourd'hui environ 54% de la population habite dans des espaces urbains alors que les trois quarts des citoyens européens habitant dans des aires urbaines (WHO, 2015). Régulièrement, la réconciliation entre le développement de nos villes avec le respect et la protection de l'environnement est devenue un défi important. Les villes se composent de structures et d'interventions profondes d'origines anthropogéniques ce qui fait de celles-ci des pôles des problématiques environnementales (Naishi et al., 1998). Beaucoup de sols urbains tendent à être scellés avec des matériaux imperméables et des surfaces qui n'absorbent pas l'eau et augmentent l'apparition de ruissèlement. De plus, les matériaux de structure sont en majorité caractérisée par un faible albédo (une mesure de la réflectivité de la surface), un élément qui augmente la conversion et le stockage des radiations thermiques incidentes en chaleur sensible par rapport à la campagne environnante. Ainsi, la couche urbaine tend à être plus chaude que la couche rurale (Naishi et al., 1998; Britter & Hanna, 2003).

Cet effet est exacerbé dans les villes où les infrastructures vertes sont peu présentes. En d'autres mots, puisque les surfaces vertes transpirantes sont remplacées par des couvertures imperméables, l'eau disponible pour l'évaporation est réduite, ce qui a un effet sur le flux de chaleur latente. Pour cette raison, et particulièrement en l'absence de précipitation, la valeur du ratio de Bowen (flux de chaleur sensible / flux de chaleur latente) devient relativement élevée (Bonafè, 2006).

Quand les courbes isothermiques sont tracées sur la surface d'une carte météorologique, le résultat est un profil qui ressemble aux contours topographiques d'une île.



Représentation graphique de l'effet de l'îlot de chaleur urbain sur le panorama urbain (au-dessus) montrant les différences de températures entre la campagne et la ville durant l'après-midi. La température du centre-ville peut dépasser de 8 à 10°C la température de la campagne. En dessous, une simulation d'une surface typique d'une carte météorologique sur laquelle il est possible d'observer l'îlot de chaleur urbain.

C'est la raison qui fait que la couche urbaine est aussi appelée « îlot de chaleur urbain » (ou ICU) (Naishi et al., 1998). Dans les villes très peuplées, la température la plus forte est liée à l'augmentation de la consommation d'énergie pour la climatisation de l'air et à l'effet de la pollution associée à la circulation routière routes avec l'émission de polluants, tels que le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, protoxyde d'azote, et particules fines (Henderson et al., 2007). Les effets de la pollution peuvent être exacerbés dans les climats avec une saison très chaude (White et al., 2001; Koppe, 2004). La pollution de l'air est devenue un problème depuis le début de la révolution industrielle. Les transports, l'industrie, le chauffage domestique et l'incinération des déchets sont les principales sources des polluants de l'air. Les polluants principaux produits par l'activité humaine sont les oxydes de soufre (particulièrement de dioxyde

de soufre, SO₂), protoxyde d'azote (NO₂), monoxyde de carbone (CO), composés organiques volatils (COV, principalement le méthane, CH₄) et les particules 10 ou 2.5 (PM₁₀ et PM_{2.5}) constitués de poussière d'un diamètre inférieur à 10 µm et 2.5 µm respectivement, ainsi que des substances dissoutes.

Des études récentes (Banting et al., 2005; Rosenzweig et al., 2006) ont mis en évidence que l'augmentation d'infrastructures vertes dans les zones urbaines peut contribuer non seulement à l'atténuation des problèmes de microclimats, mais aussi à un large panel de services écosystémiques, tels que l'augmentation de la qualité de l'air (Currie & Bass, 2008; Speak et al., 2012) ou en fournissant une résilience à des événements météorologiques exceptionnels (Berndtsson, 2010; Gregoire & Clausen, 2011). Dans cette partie, les fonctions environnementales fournies par l'agriculture urbaine et, plus généralement, les éco-constructions seront introduites, avec un accent mis sur le rôle qu'elles peuvent jouer sur la qualité de l'atmosphère et du microclimat urbain.



Exercice 2.4.1 Merci de lire l'article suivant et de faire le test de compréhension



2.4.1 UA as green infrastructure: the case of New York City

1. La plupart des surfaces urbaines sont perméables à l'eau et permettent le drainage rapide des eaux pluviales.

- ☐ vrai
- ☐ faux

2. L'environnement urbain est généralement plus chaud que la campagne environnante.

- ☐ vrai
- ☐ faux

3. Les infrastructures vertes atténuent le climat urbain par la transpiration des plantes.

- ☐ vrai
- ☐ faux

4. PM₁₀ signifie :

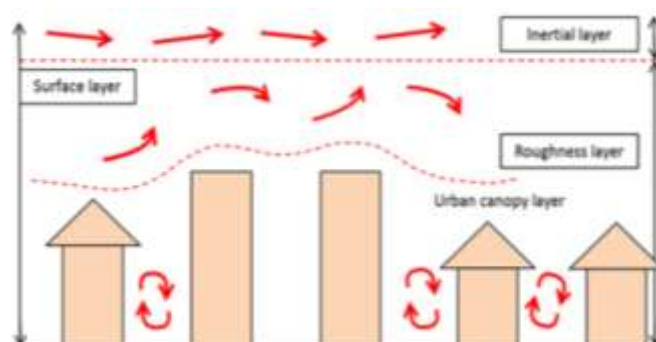
- ☐ poussière d'un diamètre supérieur à 10 mm
- ☐ poussière d'un diamètre inférieur à 10 mm

5. Les causes principales de l'îlot de chaleur urbain sont (merci de noter les valeurs correctes) :

- ☐ Infrastructures vertes
- ☐ Trafic routier
- ☐ Effet de rue canyons
- ☐ Air conditionné

2.4.2 Les infrastructures écologiques ou « vertes » filtrent l'air

La végétation urbaine améliore la qualité de l'air en éliminant les polluants ; l'effet de purification de l'air par la plante peut s'expliquer par l'aérodynamisme quand la plante fait obstacle à l'air et retient les particules, ou par absorption lorsque les stomates sont ouverts pour la photosynthèse et la transpiration (Chapparo et Terradas, 2009). Le CO_2 diminue dans les zones où il y a de la végétation urbaine puisque les plantes stockent l'excès de CO_2 pour en faire de la biomasse lors de leur photosynthèse (McPherson and Simpson, 1998). Une étude récente (David et al., 2011) a estimé que les jardins domestiques permettaient le stockage d'environ $0,76 \text{ kg C m}^{-2}$. Systématiquement, la présence d'infrastructures vertes en milieu urbain modifie physiquement la distribution des polluants de l'air puisqu'elles exercent une force de frottement sur l'atmosphère (Britter et Hanna, 2003). Dans le profil de vitesse de l'air urbain, la canopée urbaine ou couche rugueuse est la couche d'air la plus proche de la couche limite de surface dans les villes, qui s'étend environ jusqu'au sommet moyen des bâtiments.



Représentation graphique de l'effet du profil de vitesse de l'air urbain sur les frottements induits dans la basse troposphère, repris par Oke (1987) et Britter et Hanna (2003)

L'impact mécanique de la canalisation et la recirculation de l'écoulement de l'air combiné aux émissions de polluants conduisent à un risque élevé de pollution dans les canyons urbains (Jeong & Andrews, 2002; Kastner-Klein et al., 2004). En effet, dans le profil de vitesse des canyons, il y a une accumulation de polluants causée par un effet de convergence. Seule une petite fuite du flux d'air permet son renouvellement ce qui, dans ces conditions atmosphériques particulières, provoque des inquiétudes quant à la santé de la population vivant dans ces zones (Kastner-Klein, 2004).

Chez les plantes, l'absorption des polluants qui circulent dans l'air se fait principalement à l'entrée de l'ouverture des stomates (Winner, 1994) et se produit lors des processus physiologiques de photosynthèse et de transpiration. Ce sont des processus passifs par lesquels les gaz dispersés dans l'atmosphère entrent dans la plante. Une fois entrés dans les tissus, certains polluants dissouts tels que NO_x et SO_x sont absorbés par une action biochimique active (Baldocchi et al., 1987) et ainsi utilisés dans les processus métaboliques de la plante.

Les particules de poussière en suspension dans l'air ($\text{PM}_{10-2.5}$) sont retirées de l'atmosphère via un dépôt électrostatique sur la cuticule des feuilles (Prajapati, 2012), et sont ensuite partiellement absorbées, lavées par le ruissèlement ou repartent dans l'air. Des études récentes ont montré que la création de nouvelles infrastructures durables dans les zones urbaines réduit significativement les polluants de l'air, ce qui contribue indirectement à l'augmentation de la santé environnementale et au bien-être des citoyens (Nowak et al., 2006). Les couvertures végétales se sont montrées efficaces pour réduire le taux de particule.

La capacité à réduire les gaz dissouts est attribuée à l'impact croissant des surfaces couvertes par la canopée végétale. L'air est ainsi de plus en plus épuré (Petroff et al., 2008). Cela représente cependant un nouvel objet d'étude et une compréhension plus claire de la capacité de filtration d'air de ces infrastructures écologiques viendra dans un futur proche (Currie et Bass, 2008).

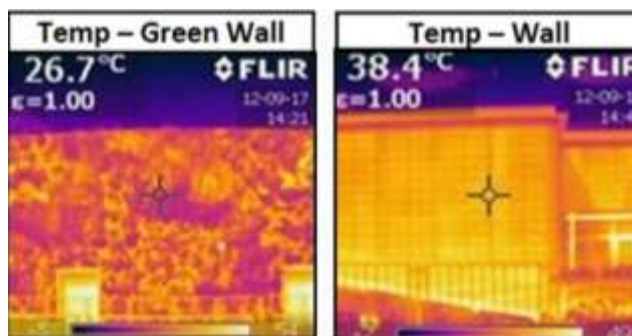


Exercice 2.4.2. Après avoir lu le cours, répondez à la question suivante (Choisissez la ou les bonne(s) réponses) :

- ☐ Les plantes absorbent de l'oxygène durant la photosynthèse
- ☐ Dans les canyons urbains, les polluants s'accumulent, causant des risques de contamination
- ☐ La qualité de l'air pourrait être améliorée par l'utilisation d'infrastructures écologiques par le dépôt des particules de poussières sur les feuilles des plantes.

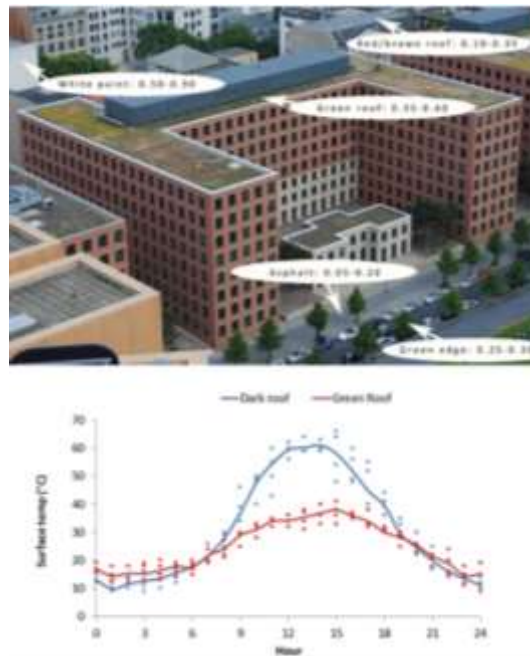
2.4.3 Minimiser les ilots de chaleur urbains

L'îlot de chaleur urbain consiste en une augmentation de la température dans les zones urbaines comparées aux zones rurales alentours (Phelan et al., 2015) en raison des activités humaines et d'une absorption plus élevée des radiations solaires par les matériaux artificiels (bitume et ciment). La végétation peut jouer un rôle clé en contribuant à la régulation générale de la température dans les villes puisque la température peut être réduite par l'évapotranspiration. Phelan et al. (2015) ont affirmé que l'augmentation de la végétation en zone urbaine pouvait être un remède possible pour les ilots de chaleur urbains. Ces dernières années, la construction d'infrastructures « vertes » pour leurs fonctions énergétiques et écologiques est devenue une politique gouvernementale établie. En plaçant une canopée végétale au-dessus et autour des constructions, les premiers effets observés sont un adoucissement de la température et une réduction du coût énergétique associé à l'air conditionné, particulièrement en été.



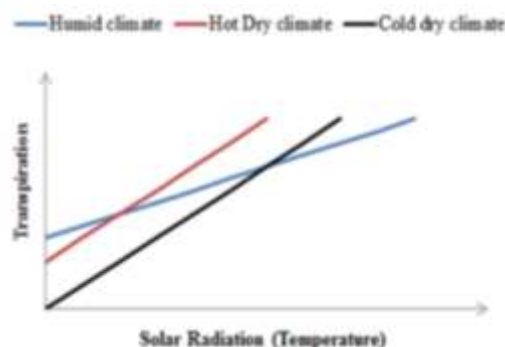
Analyses réalisées par une caméra à imagerie thermique par le CNR de Bologne (Italie) montrant les différences entre un mur végétalisé et un mur normal.

L'effet rafraichissant indirect causé par les structures végétalisées est déterminé par leur capacité à protéger efficacement contre les radiations thermiques en réduisant dans un premier temps la température de surface des bâtiments (Wong et al., 2003a). Ce bénéfice est la conséquence directe d'une modification de l'albédo des murs et des toits. Les bâtiments avec des toits noirs résistants ont généralement un albédo bas ce qui signifie qu'ils ont une absorption plus élevée des radiations solaires.



Les différents albédos affectent les surfaces du bâtiment. Au-dessus, l'albédo de différents éléments du paysage urbain. En dessous la température de surface d'une toiture conventionnelle et végétalisée au cours d'un test au département des sciences agronomiques de l'université de Bologne, en Italie (Données non publiées, 2015). Températures mesurées avec des sondes Pt100 (Rhpoint Components, East Grinstead, Royaume Uni)

Cela se traduit par un réchauffement de surface plus intense, notamment comparé à une canopée végétale. Pendant l'été, cela mène à une augmentation de l'effet jour-nuit des îlots de chaleur, de la consommation d'énergie pour les climatiseurs et de la pollution. Dans les villes européennes, plus de 90% des toits sont de couleur noire et leur surface atteint en plein soleil des températures allant jusqu'à 80°C, avec en plus un effet négatif sur la durée de la résistance du toit à l'eau (Santamouris, 2014). Une solution alternative consistant à adopter des toits végétalisés permet de promouvoir la conversion de l'énergie solaire en transpiration (refroidissement), de même que la croissance des plantes. C'est particulièrement le cas durant l'été en raison de la relation directe liant la transpiration de la plante et les radiations solaires et la température. Par conséquent, pour la couverture végétalisée comme pour le substrat adopté, un isolement thermique est apporté.



Représentation graphique de la relation entre les radiations solaires, la température et la transpiration foliaire.

Utiliser les plantes plutôt que l'air conditionné et économiser de l'argent

Les aires urbaines ont généralement un taux d'humidité plus faible que les zones alentours en raison de l'absence de végétation et de l'absorption croissante d'énergie solaire causée par les surfaces macadamisées ou bétonnées. Cela explique aussi pourquoi les aires urbaines centrales ont une température plus élevée que les villes alentours. Ce phénomène, connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain, peut avoir des conséquences sérieuses sur les personnes plus vulnérables telles que les personnes âgées ou ceux ayant une maladie chronique, particulièrement durant les périodes de canicule. L'air humide généré par la végétation naturelle aide à contrer ce phénomène. Les taux d'humidité pourraient aussi être artificiellement augmentés en utilisant l'électricité pour évaporer de l'eau, mais cela serait significativement plus coûteux que d'utiliser la végétation naturelle (environ 500 000€ par hectare). Travailler avec la nature et utiliser des infrastructures écologiques en zone urbaine, par exemple en introduisant des parcs riches en biodiversité, des espaces verts, des toits et murs végétalisés et couloirs d'air froid, est généralement une option bien plus économique et polyvalente pour atténuer l'effet des îlots de chaleur. Cela peut aussi aider à absorber les émissions de CO₂, améliorer la qualité de l'air, réduire le ruissellement des précipitations et augmenter l'efficacité énergétique.



2.4.3 Building a green infrastructure for Europe



Exercice 2.4.3: Après avoir lu le cours, complétez les phrases suivantes :

L'effet d'un îlot de chaleur urbain crée une augmentation de _____ dans les aires urbaines comparé aux alentours.

La végétation réduit la température de surface par ombrage direct grâce à une _____ plus importante (comparé aux surfaces noires imperméables) ce qui résulte en une meilleure réflexion du soleil.

Durant l'été, les températures plus élevées et les radiations solaires ont pour conséquence une _____ plus importante des plantes.

2.4.4 Les initiatives de financement de l'agriculture urbaine pour améliorer l'environnement des villes

Le secteur privé joue un rôle important en investissant dans l'agriculture urbaine ou, plus généralement, en développant des technologies « vertes » innovantes. Néanmoins, les projets d'agriculture urbaine sont complexes et souvent perçus comme risqués pour les investisseurs, particulièrement lorsqu'ils n'en sont qu'à leurs prémises. Les instruments de financement spécifique peuvent aider à réduire les risques associés aux projets d'agriculture urbaine. Par conséquent, la Commission Européenne et la Banque Européenne d'Investissement (BEI) mettent en place un nombre d'options pour établir une société de financement afin de pouvoir investir dans différents projets, notamment ceux d'agriculture urbaine.



Exercice 2.4.4: Choisissez un sujet de projet (parmi les 2 cités ci-dessous ou un autre) et récoltez les informations nécessaires pour remplir le tableau afin de pouvoir proposer un projet financier à un investisseur potentiel.

	Contraintes actuelles		Améliorations du projet	
Sujet	Financières	Environnementales	Directes	Indirectes
Les toitures végétalisées contre la climatisation des bâtiments	Coût énergétique (en euro m3 an-1)	Empreinte carbone (ex : rejet de CO2)	Isolation thermique (ex : réduction T°C en été)	Bien-être des habitants (ex : loisirs, dépenses liées à la santé pendant la canicule)
Un mur végétalisé dans un bureau	Coût sanitaire (ex : les coûts liés à la santé)	Composés Organiques Volatiles (COV)	Filtration de l'air (ex : quantité de polluants filtrés par la canopée végétale)	Bien-être des employés (ex : réduire les coûts relatifs à la santé, responsabilité sociale de la société)

2.5 Points importants : pensez à la dimension économique

2.1 L'agriculture urbaine : biodiversité et l'écologie

- L'AU gagne de l'importance pour assurer la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en nourriture dans un environnement urbain
- L'essor de l'urbanisation : diminution des espaces cultivés productifs. Les fermes doivent y faire face de manière profitable ; agriculture traditionnelle (diversité de cultures et de bétail) souvent non avantageuse
- Les infrastructures écologiques et les problèmes de biodiversité permettent le développement de l'agriculture urbaine (pour les exploitations, mais aussi pour les initiatives publiques et privées)
- La prise en compte des défis en rapport avec la ville tels que l'air et le sol pollués lorsque l'on produit de la nourriture

2.2 L'agriculture urbaine : réduire l'empreinte carbone

- Des systèmes de production intelligents tenant en compte la production locale, métabolisme circadien et l'auto-suffisance
- La production locale peut réduire les kilomètres alimentaires et atténuer l'impact écologique tout en offrant des stratégies commerciales prometteuses (systèmes de nourriture locale, associations pour le maintien de l'agriculture paysanne, etc...)
- La réduction du gaspillage alimentaire tant lors de la production que lors de la consommation peut avoir une influence économique sur les exploitations agricoles, mais aussi sur tout le système alimentaire
- La réduction de l'empreinte carbone permet le développement de l'agriculture urbaine (pour les exploitations, mais aussi pour les initiatives publiques et privées)

2.3 L'agriculture urbaine : gestion efficace des ressources et des déchets

- Le déchet ressource, « la récolte de l'eau de pluie » et le recyclage des eaux usées ont tous un potentiel économique différent



Exercice 2.5: Présentez succinctement (un paragraphe chacune) vos idées sur la façon dont

- passer des déchets aux ressources,
 - récolter l'eau de pluie,
 - le recyclage des eaux usées
- peuvent représenter un effet économique positif en agriculture urbaine.

>> Plus de détails suivront dans le module final n°5, qui se focalise sur la dimension économique de l'AU.

