

Date: 22-23/01/2014

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES SERRES



Vincent STAUFFER

contact@agrithermic.com

Sommaire

1. Généralités - Bases
2. Les matériaux de couverture
3. Les écrans thermiques
4. Renouvellement d'air / vent
5. Etude de cas

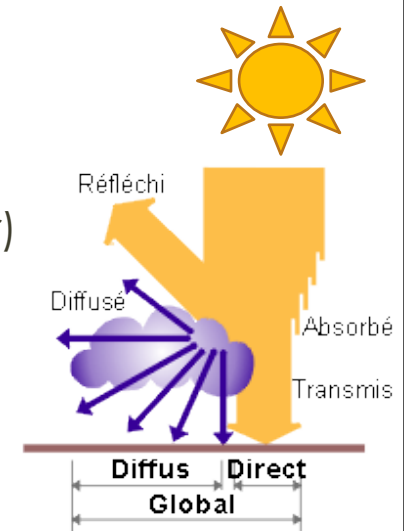
1- Généralités

Objectif: maîtrise des contraintes agronomiques

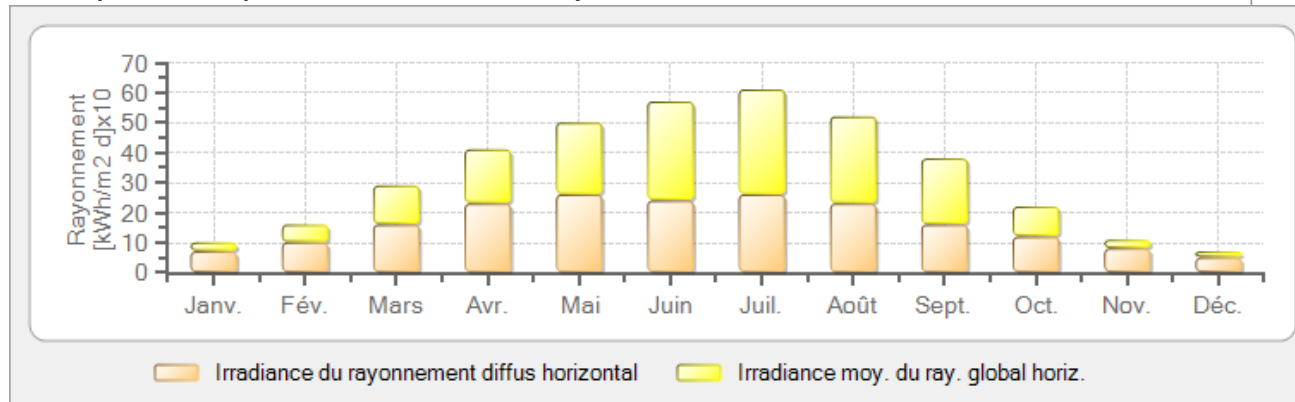
- Les contraintes agronomiques principales:
 - **Luminosité**
 - **Température**
 - Humidité
 - Ventilation
 - CO₂
- **Transmission de la lumière maximale la journée**
 - Lumière essentielle à la photosynthèse :
1% de lumière en moins = 1% de croissance en moins
 - Qualité et homogénéité
 - Participe au chauffage de la serre (effet de serre)
- **Maintenir une température acceptable la nuit**
 - Réduire les pertes thermiques et donc les dépenses en chauffage

Rayonnement solaire

- Les composantes du rayonnement solaire global:
 - **Directe**: rayons atteignant directement le sol (ciel clair)
 - **Diffuse**: rayons réfléchis/dispersés par l'atmosphère (ciel couvert/nuageux)



- Exemple: répartition du rayonnement à Genève



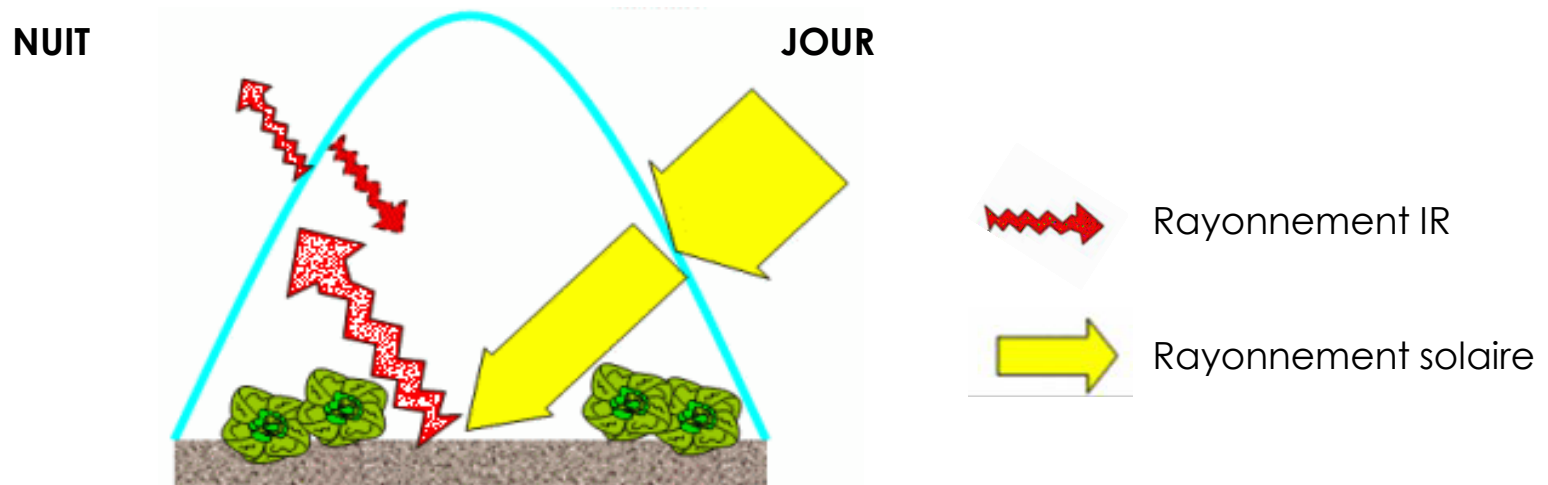
→ 80% de diffus en hiver et 40% en été

- Rayonnement solaire actif à la photosynthèse: **PAR** (44 % de rayonnement solaire)

Principe de l'effet de serre

L'enveloppe de la serre est:

- **Transparente au rayonnement solaire**
(courtes longueurs d'ondes)
- **Semi-transparente à opaque au rayonnement infrarouge**
(grandes longueurs d'ondes)



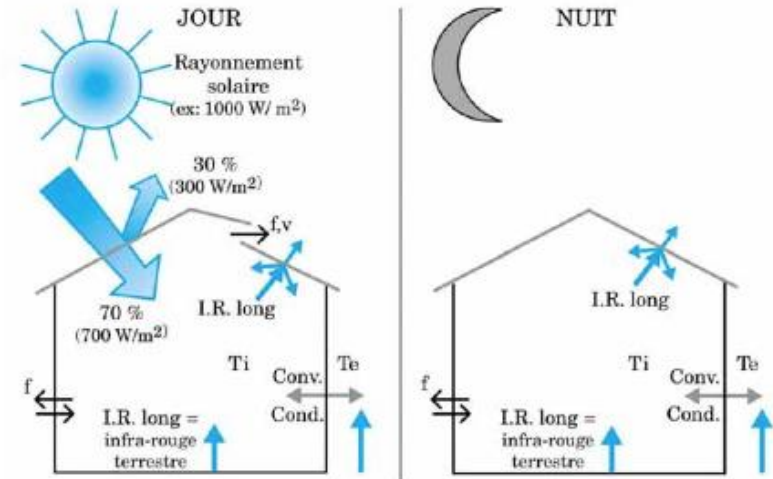
→ L'énergie solaire captée est « piégée » dans la serre

Le chauffage des serres

- Les pertes thermiques d'une serre:

- Echanges convectifs/radiatifs (environnement)
- Renouvellement d'air (aération)
- Infiltrations (fuites)
- Sol et structure

→ **Système complexe**



- Consommation moyenne en chauffage:

- Serre chauffée: **50-800 kWh/m².an**
(fonction de l'isolation et de l'environnement)
- **4 à 5 fois plus qu'un bâtiment**

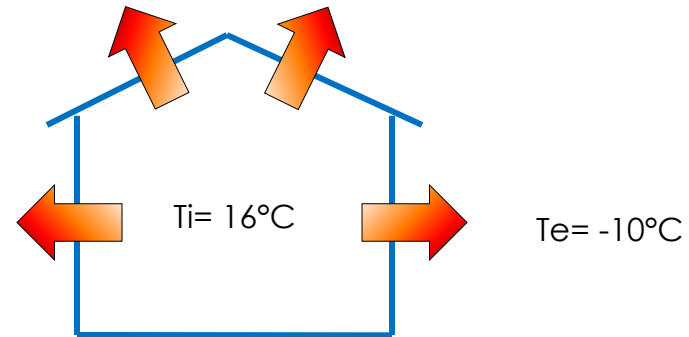
- Un poste important: 10-30% des dépenses d'une exploitation

Le chauffage des serres

- Coefficient de déperditions thermiques U:
 - Caractérise la perte thermique d'un matériau
 - S'exprime en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 - Plus U est faible meilleure est l'isolation
 - Egalement appliqué à l'ensemble de l'enveloppe: U_{global} (combinaison des éléments)

- Exemple:

- $S = 100\text{m}^2$
- $T_{\text{extérieure}} = -10^\circ\text{C}$
- $T_{\text{intérieure}} = 16^\circ\text{C}$
- $U_{\text{serre}} = 8\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$



→ Puissance perdue: $U \times S \times \Delta T = 8 \times 100 \times (16 - (-10)) = \mathbf{20\ 800\text{W}}$ soit **21kW**

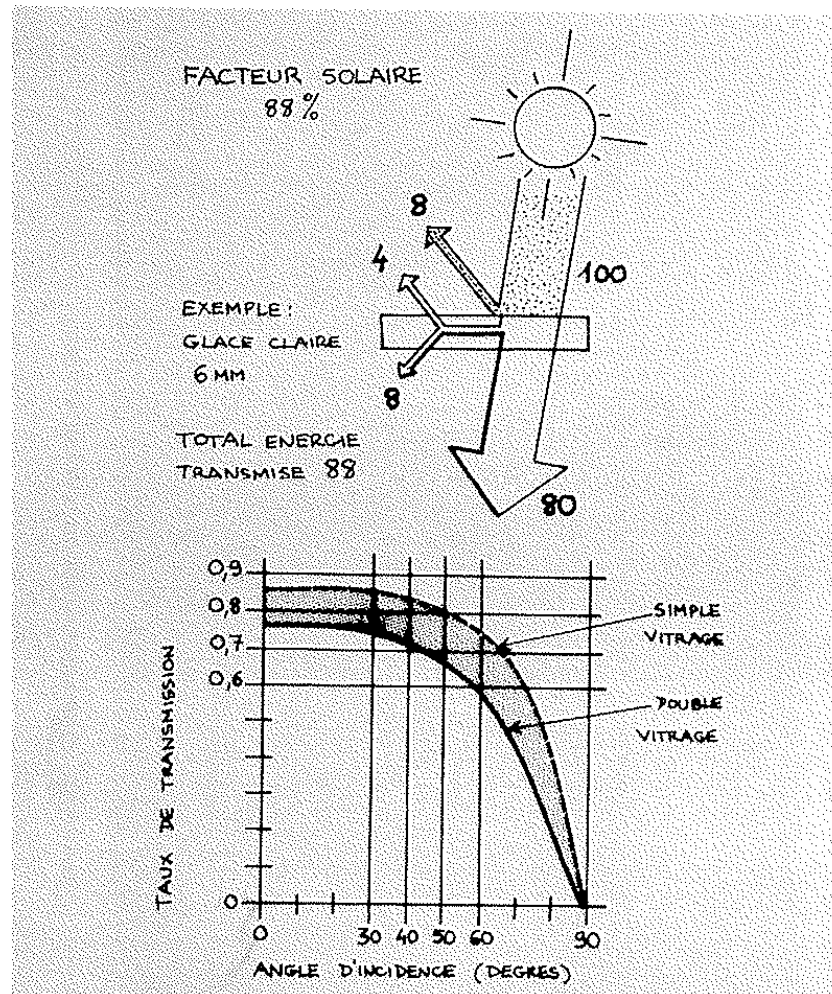
Ratios surface/volume

Type de serre	Surface sol (m ²)	Surface extérieure (m ²)	Ratio Sext/Ssol
Tunnel (10mx10m)	100	200	2
Bi-tunnel (50mx20m)	1000	1 700	1,7
Multi-chapelles (100mx100m)	10 000	13 000	1,3

→ 50% de surface d'échange avec l'extérieur plus en tunnel qu'en multi-chapelles

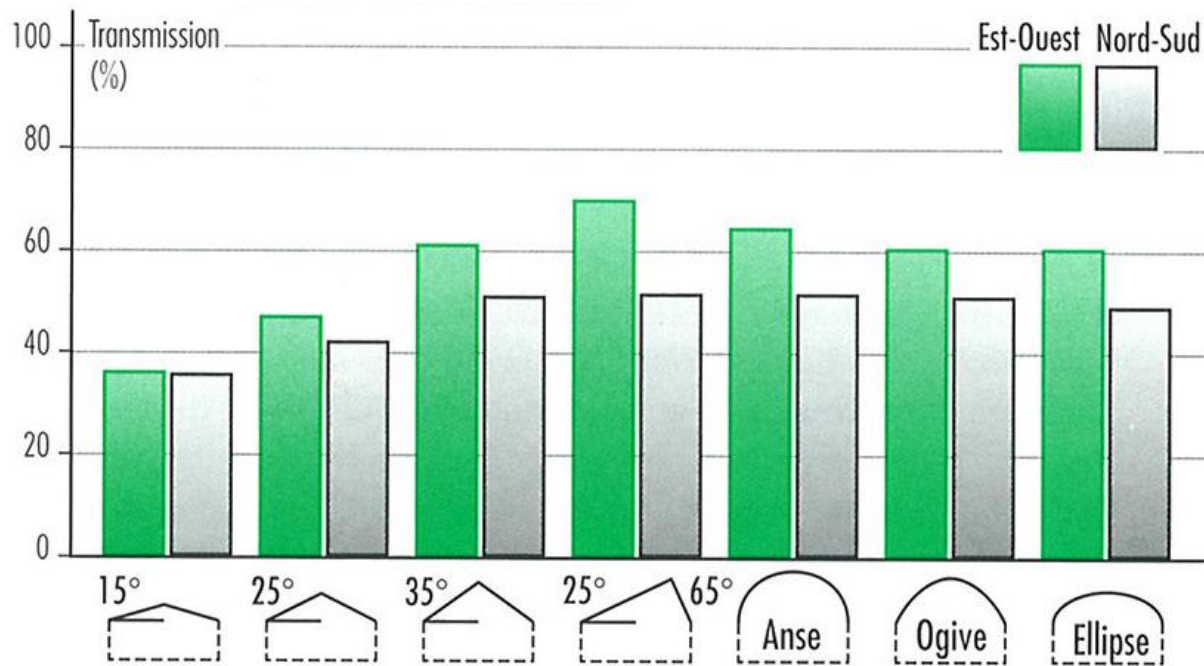
→ moins bonne efficience énergétique

L'angle d'incidence



La forme – orientation

Transmission lumineuse de quelques toitures au solstice d'hiver (21 déc.) à la latitude de Belgique, pour des orientations de serres Est-Ouest (E-O), et Nord-Sud (N-S)



Source : d'après A. Nisen, 1975

2- Les matériaux de couverture

Propriétés des matériaux

- Transmission directe (ciel clair)
- Transmission diffuse (ciel nuageux)
- Thermicité = effet de serre ou économie d'énergie
- Durabilité
- UV
- % occultation
- Epaisseur
- Résistance mécanique

Polyéthylène

- Les différents types de plastique:

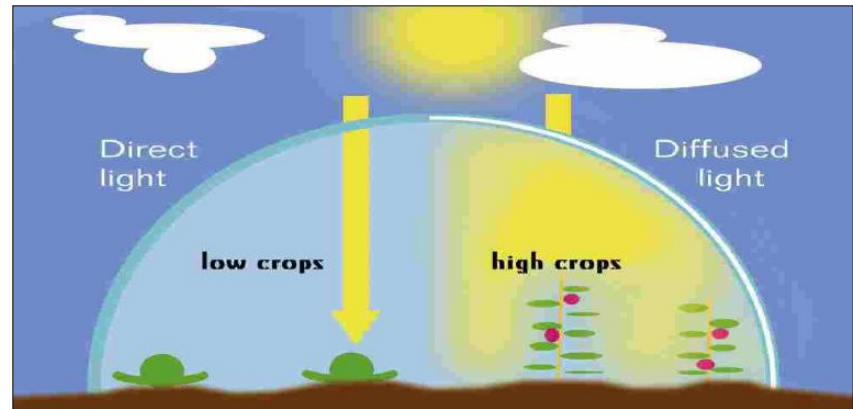
- Diffusant

- Thermique

- Antibuée

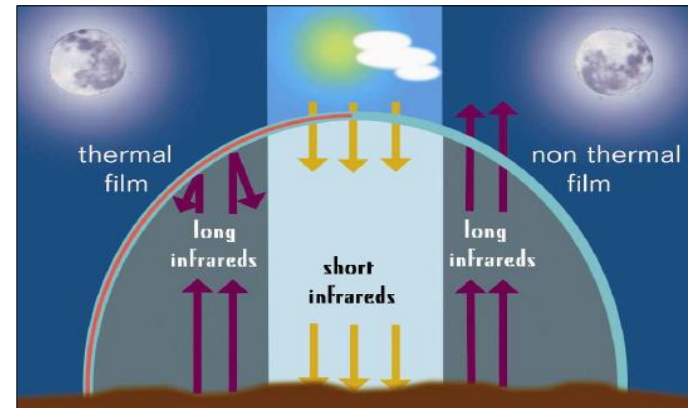
- Refroidissant

- R&D: films sélectifs



Polyéthylène

- Différents types:
 - Simple paroi
 - Double parois simple ou gonflable
 - Simple paroi thermique + bulle
- Effet de serre:
 - Non thermique: 30%
 - Thermique: 80 à 95%



Type	Performance thermique (W/m ² .°C)	Performance lumineuse		Coût (Fr/m ²)
		Direct	Diffus	
Simple	8-9	85-90%	82%	3
Double	5	70-80%	65%	7,5
Simple thermique + bulle	6-7	70%	60%	10

- Durée de vie: **5 - 8 ans**

Verre

- Types:
 - Simple vitrage
 - Double vitrage (obligatoire selon la réglementation Suisse?)
- Performance thermique: (opaque aux IR)
 - Simple vitrage: **2,7 W/m².K**
 - Double vitrage: **5,5 W/m².K**

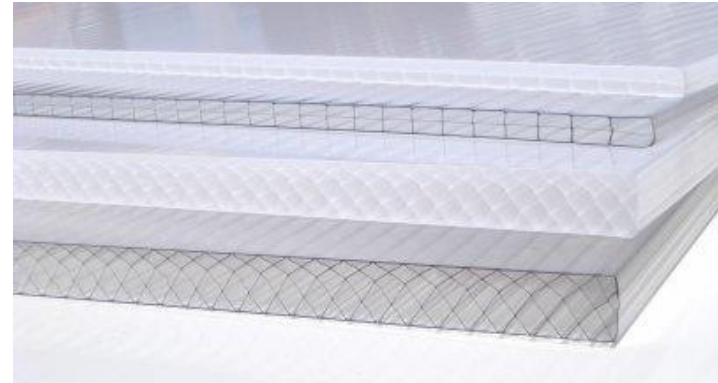
Performance lumineuse:

Type	Direct	Diffus
Simple vitrage	90%	85%
Double vitrage	80%	70%

- Durée de vie: **15-20 ans**

Polycarbonate

- 3 types:
 - simple paroi
 - double paroi (8/10mm)
 - triple paroi (16 mm)
 - quadruple paroi (32mm)



Type	Performance thermique (W/m ² .°C)	Performance lumineuse		Cout (Fr/m ²)
		Direct	Diffus	
Simple	5,5	> 90 %	80-85%	45
Double	3,2	88 %	80%	60
Triple	2,4	82 %	75 %	90
Quadruple	1,4	64 %	55-60%	120

- Durée de vie: **10 ans**

Comparatif des différents matériaux de couverture

Matériau de couverture	Coefficient d'échange thermique du matériaux (W/m ² .K)	Transmission normale (%)	Durée de vie (années)	Cout avec structure (Fr/m ²)
Verre simple vitrage	5,5	> 90	20	150 - 225
Verre double vitrage	2,7	81	20	300
Polyéthylène simple	9 - 12	85	5	50
Double paroi gonflable	4,5 - 5,5	75	4-5	75
Polycarbonate alvéolé 10 mm	2,8 - 4	88	10	225

3 Les écrans thermiques

Ecrans thermiques

- Types:

- Aluminisé**

- Réduction des pertes radiatives nocturnes = économies d'énergie



Utilisation en ombrage:

- Réduction du rayonnement solaire direct

- Augmentation de l'hygrométrie



- Transparent**

- Réduction des pertes radiatives nocturnes = économies d'énergie

- Isolation les jours de froid extrême

Ecrans thermiques

- Positionnement: **horizontal/vertical**
- Mécanisme: **manuel/motorisé**
- Protection: **ignifugé/non-ignifugé**
- Variante: **double écrans**
- **Etanchéité**: hygrorégulant/laminé
- Comparaison:



Type	Economies d'énergie "réelles"	Cout (€/m ²)
Aluminisé	30%	30
Transparent	25%	20
Double	40%	45

- Durée de vie: **10 ans**

Ecrans thermiques:

- Recommandations:

- Mise en œuvre: bonne étanchéité latérale
(*effet cheminée*)

- Salissure: efficacité fonction de la propreté pour l'aluminisé

- Gestion de l'hygrométrie

- Régulation climatique spécifique

Ecrans thermiques: Méthode de calcul

- Intégré dans le calcul du coefficient U de la toiture
- Facteurs pris en compte:
 - Propreté de la toile
 - % de film sélectif
 - Epaisseur de la lame d'air

Valeur de calcul pour la part due au rayonnement: R_r , m^2K / W

- Propre, recouvert totalement d'un film sélectif: 0.300
- Propre, recouvert à moitié d'un film sélectif: 0.150
- Sale, recouvert totalement d'un film sélectif: 0.150
- Sale, recouvert à moitié d'un film sélectif: 0.075

Valeur de calcul pour la part due à la couche d'air: R_c , m^2K / W

- Exécution étanche, faible épaisseur (≤ 5 cm): 0.150
- Exécution étanche, grande épaisseur (> 5 cm): 0.075

- Exemple:

Prise en compte de l'écran thermique: exemple avec un verre simple $U_g = 5.5 W/m^2K$					
Valeur U verre	Résistance verre	Effet du rayonnement	Effet de la Couche d'air	Somme de toute les résistances $R_{g,total}$	Valeur U _{g,total}
U_g	$1/U_g$	R_r	R_c	$1/U_g + R_r + R_c$	$1/ R_{g,total}$
5.5	0.182	0.150	0.075	0.407	2.46

4- Le renouvellement d'air

L'évapotranspiration

- ◉ **Tomate:** 60% du rayonnement rayonnement solaire est transformé en chaleur latente d'eau
- ◉ Serre = air humide
- ◉ **Chaleur spécifique de l'air**
 - ◉ Batiment: 0,34
 - ◉ Serre : 0,62
- ◉ **Gestion de l'humidité** dans le bilan énergétique
 - ◉ Horticulture: 10-15%
 - ◉ Maraichage: 20 à 30%

Le renouvellement d'air

Taux de renouvellement d'air en fonction de l'étanchéité de la serre et de la vitesse du vent.
Valeurs calculées à l'aide du modèle élaboré (paragraphe 4.4.1.3b), pour une serre dont le rapport de la surface de son enveloppe à son volume est égal à $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

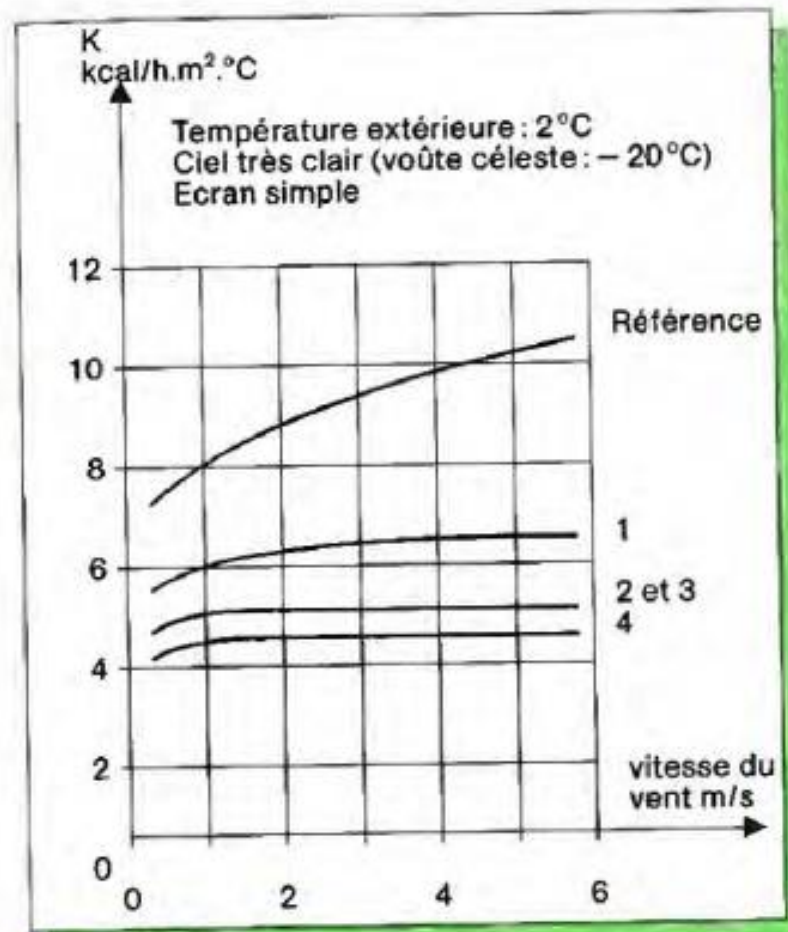
Vent Etanchéité de l'enveloppe	Faible $\langle v \rangle = 1 \text{ m/s}$	Moyen $\langle v \rangle = 2,5 \text{ m/s}$	Fort $\langle v \rangle = 5 \text{ m/s}$
Bonne	0,2 (h^{-1})	0,3 (h^{-1})	0,5 (h^{-1})
Moyenne	0,4 (h^{-1})	0,6 (h^{-1})	0,9 (h^{-1})
Mauvaise	1,2 (h^{-1})	1,8 (h^{-1})	2,7 (h^{-1})

- Serre tunnel: 1 vol/h
- Multi chapelle plastique: 0,2 à 0,4 vol/h
- Serre verre moderne: 0,2 vol/h
- Serre verre ancienne: > 1 vol/h

Influence du vent

Evolution du coefficient global de pertes thermiques,
 K , en fonction du vent

- 1) Ecran P.E.
- 2) Ecran aluminisé sur une seule face, face aluminisée vers le haut.
- 3) Ecran aluminisé double face
- 4) Idem 2 + plastique alvéolé.
(INRA - CNIH)



5- Etudes de cas

La réglementation thermique Suisse

- Calcul du coefficient U_{moyen} :

$$U_m = \frac{A_{Re} * U_{Re} + A_{Fe} * U_{Fe} + A_{We} * U_{We} + ...}{A_{Re} + A_{Fe} + A_{We} + ...} \quad (W/m^2K)$$

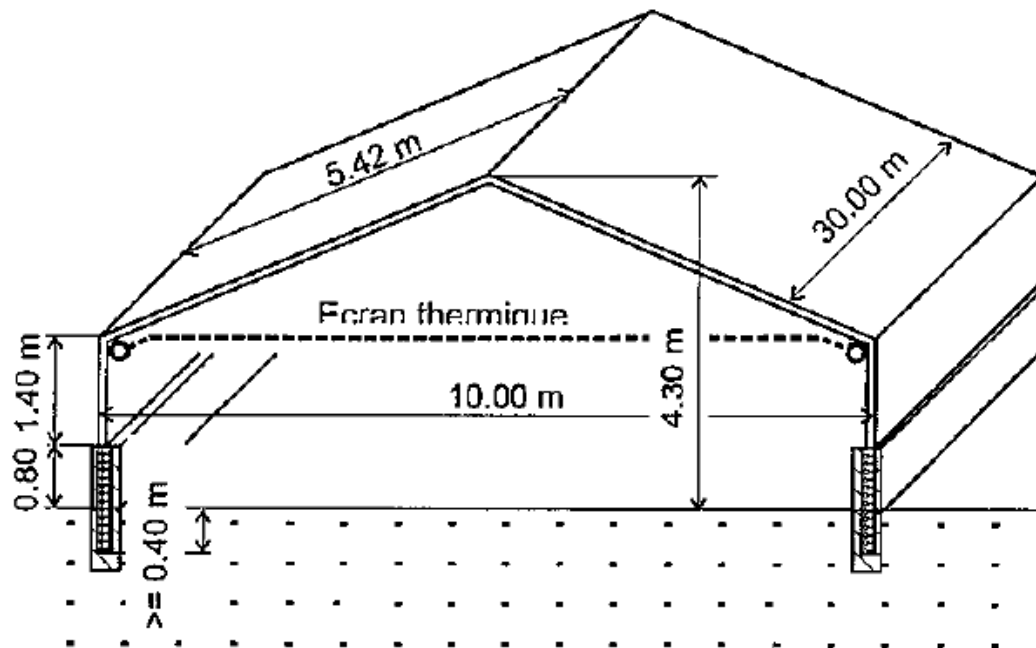
A_{Re} : Surface du toit en contact avec l'extérieur
 A_{Fe} : Surface des châssis
 A_{We} : Surface des parois en contact avec l'extérieur

U_{Re} : Coefficient U du toit
 U_{Fe} : Coefficient U des châssis
 U_{We} : Coefficient U des parois

- Exigence: **$U_m < 2,4 \text{ W/m}^2.K$**

La réglementation thermique Suisse

- Exemple:



La réglementation thermique Suisse

- Exemple:

Calcul du coefficient U moyen: exemple				
	Nombre n	A m ²	U W/m ² K	n*A*U W/K
Pignon Sud & Nord				
Verre	2	23.03	2.7	124.36
Part de châssis 6%	2	1.47	3.64	10.70
Fondation, 80 cm de haut	2	8.00	0.54	8.64
Parois latérales Est & Ouest				
Verre	2	39.48	2.7	213.19
Part de châssis 6%	2	2.52	3.64	18.35
Fondation, 80 cm de haut	2	24.00	0.54	25.92
Toit, côté Est & Ouest				
Verre	2	152.84	2.46	751.97
Châssis	2	9.76	1.98	38.65
Somme		522.20		1'179.56
Coefficient thermique moyen U_m			2.26	W/m²K
				<=2.4



Ne prends pas en compte le couvert végétal ni les pertes par ventilation



Agrithermic

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Contact

Vincent Stauffer

v.stauffer@agrithermic.com

Tel: +33 (0) 4 79 72 40 59

Mobile: +33 (0)6 301 778 94

17 avenue du Lac Lemman
Savoie Technolac - BP269
73 375 Le Bourget du Lac Cedex
France

Site: www.agrithermic.com



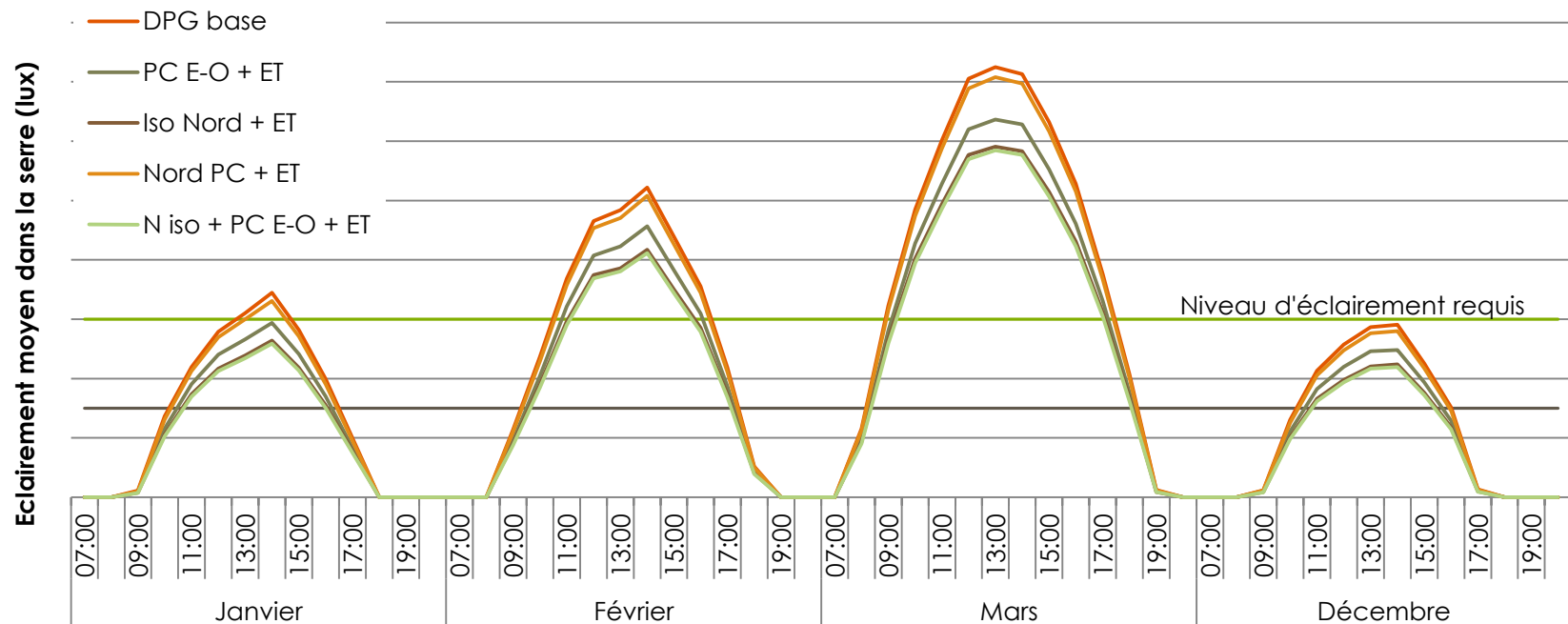
Conception d'une serre HPE

- **Méthodologie:**

- Établissement de scénarii d'équipements appropriés
- Modélisations thermiques-énergétiques via Enerserre©
- Comparaison de différentes combinaisons d'enveloppe
- Comparaison et dimensionnement de différents mode de chauffage
- Analyse technico-économique des systèmes étudiés

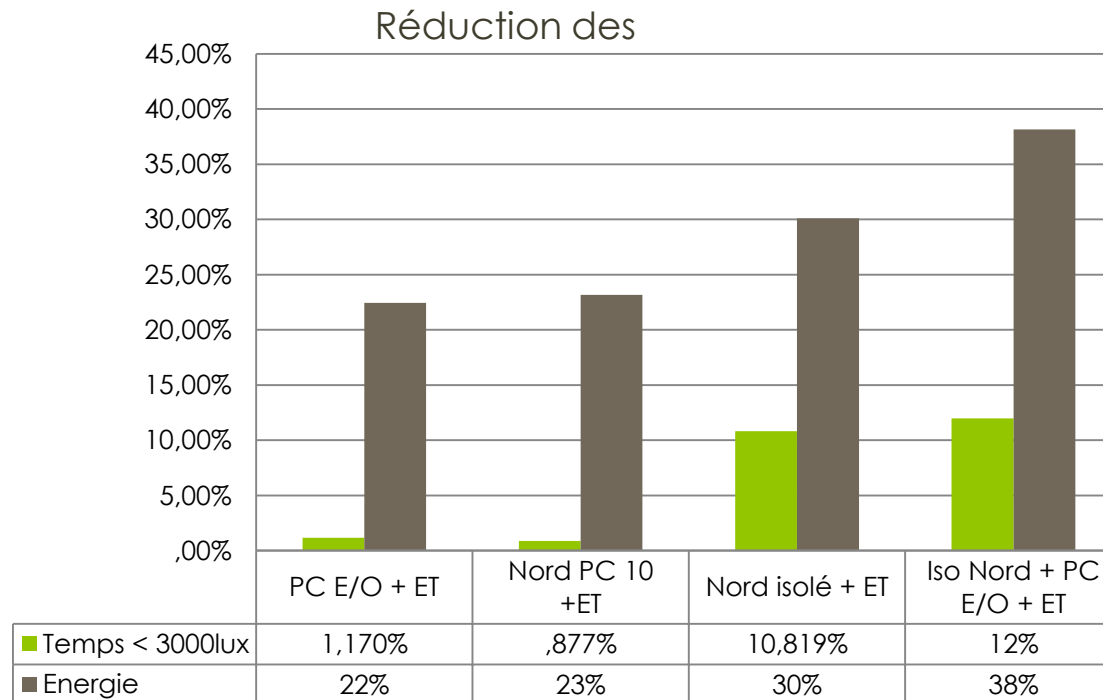
Conception de serres HPE: Exemple

● Etude de l'enveloppe : **Analyse de l'éclairement disponible**



Conception de serres HPE: Exemple

- Etude de l'enveloppe : **Confrontation transmission lumineuse – énergie**



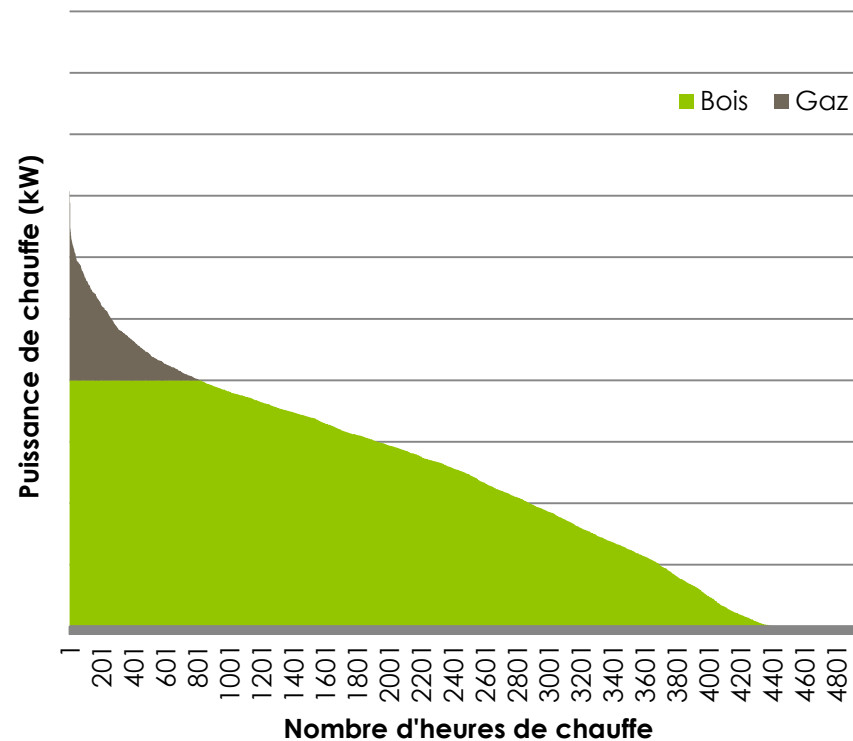
- Facteurs limitants: **température et luminosité**



Conception de serres HPE: Exemple

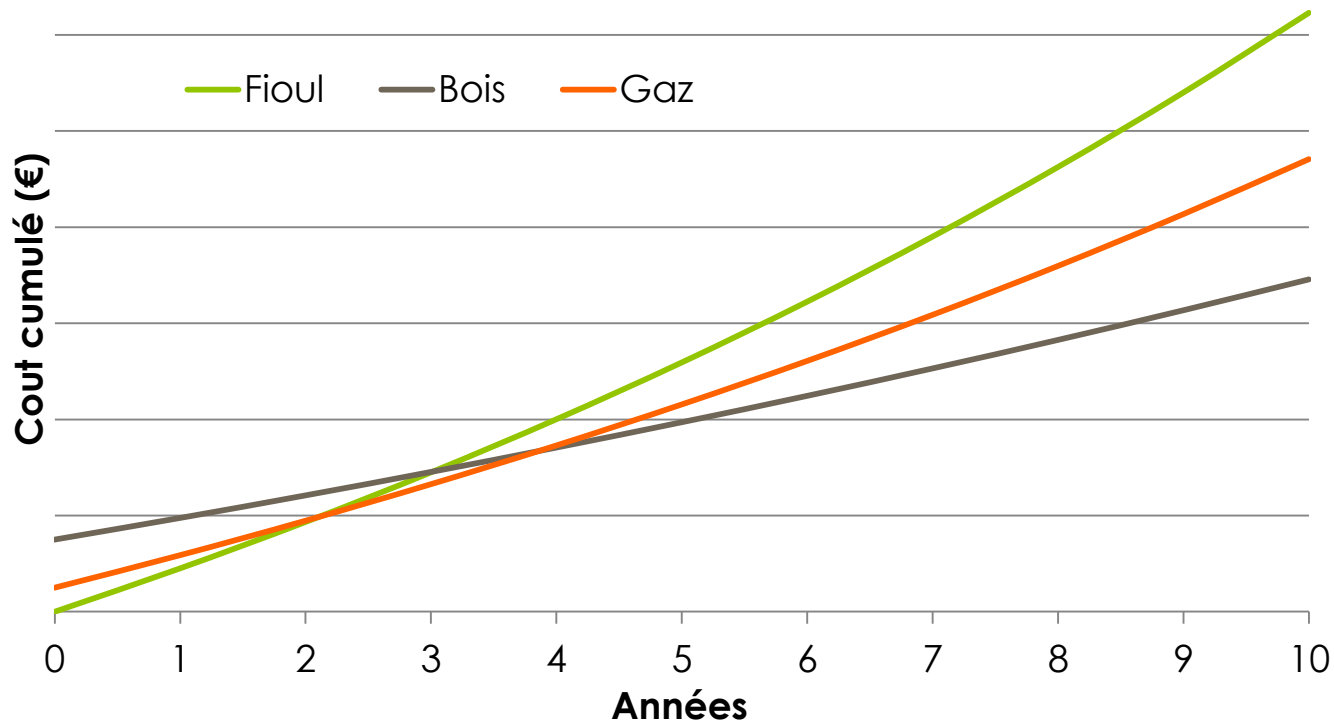
- Dimensionnement des systèmes de chauffage:

Monotone de chauffe



Conception de serres HPE: Exemple

- Comparaison des différentes sources d'énergie





Agrithermic

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Contact

Vincent Stauffer

v.stauffer@agrithermic.com

Tel: +33 (0) 4 79 72 40 59

Mobile: +33 (0)6 301 778 94

17 avenue du Lac Lemman
Savoie Technolac - BP269
73 375 Le Bourget du Lac Cedex
France

Site: www.agrithermic.com

