

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

AGRICULTURE URBAINE
ET BÂTIMENT DURABLE

PRINTEMPS 2024

Gestion de l'énergie
Notions de base et enjeux

Muriel BRANDT

écoRce
INGÉNIERIE CONSULTANCE





- ▶ Attirer l'attention sur les implications et enjeux énergétiques en lien avec l'agriculture urbaine
- ▶ Aborder la question des synergies énergétiques au travers de quelques exemples



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

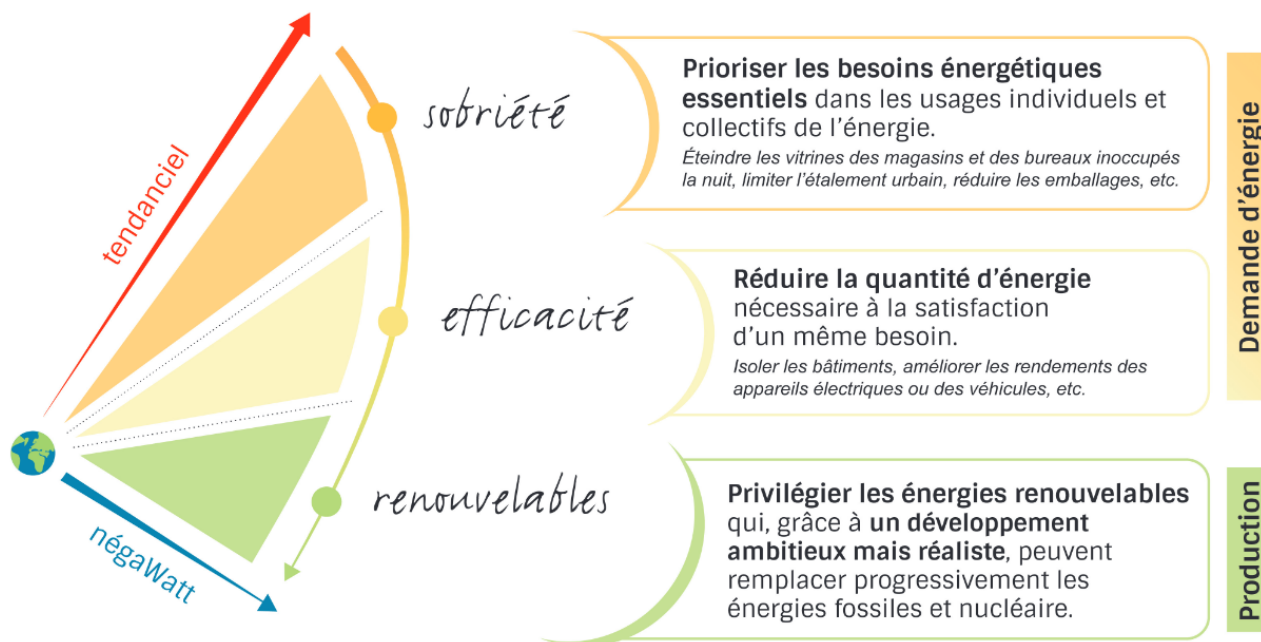
- ▶ **Approche et ambitions**
- ▶ Chauffage
- ▶ Refroidissement
- ▶ Eclairage
- ▶ Auxiliaires

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



Sobriété

- La meilleure énergie est celle qu'on ne consomme pas!



⇒ **Postulat de départ: Concevoir un projet qui ne nécessite pas d'allonger la saison de production, de choisir des plants qui peuvent être cultivés sous nos climats sans apport de chaleur ou de lumière complémentaire...**



Sobriété

- ▶ Types de cultures nécessitant de l'énergie
 - Cultures sur la toiture avec ou sans serre
 - Cultures indoor avec éclairage horticole
 - Aquaculture, aquaponie
 - Culture en cave
 - ...
- ▶ L'agriculture « traditionnelle » en nécessite moins ou pas...



Dans quel but le projet d'agriculture urbaine est-il développé ?

- ▶ But social/sociétal et de convivialité
- ▶ Activité économique

⇒ **Cela va influencer l'approche requise...**



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

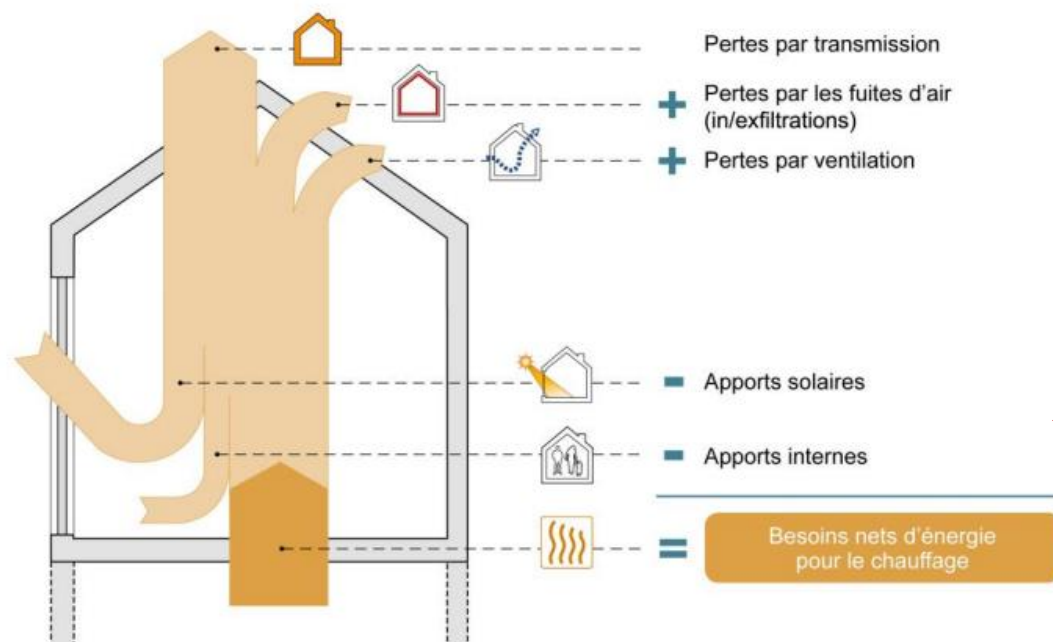
- Approche et ambitions
- **Chauffage**
- Refroidissement
- Eclairage
- Auxiliaires

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



Bilan énergétique en période de chauffage

- Les apports solaires et internes sont considérés comme des apports « gratuits »
- Dans un bilan énergétique, ils compensent pour partie les pertes



← Apports gratuits

source : Guide PEB 2021 Région Wallonne



Objectif en lien avec la formation

- ▶ Contrôler la température intérieure

Comment ?

- ▶ Stratégie passive > Les apports internes (éclairage, dégagement des plantes...) et solaires suffisent à maintenir la température souhaitée
- ▶ Stratégie active > Recours à un système de chauffage

⇒ **Consommation énergétique**

⇒ **Importance d'une régulation efficace**



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

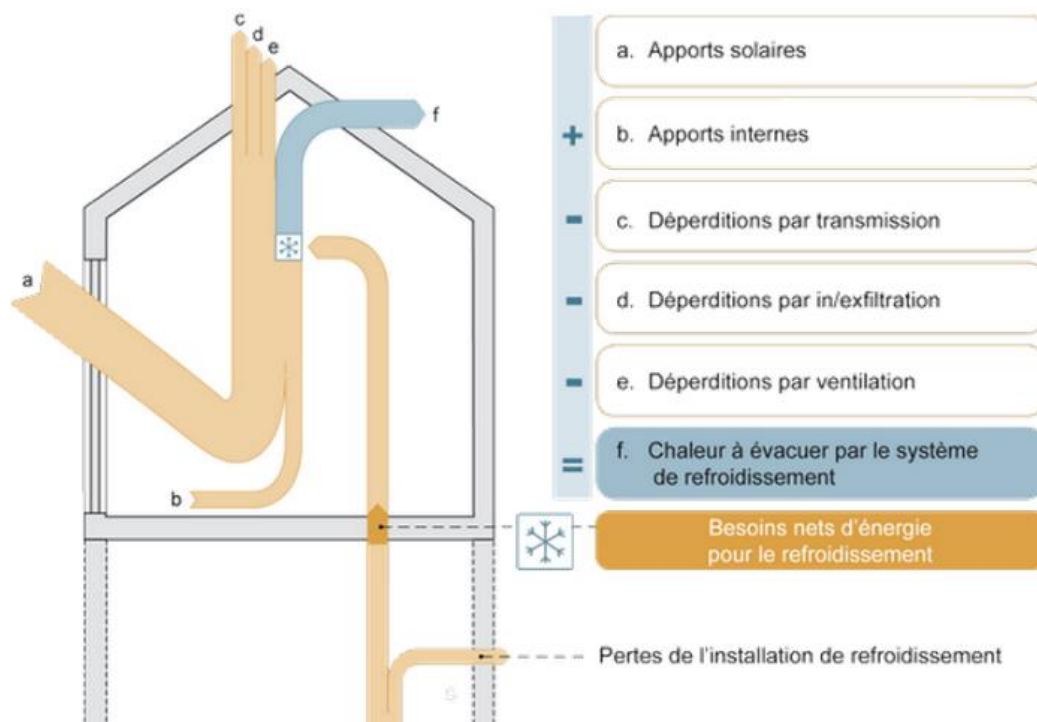
- Approche et ambitions
- Chauffage
- **Refroidissement**
- Eclairage
- Auxiliaires

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



Bilan énergétique en période de non-chauffage

- Les apports solaires et internes sont considérés comme des apports « excédentaires », quand ils sont supérieurs aux besoins
- Dans un bilan énergétique, ils sont pour partie compensés par des pertes



Source : Guide PEB 2021 Région Wallonne



Objectif en lien avec la formation

- ▶ Contrôler la température intérieure

Quelles sont les stratégies possibles ?

- ▶ Stratégies passives
- ▶ Stratégies actives

⇒ **Consommation énergétique**

⇒ **Importance d'une régulation efficace**

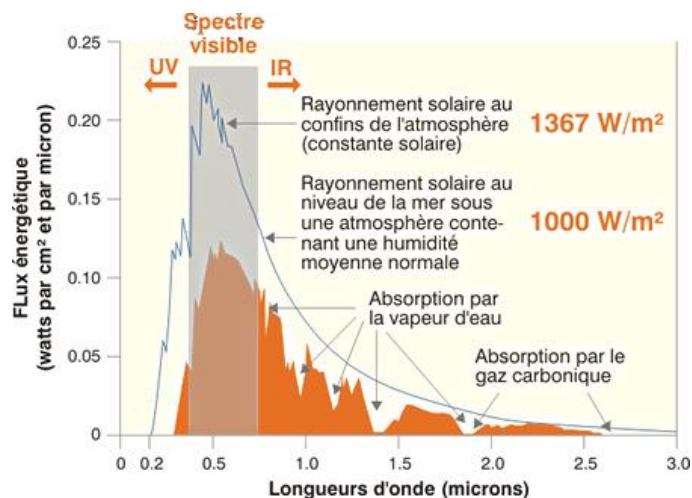


Quelles sont les stratégies passives possibles ?

- Contrôle des apports solaires > Les apports solaires se transforment en charges thermiques au passage de la paroi vitrée = effet de serre

⇒ **Protections solaires extérieures**

- Points d'attention
 - Choisir une solution qui fonctionne en toute saison – modulable (protections mobiles/amovibles)



source : énergie+



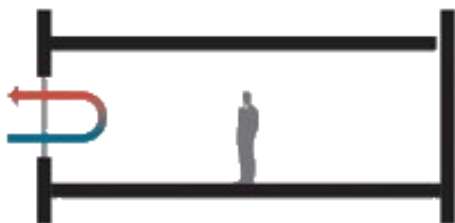
source : <http://www.eole-france.fr/>



Quelles sont les stratégies passives possibles ?

- Ventilation naturelle > remplacement de l'air chaud intérieur par de l'air plus froid

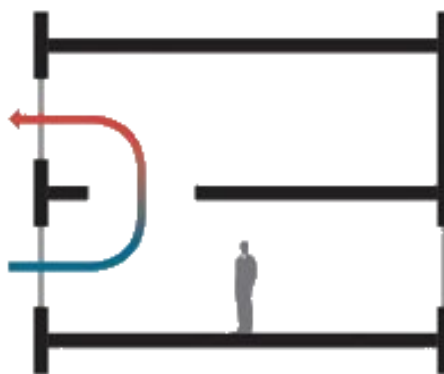
VENTILATION UNILATÉRALE



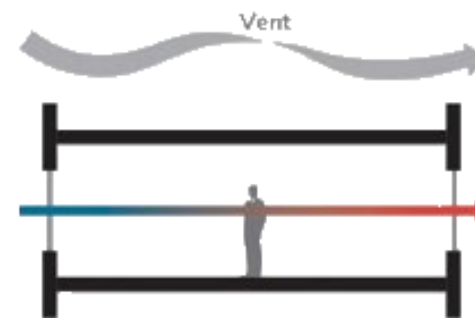
Mouvements d'air lié à la **différence de température int / ext**

> Effet cheminée

VENTILATION VERTICALE



VENTILATION TRANSVERSALE



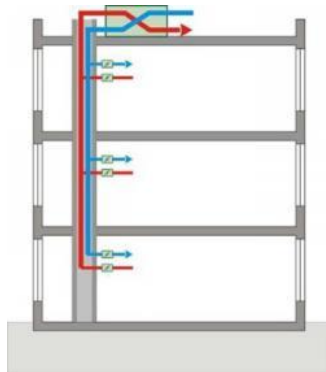
Mouvements d'air lié à la **différence de pression entre les façades**

> Effet de vent

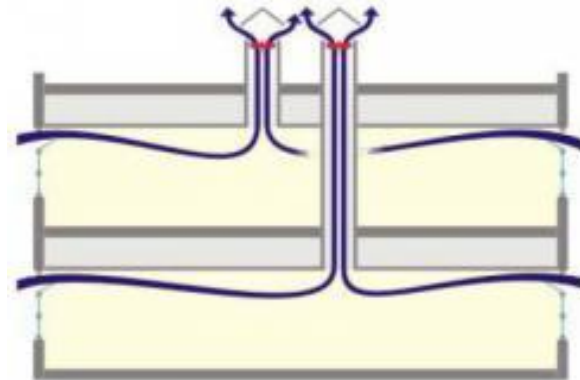


Quelles sont les stratégies actives possibles ?

- ▶ Ventilation mécanique > Déplacement de l'air via des ventilateurs
- ▶ Ventilation hybride > Déplacement de l'air via une combinaison de la ventilation naturelle et mécanique, ou une ventilation naturelle “mécaniquement assistée” lorsque les débits ne sont pas suffisants
- ▶ Points d'attention
 - Déterminer le débit à mettre en œuvre en période estivale
 - Ventilation nocturne
 - Air extrait du bâtiment si $T^{\circ} \text{ ext.} < T^{\circ} \text{ int.}$
 - Limiter l'emploi des ventilateurs



source : Bruxelles Environnement

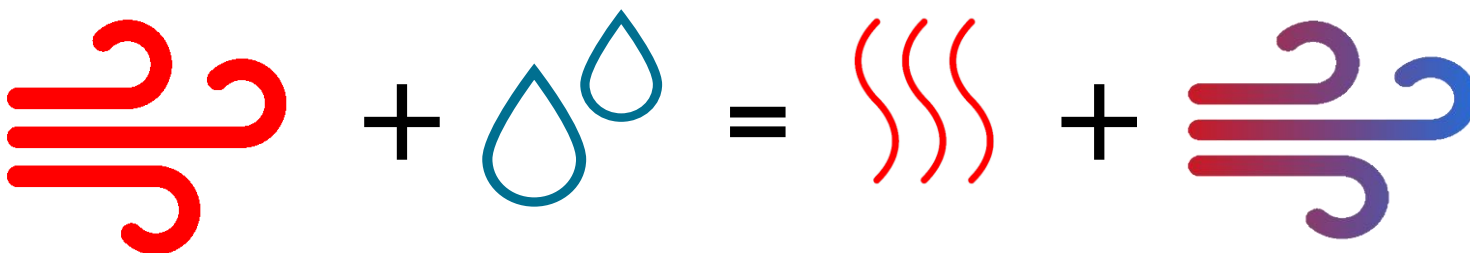


source : UCL



Quelles sont les stratégies actives possibles ?

- Refroidissement adiabatique > De l'eau est pulvérisée dans l'air, elle récupère de la chaleur contenue dans l'air pour s'évaporer > L'air s'en retrouve plus frais



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

- Approche et ambitions
- Chauffage
- Refroidissement
- **Eclairage**
- Auxiliaires

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



HPS (Haute Pression Sodium)

- ▶ Nouvelle génération à haute efficacité
- ▶ Flux de photons performant
- ▶ Puissance du luminaire jusqu'à 1.000 W
- ▶ Durée de vie 10.000 – 20.000 heures
- ▶ Contrôle électronique du ballast



Source : Gavita



CMH (Céramique halogénures métalliques)

- ▶ Bonne répartition du flux photonique par rapport à la surface de culture
- ▶ Bonne efficacité
- ▶ Durée de vie 20.000 – 30.000 heures



Source : www.cycloptics.com



LED

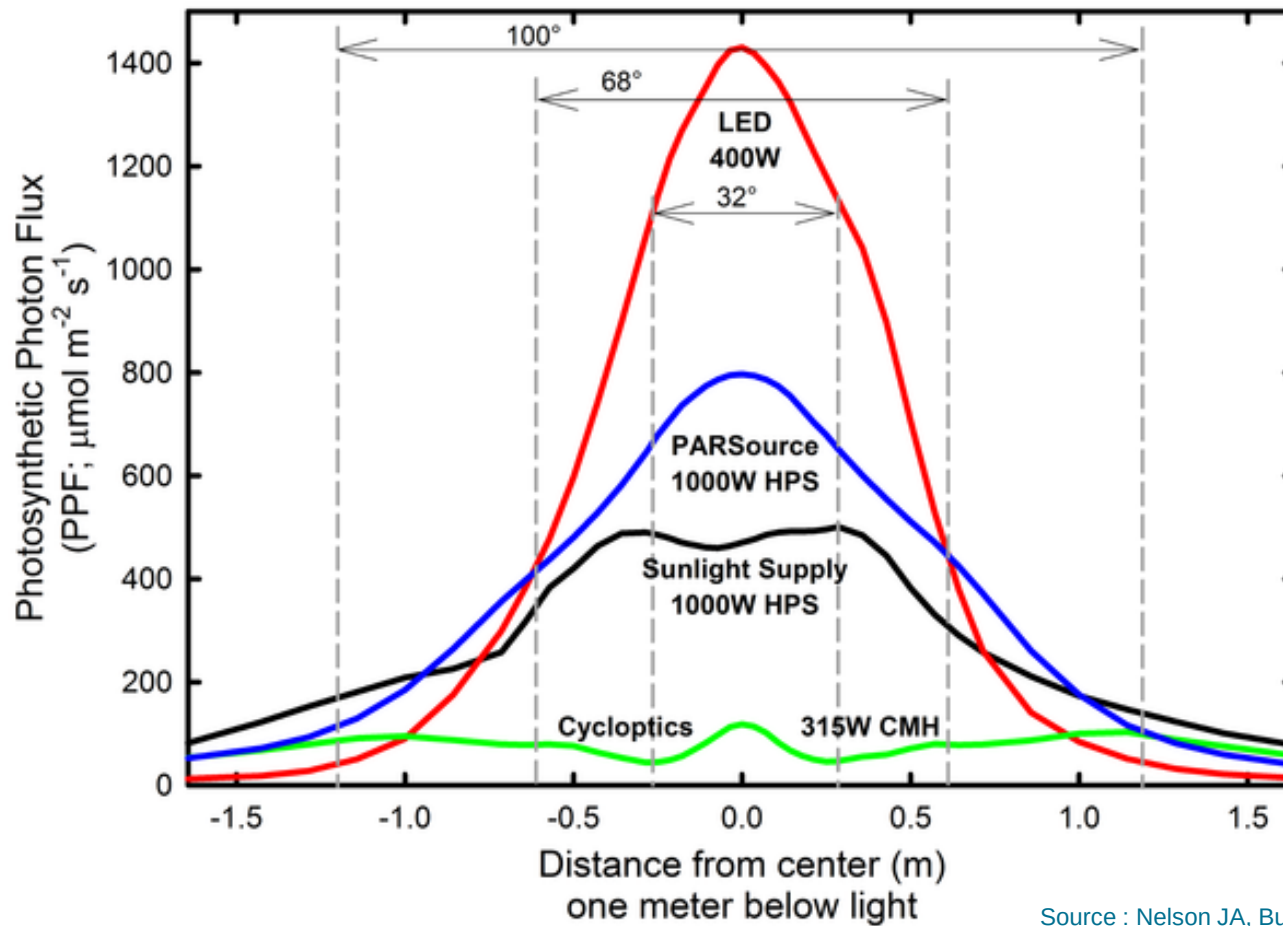
- ▶ Efficacité énergétique très variable (de très bon à très mauvais)
- ▶ Faisceau directionnel
- ▶ Durée de vie jusqu'à 50.000 heures (mais peut être très court)
- ▶ Peu de dissipation de chaleur
- ▶ Possibilité d'installation à proximité des plants



Source : LumiGrow



Comparatif des flux lumineux

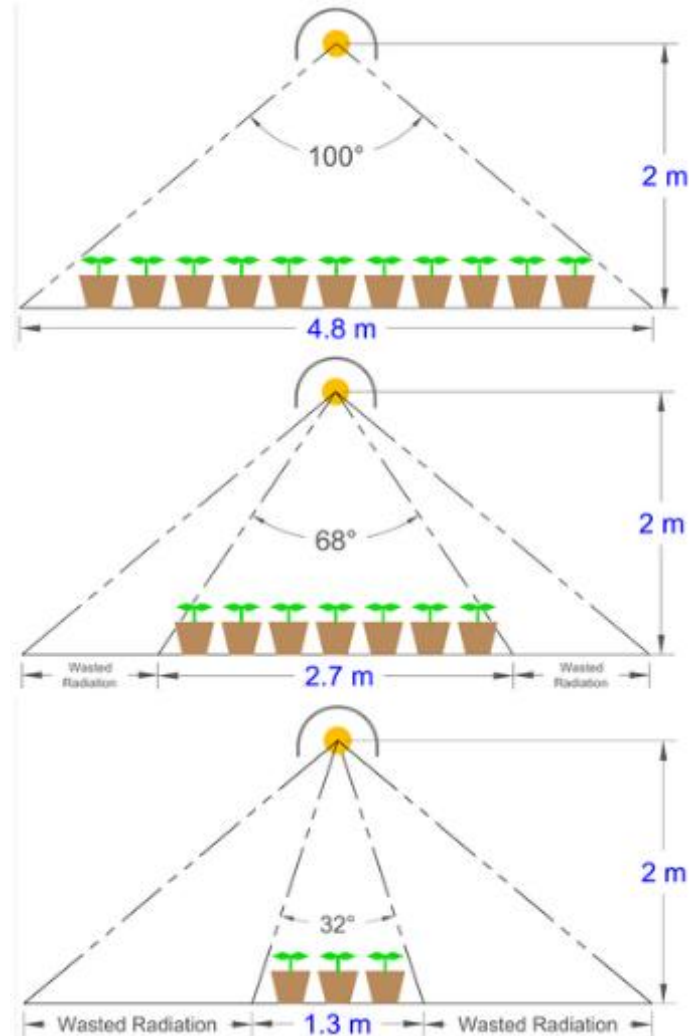


Source : Nelson JA, Bugbee B (2014)
Economic Analysis of Greenhouse Lighting



Optimisation du flux lumineux

Importance du
positionnement
des luminaires et
des plantations



Source : Nelson JA, Bugbee B (2014)
Economic Analysis of Greenhouse Lighting



Etude comparative du coût des différentes technologies

(Nelson JA, Bugbee B; 2014)

- Pour 3.000 heures de fonctionnement par an (extrait)

Type de lampe	Efficacité photonique [$\mu\text{mol/s}$]	Coût de la lampe [\$us]	Coût électrique [\$us/($\mu\text{mol/s}$).an]	Coût total après 5 ans [\$us/($\mu\text{mol/s}$).an]
400 W magn. Sunlight HPS	416	200	0,35	0,40
1000 W elec. GavitaHPS	1751	500	0,19	0,23
LED (rouge/bleu) LSG	653	1200	0,19	0,54
LED (rouge/blanc/bleu) Lumigrow 325	390	1000	0,26	0,73
Ceramic Metal Halide Cycloptics 315 3100K	491	640	0,23	0,46



Conclusion

- ▶ Lampe HPS nouvelle génération = meilleur rapport efficacité/prix
- ▶ LED > Qualité variable ! Ne pas descendre en-dessous de 120 lm/W
- ▶ De plus en plus souvent, les LEDS sont intégrés à un appareil

Critères de choix

- ▶ Efficacité photonique de la lampe
- ▶ Durée de vie (coût du relamping)
- ▶ Quelle utilisation, durée de fonctionnement
- ▶ Type de culture et positionnement de l'éclairage

Points d'attention

- ▶ Positionnement des lampes
- ▶ Besoins en CO₂ lors de l'utilisation de l'éclairage
- ▶ Pouvoir d'attraction des insectes et nuisibles
- ▶ Effet de l'éclairage LED sur les travailleurs
- ▶ Analyse du cycle de vie et énergie grise



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

- Approche et ambitions
- Chauffage
- Refroidissement
- Eclairage
- **Auxiliaires**

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



Choisir des pompes efficaces

- ▶ Application: pour l'aquaculture et l'aquaponie
- ▶ Débits importants

Ferme BIGH : 250 m³/h pour 14 bassins de culture

Filtration biologique : bassin de 50 m³

- ▶ Optimiser le réseau hydraulique (pertes de charges) et dimensionnement de la pompe
- ▶ Utilisation d'un variateur de fréquence
- ▶ Moteurs synchrones : rendement de l'ordre de 94% pour une puissance de 25 kW



Source : Leroy-Somer

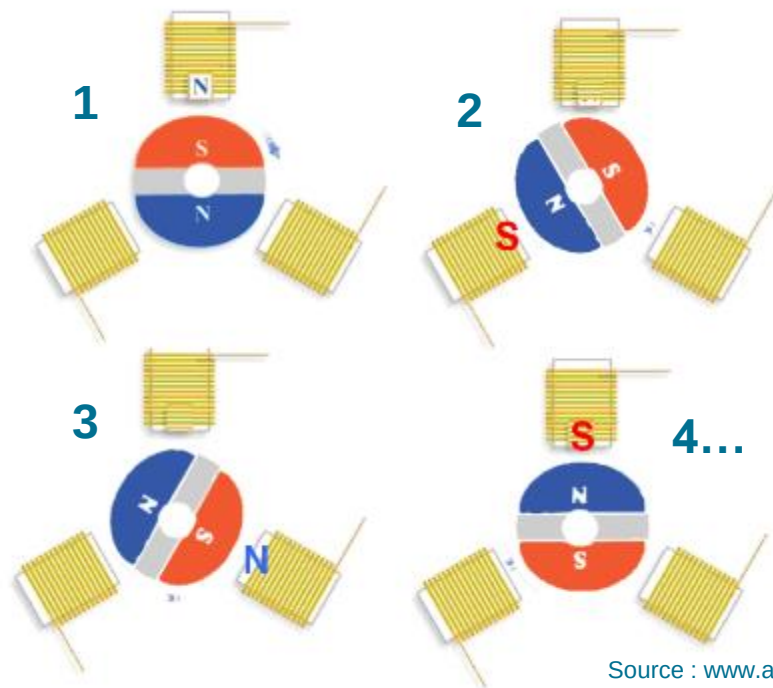


Choisir des systèmes de ventilation efficaces

- ▶ Moteur à commutation électronique (EC)
- ▶ Régulation simple (signal 0-10V)
- ▶ Efficacité énergétique : rendement supérieur de 30 à 40 % par rapport aux moteurs asynchrones
- ▶ Optimisation des débit grâce à une régulation fine (T° , CO_2 , HR)



Source : Rosenberg



Source : www.abcclim.net



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



Synergies et circuits-courts



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

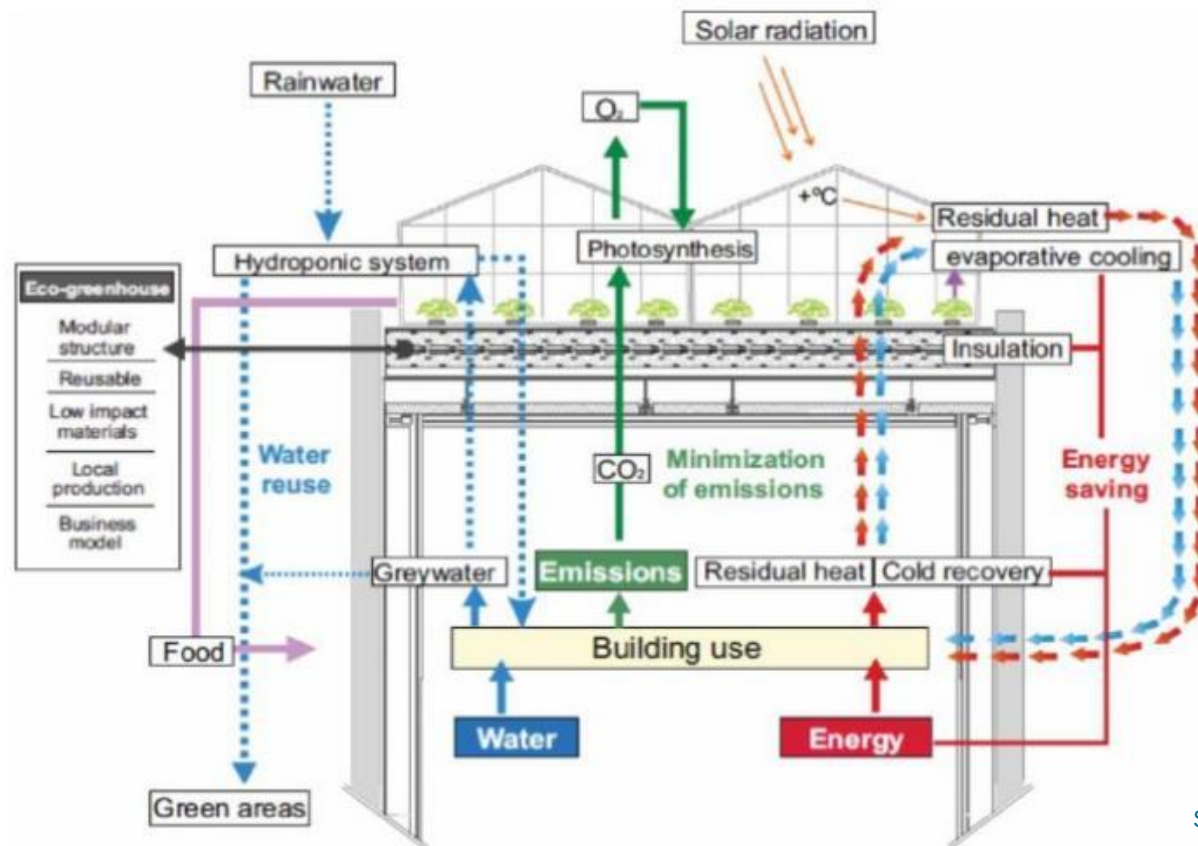
SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES

- ▶ **Serre sur toiture**
- ▶ Culture de champignons
- ▶ Rotation de cultures



Pourquoi implanter une serre sur le toit d'un immeuble ?

- Réduction des déperditions au niveau de la toiture
- Bénéficier d'apports solaires
- Bénéficier d'apports gratuits du bâtiment > pertes thermiques, air extrait



Source : Cerón-Palma et al., 2012

Figure 2: Conceptualization of RTEG. The illustration emphasizes the interchange of water, energy and gas (e.g., CO₂) flows between the rooftop greenhouse and the associated building.

Bien définir son projet agricole pour connaître le besoin en énergie

- ▶ Types de culture, périodes de culture
- ▶ Température minimale admissible

Réaliser un bilan thermique de la serre et du bâtiment en prenant en compte

- ▶ Les apports solaires
- ▶ Les apports du bâtiment (liés aux déperditions de la toiture)
- ▶ Les apports liés à la récupération de chaleur sur la ventilation



Récupération des déperditions thermiques de la toiture

- ▶ Pertinent pour un bâtiment dont la toiture n'est pas isolée
- ▶ Maintien d'une température minimale pour la culture en hiver

Estimer la quantité d'énergie dissipée par la toiture

- ▶ Exemple
 - Température intérieure moyenne = 19°C
 - Température extérieure moyenne (saison de chauffe) = 4°C
 - Saison de chauffe = 5.800h

Toiture plate non isolée avec $U = 2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$

$$Q = 2,5 \times (19-4) \times 5800 / 1000 = \mathbf{217,5} \text{ kWh/m}^2$$



Toiture isolée avec $U = 0,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$

$$Q = 0,3 \times (19-4) \times 5800 / 1000 = \mathbf{26} \text{ kWh/m}^2$$

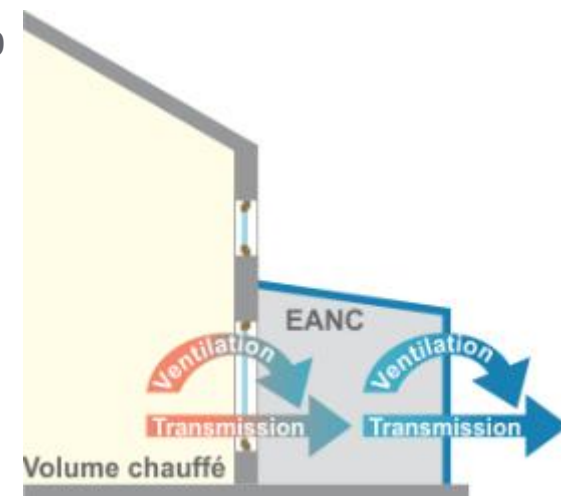


Calcul de la diminution des déperditions grâce à la serre = espace adjacent non chauffé

- Déterminer le coefficient de réduction de température b

- Toiture non isolée (1.000 m^2)
- Serre polycarbonate 32 mm et 16 mm
($U \text{ parois} = 1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $U \text{ toit} = 2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$)

⇒ $b = 0,75$ avec
renouvellement d'air 3 vol/h → - 25 %



Source : energieplus

Estimer la quantité d'énergie récupérée via la toiture

- Toiture non isolée : $Q_r = 217,5 \times 0,75 = 163 \text{ kWh/m}^2$
- Toiture isolée : $Q_r = 26 \times 0,75 = 19,5 \text{ kWh/m}^2$

⇒ Valorisation déperditions thermiques / Besoins des plantes



Limiter les besoins de chauffage pour la culture

- ▶ Stockage des apports solaires dans les parois inertielles (sol)
- ▶ Isolation et étanchéité de la serre
 - Déterminer le meilleur rapport entre performance thermique des parois et apports solaires
 - Matériaux : Polycarbonate (U de 2,5 à 1 $W/m^2.K$), double vitrage, ETFE (légèreté)
- ▶ Pulsion dans la serre de l'air extrait du bâtiment (CO_2 , T° , Humidité)
 - Centrale de traitement d'air (CTA) sans récupérateur de chaleur
 - Détermination du gain énergétique en fonction du débit



Bien définir l'utilisation de la serre

Utilisation de la chaleur pour le projet agricole

VS

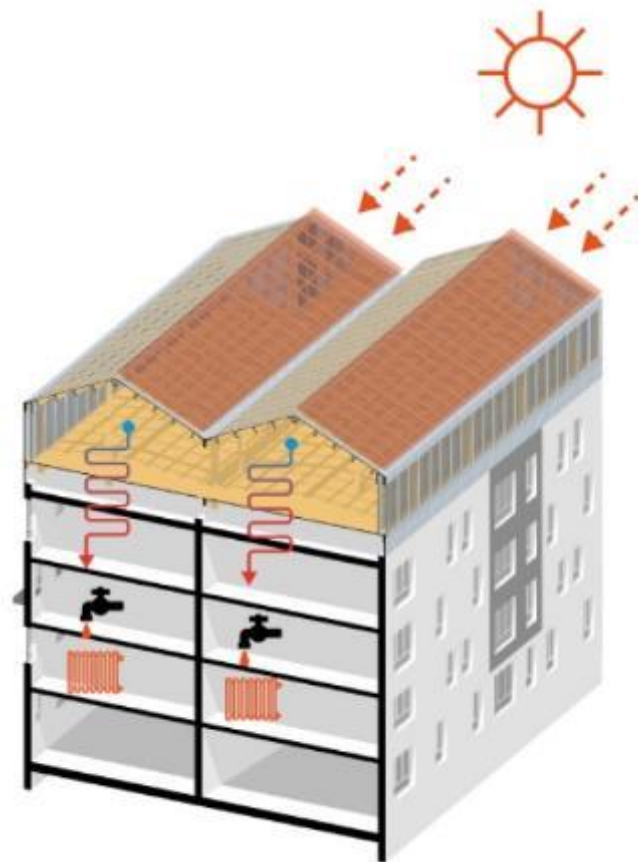
Récupération de la chaleur de la serre pour le bâtiment





Exemple : projet symbiose à Nantes (France)

- ▶ Implantation d'une serre sur le toit d'un immeuble de logement existant
- ▶ 24 logements → 400 m² de serre
- ▶ Couverture en polycarbonate et façades en verre simple
- ▶ Usage collectif (pas d'activité maraîchère commerciale à priori)
- ▶ Utilisation de la chaleur extraite de l'air de la serre pour la production d'ECS via une PAC



Source : projet Symbiose





Exemple : Projet symbiose à Nantes (France)

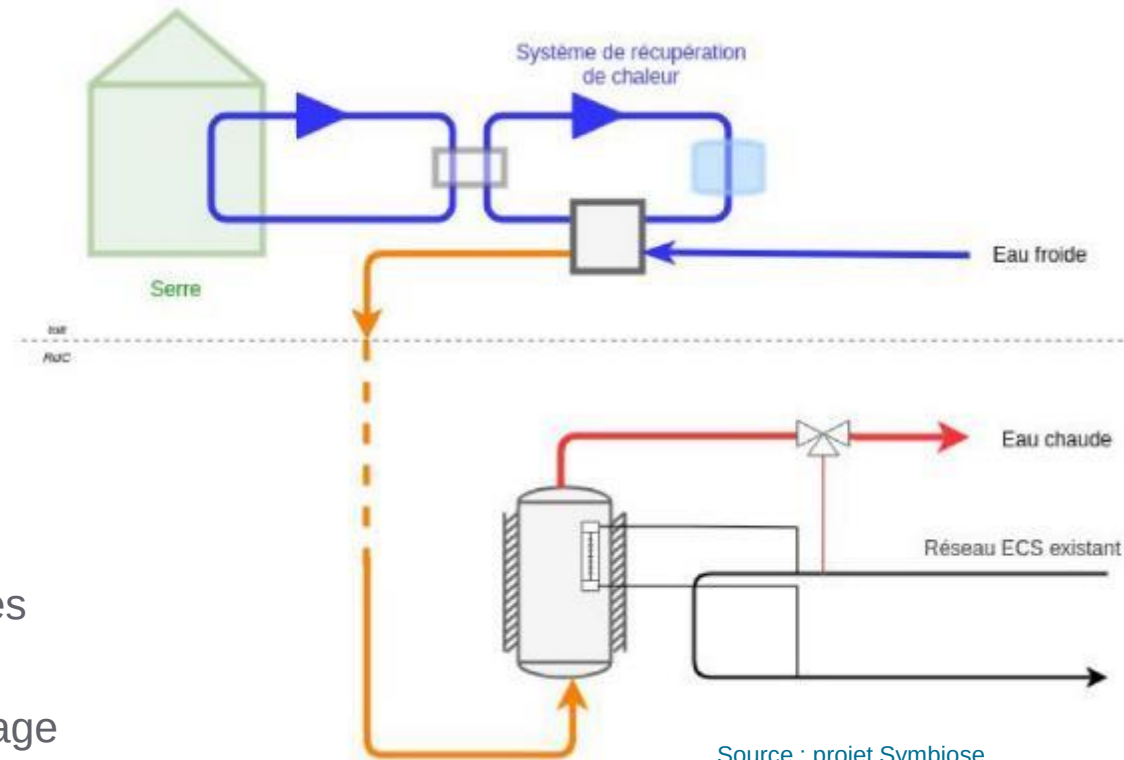
- ▶ Energie de récupération estimée à 250 kWh/m².an
- ▶ Balance entre climat dans la serre et récupération d'énergie
- ▶ Objectifs : 80% des besoins d'ECS et 20% des besoins de chauffage

Données
météorologiques

Monitoring

**Régulation avec outil de
prédiction (48h) permettant
d'estimer la production
d'énergie à partir de la serre**

- ▶ Ouvrants / protections solaires
- ▶ Ventilation
- ▶ Fonctionnement PAC / stockage



Source : projet Symbiose



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

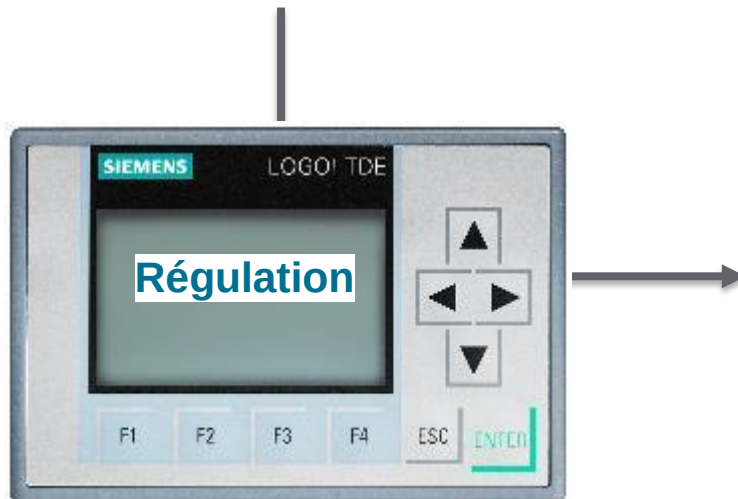
SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES

- Serre sur toiture
- **Culture de champignons**
- Rotation de cultures



Conditions de cultures

- ▶ Température de 12 à 16 °C
- ▶ Humidité relative de 75 à 95 %
- ▶ Ventilation à débit variable
- ▶ Contrôle du taux de CO₂

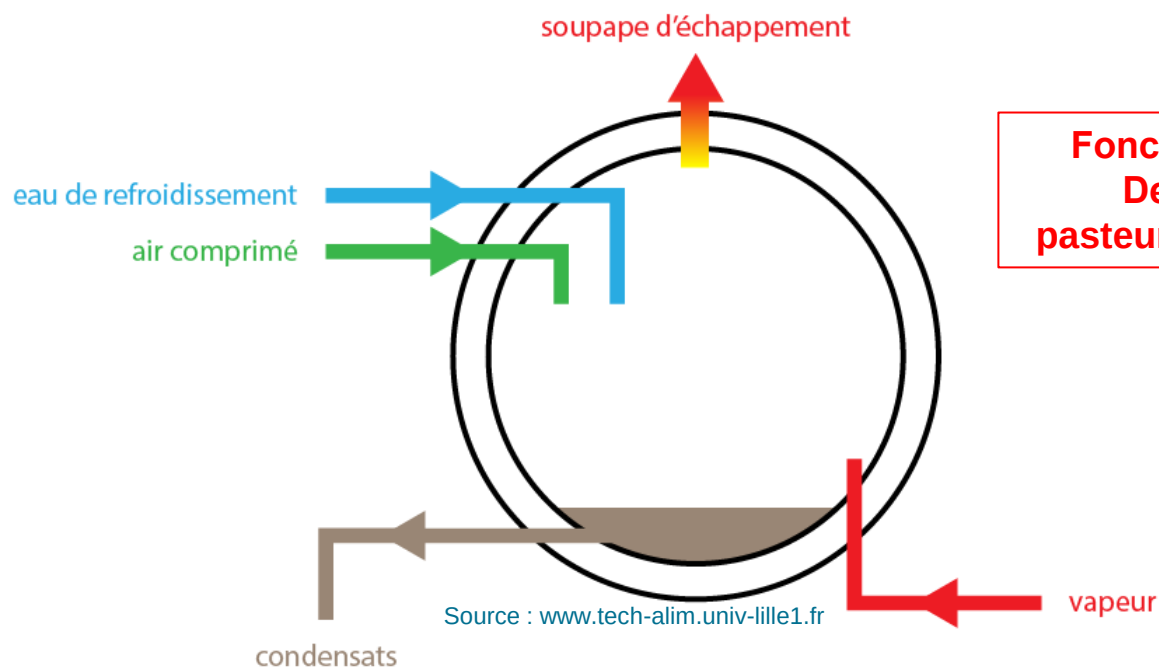


Source : Siemens



Process

- Réalisation du substrat
- Pasteurisation : de 60 à 95 °C
- Inoculation (ensemencement)
- Incubation : 20 à 25 °C pendant 2 semaines
- Fructification : température de cave + contrôle humidité et CO₂



Fonctionnement d'un autoclave :
Demande d'énergie pour la
pasteurisation sous forme de vapeur



Synergie possible entre les différentes phases du process

- ▶ Production de froid pour le maintien des conditions de culture
- ▶ Récupération de chaleur sur la machine frigorifique pour :
 - la pasteurisation
 - l'incubation



Source : www.nowaste.be



Source : www.permafungi.be



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES

- Serre sur toiture
- Culture de champignons
- **Rotation de cultures**



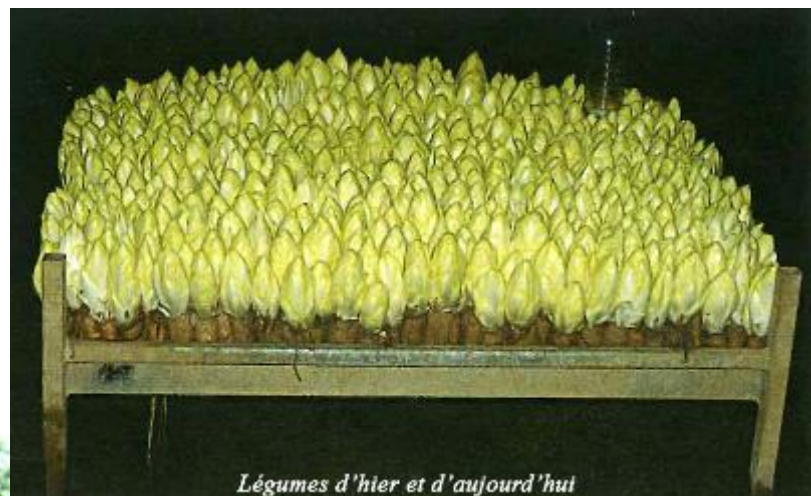
44 ROTATION DE CULTURE DANS LE BÂTIMENT

Dans un but d'efficacité énergétique

- ▶ Culture sous serre (toiture) de mars à novembre
- ▶ Culture en cave de novembre à mars (champignons, chicons...)
- ▶ Utilisation de la salle d'incubation pour la culture de micropousses sous éclairage artificielle (ECLO)
- ▶ En hiver : récupération de la chaleur de la serre pour le bâtiment



Source : www.permafungi.be



Source : www.biologie.ens-lyon.fr



Source : www.eclo.be





- ▶ L'infrastructure destinée à l'agriculture urbaine doit être conçue en fonction du plan de culture et du type de bâtiment auquel le projet est adossé
- ▶ A l'inverse, dans une logique d'utilisation rationnelle de l'énergie ou de limitation de l'impact environnemental, on ne peut pas tout « s'autoriser » > Il est important de faire la balance entre les enjeux sociaux et énergétiques (ou liés à la gestion de l'eau, la biodiversité...)
- ▶ Les possibilités de synergie sont multiples
- ▶ Vision à long terme : maintenance, consommations énergétiques, synergies développées avec le bâtiment (accord propriétaire bâtiment <> opérateur agricole)





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ Thème Agriculture urbaine
Dossier I Intégrer l'agriculture urbaine
Dispositif I Serres



Site internet

- ▶ Site énergie plus
<https://energieplus-lesite.be/>
- ▶ GROOF - Greenhouses to Reduce CO2 on Roofs
<https://www.nweurope.eu/projects/project-search/groof/>



Articles

- ▶ Cerón-Palma et al. (2012)
Barriers and Opportunities Regarding the Implementation of Rooftop Eco.Greenhouses (RTEG) in Mediterranean Cities of Europe
- ▶ Ademe (2017)
Agriculture urbaine, quels enjeux de durabilité
www.ademe.fr/mediatheque



Muriel BRANDT

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

