

Effet de serre et triple vitrage

On dit souvent que l'expression d'effet de serre est fausse parce que, dans une serre, ce qui est le plus efficace, c'est l'absence de courants d'air, donc d'advection d'air froid.

C'est une vision de puriste généralement bien mal comprise en fait et employée un peu à tort et à travers.

C'est vrai que si on ouvre la porte d'une serre, la température chute rapidement, en général. La question ne se pose évidemment pas avec la planète. Il n'est donc pas question de mouvements d'air, la meilleure analogie est donc, plutôt avec le fonctionnement du double ou du triple vitrage. En effet, la première exigence que l'on a quand on remplace une fenêtre par exemple, c'est qu'elle ferme bien et que, donc, on ne sente pas de courants d'air froid en son voisinage.

Comment fonctionne un double vitrage ?

Puisque la fenêtre ferme bien, les seuls échanges de chaleur possibles se font par rayonnement. Le verre est totalement opaque au rayonnement infrarouge, il absorbe donc le rayonnement en provenance de la pièce et émet à son tour. Il faut bien comprendre qu'ici, il n'y a pas de perte de chaleur **directe**. Tout se passe en deux étapes :

- 1 la pièce émet un rayonnement, le verre l'absorbe et donc s'échauffe
- 2 le verre émet du rayonnement suivant la loi de Stefan cad, $P = \sigma T^4$

Commençons avec une seule couche de verre (simple vitrage)

Supposons qu'il fasse 20° ($T_i = 293,15$ K) dans la pièce et -20° ($T_e = 253,15$ K) dehors.

Le verre est d'une part chauffé par la pièce (par convection et par rayonnement) et d'autre part refroidi par l'extérieur

Supposons qu'il n'y ait pas de mouvement d'air, alors tout se passe par l'intermédiaire du rayonnement et on peut calculer la température de la vitre.

Le verre reçoit de l'intérieur σT_i^4 et de l'extérieur σT_e^4 (émis par l'air extérieur)

Il émet vers la pièce et vers l'extérieur, sa température est T_v

Son bilan est donc :

$$\sigma T_e^4 + \sigma T_i^4 = 2\sigma T_v^4$$

d'où $T_v = 275$ K. La température de la vitre est de 2°C et la pièce perd l'énergie émise par la fenêtre moins celle qu'elle reçoit de l'extérieur

$$\sigma T_v^4 - \sigma T_e^4 = 93 \text{ W}$$

Dans notre hypothèse, c'est-à-dire en l'absence de tout transfert de chaleur autre que par rayonnement, au travers de la fenêtre, c'est la quantité d'énergie qu'il faut fournir pour maintenir la température constante.

Bien sûr, la vitre se refroidira par convection à l'extérieur, les molécules d'air chauffée au contact de la vitre étant remplacées par des molécules froides, inversement, elle sera chauffée de l'intérieur de la même façon.

Il n'empêche, sans la vitre, la pièce perdait l'énergie

$\sigma T_e^4 - \sigma T_i^4 = 186 \text{ W}$ (le double, ça se démontre d'ailleurs facilement en reprenant différemment les équations ci-dessus)

Ces 93 W/m² gagnés, cela représente, le gain par effet de serre de la vitre.

Que se passe t il si on rajoute une deuxième vitre ?

Soient T_l la température de la vitre externe, T_2 celle de la vitre interne, T_e la température extérieur et T_i celle de la pièce : la vitre interne absorbe le rayonnement de la pièce et celui qui provient de la vitre externe et émet vers la pièce et vers la vitre externe

On écrit les bilans de chaque vitre

Pour la vitre interne :

$$\sigma T_l^4 + \sigma T_i^4 = 2\sigma T_2^4$$

pour la vitre externe

$$\sigma T_2^4 + \sigma T_e^4 = 2\sigma T_l^4$$

on élimine T_2 et on en tire $T_l^4 = (T_i^4 + 2T_e^4)/3$

soit $T_l = 268.5 \text{ K}$ ($-4,6^\circ\text{C}$)

et, cette fois, la pièce perd

$$\sigma T_l^4 - \sigma T_e^4 = 62 \text{ W}$$

On voit que le fait de rajouter une deuxième vitre permet de gagner encore un tiers de l'énergie perdue.

Le même raisonnement s'étend à n couches de verre. Par exemple, pour un triple vitrage

$$\sigma T_i^4 + \sigma T_2^4 = 2\sigma T_3^4$$

$$\sigma T_3^4 + \sigma T_l^4 = 2\sigma T_2^4$$

$$\sigma T_e^4 + \sigma T_2^4 = 2\sigma T_l^4$$

On en tire

$$T_i^4 + 3T_e^4 = 4T_l^4$$

soit $T_l = 264,9 \text{ K}$ et la perte d'énergie de la pièce $\sigma T_l^4 - \sigma T_e^4 = 46 \text{ W}$

Ce calcul est parfaitement exact dans le vide absolu, c'est d'ailleurs la raison pour laquelle on a développé les isolants minces...en oubliant ou plus exactement en sous estimant le fait que les différentes surfaces métalliques de l'isolant en question n'étaient pas dans le vide et que des échanges de chaleur avaient lieu entre elles par convection turbulente

La Terre se trouve dans le vide et ses échanges de chaleur ne se font que par rayonnement, le raisonnement ci-dessus montre bien que même si l'atmosphère était opaque au rayonnement infrarouge en provenance de la surface, le fait de rajouter de l'absorbant renforcera toujours l'effet d'isolation que constitue l'effet de serre. ...évidemment de moins en moins