

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

AGRICULTURES URBAINES ET
BÂTIMENT DURABLE

PRINTEMPS 2022

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

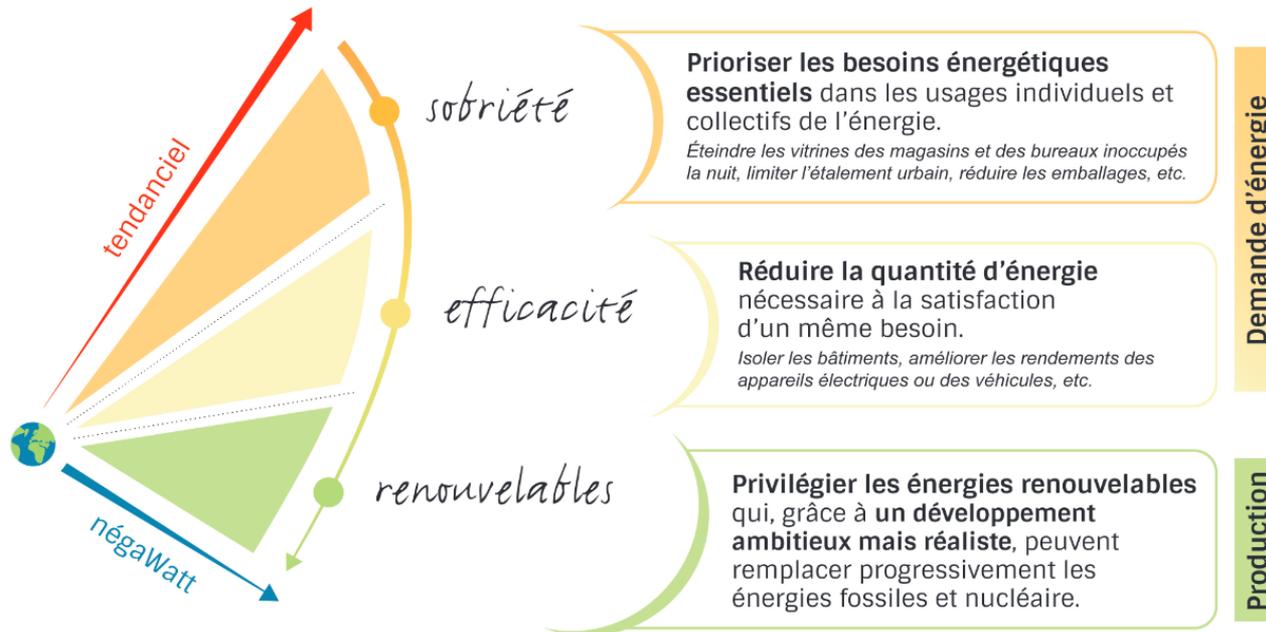
- ▶ **Approche et ambitions**
- ▶ Refroidissement
- ▶ Eclairage
- ▶ Auxiliaires

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...**



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



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

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

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



Objectif

- ▶ Contrôler la température intérieure

Stratégies passives

- ▶ Protections solaires extérieures
- ▶ Ventilation naturelle



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



Objectif

- ▶ Contrôler la température intérieure

Stratégies actives

- ▶ Ventilation mécanique ou hybride
 - Déterminer le débit à mettre en œuvre en période estivale
 - Ventilation nocturne
 - Air extrait du bâtiment si $< T^{\circ}$ ext.
 - Limiter l'emploi des ventilateurs
- ▶ Refroidissement adiabatique

⇒ **Consommation énergétique**

⇒ **Importance d'une régulation efficace**



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



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

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

SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES



HPS (Haute Pression Sodium)

- ▶ Nouvelle génération à haute efficacité
- ▶ Flux de photons performant
- ▶ Puissance du luminaire jusque 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

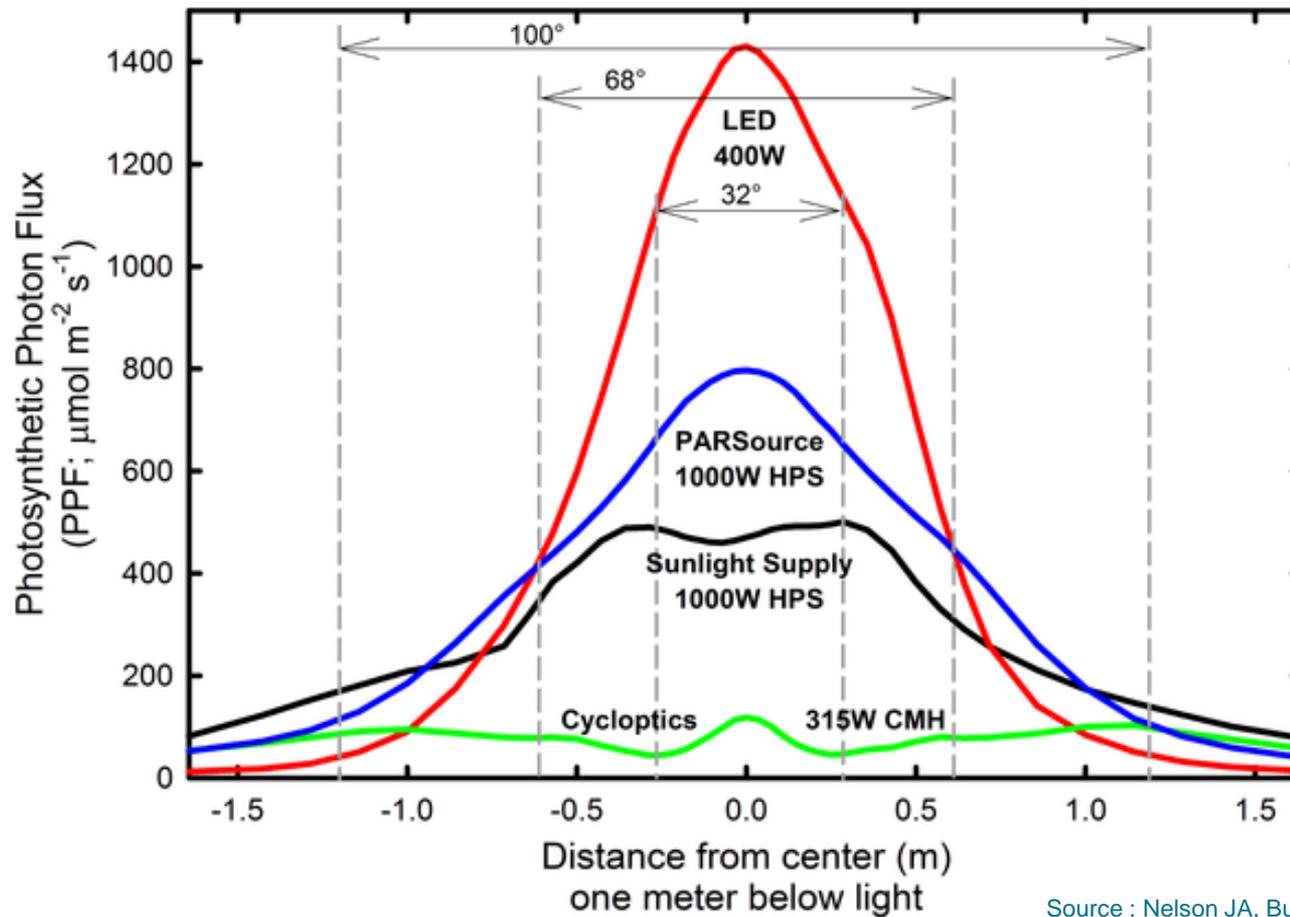
- ▶ Efficacité énergétique très variable (de très bon à très mauvais)
- ▶ Faisceau directionnel
- ▶ Durée de vie jusqu'à 50.000 heures (mais peut être très court)
- ▶ Peu de dissipation de chaleur
- ▶ Possibilité d'installation à proximité des plants



Source : LumiGrow



Comparatif des flux lumineux

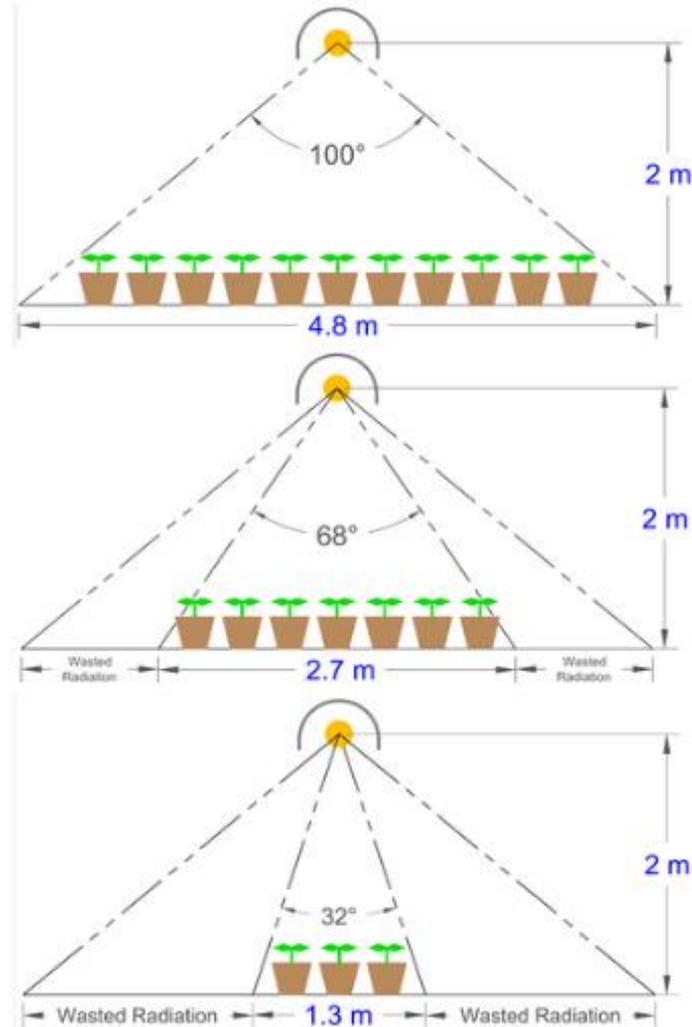


Source : Nelson JA, Bugbee B (2014)
Economic Analysis of Greenhouse Lighting



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 [$\mu\text{mol}/\text{sec}$]	Coût de la lampe [\$US]	Coût électrique [dollars/micro mol/m ² .an]	Coût total après 5 ans [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{an}$]
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
- ▶ 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

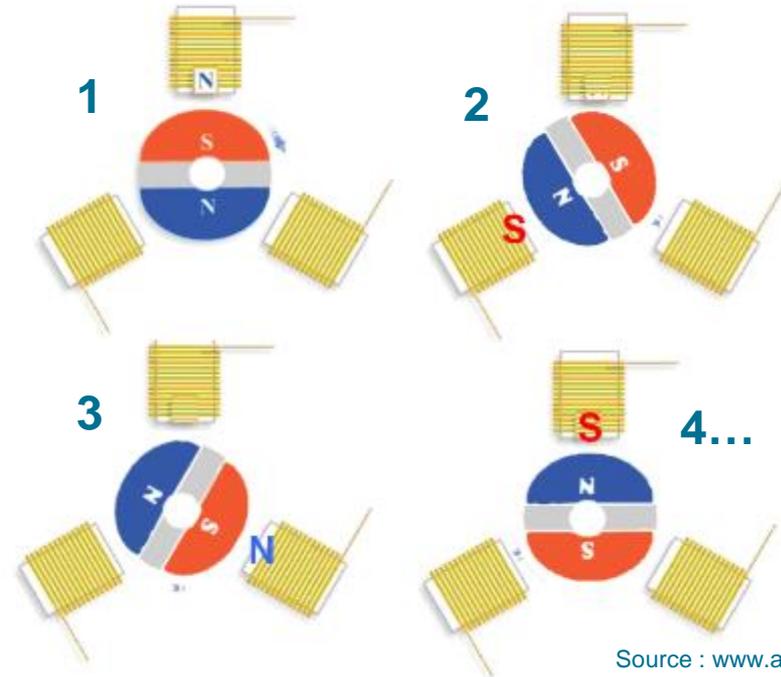


Choisir des systèmes de ventilation efficaces

- ▶ 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

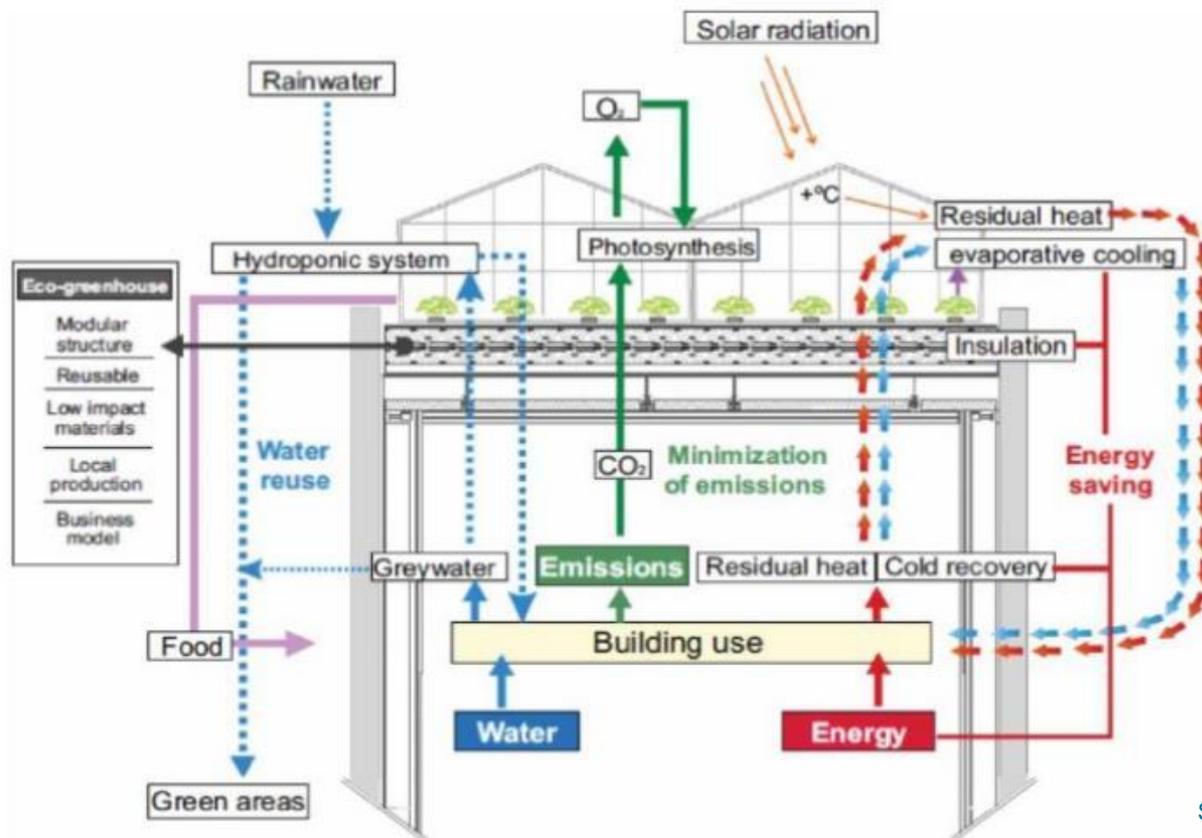
SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES

- ▶ **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
- ▶ Bénéficiaire d'apports solaires
- ▶ Bénéficiaire 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., CO_2) 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 $U = 2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

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



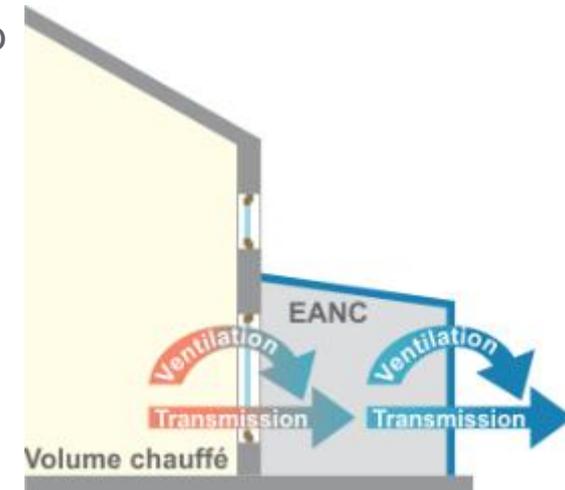
Toiture isolée avec $U = 0,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

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



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 m²)
 - Serre polycarbonate 32 mm et 16 mm
(U parois=1,5 W/m².K et U toit=2,5 W/m².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 : $Q_r = 217,5 \times 0,75 = \mathbf{163}$ kWh/m²
- ▶ Toiture isolée : $Q_r = 26 \times 0,75 = \mathbf{19,5}$ kWh/m²

⇒ **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)
- ▶ Pulsation 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

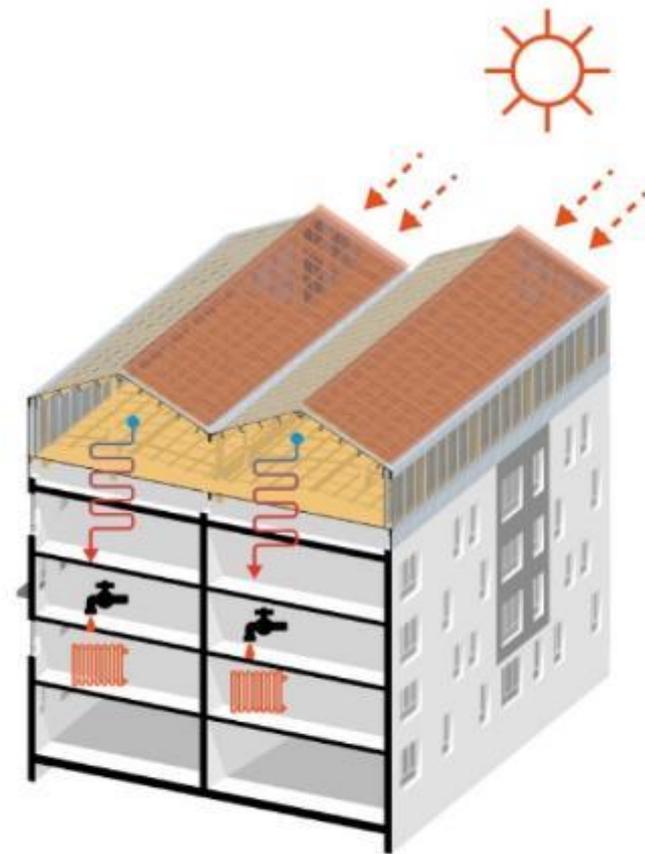
Récupération de la chaleur de la serre pour le bâtiment





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)

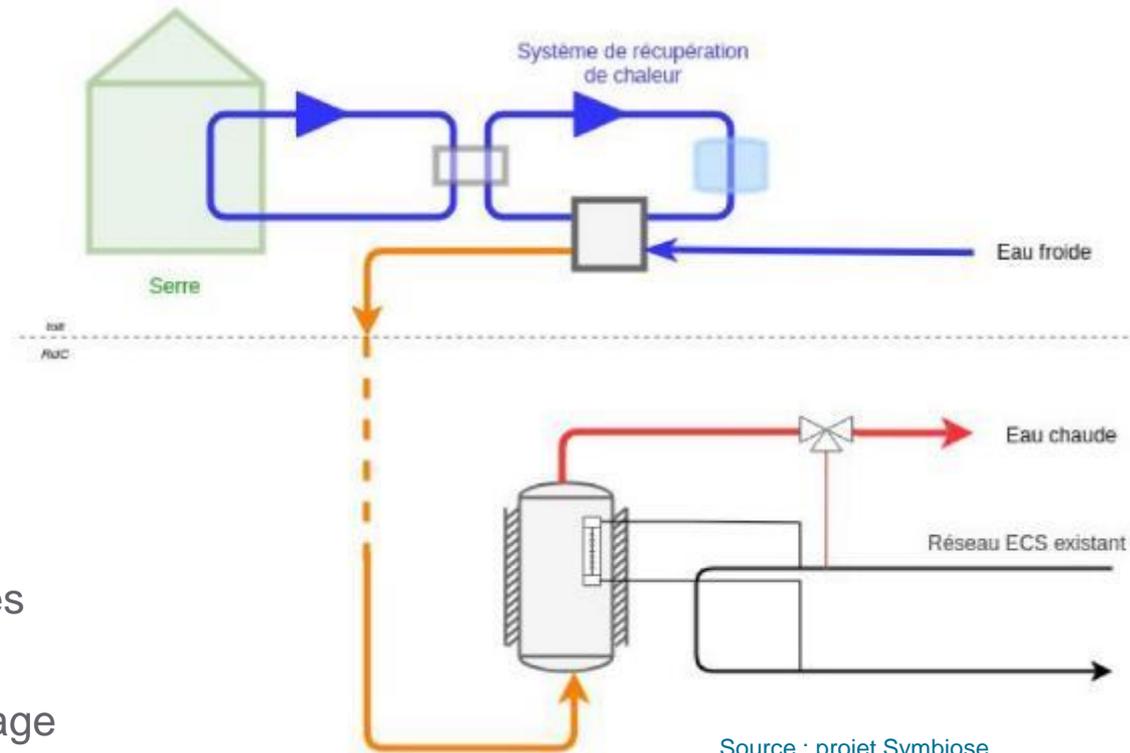
- ▶ Energie de récupération estimée à 250 kWh/m².an
- ▶ Balance entre climat dans la serre et récupération d'énergie
- ▶ Objectifs : 80% des besoins d'ECS et 20% des besoins de chauffage

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



ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

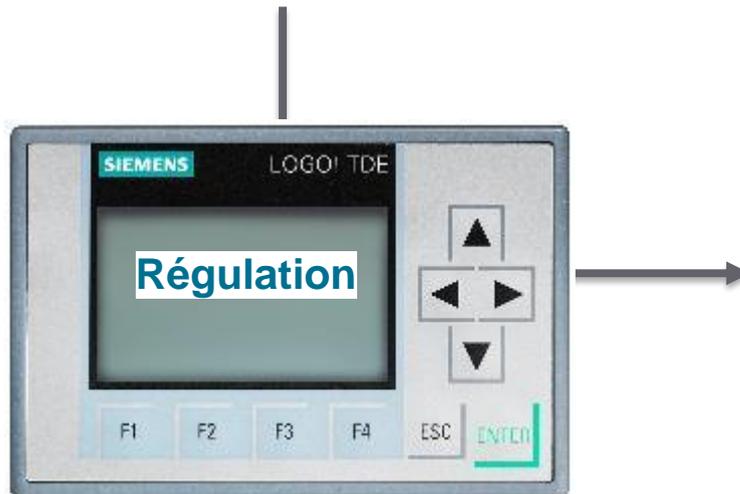
SYNERGIES ÉNERGÉTIQUES

- ▶ 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

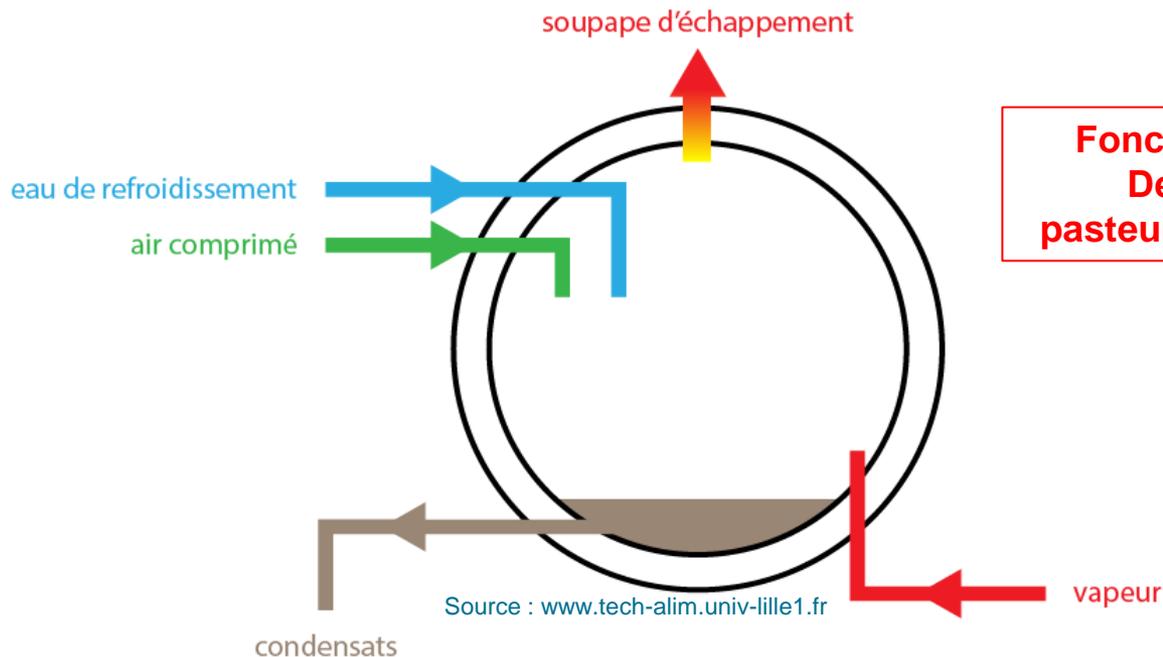


Source : Siemens



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



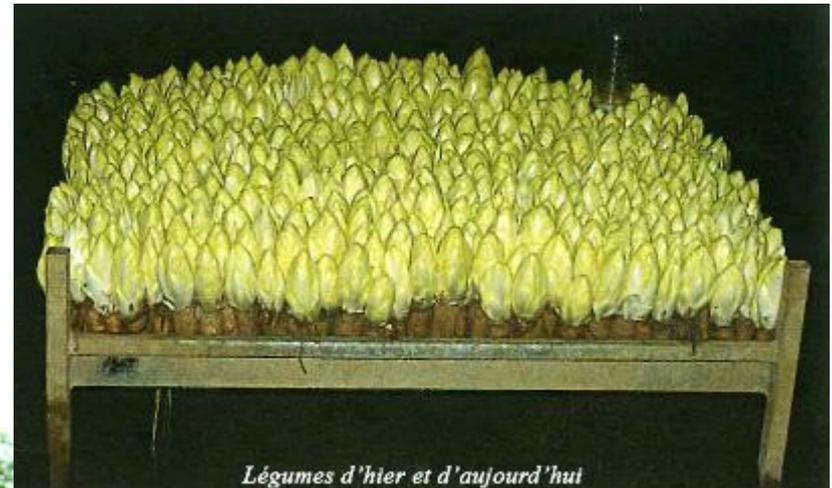
37 ROTATION DE CULTURE DANS LE BÂTIMENT

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



Légumes d'hier et d'aujourd'hui

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 | Intégrer l'agriculture urbaine
Dispositif | 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

