

# Bilan radiatif et effet de serre

Jean-Louis Dufresne

Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)  
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

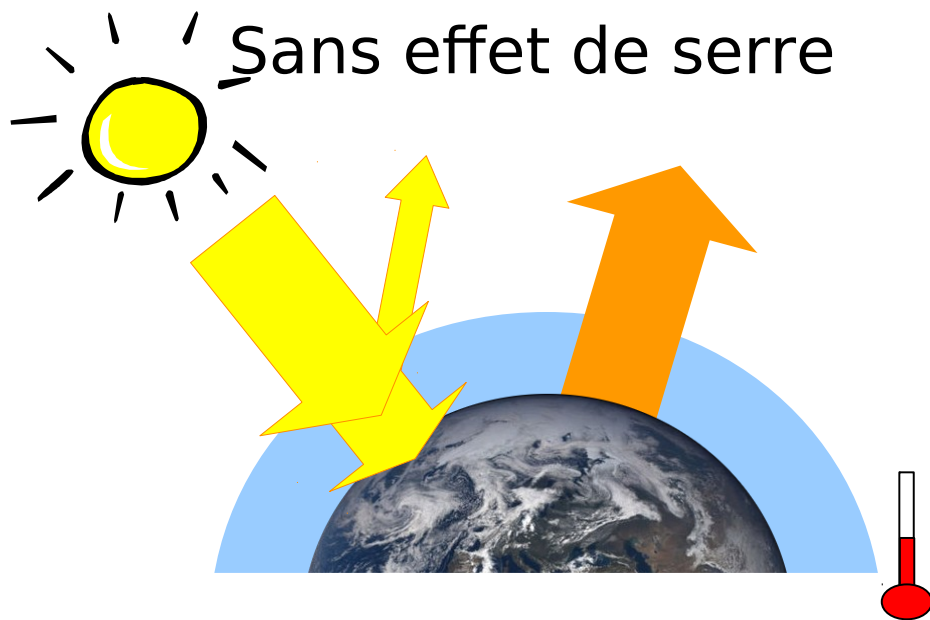
*CNRS, Sorbonne Université, ENS, Ecole Polytechnique*

jean-louis.dufresne@lmd.jussieu.fr  
[www.lmd.jussieu.fr/~jldufres](http://www.lmd.jussieu.fr/~jldufres)

Voir aussi le texte sur le site Culture Sciences, Eduscol, ENS Lyon :  
<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Effet-serre-Dufresne.xml>

décembre 2020

# Bilan radiatif de la Terre : Effet parasol et effet de serre



# Principes de bases de l'effet de serre

1) L'émission de rayonnement

2) Rayonnement visible et rayonnement infrarouge

3) Matériau transparent ou opaque

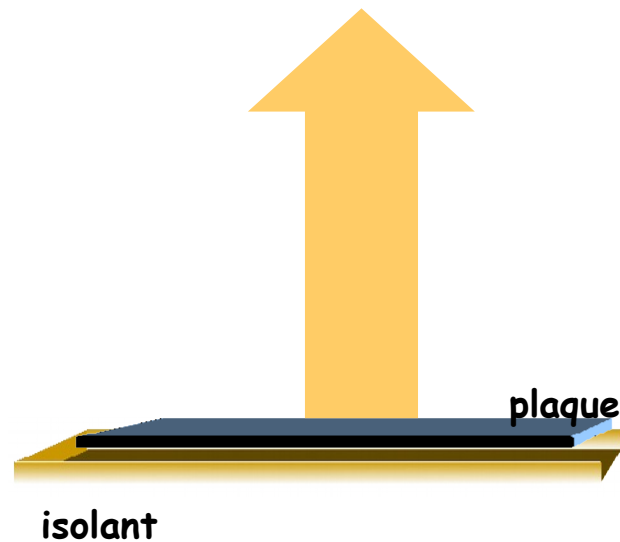
4) L'équilibre énergétique

5) Température d'équilibre d'une plaque au soleil

6) L'effet de serre

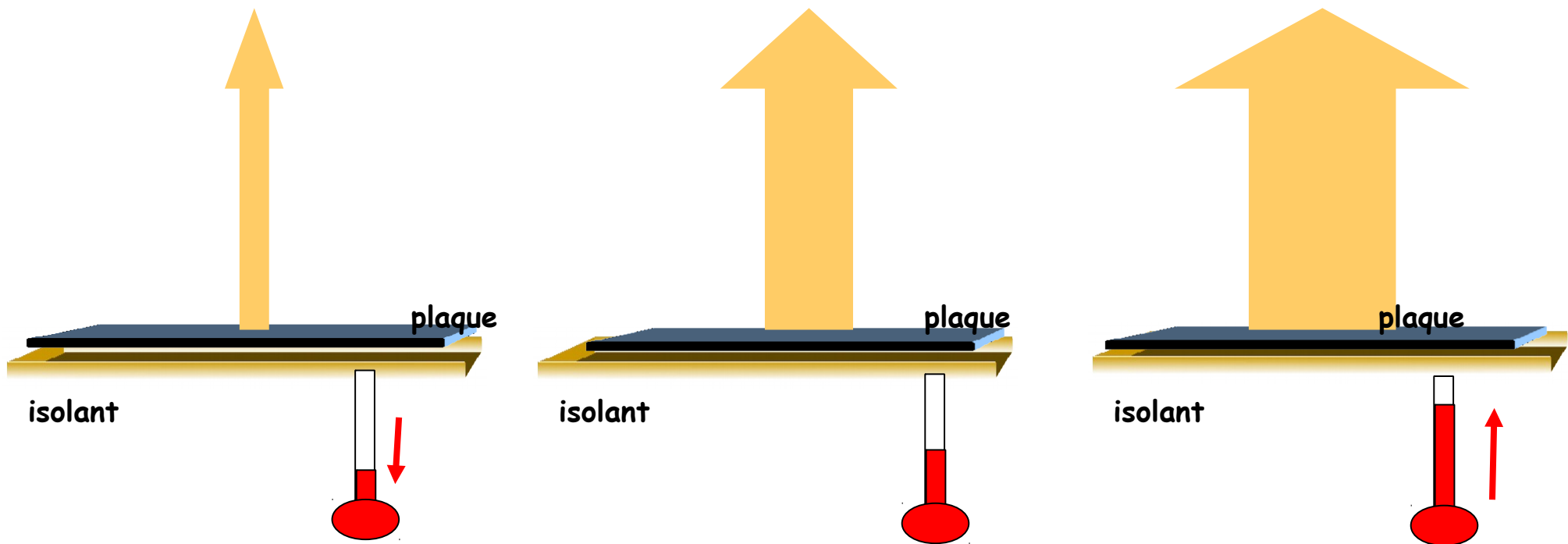
7) Conclusion et remarques

# 1) L'émission de rayonnement



*a) Tout corps (ici une plaque posée sur un isolant thermique) émet du rayonnement et ainsi perd de l'énergie*

# 1) L'émission de rayonnement



*b) Plus la température du corps est élevée,  
plus l'énergie perdue est élevée*

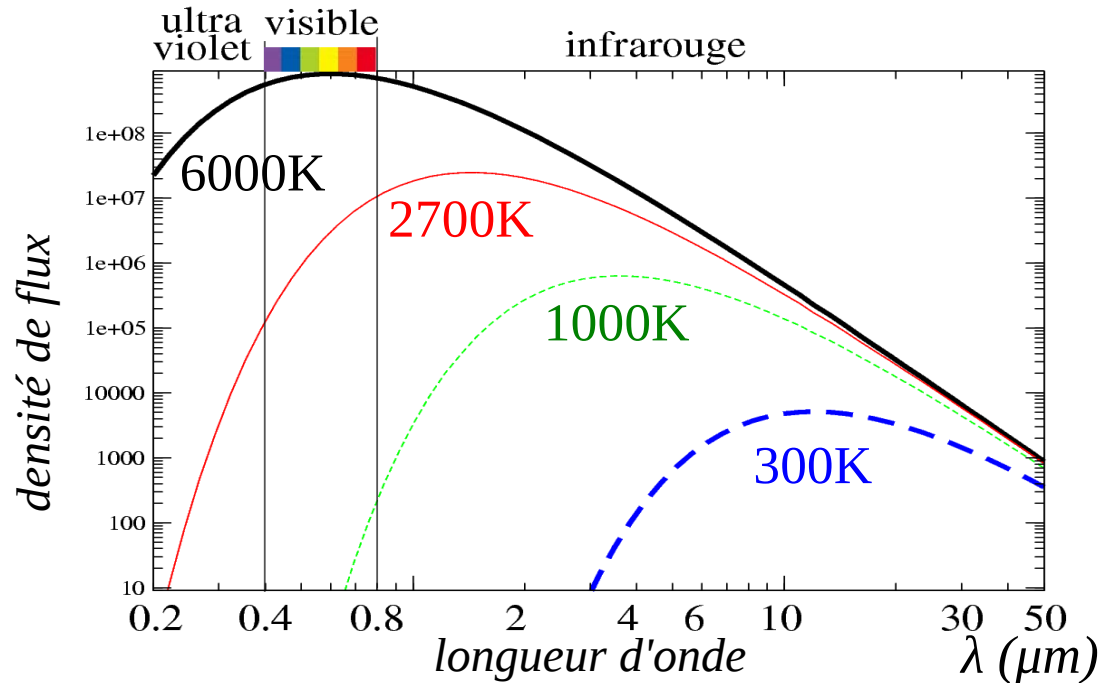
# 1) L'émission de rayonnement



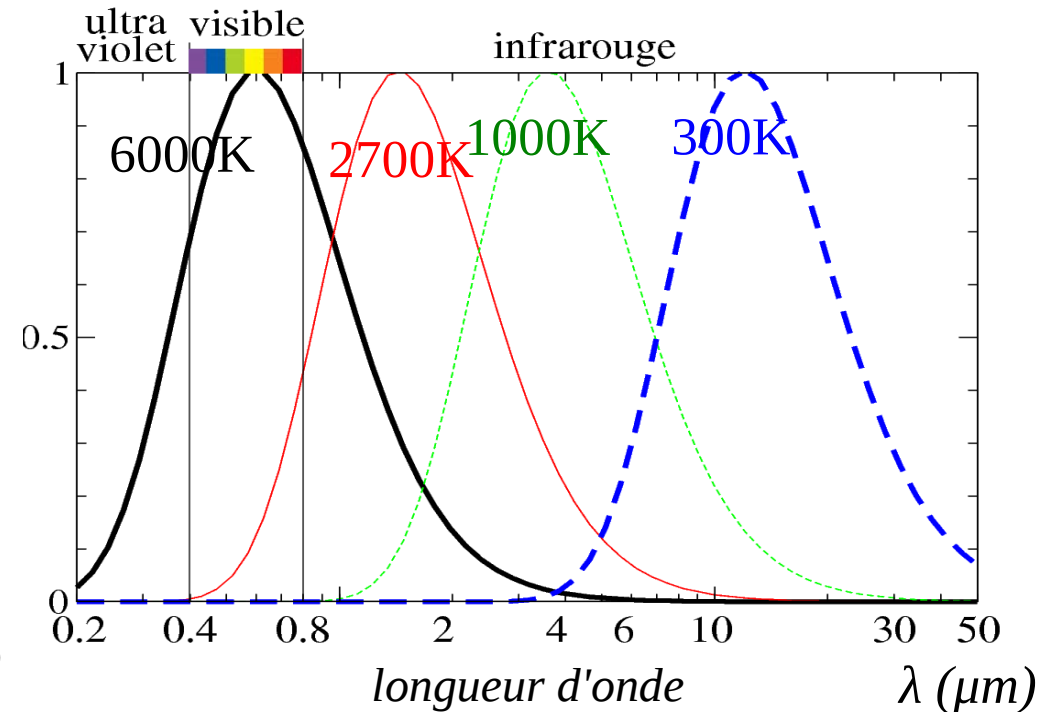
*b) Plus la température du corps est élevée,  
plus l'énergie perdue est élevée*

## 2) Rayonnement visible et rayonnement infrarouge

### Profil spectral



### Profil spectral normalisé



a) Si la température de l'objet est inférieure à  $700^{\circ}\text{C}$  ( $\approx 1000\text{K}$ ), notre œil ne voit pas le rayonnement émis par l'objet, **il est émis dans le domaine infrarouge**

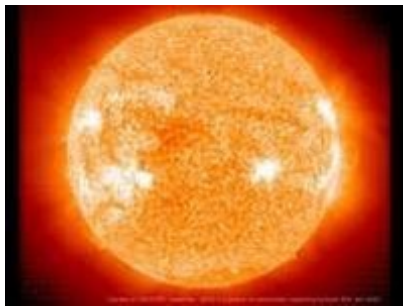
## 2) Rayonnement visible et rayonnement infrarouge

b) Si la température de l'objet est très élevée (supérieure à environ 1000K), notre œil voit une partie du rayonnement émis par cet objet :

C'est le rayonnement visible



Lampe à filament de tungstène :  $T \approx 2700-3100 \text{ K}$



Soleil :  $T \approx 6000 \text{ K}$



Lave de volcan, braise d'un feu :  
 $T \approx 1000 \text{ K}$

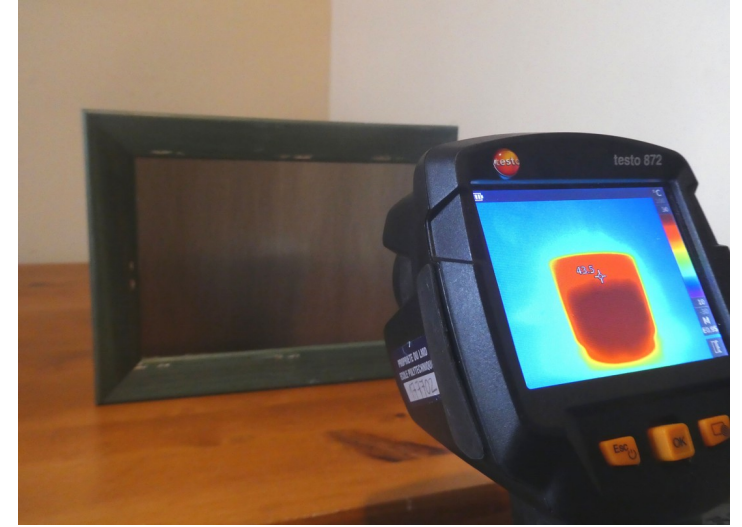


### 3) Matériau transparent ou opaque



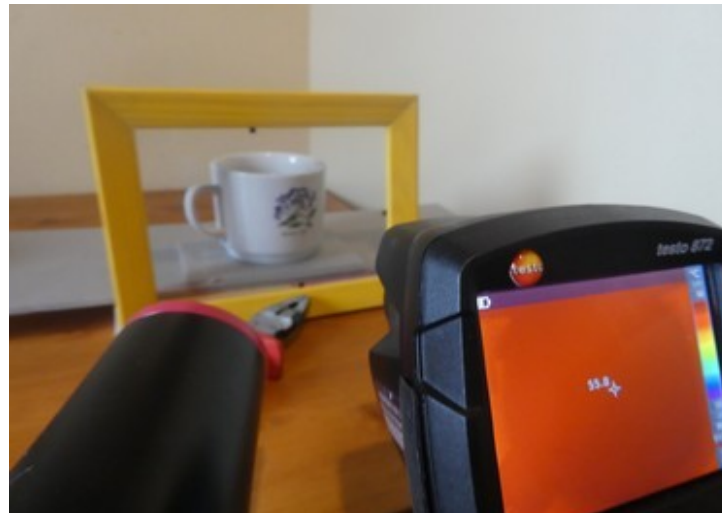
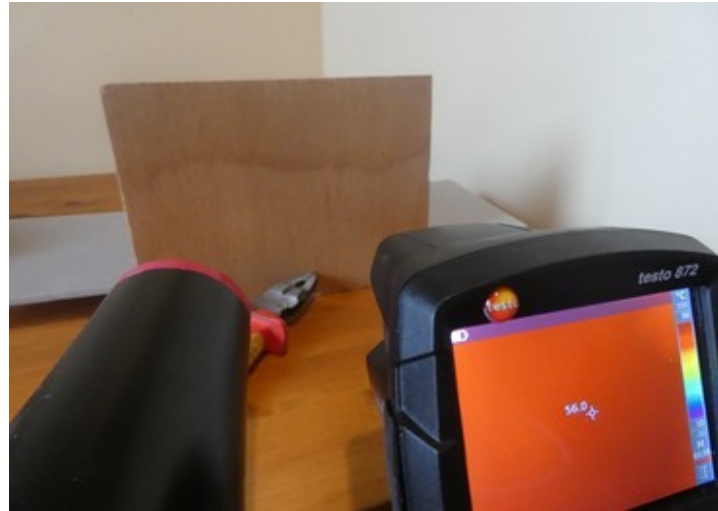
Un matériau peut être transparent ou opaque, et ces propriétés peuvent être différentes pour le rayonnement visible et pour l'infrarouge.

### 3) Matériau transparent ou opaque



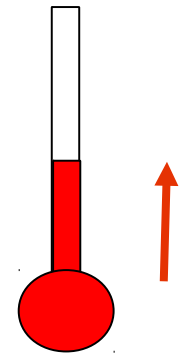
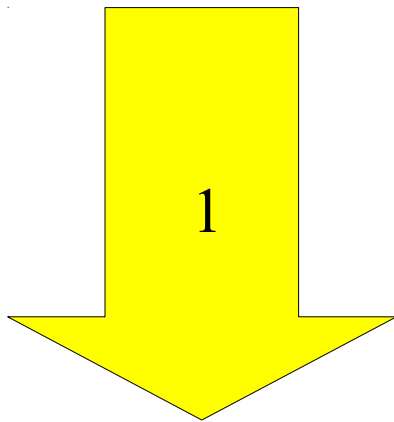
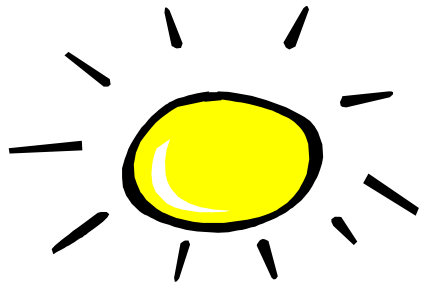
Un matériau peut être transparent ou opaque, et ces propriétés peuvent être différentes pour le rayonnement visible et pour l'infrarouge.

### 3) Matériau transparent ou opaque



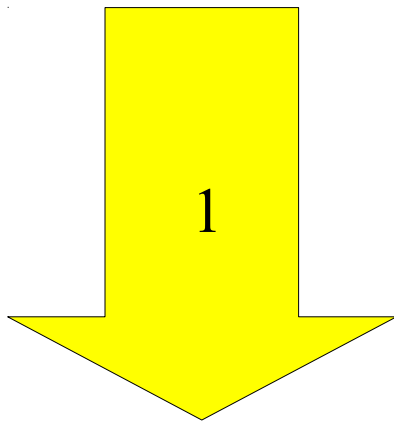
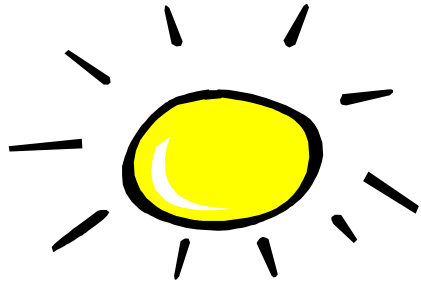
Si on chauffe les écrans, la planche et la vitre émettent alors plus de rayonnement, les plastiques peu. Un matériau qui est un **bon absorbant** pour rayonnement infrarouge est aussi **un bon émetteur**.

## 4) L'équilibre énergétique



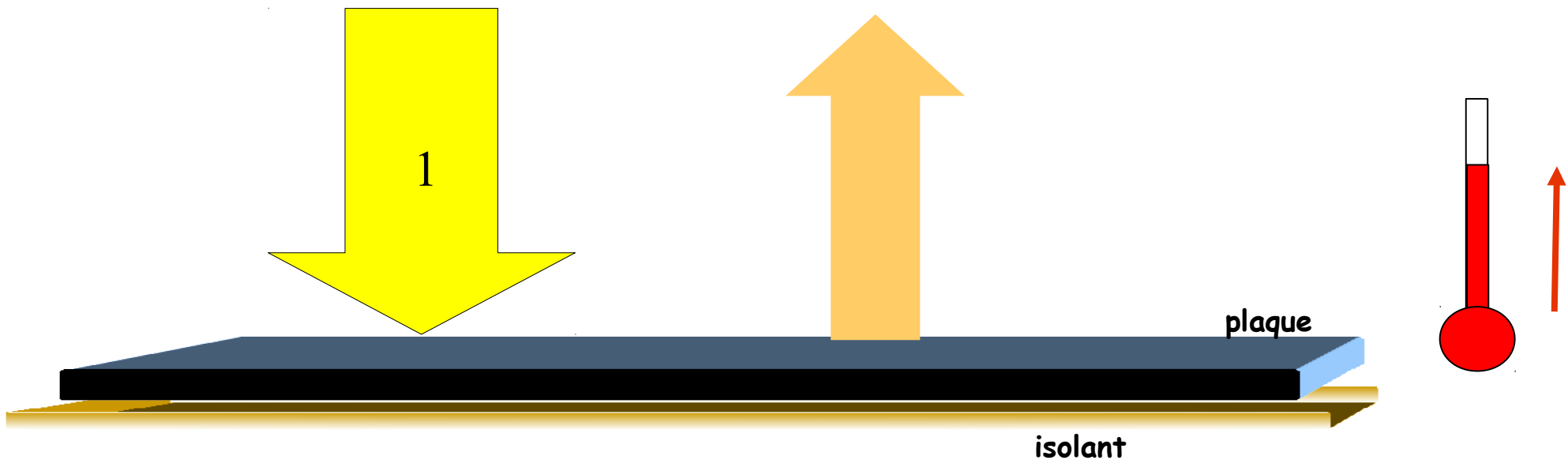
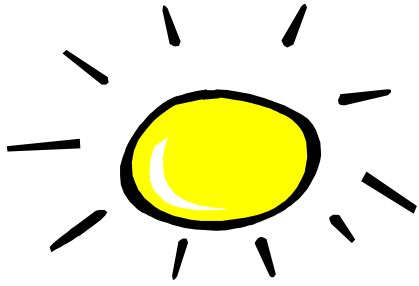
- Si un objet reçoit plus d'énergie qu'il n'en perd, sa température augmente.

## 4) L'équilibre énergétique



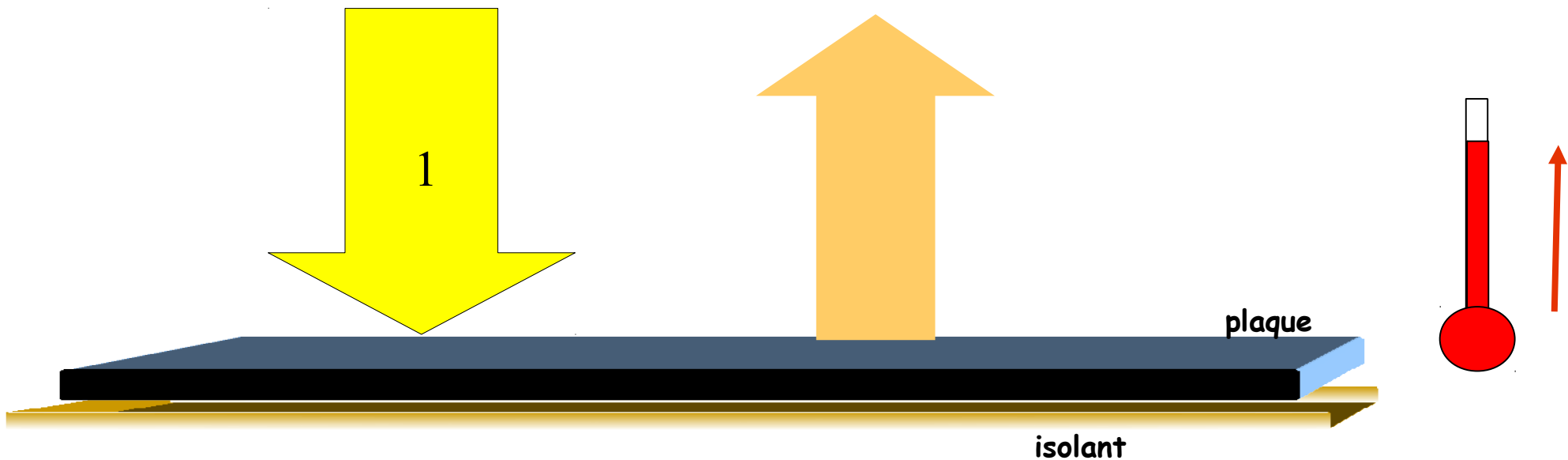
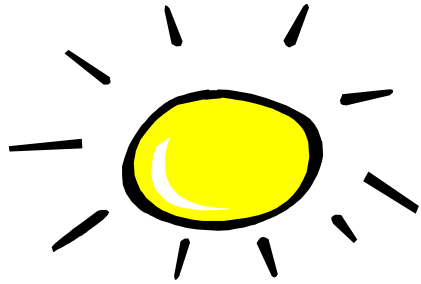
- Comme sa température augmente, l'énergie perdue par l'émission de rayonnement augmente.

## 4) L'équilibre énergétique



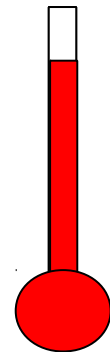
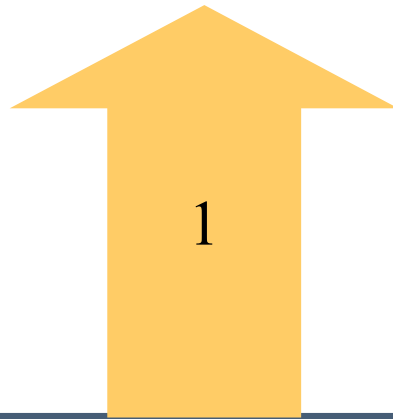
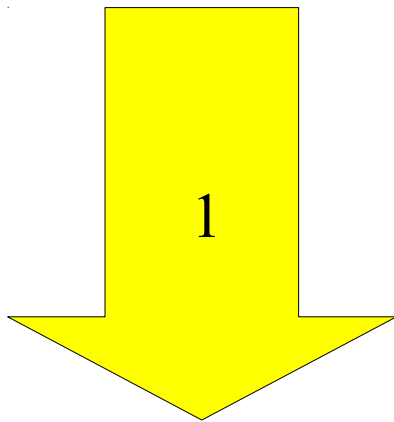
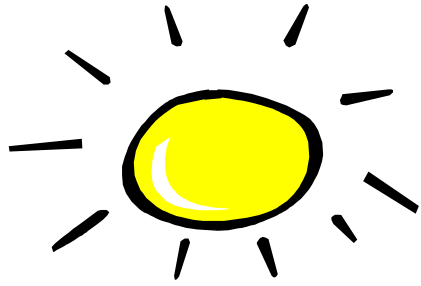
- Comme sa température augmente, l'énergie perdue par l'émission de rayonnement augmente.

## 4) L'équilibre énergétique



- Comme sa température augmente, l'énergie perdue par l'émission de rayonnement augmente.

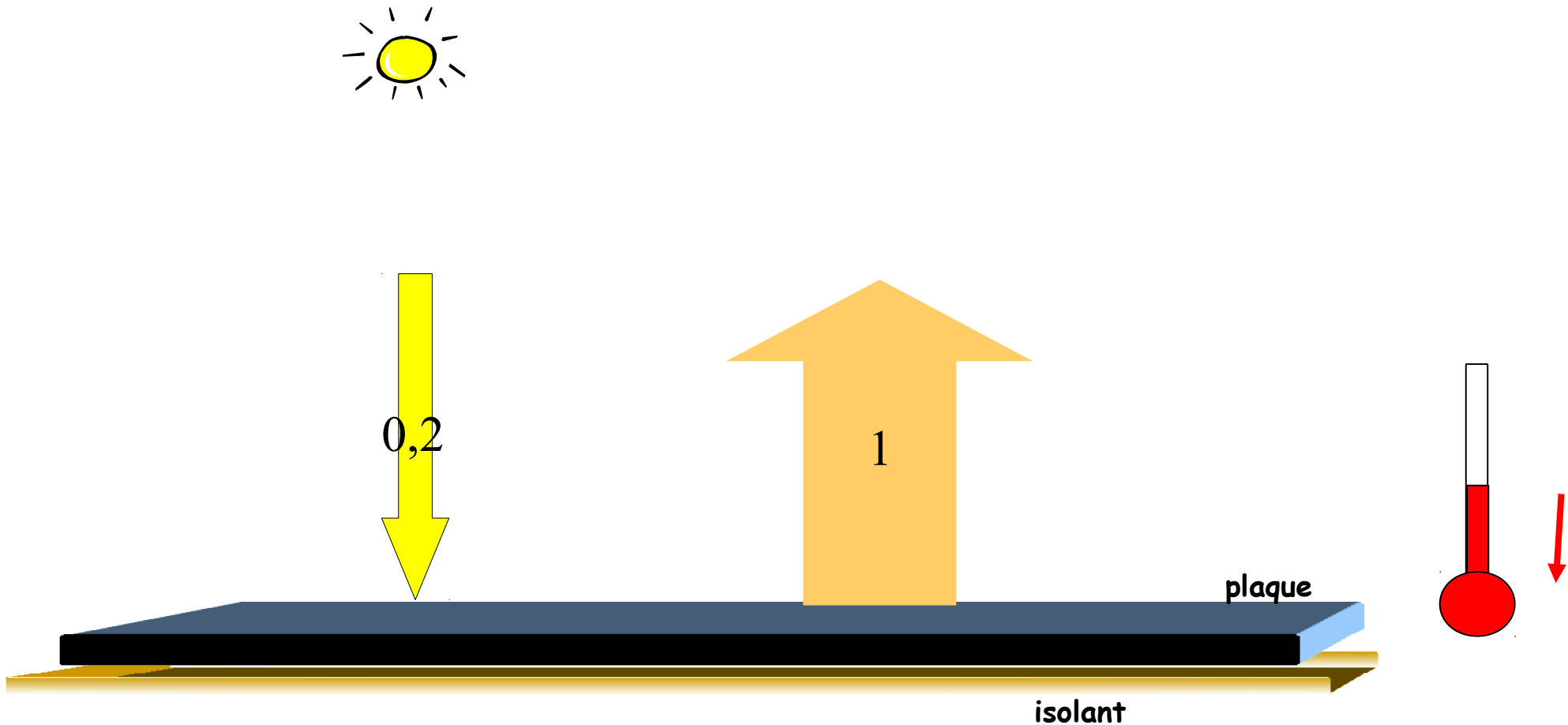
## 4) L'équilibre énergétique



- L'équilibre est atteint lorsque l'énergie que perd l'objet est exactement compensée par celle qu'il reçoit.

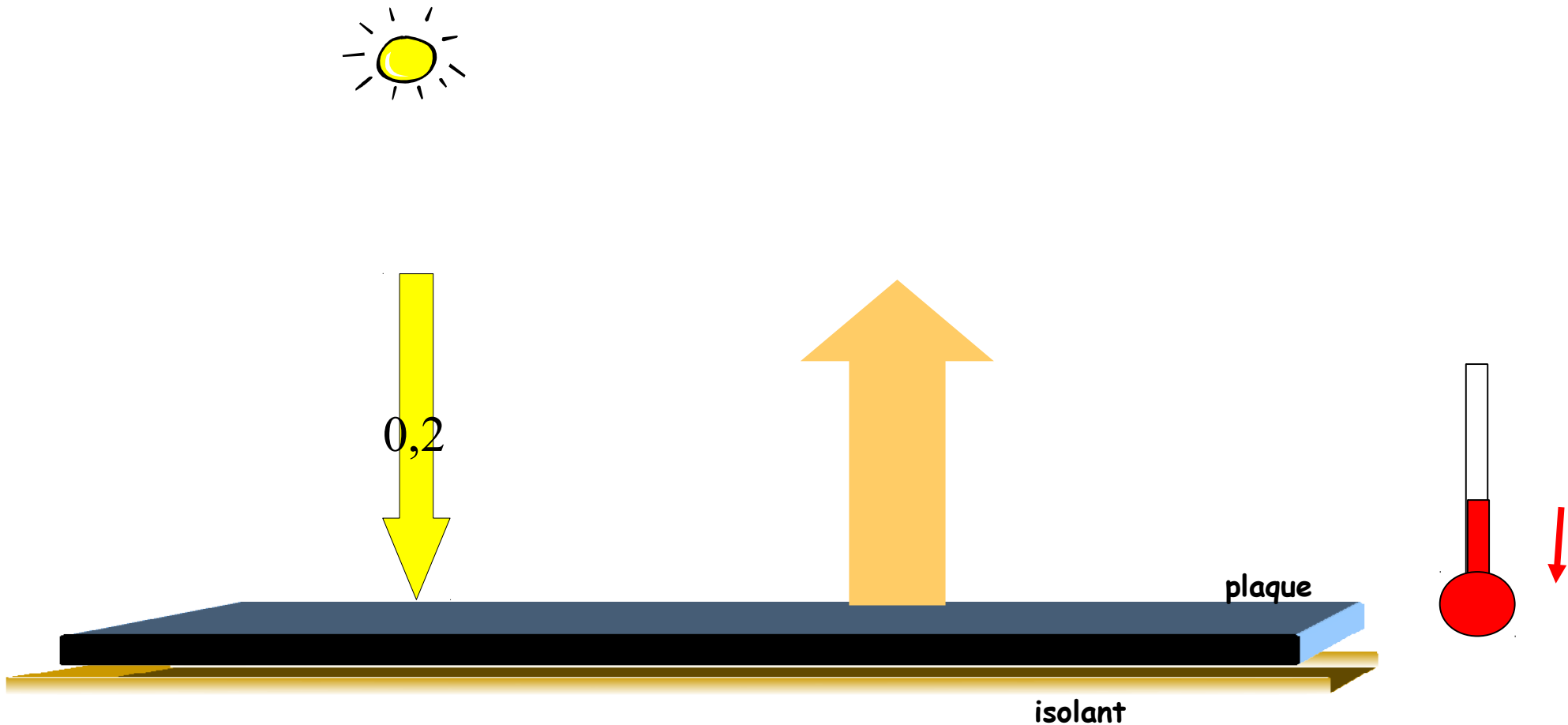


## 4) L'équilibre énergétique



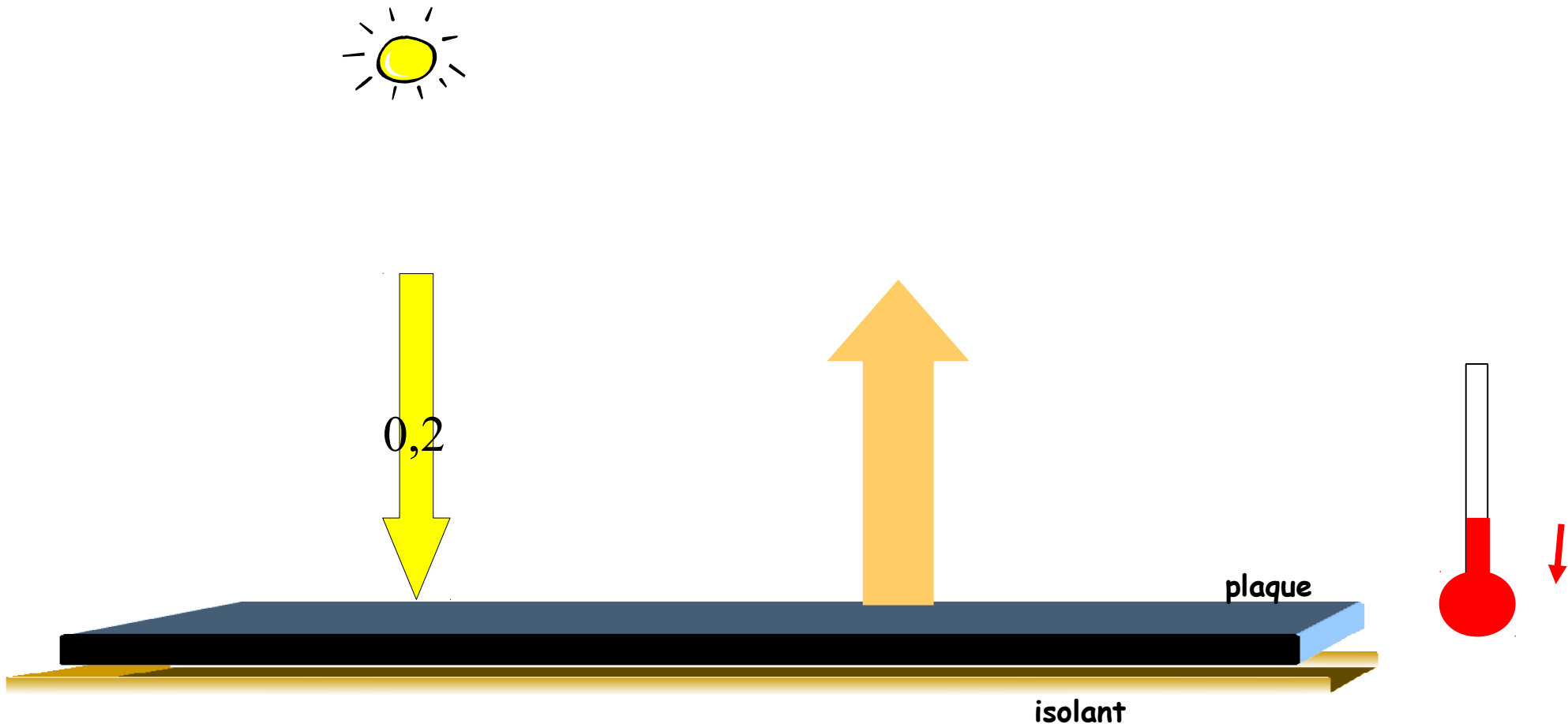
- Si un objet reçoit moins d'énergie qu'il n'en perd, sa température diminue.

## 4) L'équilibre énergétique



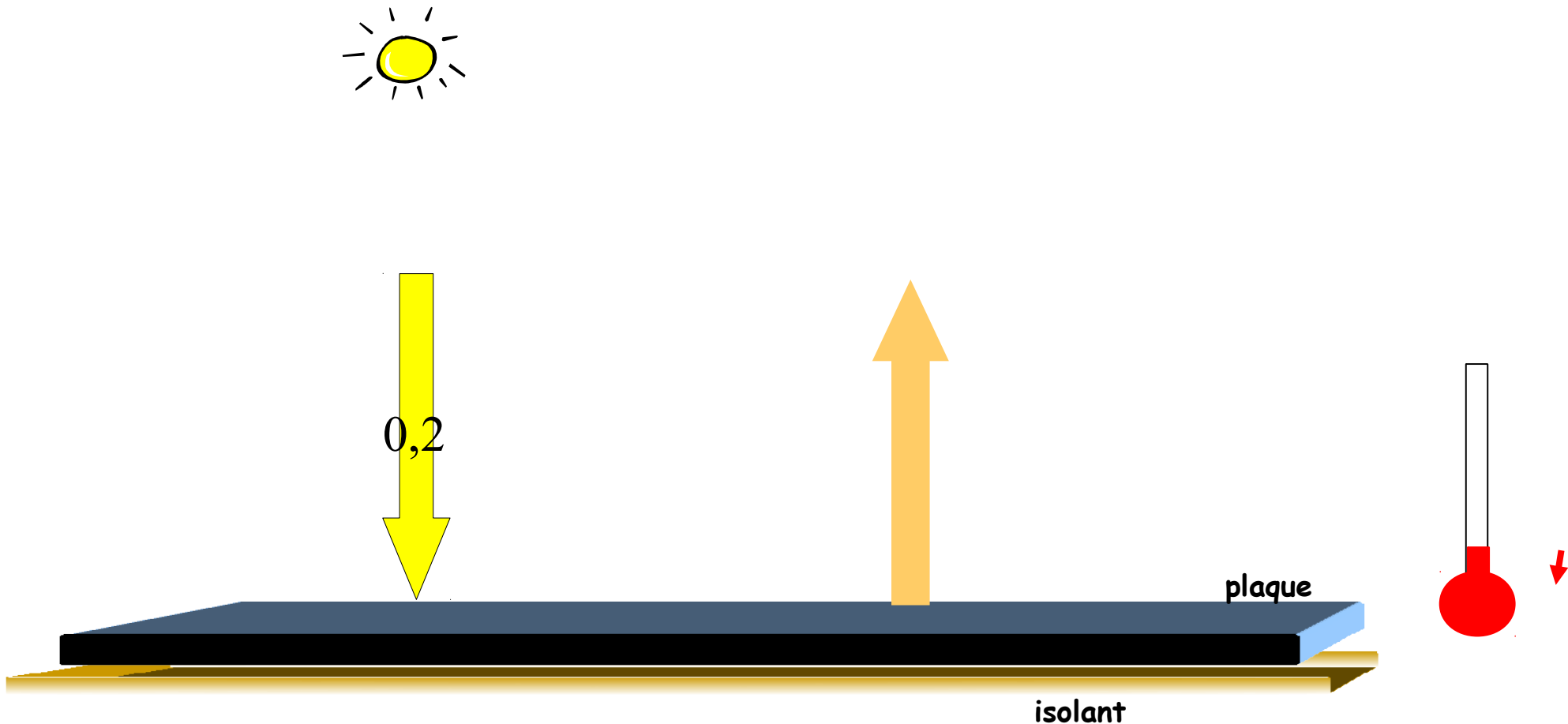
- Comme sa température diminue, l'énergie perdue par émission de rayonnement diminue.

## 4) L'équilibre énergétique



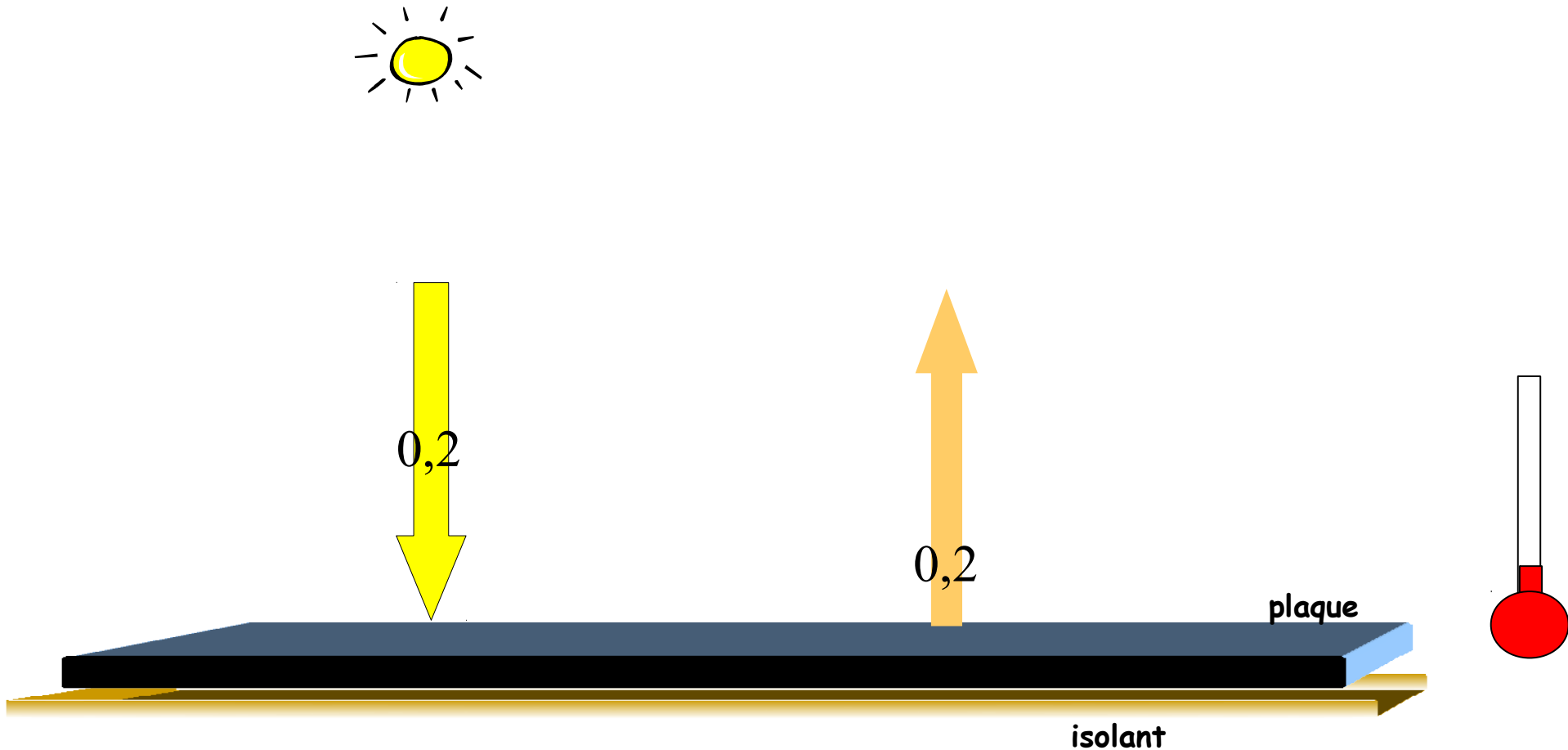
- Comme sa température diminue, l'énergie perdue par émission de rayonnement diminue.

## 4) L'équilibre énergétique



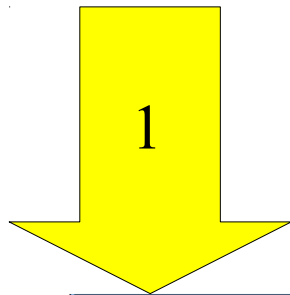
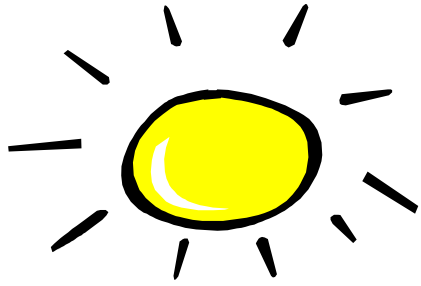
- Comme sa température diminue, l'énergie perdue par émission de rayonnement diminue.

## 4) L'équilibre énergétique



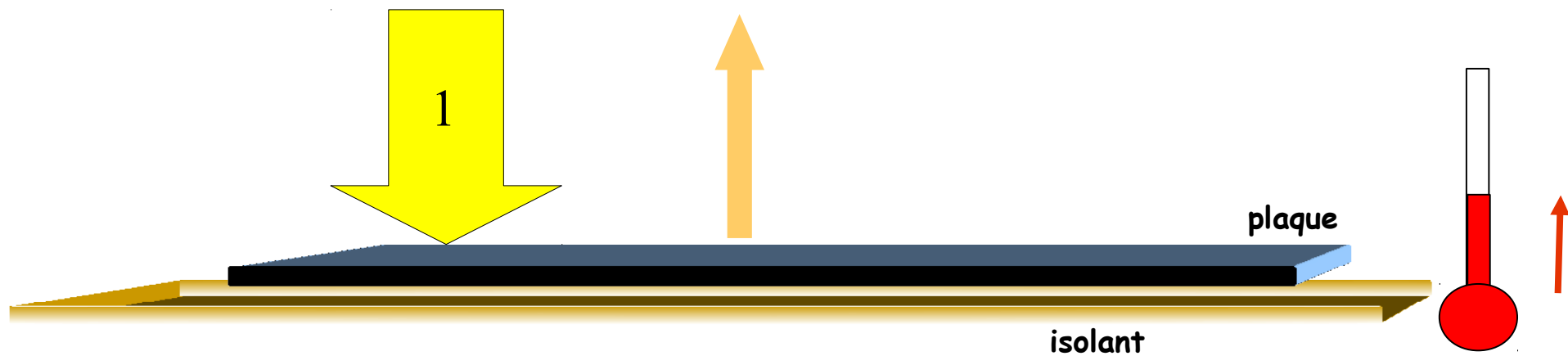
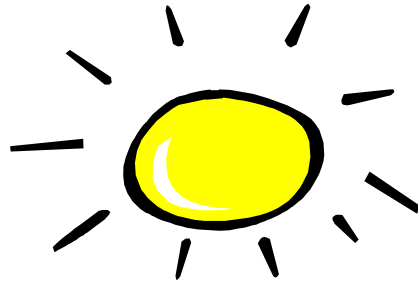
- L'équilibre est atteint lorsque l'énergie que perd l'objet est exactement compensée par l'énergie qu'il reçoit.

## 4) L'équilibre énergétique



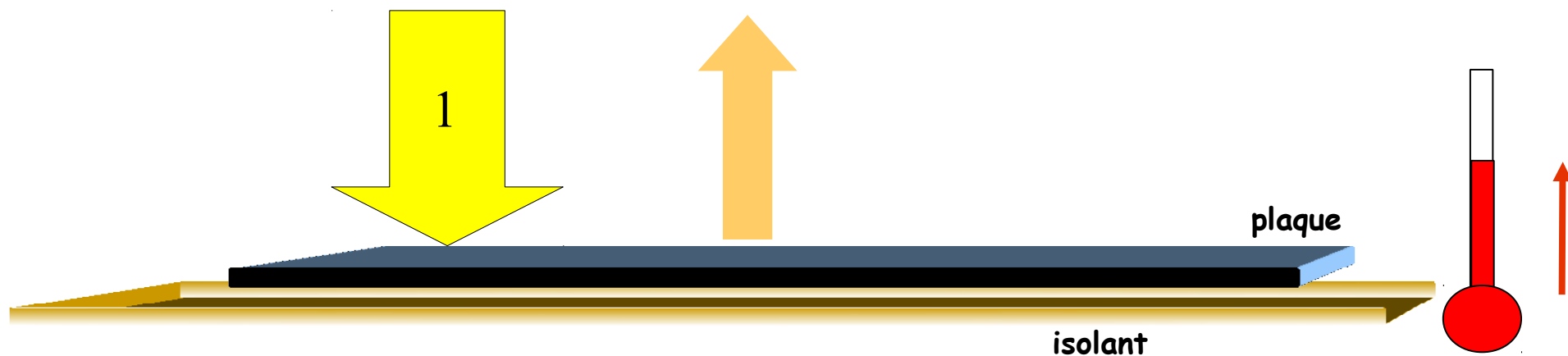
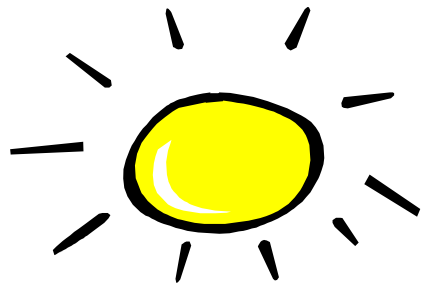
a) Plaçons cette plaque au soleil : parce qu'elle est noire, elle absorbe le rayonnement solaire. Elle gagne de l'énergie.

## 5) Température d'équilibre d'une plaque au soleil



b) Comme elle gagne de l'énergie sa température augmente. Comme sa température augmente, l'énergie perdue par émission de rayonnement augmente.

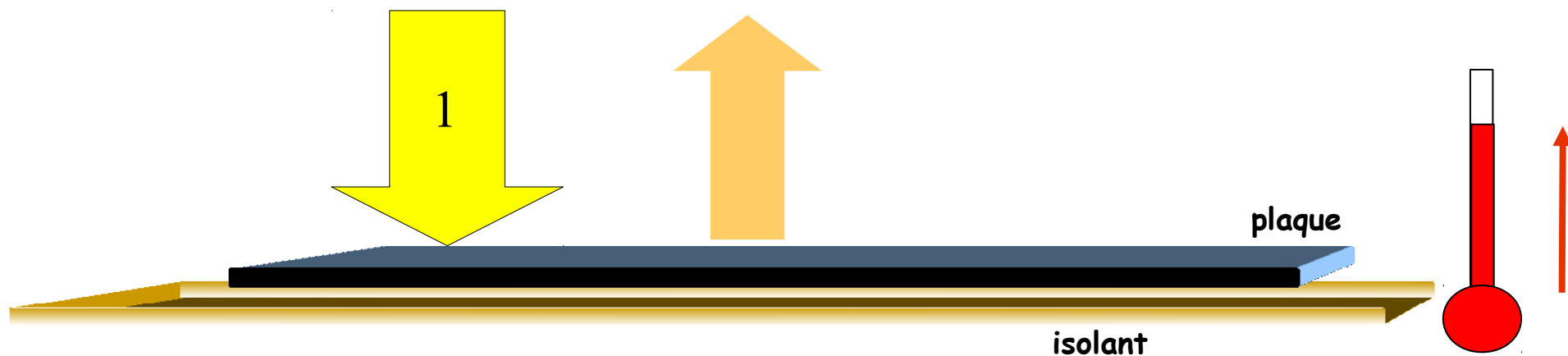
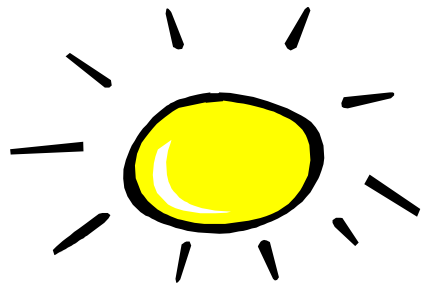
## 5) Température d'équilibre d'une plaque au soleil



b) Comme elle gagne de l'énergie sa température augmente. Comme sa température augmente, l'énergie perdue par émission de rayonnement augmente.

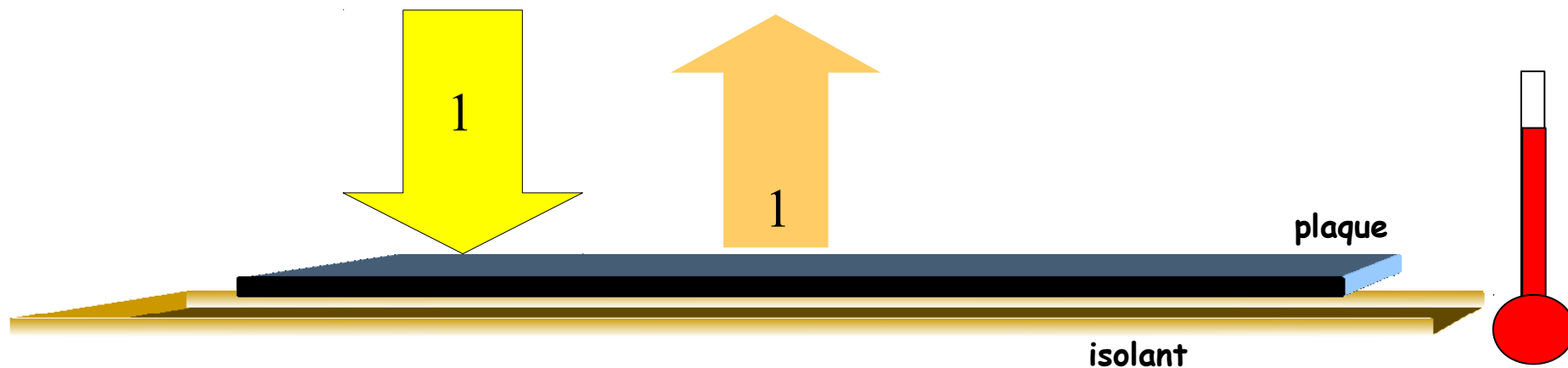
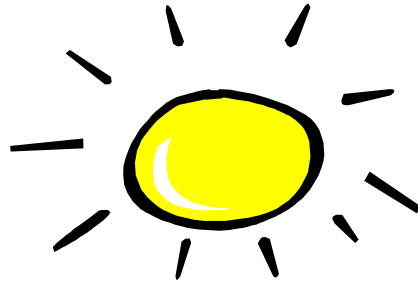


## 5) Température d'équilibre d'une plaque au soleil



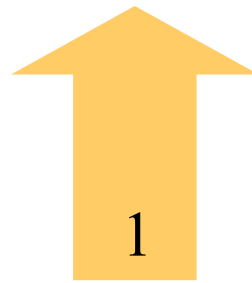
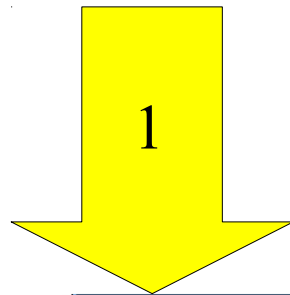
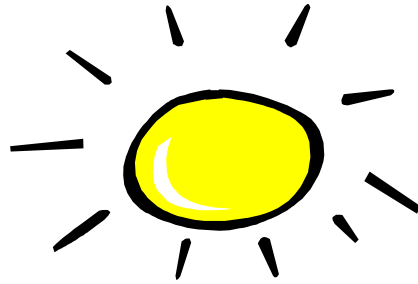
b) Comme elle gagne de l'énergie sa température augmente. Comme sa température augmente, l'énergie perdue par émission de rayonnement augmente.

## 5) Température d'équilibre d'une plaque au soleil



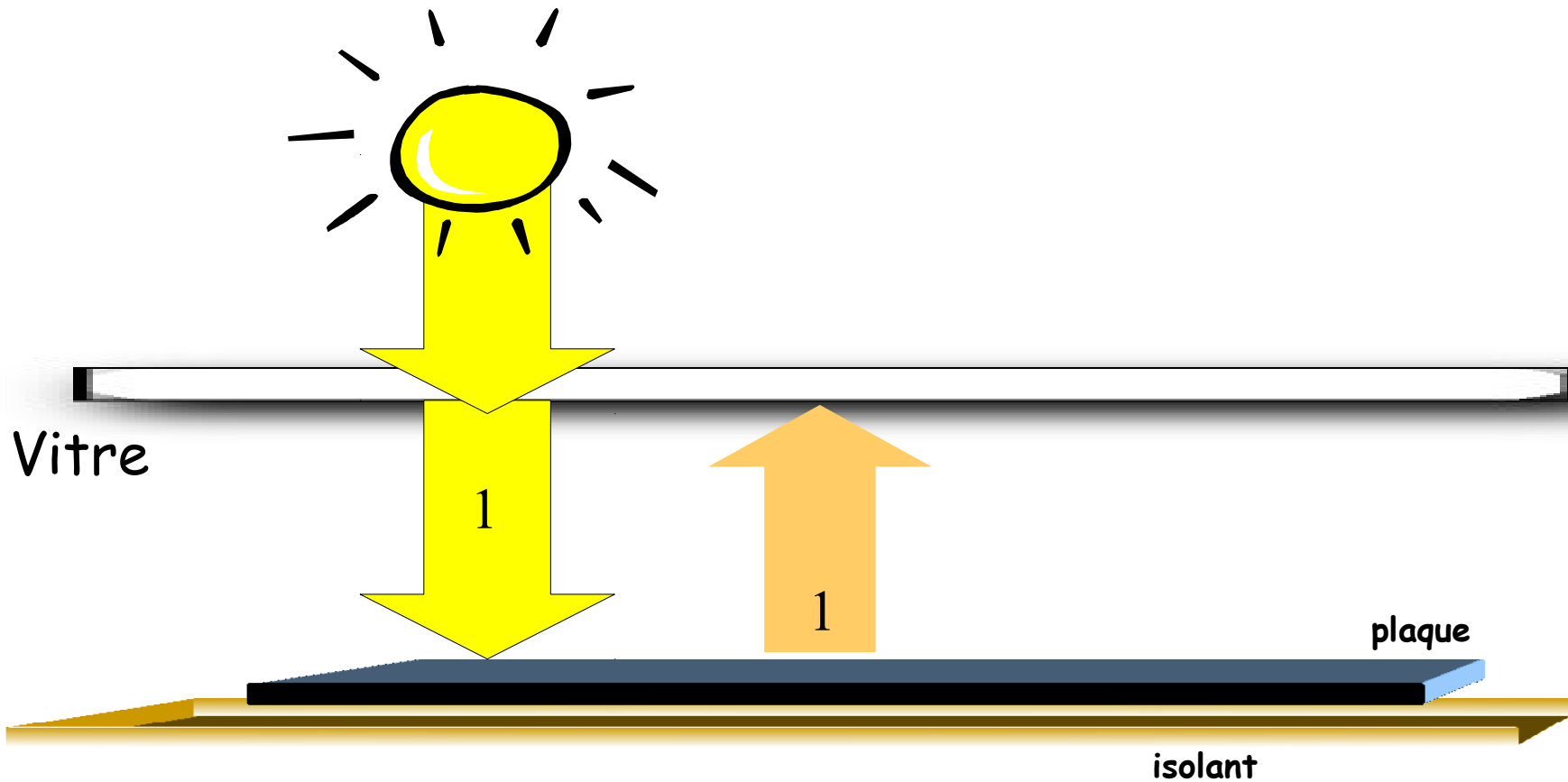
c) Finalement elle atteint sa température d'équilibre lorsqu'elle perd autant d'énergie par émission de rayonnement infrarouge qu'elle n'en gagne par absorption de rayonnement solaire.

## 6) L'effet de serre



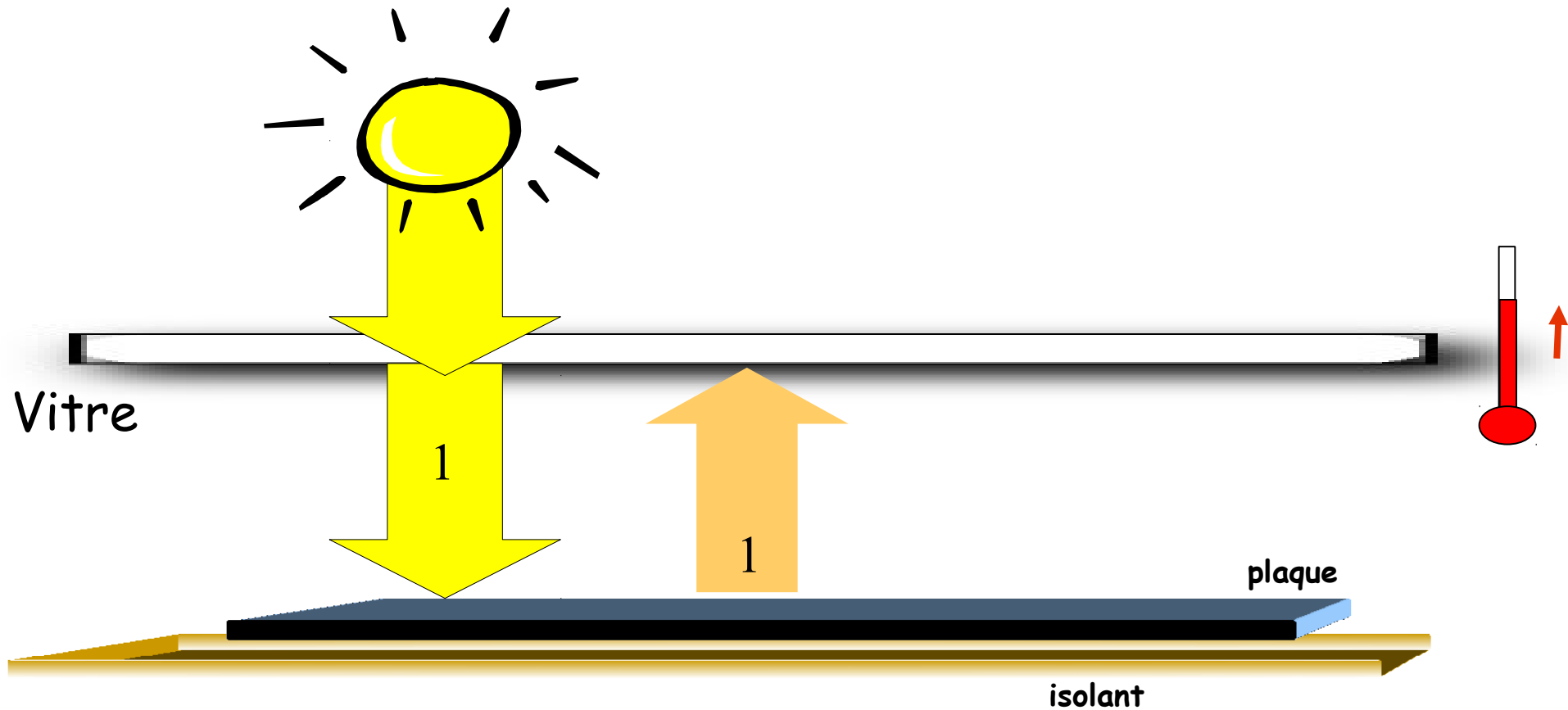
On part d'une situation où la plaque noire est placée au soleil et a atteint son équilibre thermique

## 6) L'effet de serre



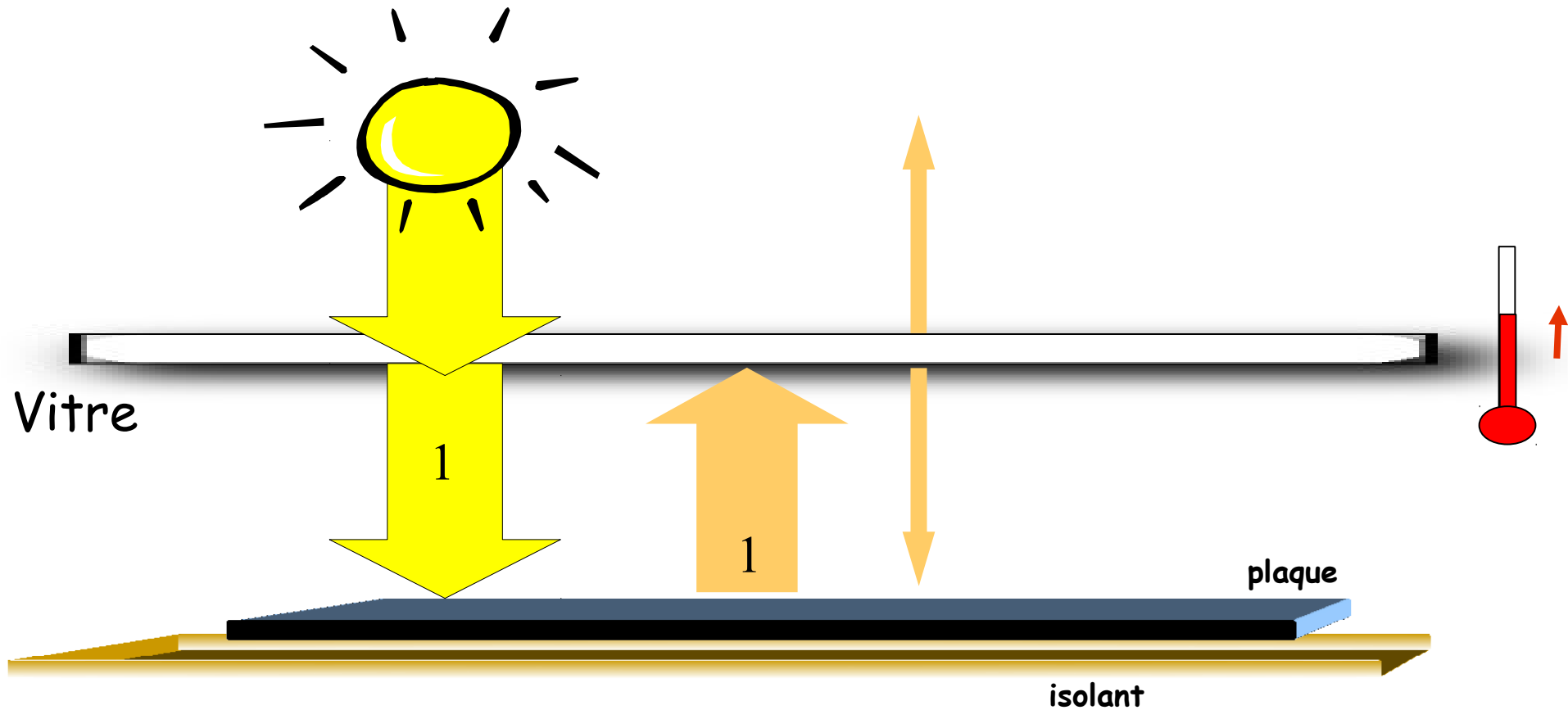
On place maintenant au-dessus de la plaque une vitre qui est transparente au rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge. On suppose sa température nulle, elle n'émet donc pas de rayonnement.

## 6) L'effet de serre



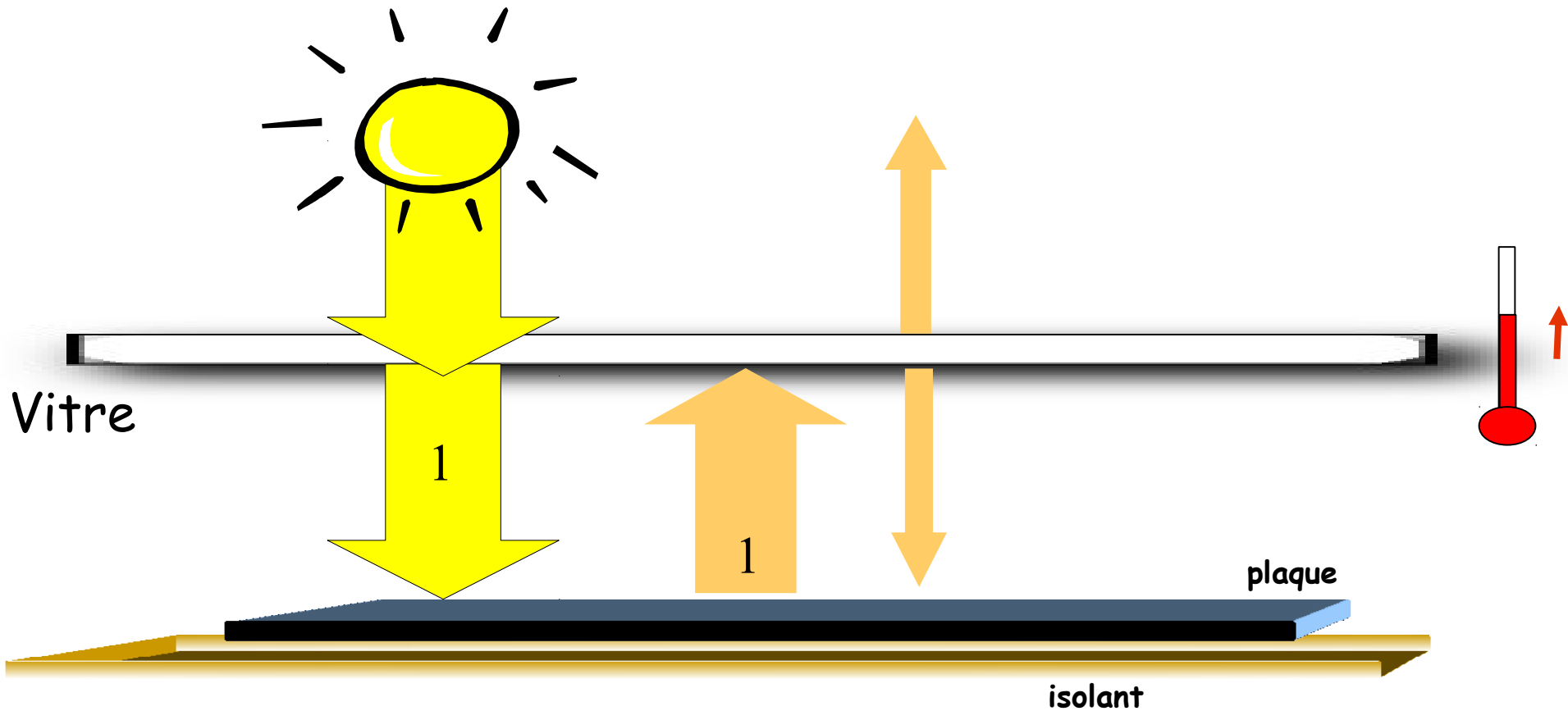
L'absorption par la vitre du rayonnement infrarouge émis par la plaque lui fait gagner de l'énergie donc sa température s'élève.

## 6) L'effet de serre



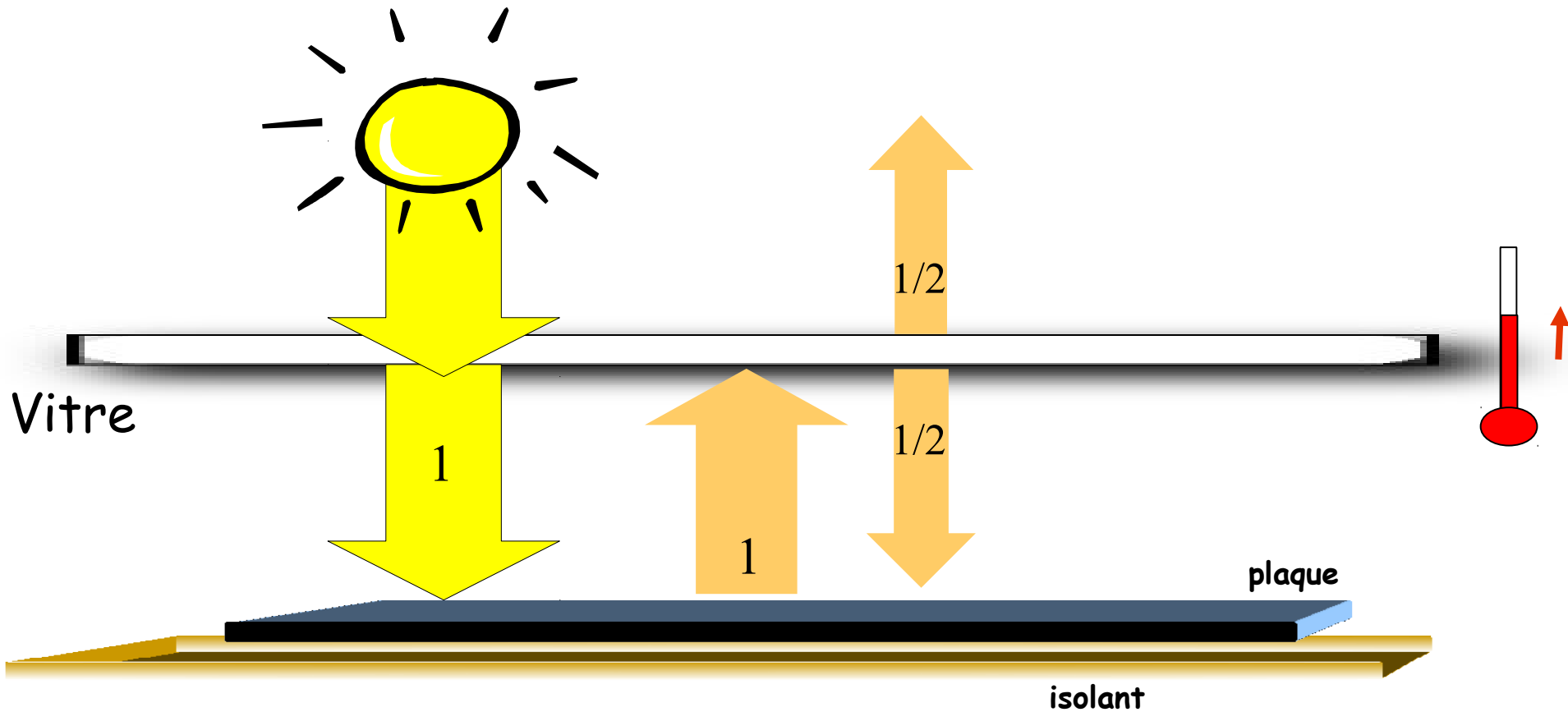
Comme la température de la vitre augmente, elle émet plus de rayonnement infrarouge. Elle émet autant de rayonnement vers le haut que vers le bas.

## 6) L'effet de serre



Comme la température de la vitre augmente, elle émet plus de rayonnement infrarouge. Elle émet autant de rayonnement vers le haut que vers le bas.

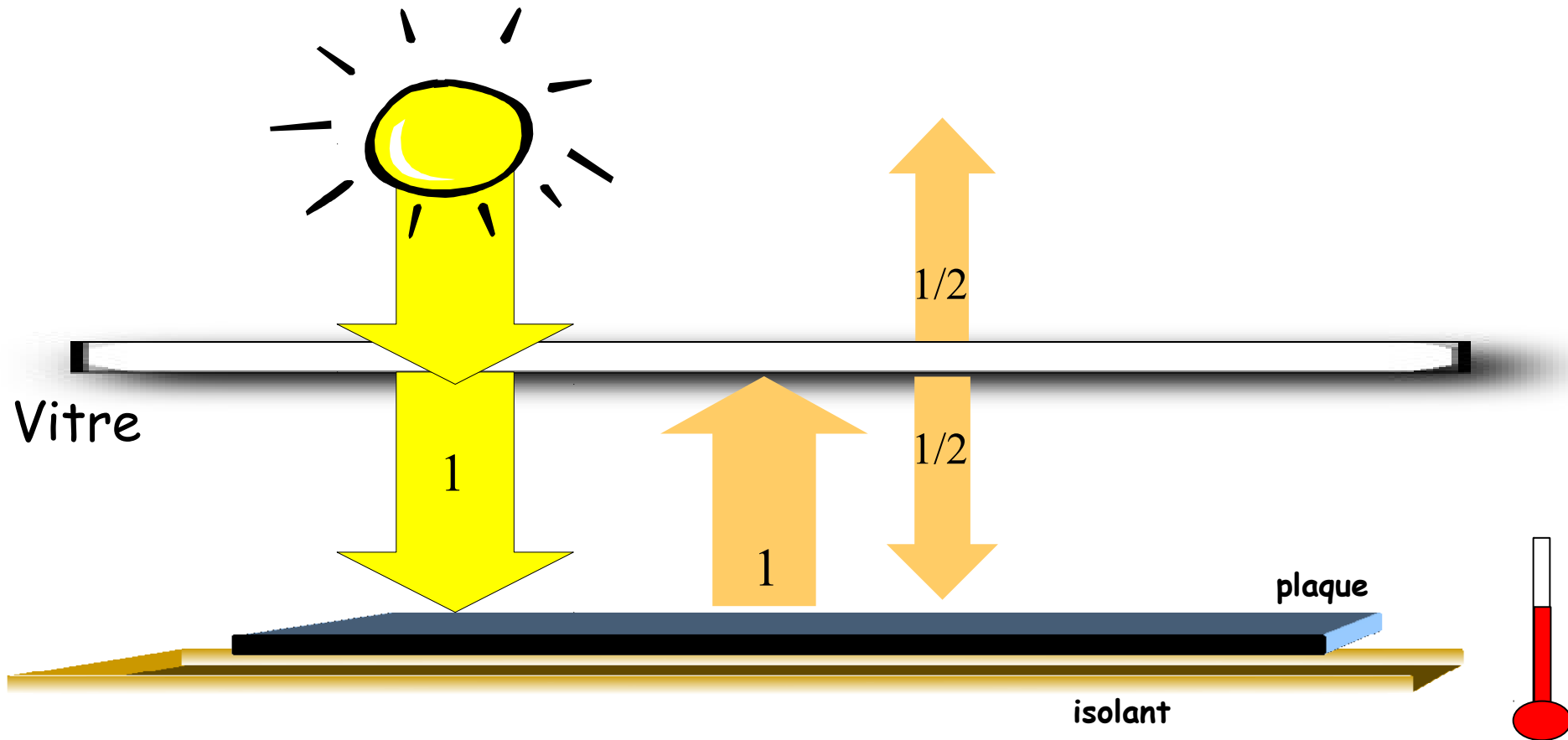
## 6) L'effet de serre



Elle atteint sa température d'équilibre lorsqu'elle perd autant d'énergie qu'elle n'en reçoit.

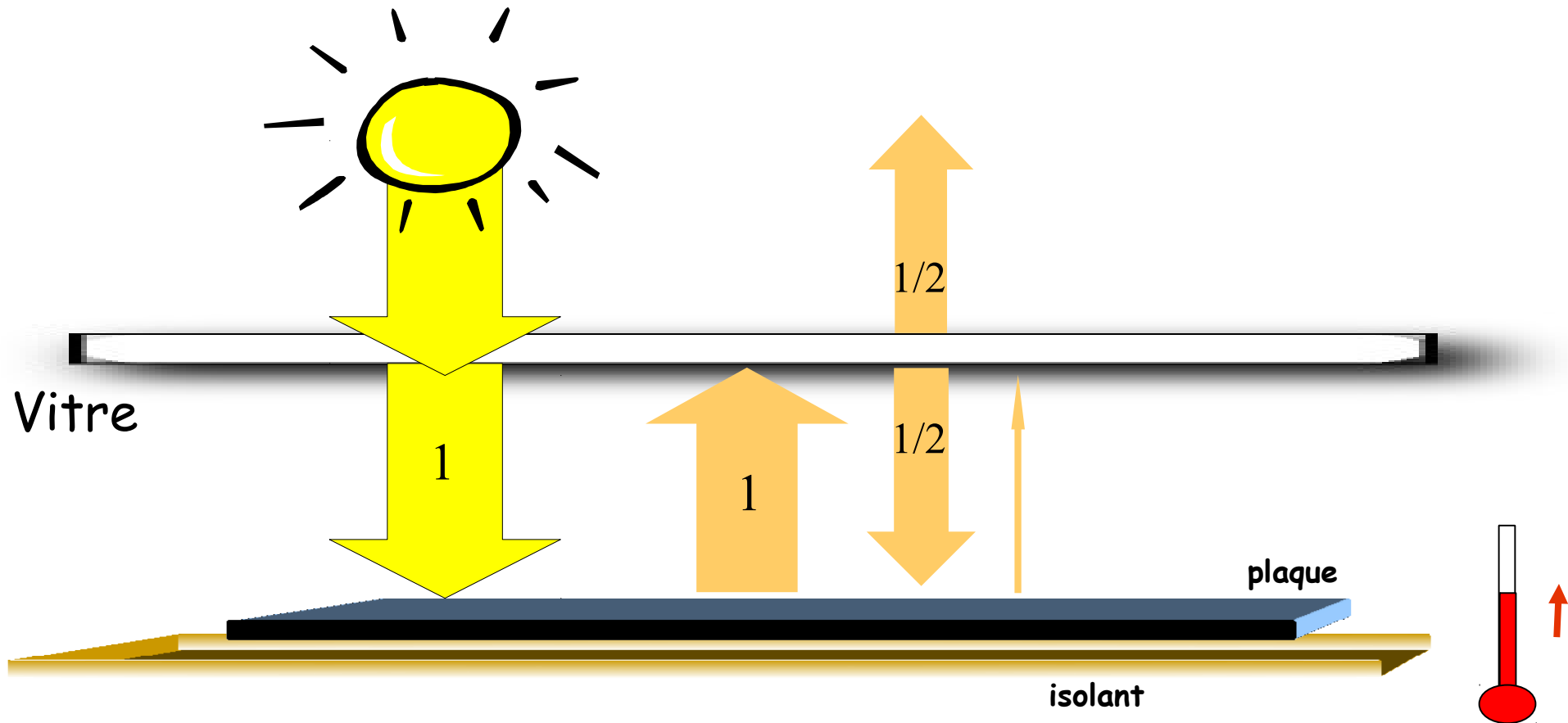


## 6) L'effet de serre



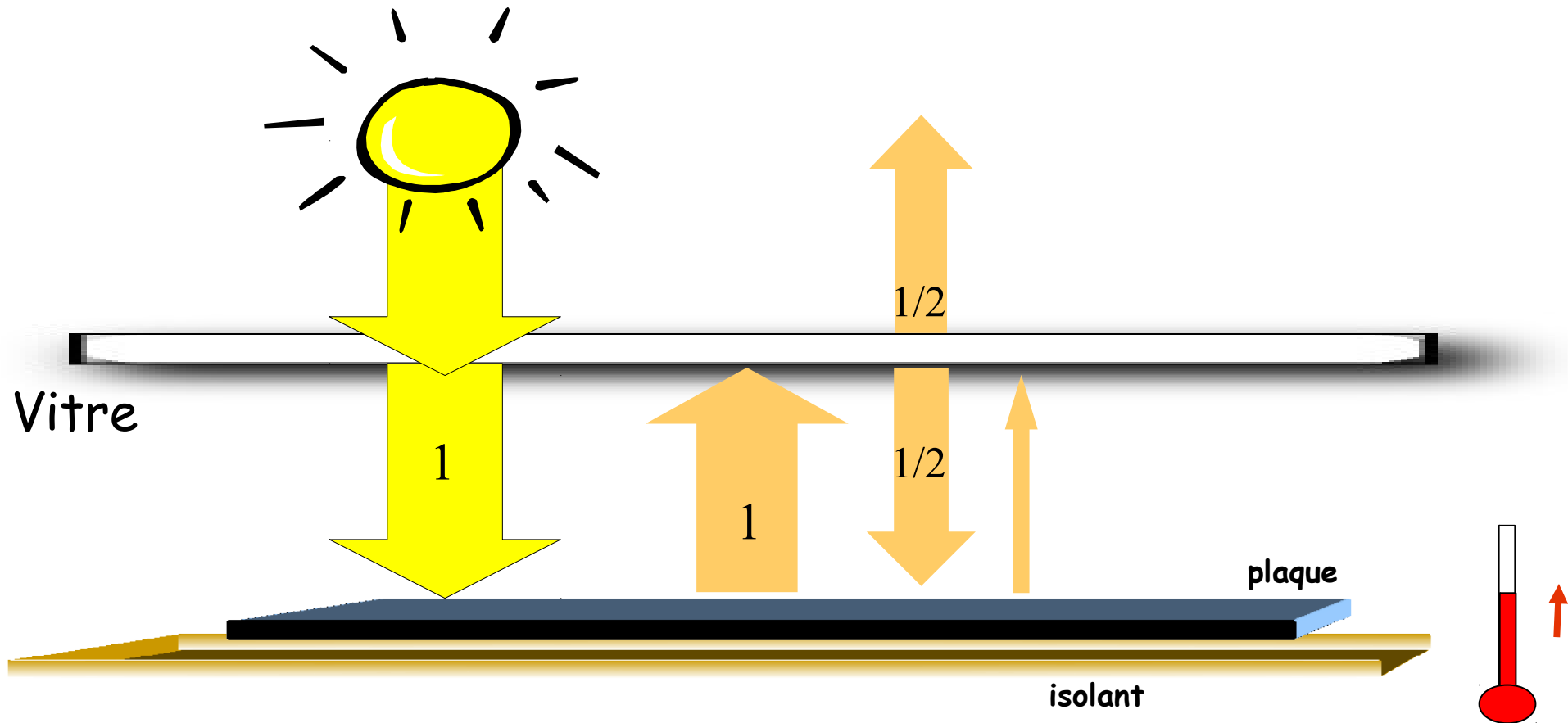
Le rayonnement infrarouge émis vers le bas par la vitre est absorbé par la plaque.

## 6) L'effet de serre



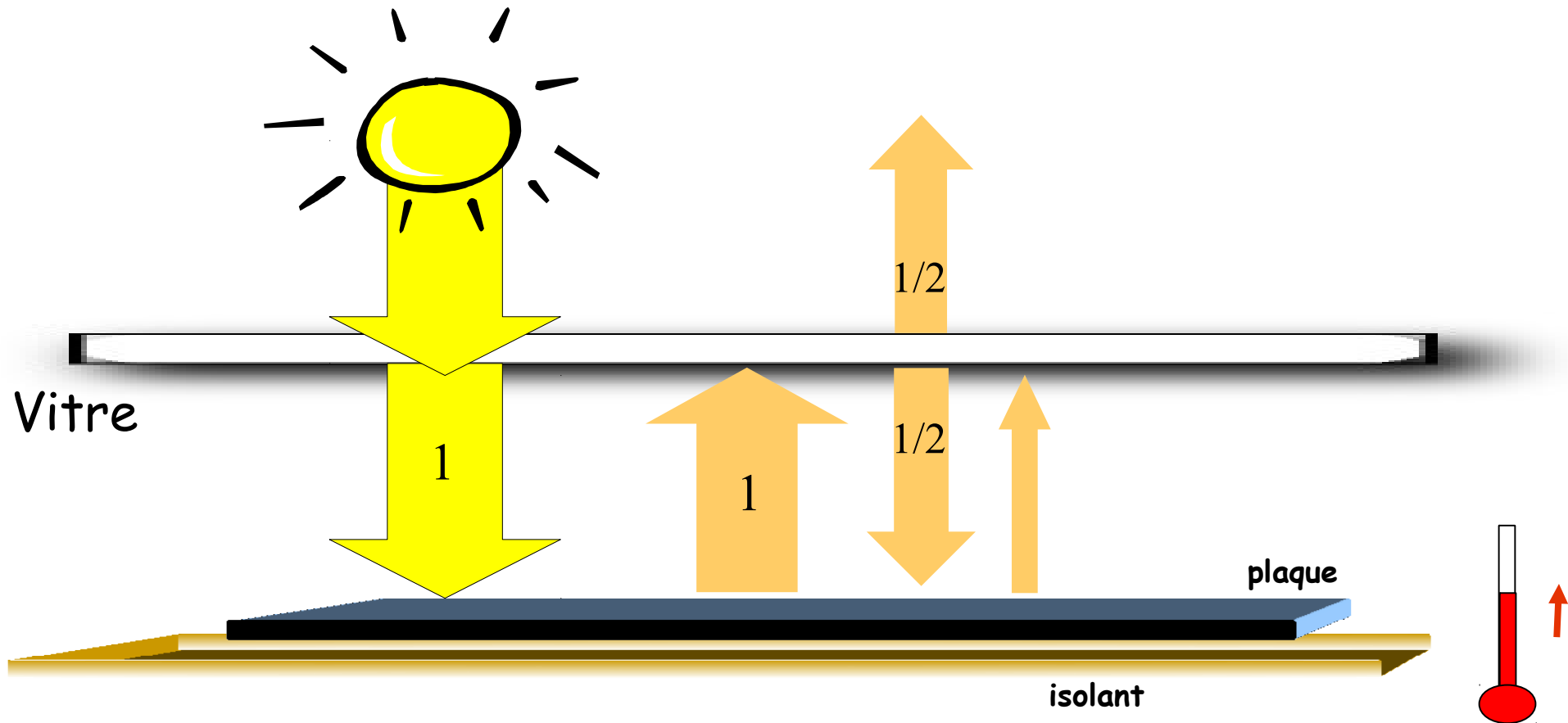
Comme la plaque reçoit plus d'énergie, sa température augmente et elle émet davantage de rayonnement infrarouge.

## 6) L'effet de serre



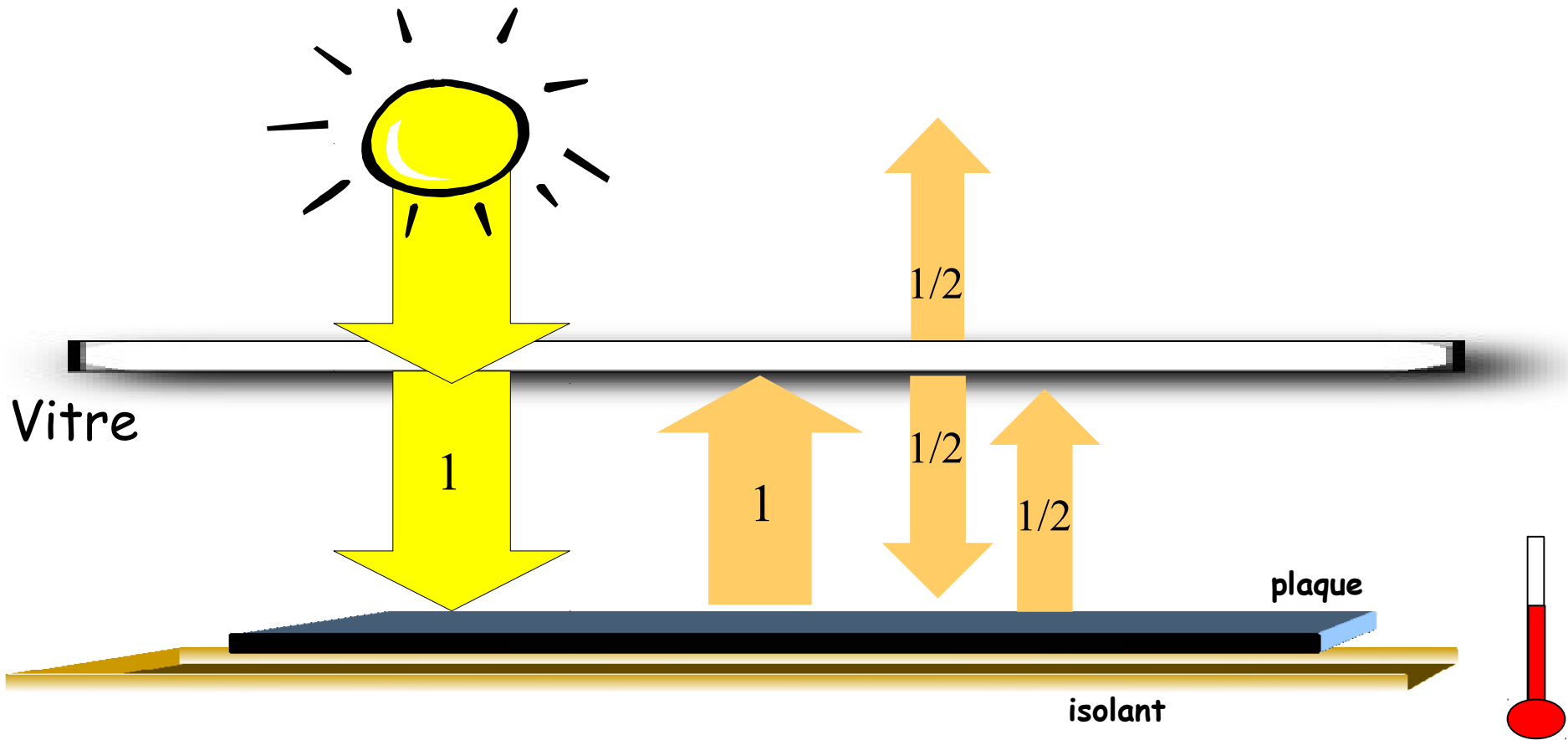
Comme la plaque reçoit plus d'énergie, sa température augmente et elle émet davantage de rayonnement infrarouge.

## 6) L'effet de serre



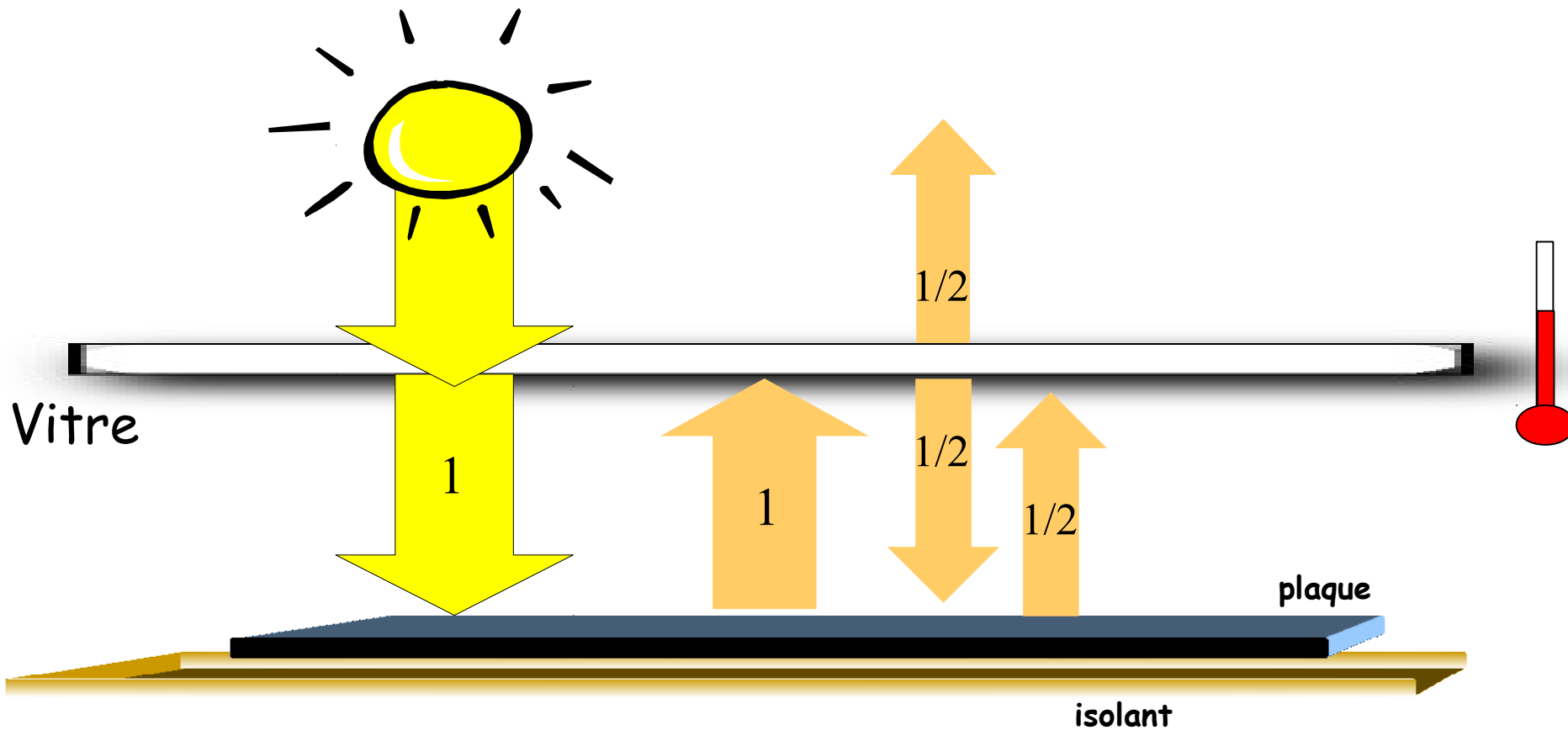
Comme la plaque reçoit plus d'énergie, sa température augmente et elle émet davantage de rayonnement infrarouge.

## 6) L'effet de serre



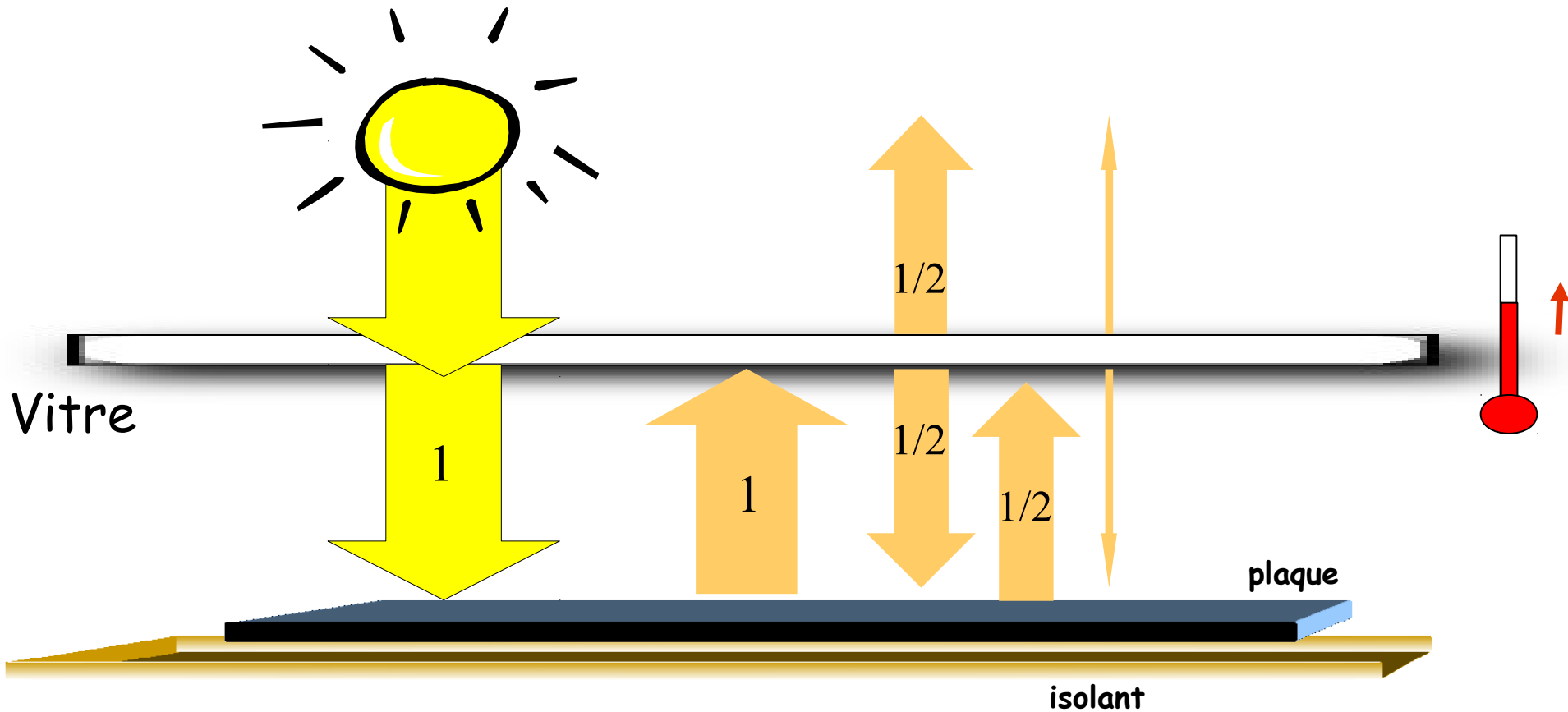
Jusqu'à ce qu'elle atteigne une nouvelle température d'équilibre.

## 6) L'effet de serre



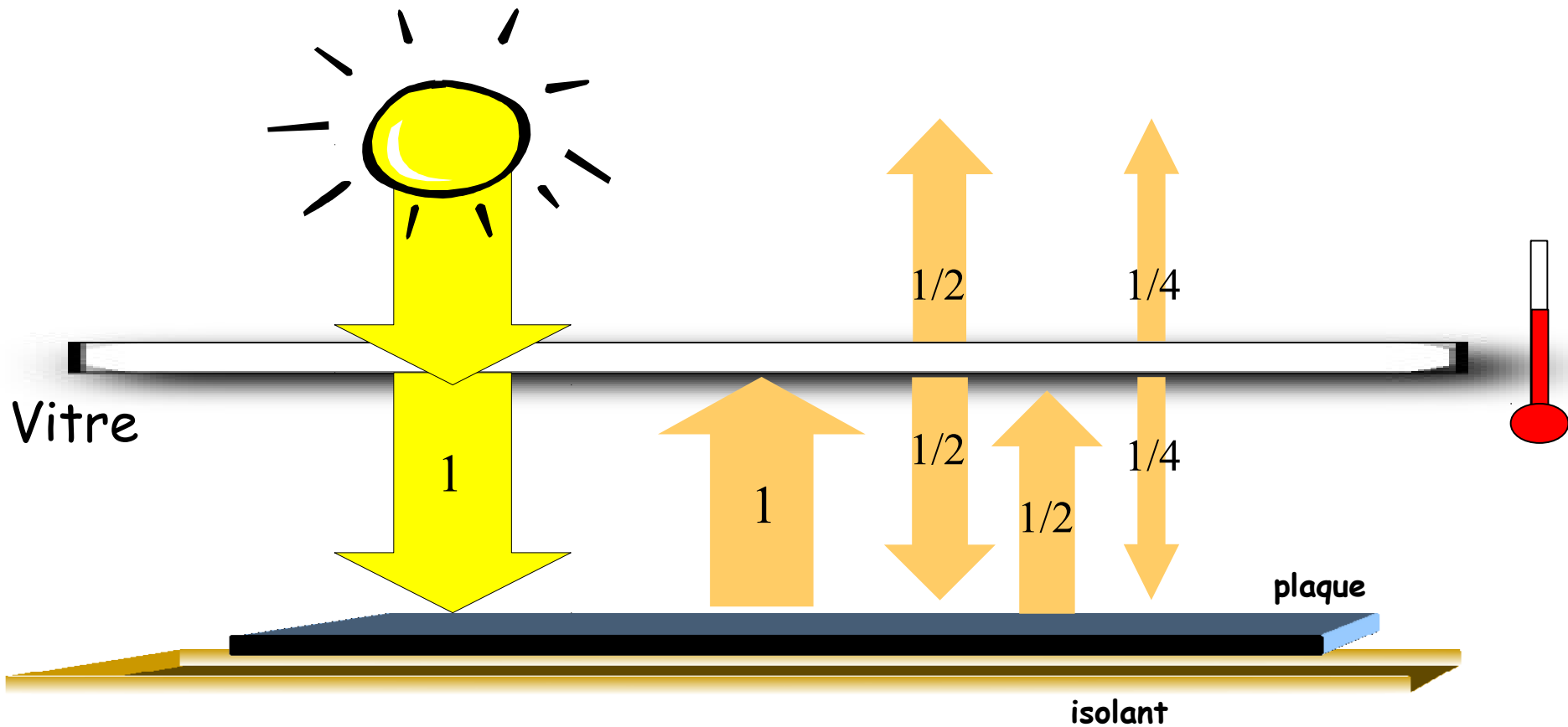
Ce rayonnement supplémentaire émis par la plaque est de nouveau absorbé par la vitre dont la température augmente encore.

## 6) L'effet de serre



Comme la température de la vitre augmente, elle émet plus de rayonnement infrarouge, moitié vers le haut, moitié vers le bas.

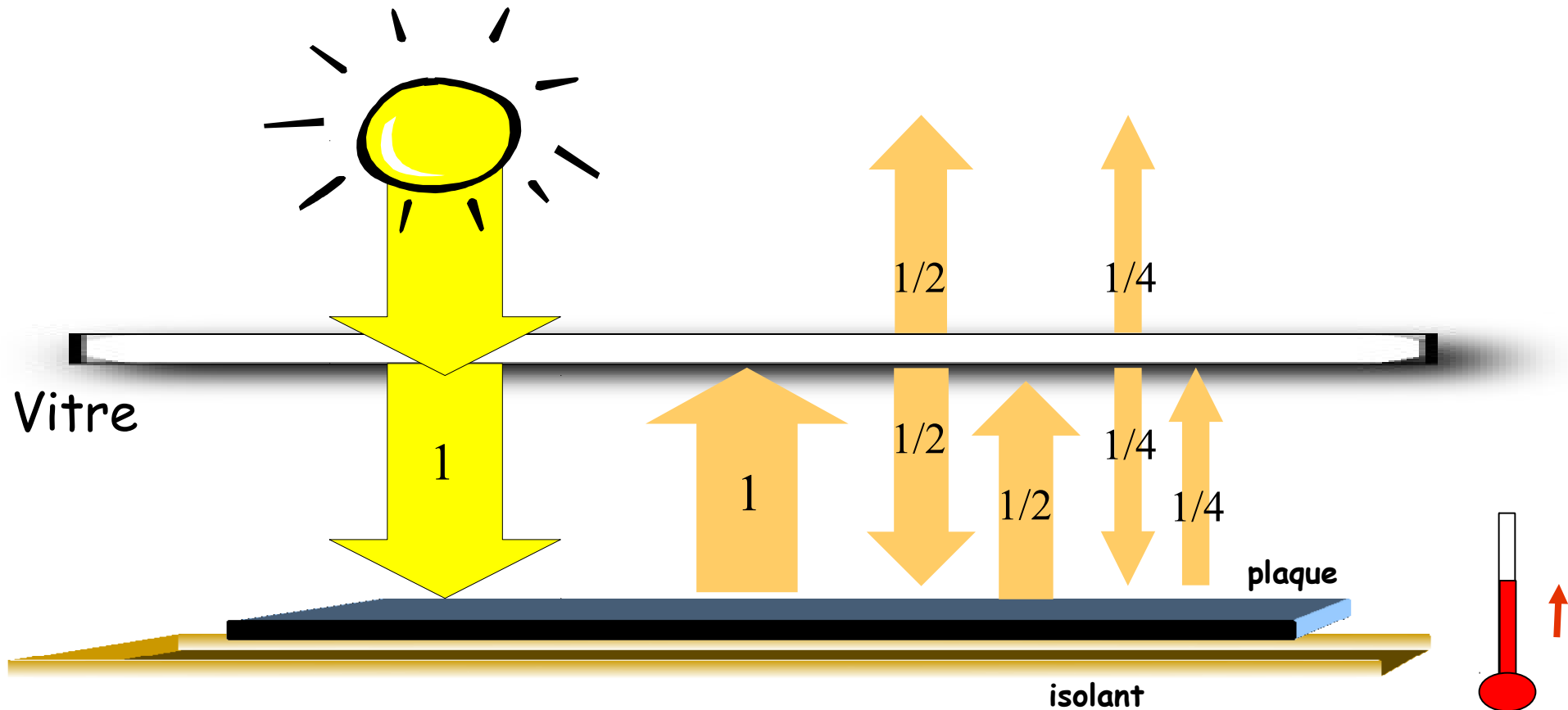
## 6) L'effet de serre



Elle atteint sa température d'équilibre lorsqu'elle perd autant d'énergie qu'elle n'en reçoit.

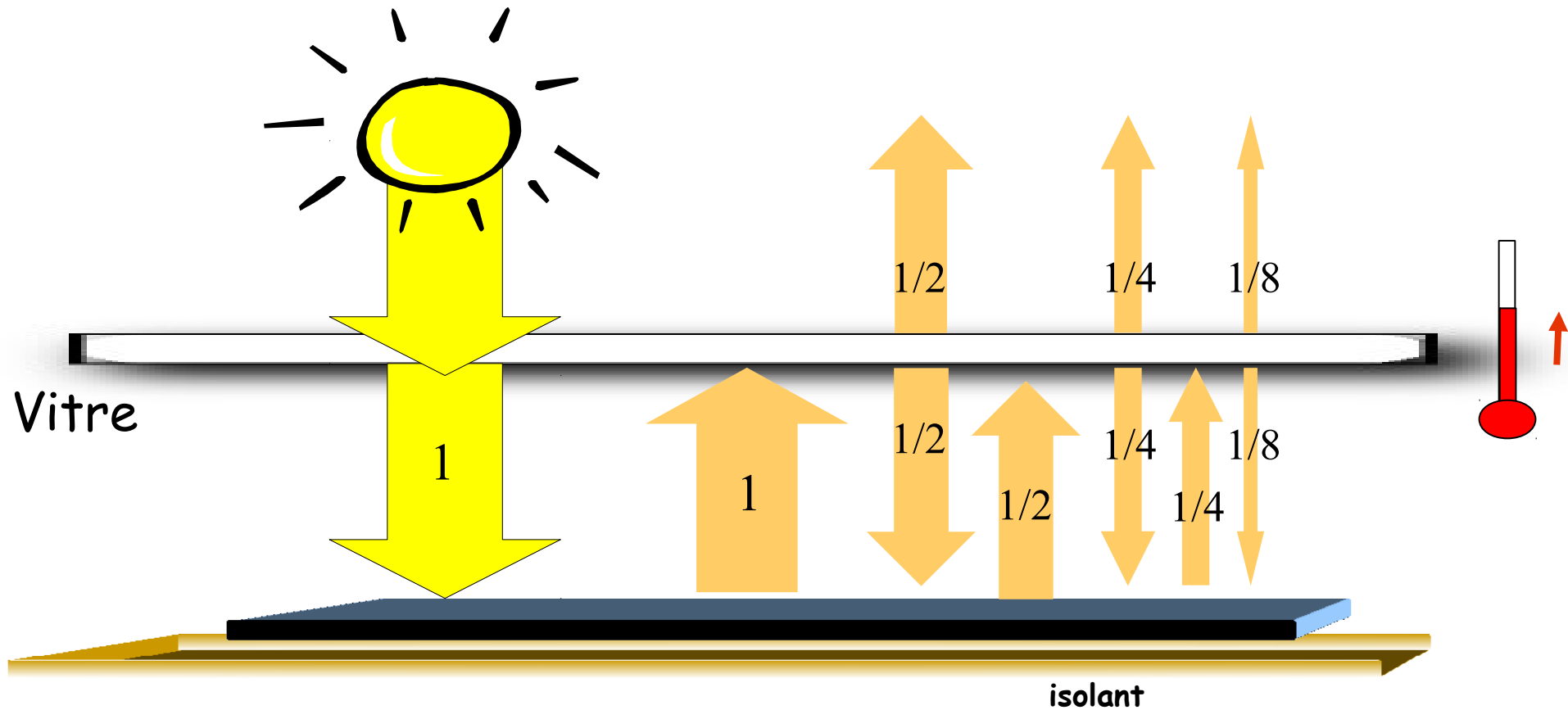


## 6) L'effet de serre



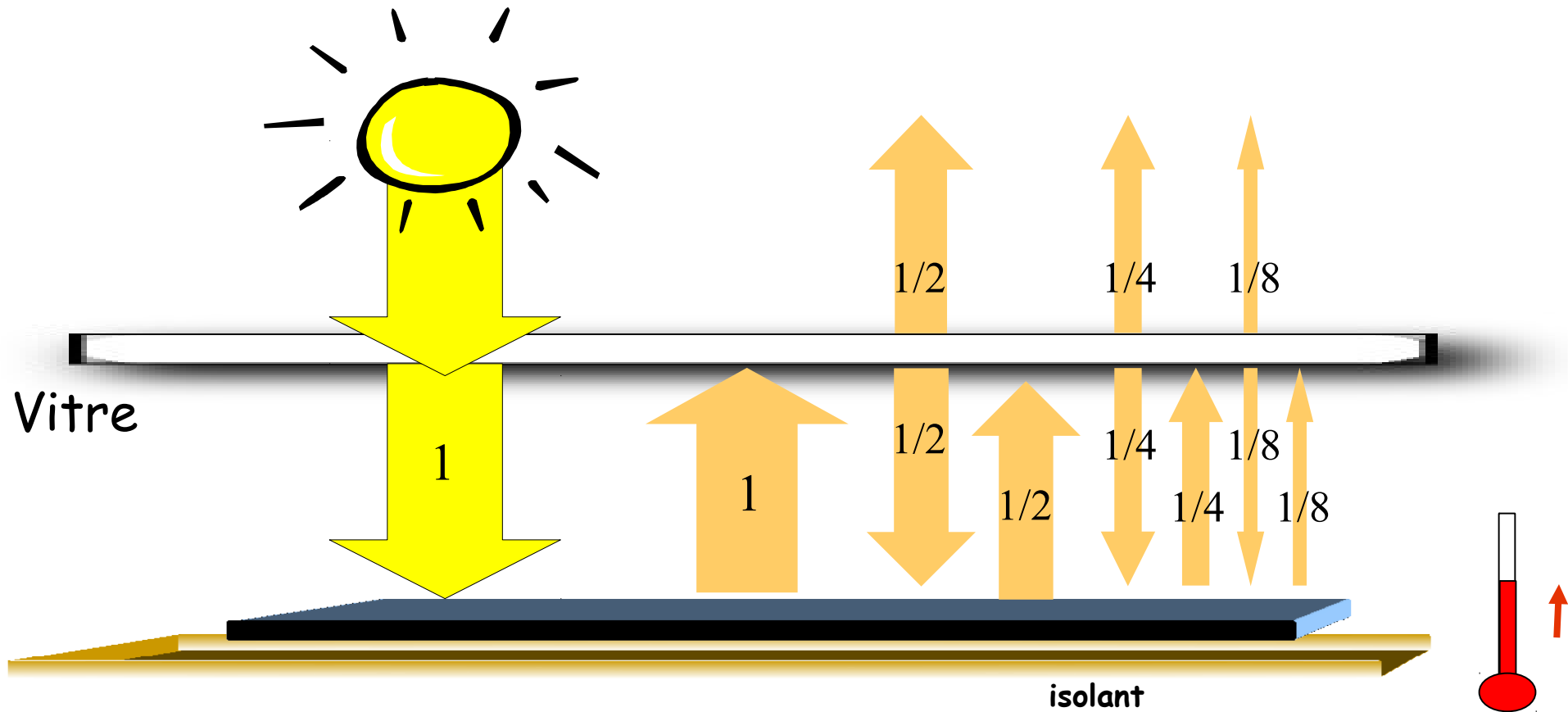
Comme la plaque reçoit plus d'énergie, sa température augmente et elle émet davantage de rayonnement infrarouge. Elle atteint sa température d'équilibre lorsque elle perd autant d'énergie qu'elle n'en reçoit.

## 6) L'effet de serre



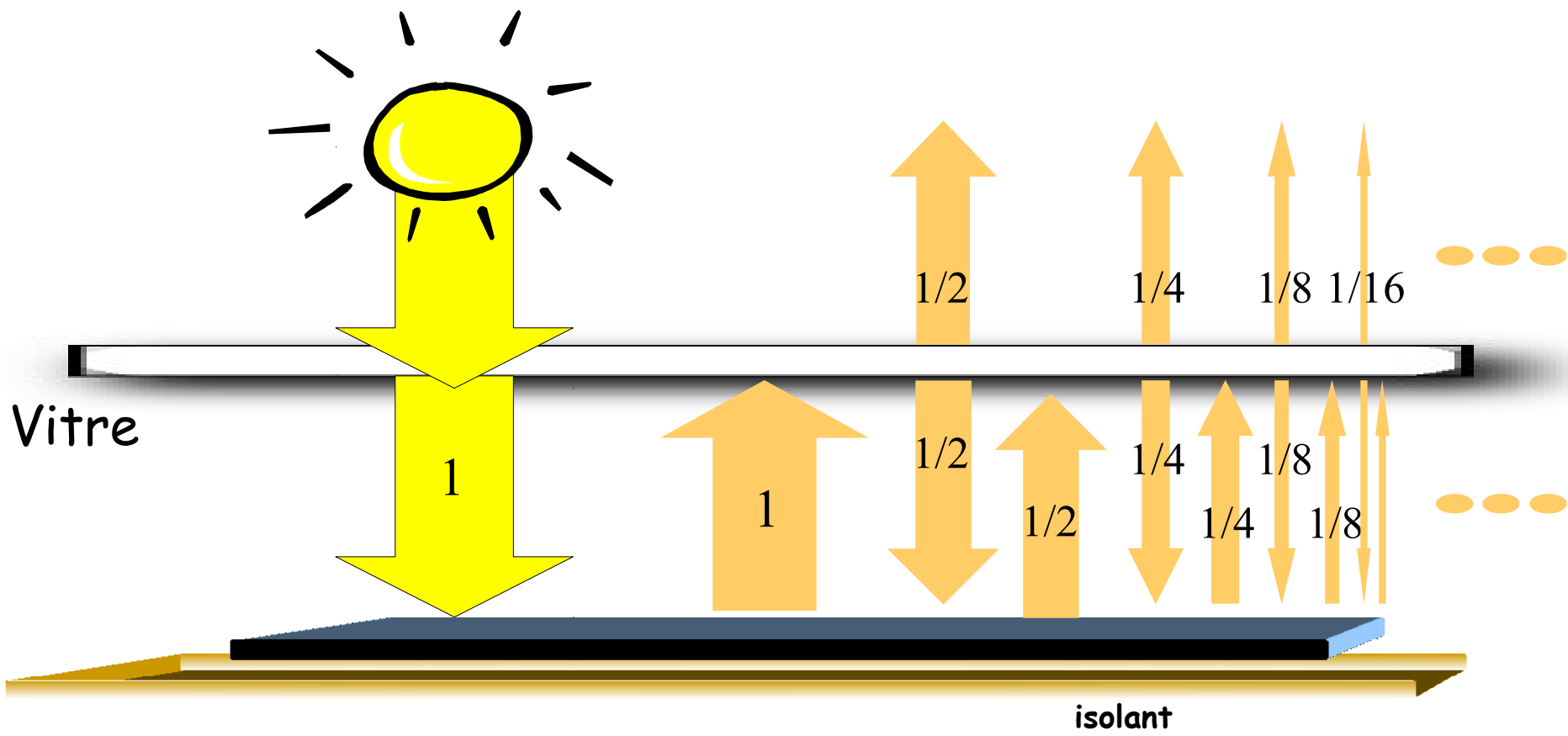
Comme la plaque reçoit plus d'énergie, sa température augmente et elle émet davantage de rayonnement infrarouge. Elle atteint sa température d'équilibre lorsque elle perd autant d'énergie qu'elle n'en reçoit.

## 6) L'effet de serre



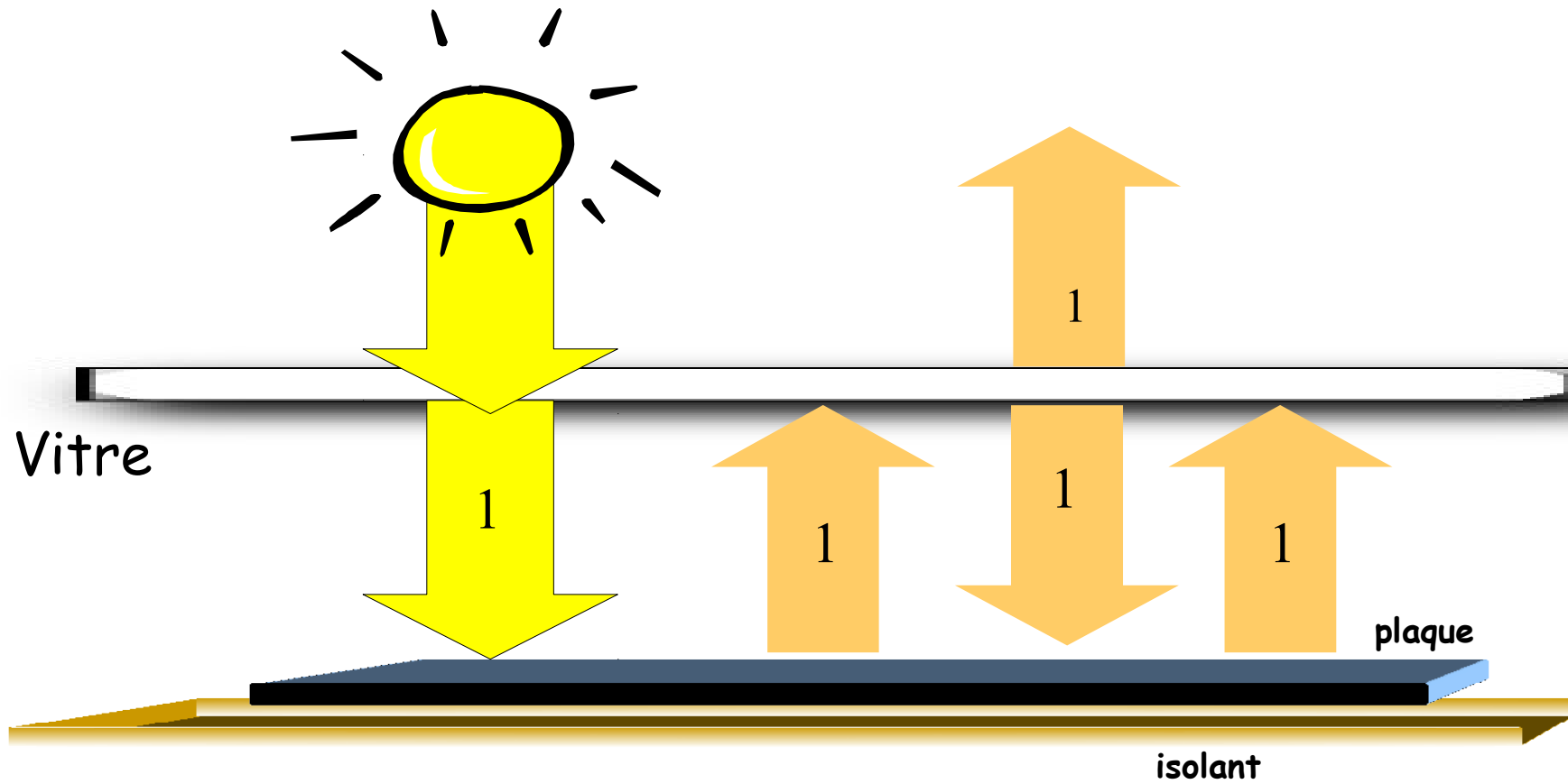
Comme la plaque reçoit plus d'énergie, sa température augmente et elle émet davantage de rayonnement infrarouge. Elle atteint sa température d'équilibre lorsque elle perd autant d'énergie qu'elle n'en reçoit.

# 6) L'effet de serre



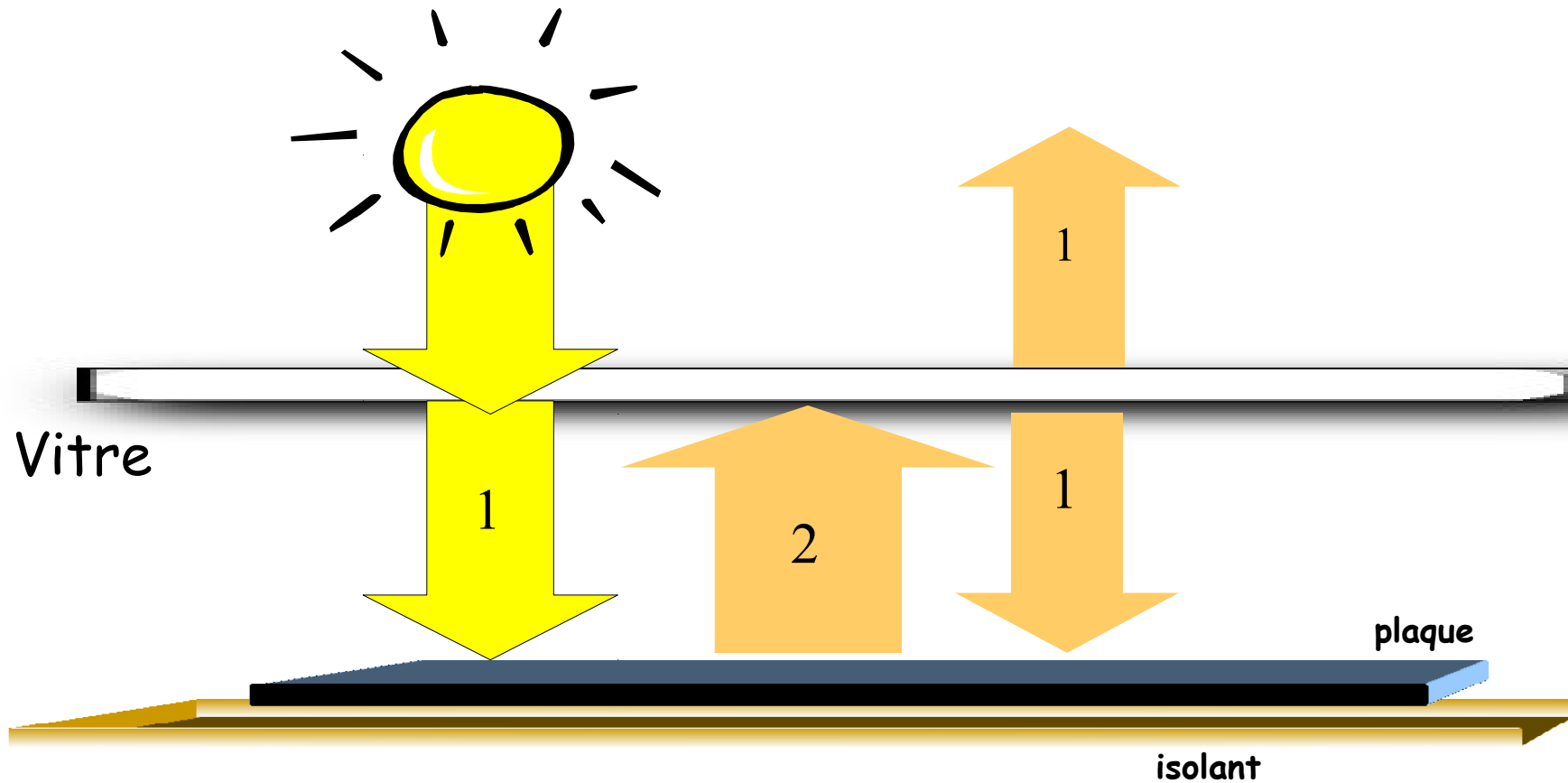
etc...

## 6) L'effet de serre



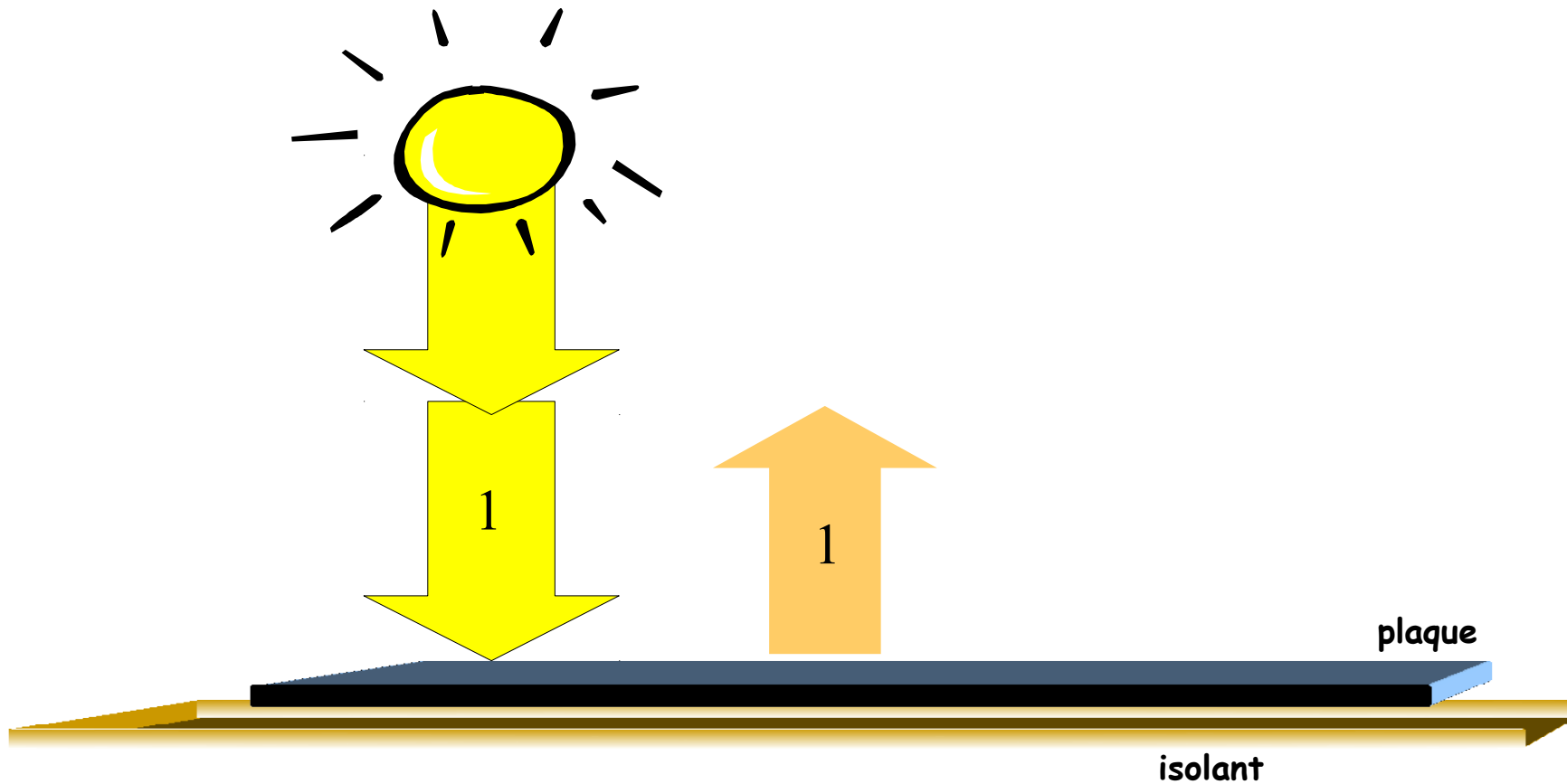
Et si on fait la somme ?

## 6) L'effet de serre



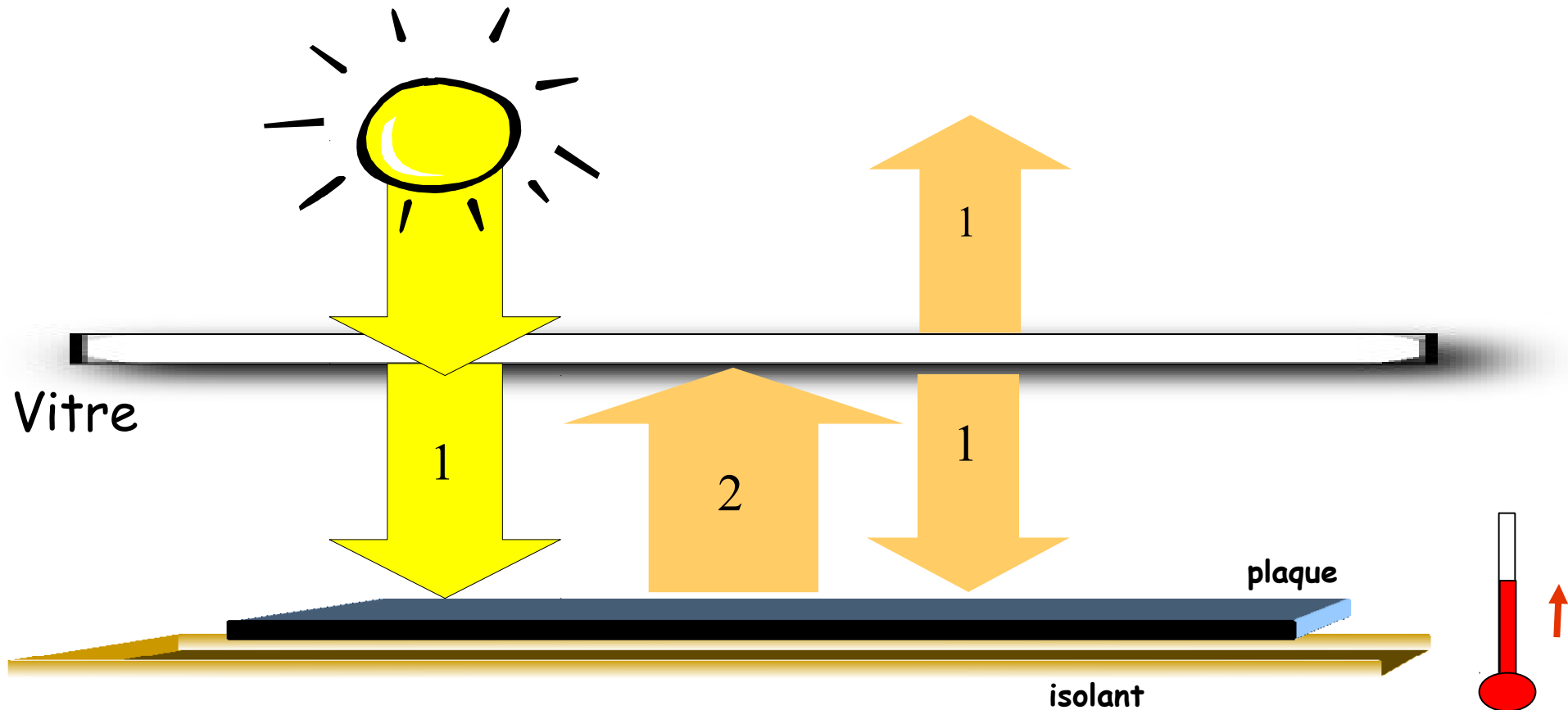
Et si on fait la somme ?

## 6) L'effet de serre



Si on résume le déroulement précédent, ...

## 6) L'effet de serre

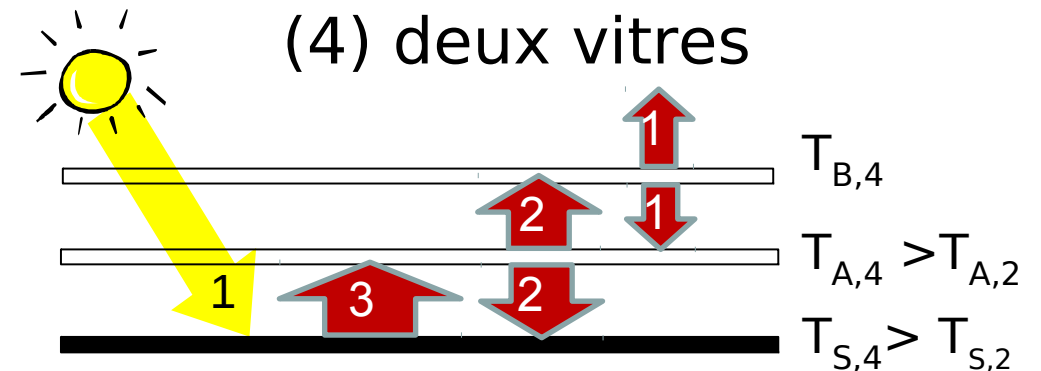
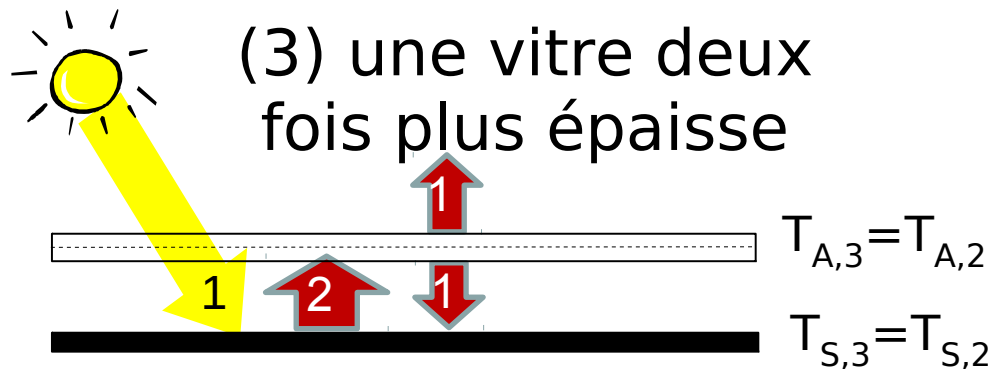
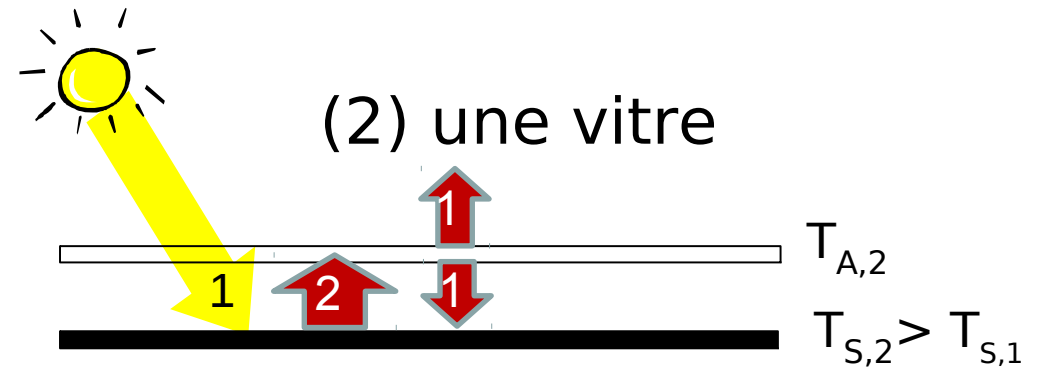
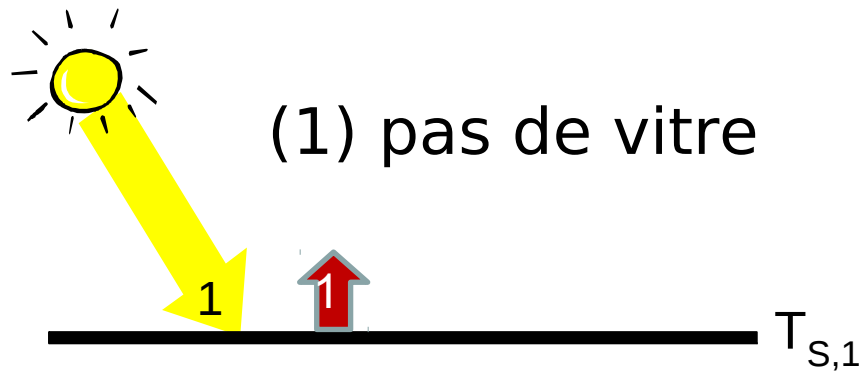


On retient que placer une vitre au dessus d'une plaque au soleil a pour effet de créer une « résistance au refroidissement » de la plaque par émission de rayonnement infrarouge, et ainsi d'augmenter sa température.



## 7) Augmentation de L'effet de serre

Une première explication simple : limite du modèle à 1 couche



L'ensemble des deux vitres et la vitre deux fois plus épaisse **ont la même absorptivité.**

**Différences ? Les deux vitres n'ont pas la même température** alors que la vitre deux fois plus épaisse **est isotherme**

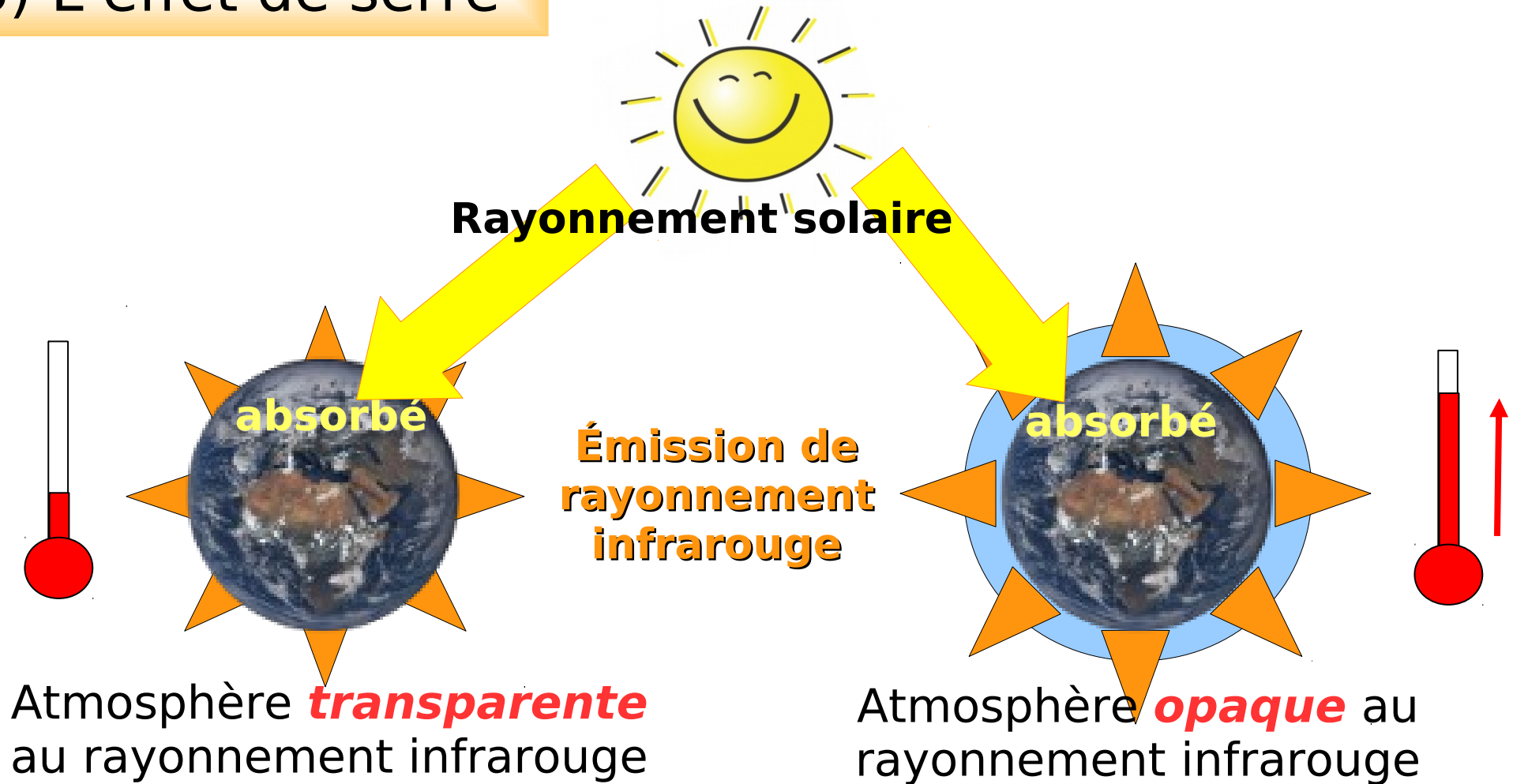
## 6) L'effet de serre

### **Analogie avec la Terre :**

- L'atmosphère terrestre est quasi transparente au rayonnement solaire et elle absorbe très fortement (90%) le rayonnement infrarouge émis par la surface
- Si on suppose l'atmosphère isotherme, on peut faire l'analogie entre l'atmosphère et la vitre
- Si on applique le raisonnement précédent, on obtient que la température de surface de la Terre est plus élevée avec une atmosphère qui absorbe le rayonnement infrarouge qu'avec une atmosphère transparente au rayonnement infrarouge

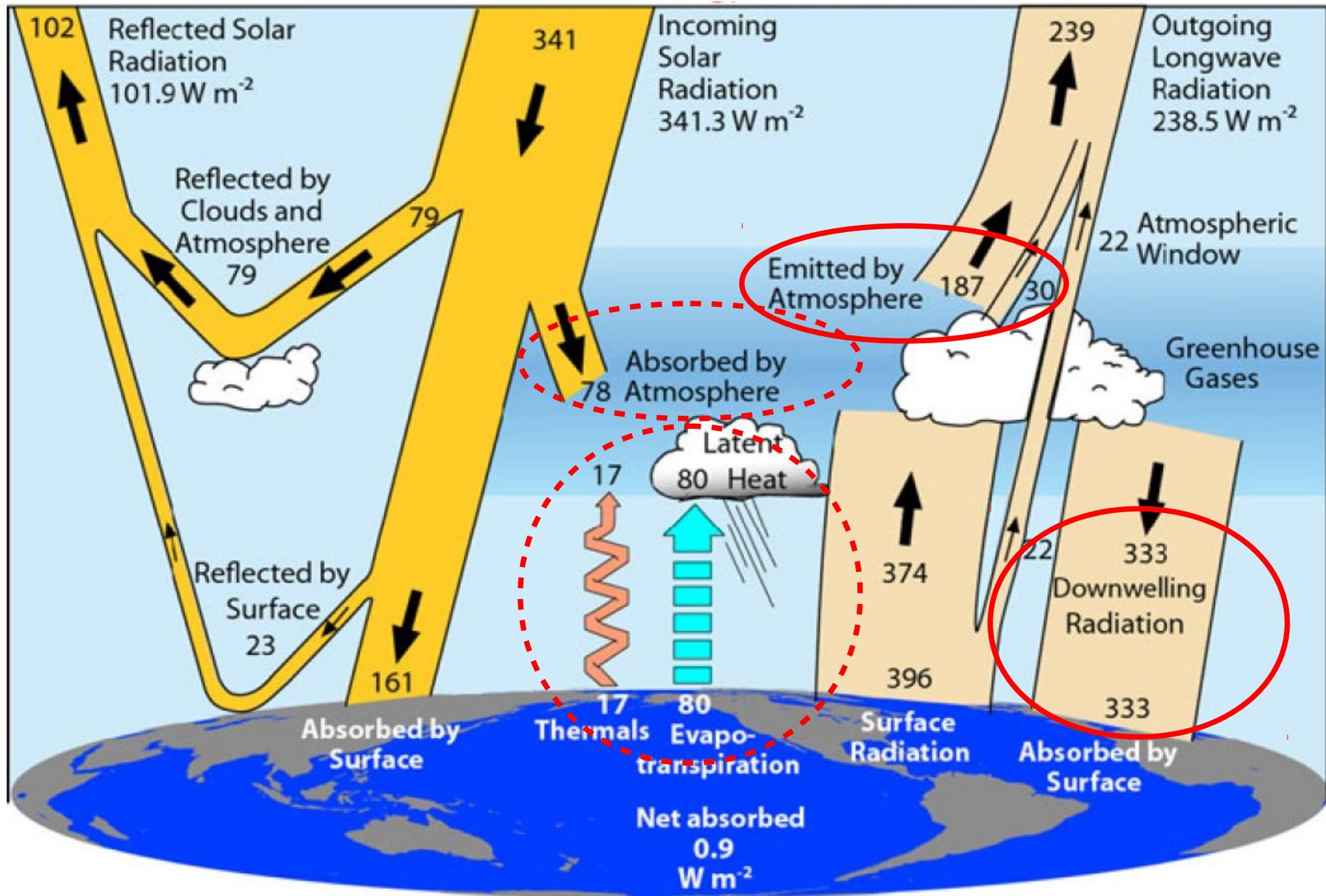
## 6) L'effet de serre

de la Terre



- Si l'atmosphère était transparente au rayonnement infrarouge, la température de la surface serait **de  $-18^{\circ}\text{C}$**
- La température actuelle est **de  $15^{\circ}\text{C}$**
- **La différence est due à l'effet de serre**

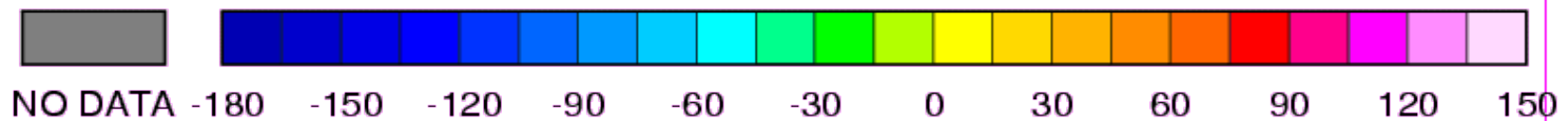
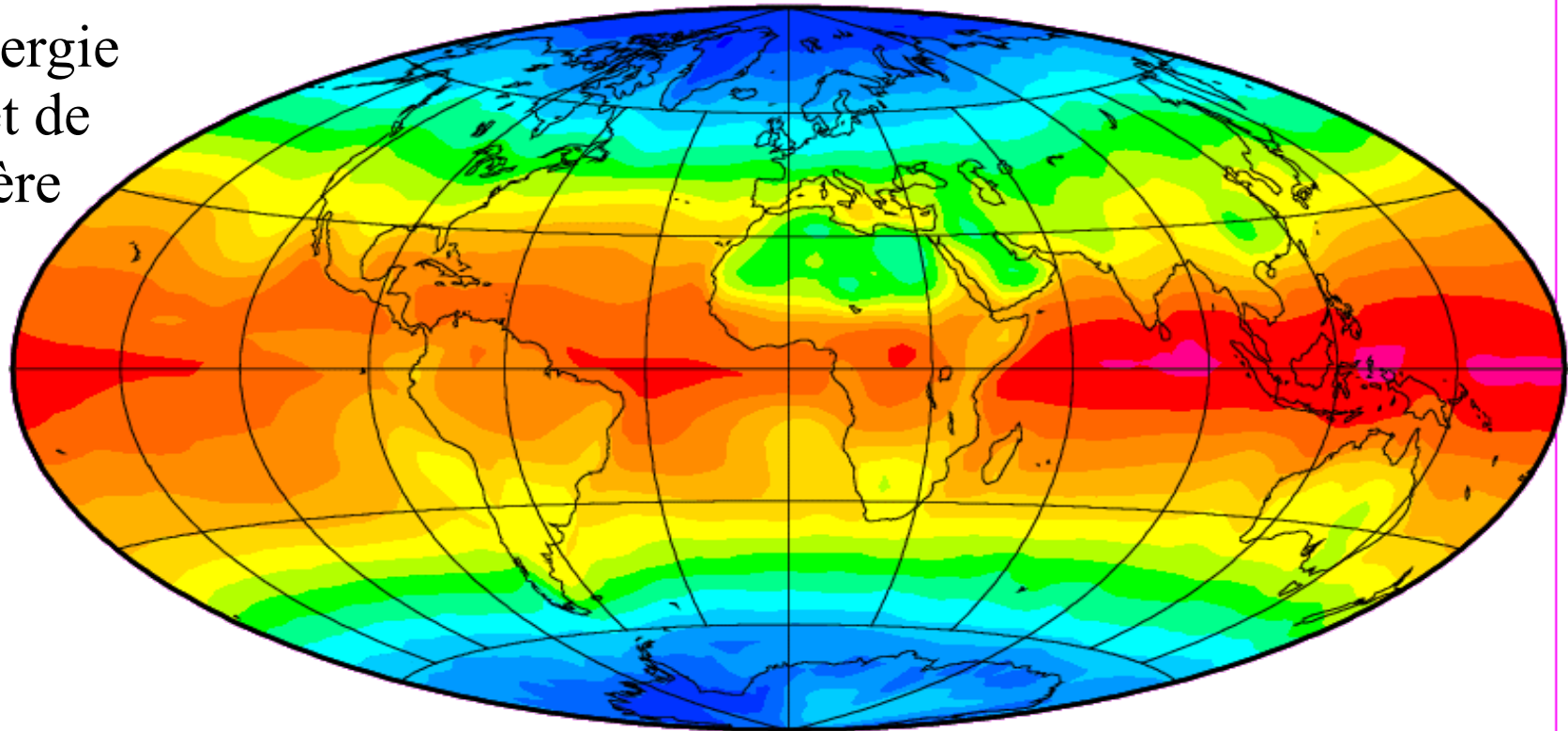
# Bilan d'énergie global de l'atmosphère terrestre



# Les redistributions d'énergie en latitude

Net Radiation  
1985-1986

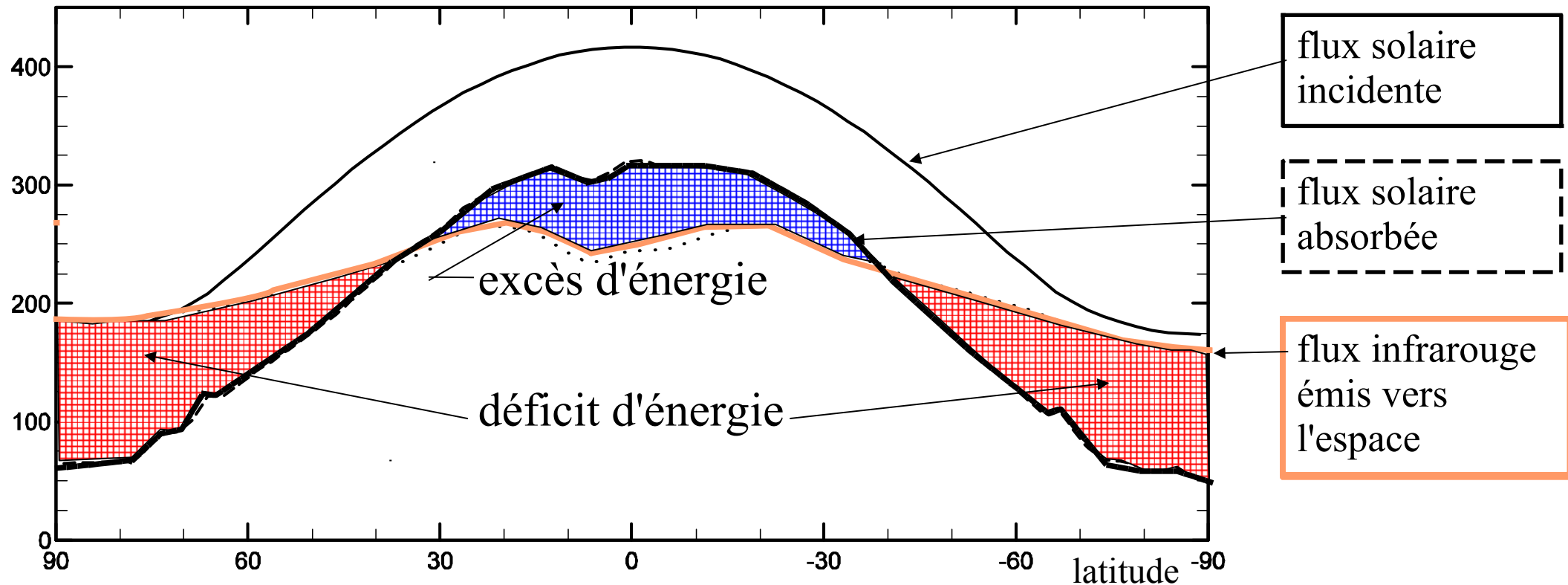
Bilan d'énergie  
au sommet de  
l'atmosphère  
(W/m<sup>2</sup>)



W/m<sup>\*\*2</sup>

# Les redistributions d'énergie en latitude

W/m<sup>2</sup>



Moyenne annuelle et longitudinale du flux d'énergie radiative au sommet de l'atmosphère évalué par observations satellitaires.



## 6) Conclusion et remarques

**L'effet de serre** est présent lorsque le milieu (vitre, atmosphère...) qui couvre la plaque est transparent au rayonnement solaire mais absorbant au rayonnement infrarouge. Il **a pour effet d'augmenter la température de surface.**

Le rayonnement infrarouge est **absorbé et émis** par le milieu, **il n'est pas réfléchi.**

## 6) Conclusion et remarques

Le modèle présenté, dit « à 1 couche » :

1) montre le rôle central de la **conservation de l'énergie** et de l'ajustement des températures

2) repose sur des **hypothèses fortes**, notamment :

- L'atmosphère est **isotherme**
- On néglige la convection et l'évaporation-condensation de l'eau
- L'atmosphère n'absorbe pas le rayonnement solaire

3) n'est **pas adapté aux milieux très absorbants**, comme le CO<sub>2</sub> sur Terre





Merci de votre attention