

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

AGRICULTURES URBAINES ET
BÂTIMENT DURABLE

AUTOMNE 2019

Gestion de l'énergie

Paulo SEIXAS

écorce
INGENIERIE CONSULTANT





- ▶ Optimiser l'intégration d'un projet d'AU dans un bâtiment
- ▶ Donner des pistes de réflexion pour réduire les consommations
- ▶ Aide à la décision pour le choix des équipements techniques

⇒ **Enjeux de durabilité**



INTRODUCTION

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ET SYNERGIES

- ▶ Serre sur toiture
- ▶ Culture de champignons

ECLAIRAGE

- ▶ Les technologies d'éclairage horticole
- ▶ Efficacité et consommation

CONSOMMATION DES AUXILIAIRES



Synergies et circuits-courts



Intégration de l'agriculture urbaine dans le bâtiment

- ▶ Cultures sur la toiture avec ou sans serre
- ▶ Cultures indoor avec éclairage horticole
- ▶ Aquaculture, aquaponie
- ▶ Culture en cave

⇒ **Plan de culture et définitions des besoins**

Gestion de l'énergie

- ▶ Besoins de chauffage
- ▶ Ventilation
- ▶ Consommation des auxiliaires (ventilateurs, pompes...)
- ▶ Régulation avec GTC



INTRODUCTION

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ET SYNERGIES

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

ECLAIRAGE

- ▶ Les technologies d'éclairage horticole
- ▶ Efficacité et consommation

CONSOMMATION DES AUXILIAIRES



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

- ▶ Réduction des déperditions au niveau de la toiture
- ▶ Bénéficier d'apports solaires

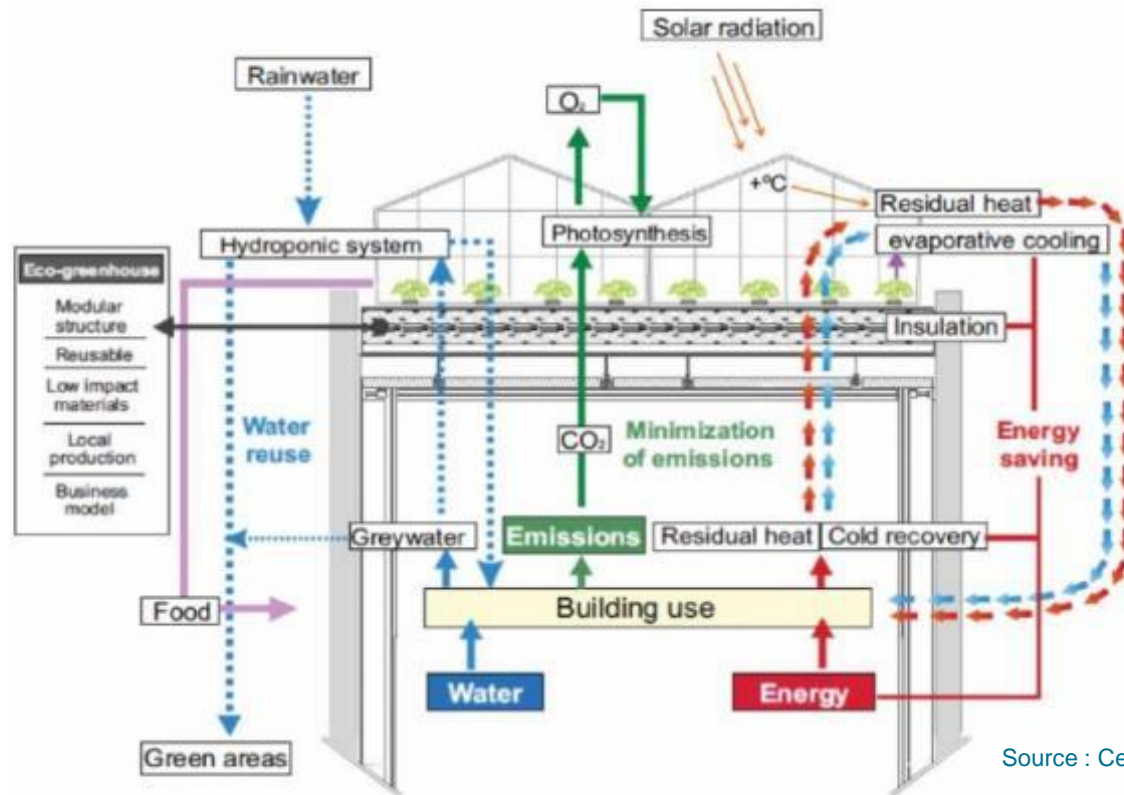


Figure 2: Conceptualization of RTEG. The illustration emphasizes the interchange of water, energy and gas (e.g., CO₂) flows between the rooftop greenhouse and the associated building.

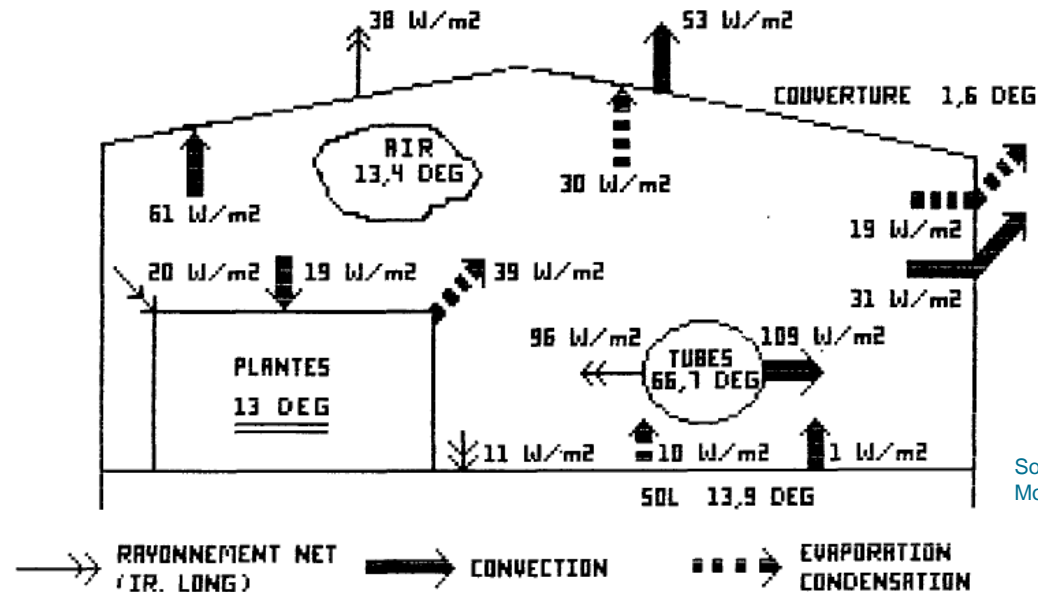


Définir les besoins de chauffage

- ▶ Types de culture, périodes de culture
- ▶ Température minimale admissible
- ▶ Apports toiture / ventilation bâtiment

⇒ **Simulation thermique dynamique**

Bilan thermique d'une serre chauffée en hiver



Récupération des déperditions thermiques de la toiture

- ▶ Pertinent pour un bâtiment existant
- ▶ Maintien d'une température minimale pour la culture en hiver

Estimer la quantité d'énergie dissipée par la toiture

- ▶ Exemple avec une toiture plate non isolée :
 - $U = 2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
 - Température intérieure moyenne = 19°C
 - Température extérieure moyenne (saison de chauffe) = 4°C
 - Saison de chauffe = 5800h

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

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

$$Q = 26 \text{ kWh/m}^2$$



Calcul de la diminution des déperditions grâce à la serre

- ▶ Espace adjacent non chauffé
- ▶ Déterminer le coefficient b
 - Toiture non isolée (1 000 m²)
 - Serre polycarbonate 32 mm et 16 mm (U parois=1,5 W/m².K U toit=2,5 W/m².K)

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

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 via l'inertie thermique du sol
 - ⇒ **Réduction jusqu'à 20 % des besoins de chauffage lors de journées ensoleillées**

- ▶ 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/m².K), double vitrage, ETFE (légèreté)

- ▶ Pulsion dans la serre de l'air extrait du bâtiment (CO₂, T°, Humidité)
 - CTA sans récupérateur de chaleur
 - CTA avec récupérateur
 - Détermination du gain énergétique en fonction du débit



Limiter le risque de surchauffe

- ▶ Stratégie de ventilation : naturelle, mécanique, 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
- ▶ Protections solaires extérieures
- ▶ Refroidissement adiabatique

⇒ **Importance d'une régulation efficace**

⇒ **Récupération de l'excédent de chaleur pour le bâtiment**



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



Bien définir l'utilisation de la serre

Utilisation de la chaleur pour le projet agricole

VS

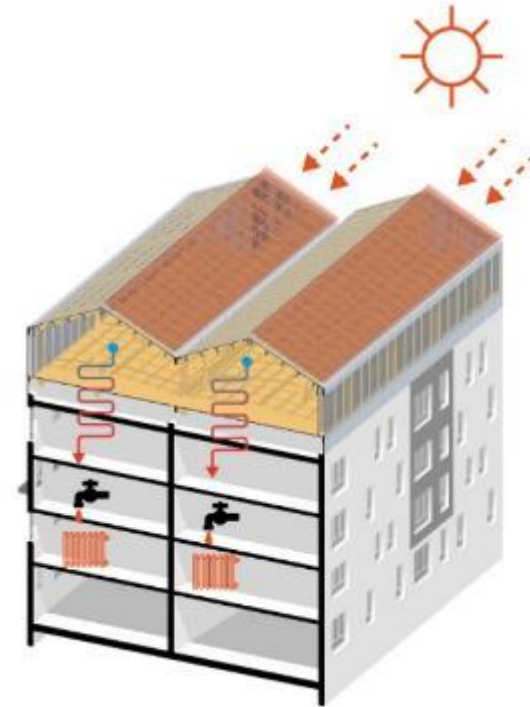
Récupération de la chaleur de la serre pour le bâtiment





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



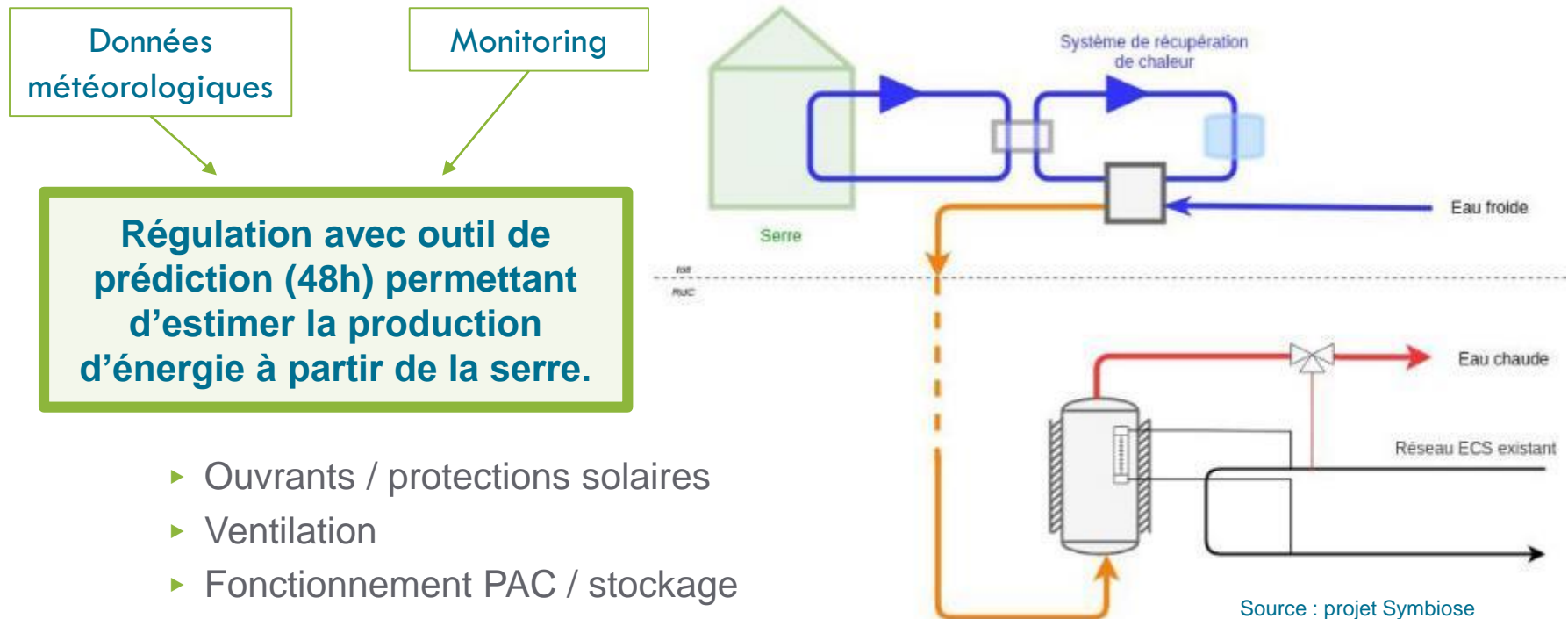
Source : projet Symbiose





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



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

Source : projet Symbiose



Bien définir le projet agricole

- ▶ Production toute l'année
- ▶ Résultats préliminaires de l'**lfaS** dans le cadre du projet **GROOF** :
Simulation des besoins d'une serre sur sol
 - Chauffage de mi-décembre à mi-février (20°C jour et 19°C nuit)
 - Serre performante avec couverture en double vitrage (U=3,1) et murs en polycarbonate 32mm (U=1)
 - Besoins en chauffage = **200 kWh/m².an**
- ▶ Avec une couverture en simple vitrage les besoins sont d'environ **400 kWh/m².an**
- ▶ Calcul effectués avec l'outil informatique **Hortex**



INTRODUCTION

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ET SYNERGIES

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

ECLAIRAGE

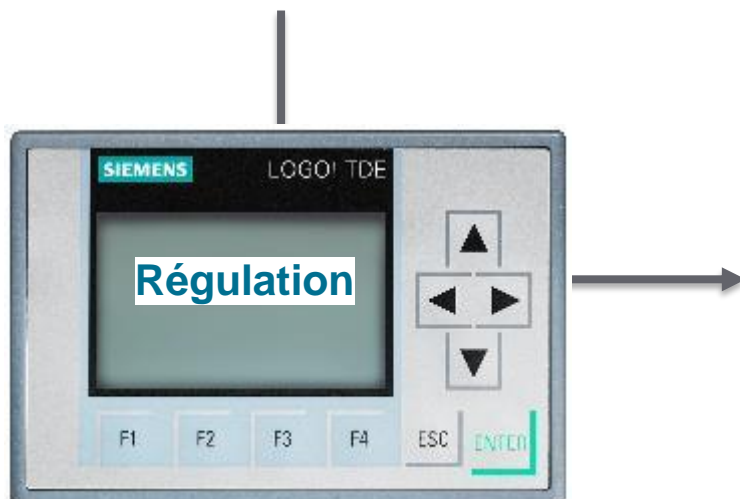
- ▶ Les technologies d'éclairage horticole
- ▶ Efficacité et consommation

CONSOMMATION DES AUXILIAIRES



Conditions de cultures

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

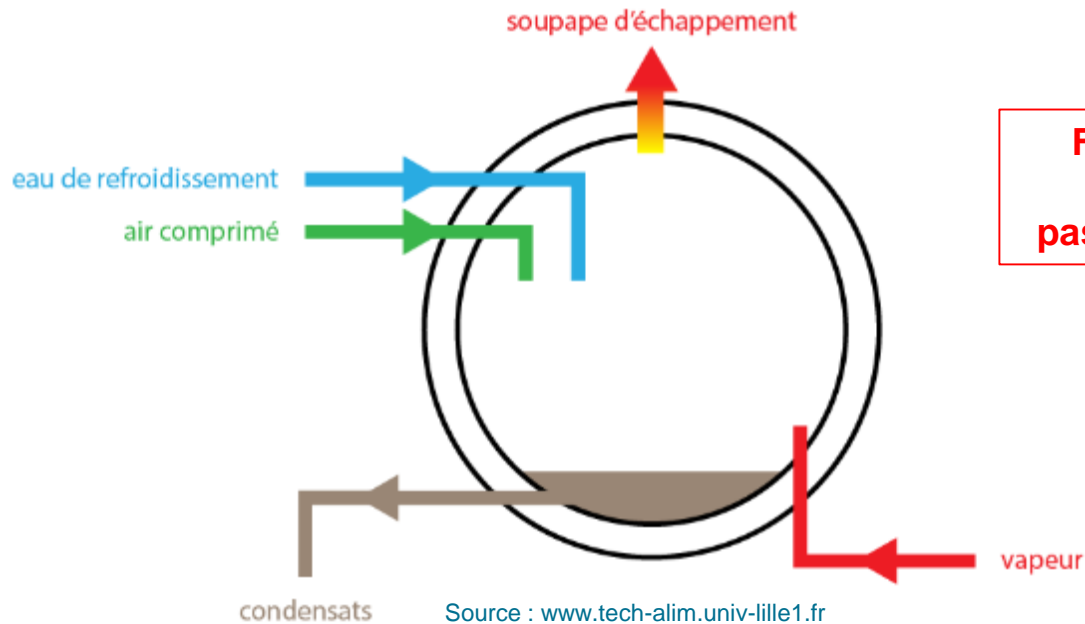


Source : Siemens



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
 - Pour l'incubation



Source : www.nowaste.be

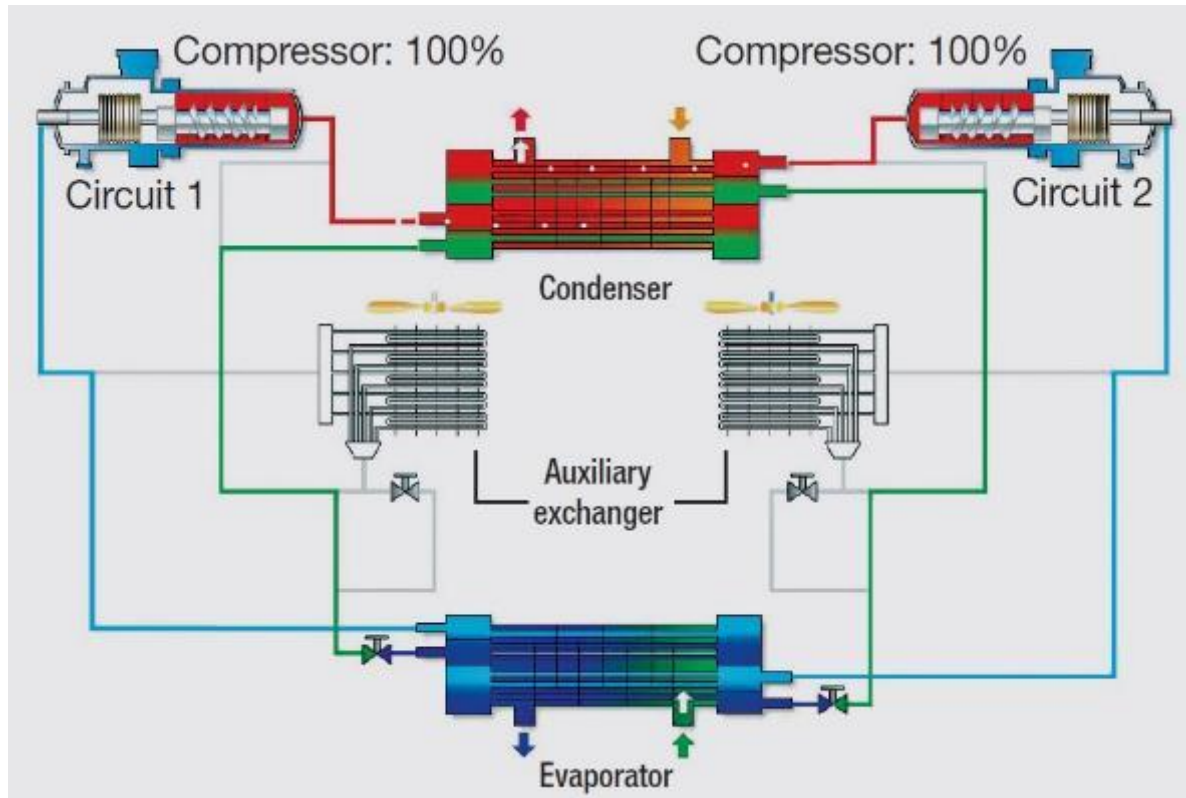


Source : www.permafungi.be



Synergie possible entre les différentes phases du process

- ▶ Besoins de froid et de chaleur simultanément → PAC eau/eau
- ▶ Machine frigorifique : récupération de chaleur



Source : Mitsubishi

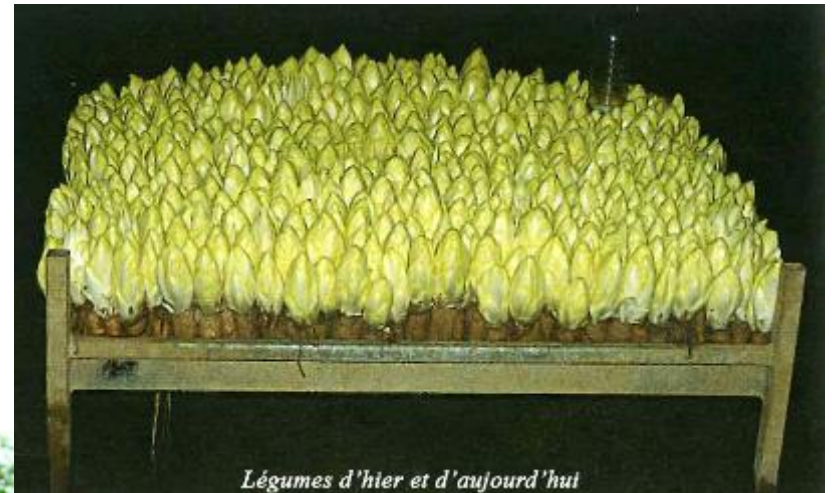


Rotation de culture dans le bâtiment

- ▶ 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



INTRODUCTION

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ET SYNERGIES

- ▶ Serre sur toiture
- ▶ Culture de champignons

ECLAIRAGE

- ▶ **Les technologies d'éclairage horticole**
- ▶ Efficacité et consommation

CONSOMMATION DES AUXILIAIRES



HPS (Haute Pression Sodium)

- ▶ Nouvelle génération à haute efficacité
- ▶ Flux de photons performant
- ▶ Puissance du luminaire jusque 1000W
- ▶ Durée de vie 10 000 – 20 000 heures
- ▶ Contrôle électronique du ballast



Source : Gavita



LED

- ▶ Très bonne efficacité énergétique
- ▶ Faisceau directionnel
- ▶ Durée de vie jusqu'à 50 000 heures
- ▶ Peu de dissipation de chaleur
- ▶ Possibilité d'installation à proximité des plants



Source : LumiGrow



CMH (Céramique halogénures métalliques)

- ▶ Meilleure 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



INTRODUCTION

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ET SYNERGIES

- ▶ Serre sur toiture

CULTURE DE CHAMPIGNONS

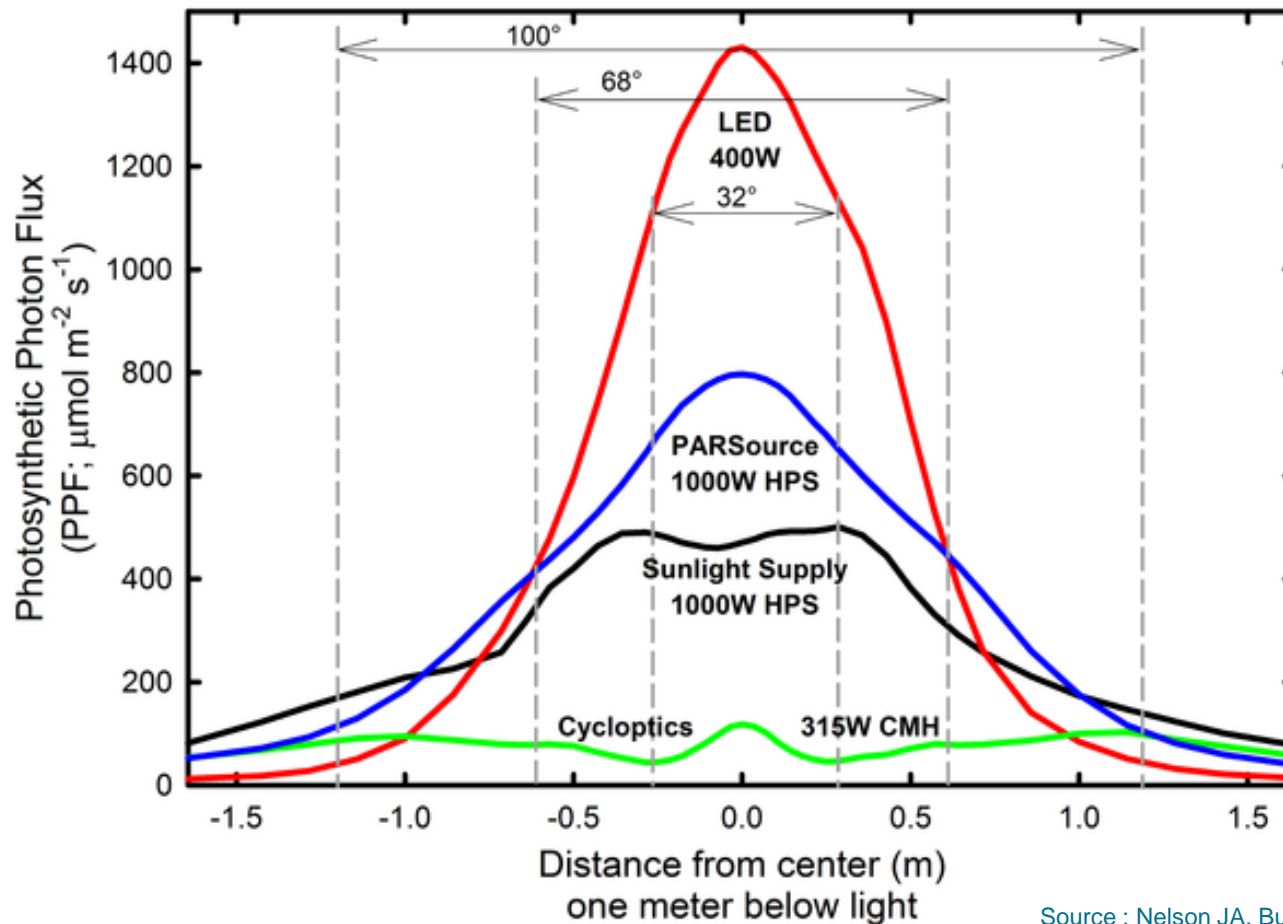
ECLAIRAGE

- ▶ Les technologies d'éclairage horticole
- ▶ **Efficacité et consommation**

CONSOMMATION DES AUXILIAIRES



Comparatif des flux lumineux

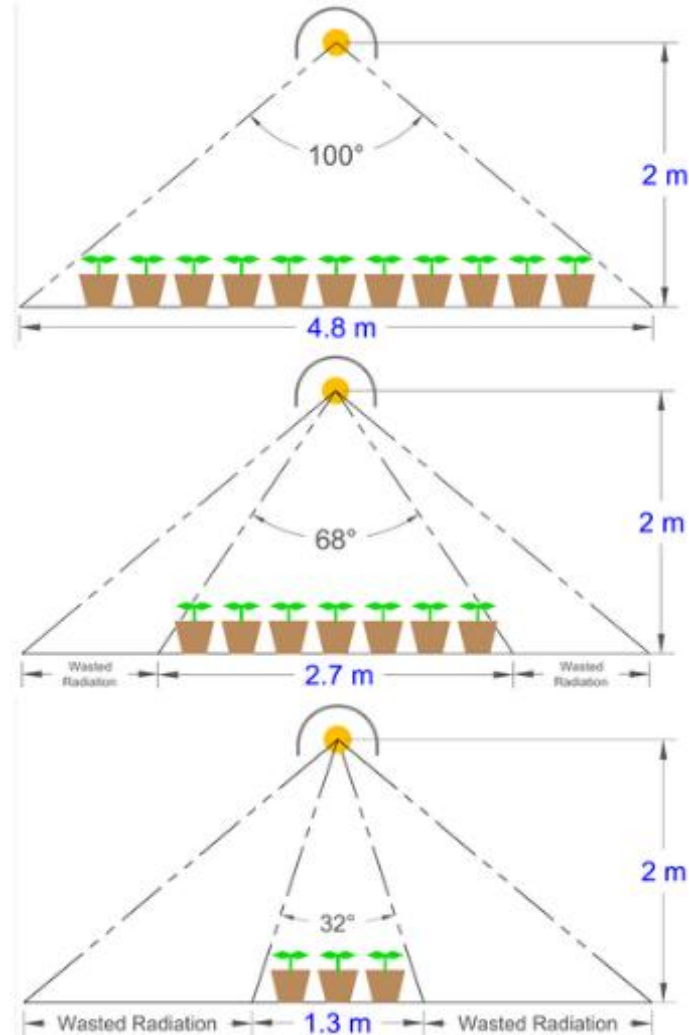


Source : Nelson JA, Bugbee B (2014)
Economic Analysis of Greenhouse Lighting



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 3000 heures de fonctionnement par an

Type de lampe	Efficacité photonique [μmol/ sec]	Coût de la lampe [US\$]	Coût électrique [μmol/m ² /an]	Coût total après 5 ans [μmol/m ² /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 meilleure rapport efficacité/prix
- ▶ 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
- ▶ Positionnement des lampes
- ▶ Besoins en CO2 lors de l'utilisation de l'éclairage
- ▶ Pouvoir d'attraction des insectes et nuisibles

**Utilisation rationnelle de l'énergie :
Peut être que l'éclairage artificiel n'est pas indispensable au projet !**

⇒ Effet de l'éclairage LED sur les travailleurs

⇒ Analyse du cycle de vie et énergie grise



INTRODUCTION

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ET SYNERGIES

- ▶ Serre sur toiture
- ▶ Culture de champignons

ECLAIRAGE

- ▶ Les technologies d'éclairage horticole
- ▶ Efficacité et consommation

CONSOMMATION DES AUXILIAIRES



Utilisation de pompes 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

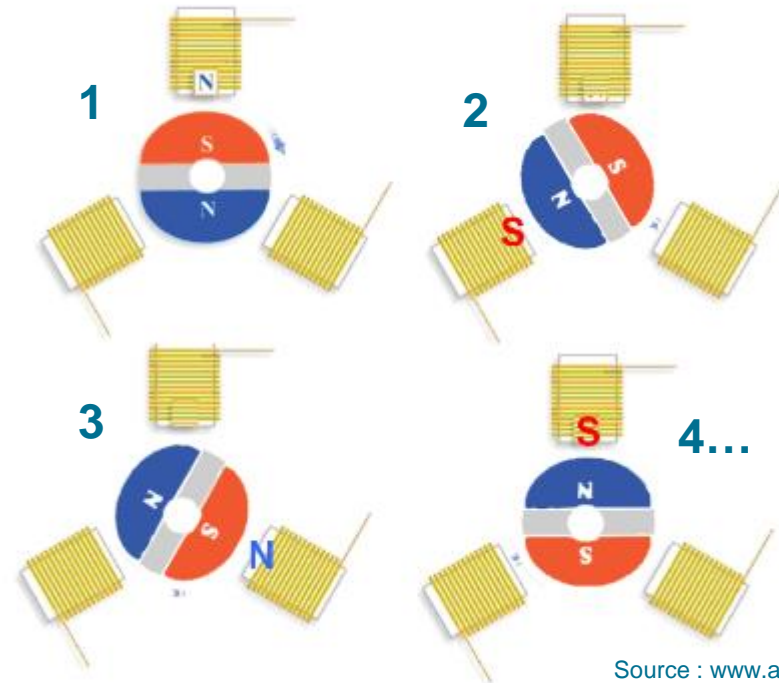


Ventilation

- ▶ 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°, CO2, HR)



Source : Rosenberg



Source : www.abcclim.net





- ▶ L'infrastructure destinée à l'agriculture urbaine doit être conçue en fonction du plan de culture et du type de bâtiment
- ▶ Les possibilités de synergie sont multiples
- ▶ Vision à long terme : maintenance, consommations énergétiques, changement opérateur agricole
- ▶ Simulation thermique dynamique → Serre
- ▶ Impact des technologies : Analyse du cycle de vie
- ▶ Fonctionnement en circuit-court : réduction du transport, circularité/réutilisation des « déchets »





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

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



Site internet

- ▶ 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



Paulo SEIXAS

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

