

## 2 La serre, un capteur solaire particulier

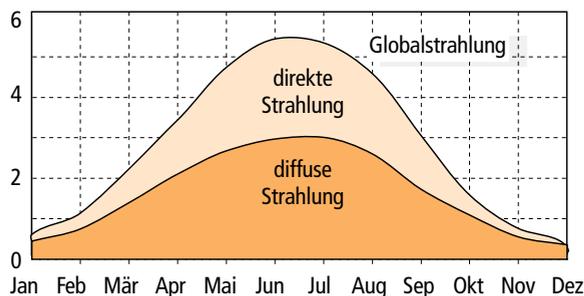
Les serres et les capteurs solaires ont en commun d'utiliser l'énergie solaire de la manière la plus efficace possible. Mais alors qu'un capteur solaire a pour fonction de produire le plus d'énergie possible par forte température et selon le meilleur angle, une serre doit satisfaire d'autres contraintes au regard de la production végétale : les plantes doivent recevoir assez de lumière et il doit y régner un climat le plus tempéré possible, pas trop chaud quand le soleil brille et pas trop froid la nuit. Malgré des points communs, serre et capteurs solaires ont des objectifs et des contraintes différents.

### L'énergie solaire en France

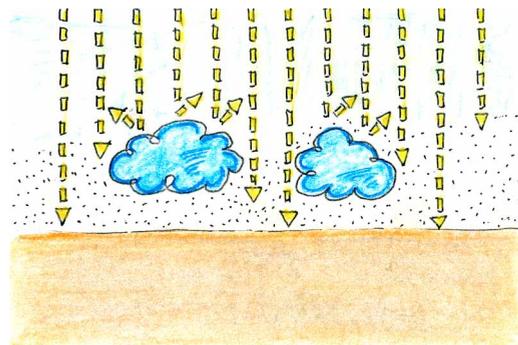
En France, l'ensoleillement est de 1 600 à 2 900 heures par an selon les endroits. Sous nos latitudes (de 41° à 51°, Corse comprise), la surface du sol reçoit entre 1 200 et 1 800 kWh/m<sup>2</sup>/an, soit le contenu énergétique de 120 à 180 litres de fioul par mètre carré de surface ensoleillée. Le rayonnement solaire se compose d'un rayonnement direct et d'un rayonnement indirect (diffus) (fig. 2.1). Le rayonnement diffus est la part de rayonnement solaire diffusée par les nuages, les poussières, la brume, etc.

(fig. 2.2). Sa part dans le rayonnement total dépend de la météo et de la hauteur du soleil. Par temps clair, l'énergie reçue par le sol est de 1 200 à 1 800 W/m<sup>2</sup> ; par temps très couvert, elle est réduite à 75-220 W/m<sup>2</sup>. La somme des rayonnements direct et diffus est le rayonnement total. Par une journée couverte, la part du rayonnement diffus atteint 100 % pour 600 W/m<sup>2</sup> ; par une journée claire, elle n'est plus que de 15 à 25 % du rayonnement total. En France, la part annuelle du rayonnement diffus varie de 40 % au sud à 60 % au nord. Les

Globalstrahlung und Diffusstrahlung in kWh/m<sup>2</sup> d

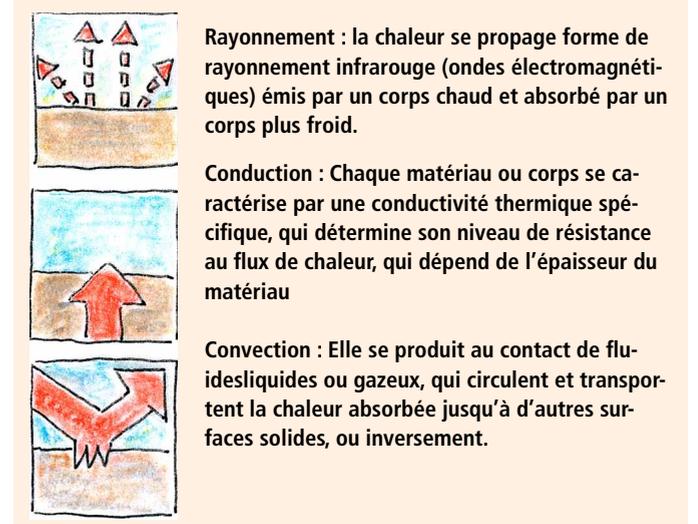


2.1 Rayonnement solaire total moyen sur une surface horizontale à Hambourg.

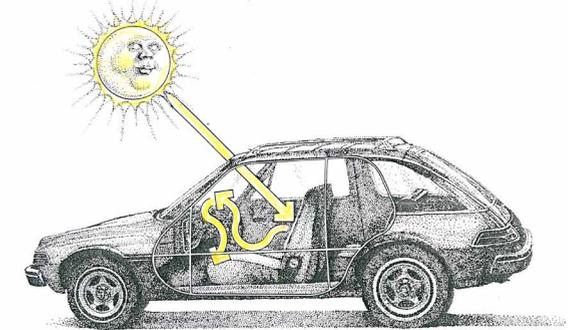


2.2 Naissance du rayonnement diffus par diffusion de la lumière à la surface des nuages, des particules et du brouillard.

serres doivent donc laisser entrer les deux types de rayonnement et capter la chaleur qu'ils contiennent par rayonnement, conduction et convection, l'emmagasiner et la restituer (fig. 2.3). Le rayonnement solaire ne contribue pas qu'à la photosynthèse des plantes. Grâce à l'« effet de serre », il permet de conserver la chaleur : la lumière solaire pénètre à travers le vitrage transparent (verre ou plastique), où elle est convertie en chaleur à la surface des corps qu'elle touche. Les parois transparentes empêchent maintenant la chaleur produite de retourner immédiatement dans l'atmosphère par rayonnement et convection (fig. 2.4).



2.3 Types de transmission de la chaleur



2.4 L'effet de serre tel que tout le monde le connaît.

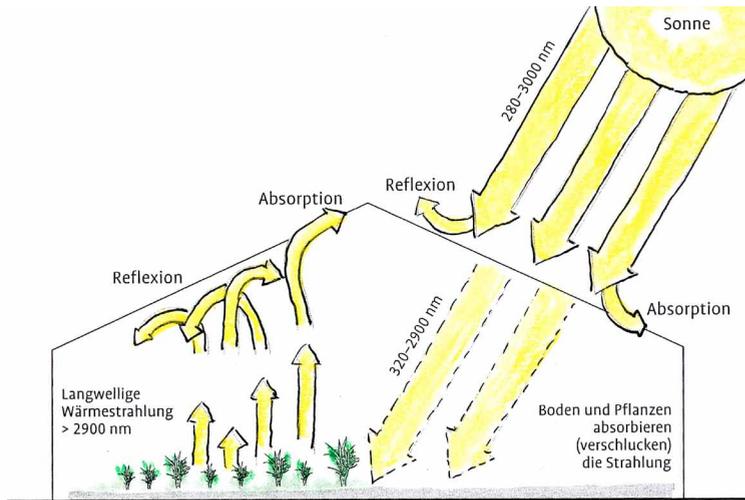
### L'effet de serre

Quiconque est monté dans une voiture stationnée quelques heures en plein soleil a fait l'expérience de l'effet de serre « à fleur de peau ». Les ondes courtes du rayonnement solaire pénètrent à travers les vitres et sont converties à l'intérieur en ondes infrarouges plus longues, surtout si les sièges sont sombres. Ces ondes longues s'échappent lentement à l'extérieur, et la chaleur s'accumule à l'intérieur. C'est la même chose dans une serre. Les ondes courtes pénétrant dans la serre sont absorbées par les pierres, la terre, l'eau et les plantes, et converties en rayonnement infrarouge, qui ne s'échappe que lentement à l'extérieur. « Des essais ont montré que, par une journée d'hiver froide de mais ensoleillée et une température extérieure de +5 °C, une serre entièrement non chauffée se réchauffe à +30 °C. La nuit, alors que la température extérieure tombait à -10 °C, la température dans la serre était encore de -5 °C. Cette serre était équipée de plaques alvéolaires en polycarbonate. Avec des fondations isolées et une couverture en rouleaux de papier bulle, la température intérieure ne descendrait vraisemblablement pas en dessous de 0 °C par une température externe de -10 °C — et cela sans aucun chauffage d'appoint. ». On peut supposer que la serre décrite était revêtue de polycarbonate alvéolaire sur toutes ses faces. Avec un mur nord massif, le refroidissement serait certainement encore plus faible. De même, dans une serre entièrement transparente sans masse thermique, il peut y avoir en été aussi de très fortes variations de température, ce qui n'est pas favorable à la croissance des plantes.

# Rayonnement solaire, stockage de la chaleur et isolation thermique

2.5

Effet de serre. Quand la lumière visible, entre 320 et 2 900 nm de longueur d'onde, pénètre à travers la surface transparente, elle est absorbée par le sol, les plantes et les matériaux de construction et convertie en chaleur.



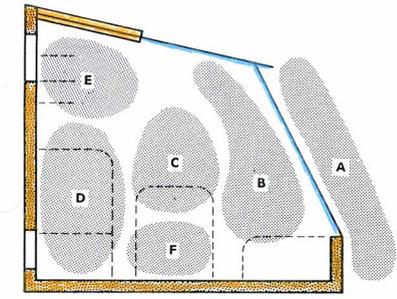
Le rayonnement solaire réchauffe la serre grâce à sa transformation immédiate et presque totale en chaleur (fig. 2.5). Si la température extérieure est plus faible que celle de la serre, celle-ci perd sa chaleur relativement vite, comme c'est le cas avec tous les modèles de serre à paroi simple et mince, en verre ou en plastique. La quantité de rayonnement solaire nécessaire pour climatiser une serre, autrement dit la quantité d'énergie qu'elle perd, dépend de sa construction.

La figure 2.6 montre l'exemple d'une serre classique chauffée à +20 °C, par une température extérieure de -20 °C. On voit que la perte d'énergie pendant la journée est trois fois supérieure à l'énergie captée ! Un double vitrage réduit considérablement les pertes d'énergie, même dans une serre conventionnelle, tandis qu'une serre solaire passive de même surface produit même un excédent d'énergie. Un élément important des serres solaires passives est le stockage de la chaleur dans des éléments de construction massifs ou dans des éléments indépendants jouant le rôle de masses thermiques. Lorsque la température intérieure commence à baisser, la masse thermique restitue la chaleur par rayonnement et convection, et tempère la serre. Les masses thermiques les plus efficaces pour stocker la chaleur sont les murs et les éléments indépendants (par ex. une citerne d'eau) directement exposés au soleil et peints en noir.

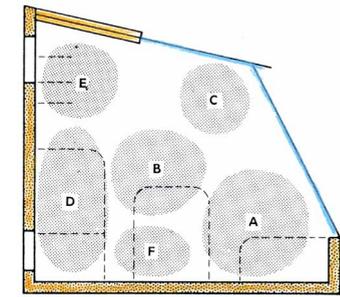
2.6 Bilan énergétique de trois serres

## Les plantes et la lumière

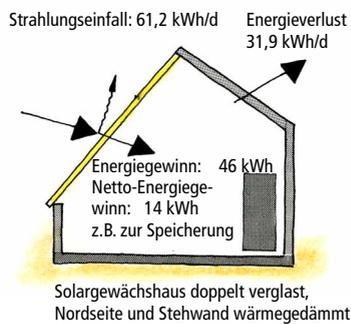
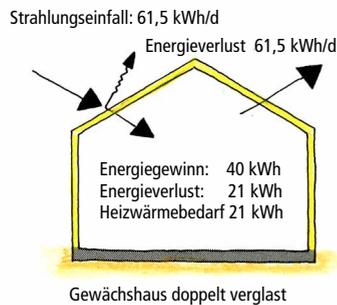
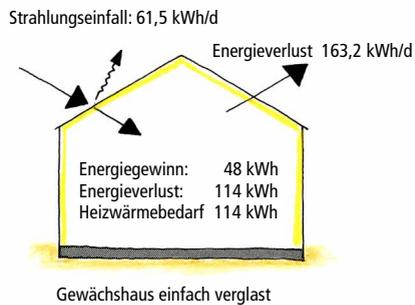
Un bon éclairage est crucial pour la croissance des plantes. Suivant l'espèce, les plantes ont des besoins d'éclairage différents, préférant de plein soleil, la mi-ombre ou l'ombre. Dans tous les cas, la serre doit être tournée vers le sud pour un éclairage optimal en hiver. L'équilibre entre le rayonnement entrant et les pertes de chaleur doit être bien calculé. Si les plantes reçoivent trop peu de lumière, leurs tiges ont peu de feuilles, celles-ci s'allongent et sont pâles, les plantes s'« étioilent ». Elles s'allongent en direction de la lumière, elles sont fragiles et sensibles aux maladies cryptogamiques. Si elles reçoivent trop de lumière, les feuilles « brûlent ». Il faut donc les disposer dans la serre en tenant compte de leurs besoins en lumière, et ne pas les planter trop densément, sinon seules les parties supérieures sont éclairées et elles croissent rapidement en hauteur sans se ramifier. En hiver, les plantes croissent lentement en raison des basses températures et de l'éclairage plus faible, mais les salades et les légumes d'hiver s'épanouissent. Si certaines plantes ornementales ont une préférence pour l'ombre, tous les légumes ont un grand besoin de lumière. Dans une serre solaire, il existe des zones éclairées différemment.



**Lichtzonen im Gewächshaus und Pflanzenanbau im Frühling/Sommer/Herbst (Quelle 2)**  
 A Schattenspendende Pflanzen B Fruchtgewächse, Rankgewächse  
 C Keimlinge, Kräuter, Gemüse E Schattenliebende Pflanzen  
 D Pflanzen, die nicht viel Licht benötigen



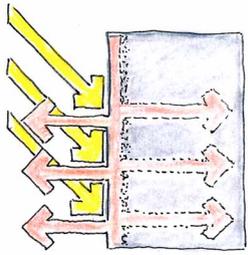
**Lichtzonen im Gewächshaus im Winter**  
 A Am hellsten und kühlfesten B Hell, kühl  
 C Hell, warm D Hell, warm  
 E Wenig Licht, am wärmsten F Schattig, kühl



Bilan énergétique de 3 serres de constructions différentes mais de surface identique (2,4 x 3,6 m), par une journée froide et ensoleillée de février (température extérieure : -15 °C, température dans la serre : +20 °C) dans le Vermont, USA. Alors que le besoin de chauffage d'une serre conventionnelle est nettement diminué par un vitrage double, la serre solaire se passe de chauffage d'appoint et produit même un excédent d'énergie, grâce à sa forme optimisée et à sa meilleure isolation thermique.

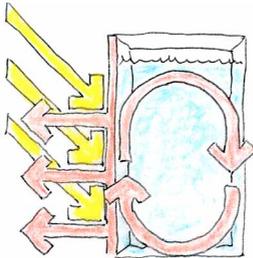
Plus la surface transparente est grande, plus la masse thermique doit être importante pour compenser les pertes de chaleur à travers les vitres. Mais les grandes masses thermiques prennent beaucoup de place si elles ne remplissent pas aussi une fonction constructive (mur porteur par ex.), et il reste moins de surface pour les cultures. Éléments solides : Un mur massif tourné vers le sud est un élément constructif accumulant et restituant la chaleur. De plus, il protège la serre des déperditions d'énergie côté nord. Le mur peut être en bois massif, en moellons de béton remplis de terre, de sable ou autre matériau accumulateur, ou encore en briques. C'est encore mieux si la surface de mur faisant face au soleil

est peinte en noire afin d'absorber un maximum de rayonnement, aussitôt converti en chaleur. La terre dans et autour d'une serre semi-enterrée accumule aussi la chaleur solaire. Conservation par l'eau : Un mètre cube d'eau stocke deux fois plus de chaleur qu'un mètre cube de briques ou de béton, d'où l'utilité d'utiliser des récipients remplis d'eau. L'absorption du rayonnement et la restitution de la chaleur fonctionnent de la même manière qu'avec une masse thermique solide, si ce n'est que l'eau transmet plus de chaleur par convection que par conduction. Lorsqu'un mur massif et peint en noir est illuminé par le soleil, sa surface se réchauffe vite et conduit lentement la chaleur à l'intérieur du mur (fig. 2.7). Il faut ainsi 5 heures



2.7  
Conduction de la chaleur dans un matériau solide

2.8  
Convection de la chaleur dans un récipient d'eau



2.9  
Terrasse abritée devant une masse thermique faite de bidons de 5 l en plastique, peints en noir et remplis d'eau.



pour que la chaleur traverse un mur en pierre épais de 24 cm. Dans le récipient, l'eau en contact avec la paroi illuminée se réchauffe et s'élève vers le haut, engendrant un courant convectif qui répartit la chaleur dans tout le volume d'eau. Résultat, la température superficielle du récipient se réchauffe beaucoup plus lentement que celle du mur massif (fig. 2.8). Un mur massif comme un récipient d'eau bien dimensionnés restituent la chaleur à partir du soir, quand les températures extérieure et intérieure baissent et qu'un apport de chaleur devient nécessaire. Afin que la chaleur ne s'échappe pas trop vite de la serre, comme c'est le cas avec les serres standards vitrées de tous côtés, des vitrages doubles sont nécessaires, ainsi qu'un dispositif isolant amovible. L'entrée et la restitution de chaleur dans la serre sont régulées à l'aide de dispositifs de ventilation et d'occultation. Grâce à toutes ces mesures, les fluctuations de température à l'intérieur d'une serre solaire passive sont beaucoup plus atténuées que dans une serre transparente standard.

## Serres solaires passives : indépendantes ou adossées

Une serre solaire passive peut être indépendante dans le jardin ou appuyée contre un mur (serre adossée). Elle peut être au niveau du sol ou encaissée dans le sol (serre semi-enterrée).

### Serres indépendantes

Dans un grand jardin, on peut construire une serre assez grande pour abriter non seulement les cultures, mais pour remplir aussi d'autres fonctions : salon de thé pour l'été, bureau ou atelier extérieur abrité du vent et de la pluie, ou simplement lieu de détente pour rêver et penser dans un environnement agréable.

Avantages d'une serre indépendante :

- Il est plus facile de l'orienter plein sud pour tirer le meilleur parti de l'ensoleillement.
- Elle n'a pas besoin d'être harmonisée avec le style de la maison, sa construction est donc plus simple et moins chère.
- Un permis de construire n'est pas toujours nécessaire selon sa surface et le contexte.
- L'emplacement et l'orientation de la serre doivent tenir compte des points suivants :
  - Pour un ensoleillement optimal en hiver, une orientation est-ouest du faite est la plus favorable (voir chapitre 3).
  - Les hauteurs ventées et exposées sont à éviter, car c'est là que le vent souffle le plus fort et que les pertes d'énergie sont plus intenses.
  - Le mur nord de la serre doit être bien isolé, et une haie coupe-vent contribue à diminuer les pertes de

### Serre solaire indépendante avec masse thermique enterrée

Cette serre a été conçue et construite par la ferme expérimentale de Rodale, en Pennsylvanie, USA.

« Les concepteurs se sont basés sur les connaissances acquises de la première génération de serres solaires indépendantes : pour des rendements optimaux, ce n'est pas la température intérieure de la serre qui est décisive, mais celle du sol. Pour capter suffisamment de lumière, la surface vitrée doit être égale à 1,5 fois la surface au sol. Le risque de surchauffe que représente une telle surface d'éclairage doit être résolu par des trappes de ventilation suffisamment grandes, d'une part, et d'autre part par des masses thermiques qui ne doivent pas diminuer l'éclairage de la serre (par ex. des récipients d'eau peints en noir).

La solution consiste à installer les planches de culture au-dessus d'une masse thermique en pierres isolée vers l'extérieur, traversée dans sa partie supérieure par un tuyau en plastique perforé. Ce tuyau sort des pierres au niveau de la face intérieure du mur nord et s'élève jusqu'au faite de la serre, là où l'air chaud s'accumule. Un ventilateur piloté par thermostat insuffle l'air chaud vers le bas et dans le tuyau horizontal, où il s'élève à travers les perforations dans les planches de culture sus-jacentes et augmente la température autour des racines. Le ré-

chauffement de la zone racinaire est la forme la plus efficace de chauffage sous serre. Une partie de l'air chaud est retenue par les pierres, qui le restituent pendant la nuit. Cette disposition de la masse thermique ne prive pas les plantes d'espace et n'intercepte pas la lumière. Dans cette serre d'à peine 2,4 x 5,4 m, l'équipe de Rodale a récolté pendant 12 mois consécutifs un total de 135 kg de légumes sans chauffage d'appoint. L'entrée spacieuse à double porte côté nord permet de ranger les outils de jardin, les tables de repiquage et de rempotage, et crée un espace tampon contre les vents froids.

Les concepteurs se sont basés sur une durée de vie de 25 ans. En raison du climat intérieur chaud et humide de la serre, il faut apporter un grand soin à la longévité des éléments constructifs. Rodale conseille de construire les parties sous le niveau du sol en maçonnerie avec isolation extérieure, et d'imprégner tous les bois porteurs et intérieurs aussi fortement que les bois en contact avec la terre. Pour l'isolation des murs à double paroi, les laines minérales sont un mauvais choix, car l'air humide de la serre pénètre à l'intérieur du mur en dépit du pare-vapeur, diminuant drastiquement le pouvoir isolant de ces matériaux. Des panneaux isolants extrudés (polystyrène, polyuréthane) insensibles à l'humidité sont la meilleure solution. »

