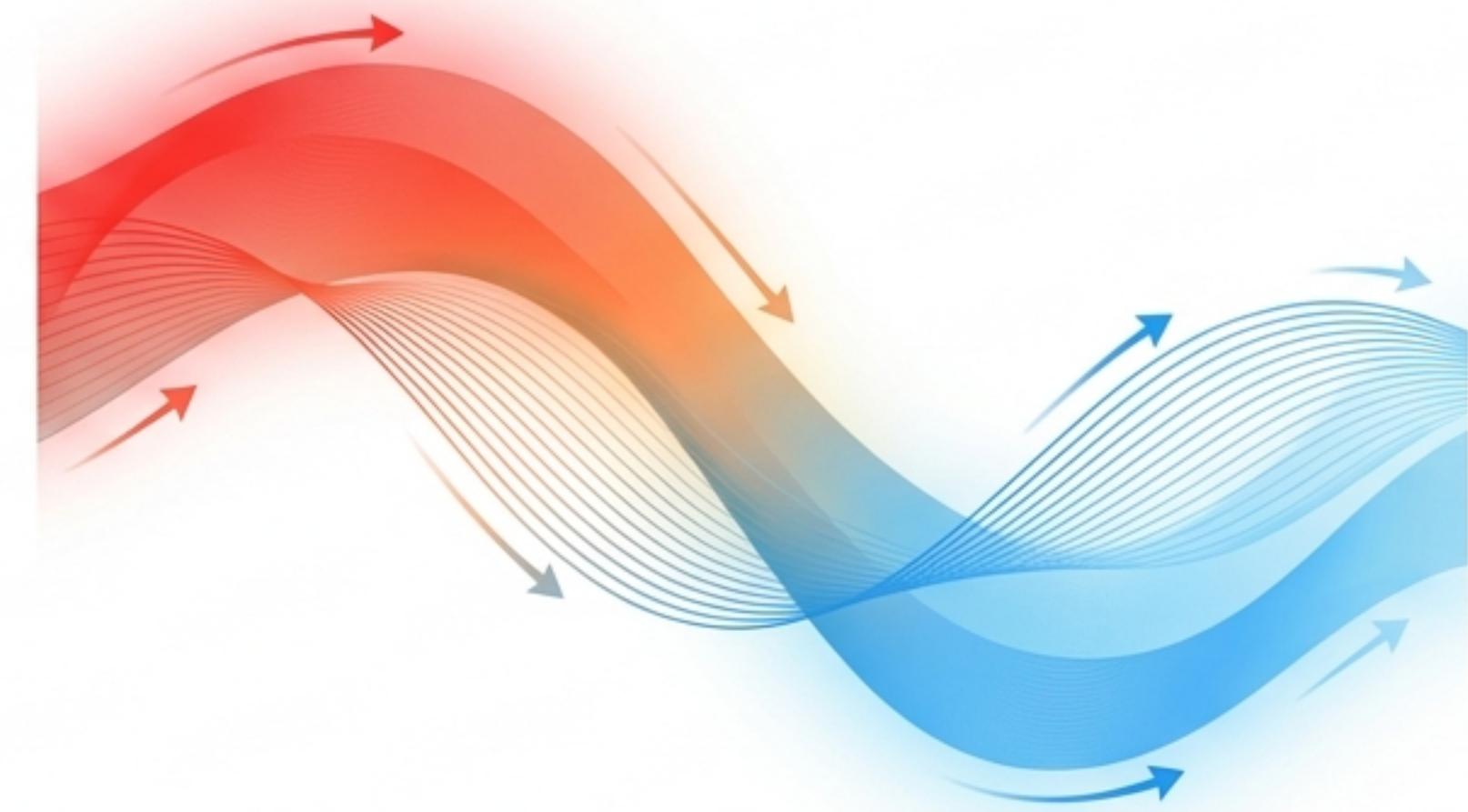


Transferts Thermiques et Thermodynamique

Du gaz parfait au bilan radiatif terrestre

Plan du chapitre :

1. Le modèle du gaz parfait (Micro/Macro)
2. Le 1^{er} principe de la thermodynamique (Conservation)
3. Les modes de transferts thermiques
4. Évolution temporelle et bilan radiatif



Lato, Terminale Spécialité Physique-Chimie

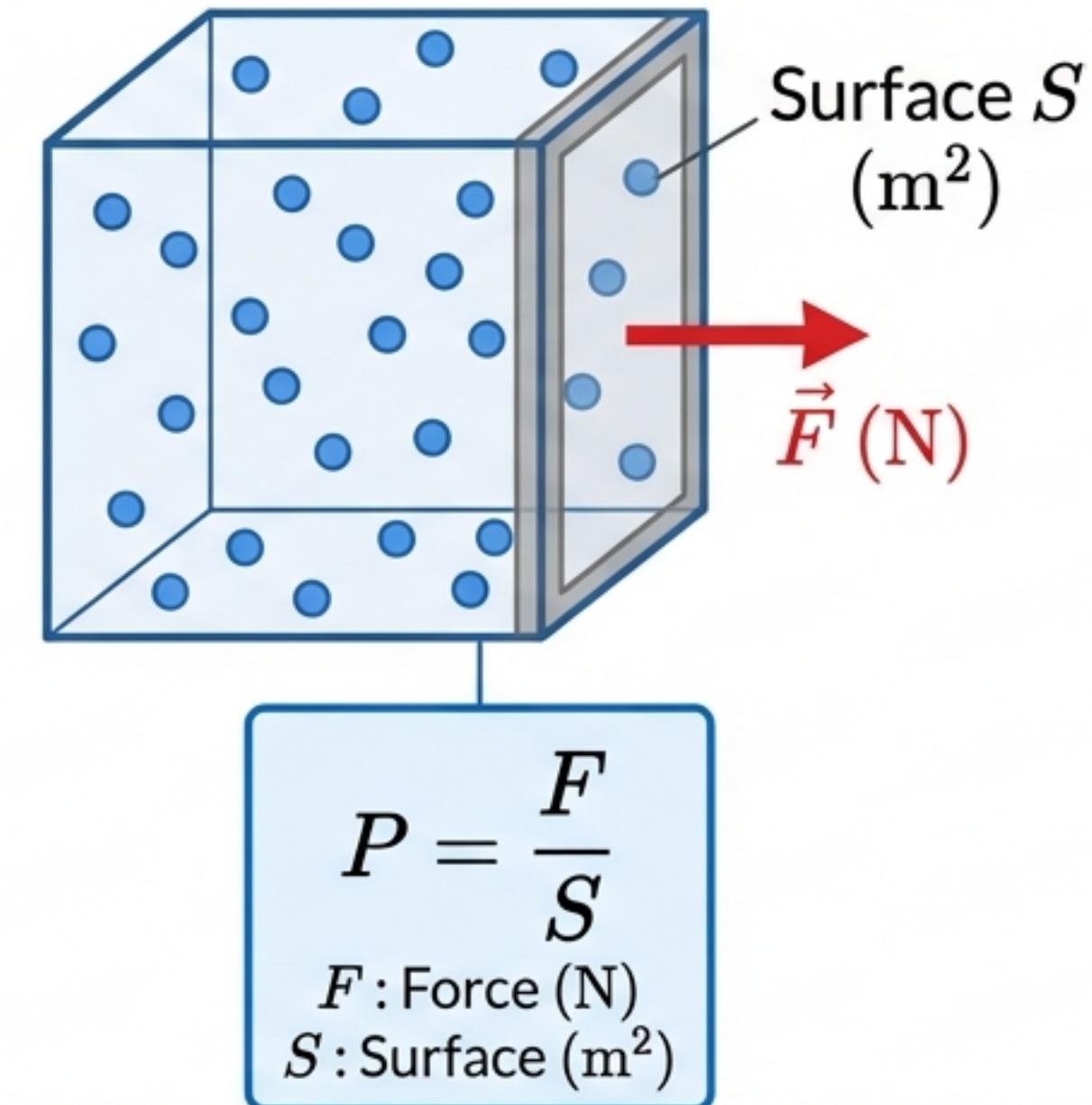
Le système thermodynamique et ses variables

Définition :

Ensemble d'un grand nombre d'entités (atomes, ions, molécules).

Variables d'état (macroscopiques) :

- Masse volumique ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
- Température T (K) : Mesure de l'agitation des entités
- Pression P (Pa) : Mesure de la force pressante sur une paroi



À ne pas confondre

Ne pas mélanger l'échelle **microscopique** (comportement individuel) et l'échelle **macroscopique** (moyenne statistique mesurable).

Le modèle du Gaz Parfait (Micro \leftrightarrow Macro)

À l'échelle macroscopique	Comportement à l'échelle microscopique
Le gaz parfait est au repos à la température T	Mouvement incessant et désordonné des entités. Pas d'interactions entre les entités.
La pression P est faible	Chocs uniquement avec la paroi (pas de chocs entre entités).
La masse volumique ρ est très faible	Les entités sont très éloignées les unes des autres.

Conditions de validité :

- Faibles pressions.
- Températures éloignées de la température de liquéfaction.
- Volume des entités négligeable devant le volume du gaz.

L'équation d'état du gaz parfait

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- P : Pression en **Pascals (Pa)**
- V : Volume en **mètres cubes (m³)**
- n : Quantité de matière en **moles (mol)**
- T : Température en **Kelvins (K)**

$$R = 8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

ATTENTION AUX CONVERSIONS :

$$T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

$$1 \text{ Litre} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

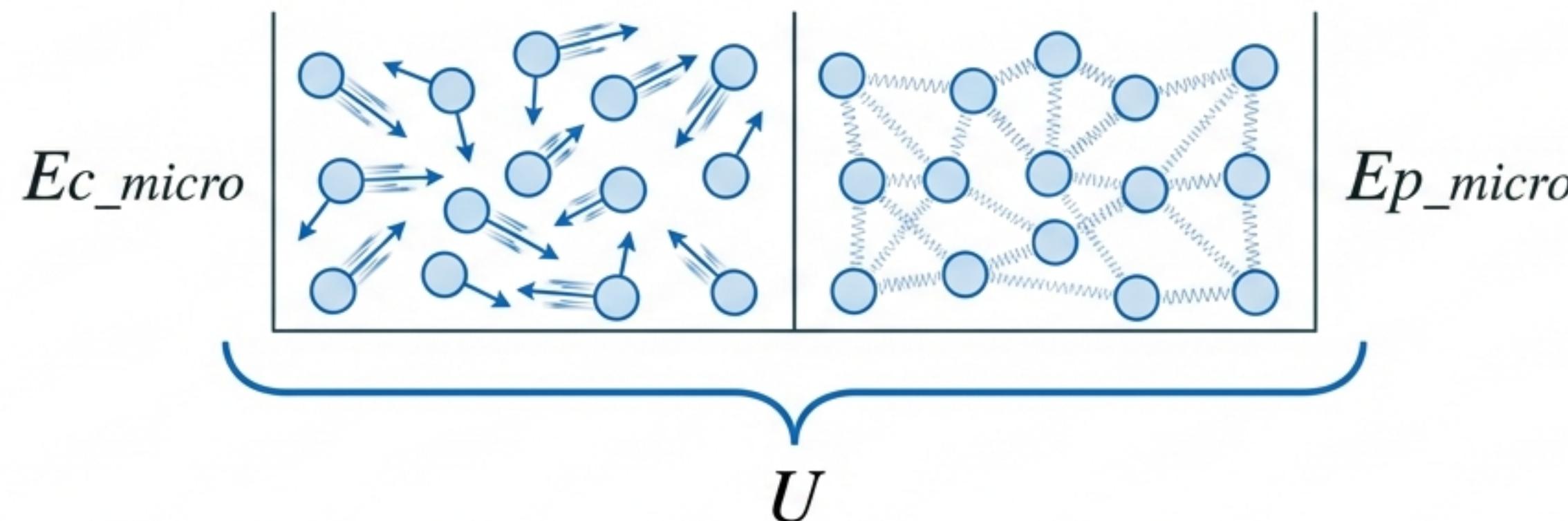
Énergie interne U (Approche microscopique)

Tout système thermodynamique possède une énergie interne **U** (en Joules J).

Elle correspond à la somme des énergies microscopiques :

- Énergie cinétique micro (E_{c_micro}) : Liée à l'agitation thermique.
- Énergie potentielle micro (E_{p_micro}) : Liée aux interactions entre les entités.

$$U = E_{c_micro} + E_{p_micro}$$



Énergie Totale et Modes de Transfert

1. Énergie Totale E

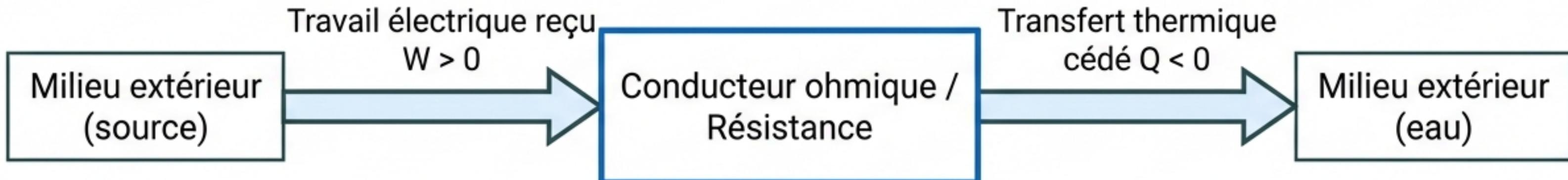
Somme de l'énergie mécanique (macro) et interne (micro).

$$E = E_m + U = (E_{c_macro} + E_{p_macro}) + U$$

2. Échanges avec l'extérieur

L'énergie varie via deux modes de transfert :

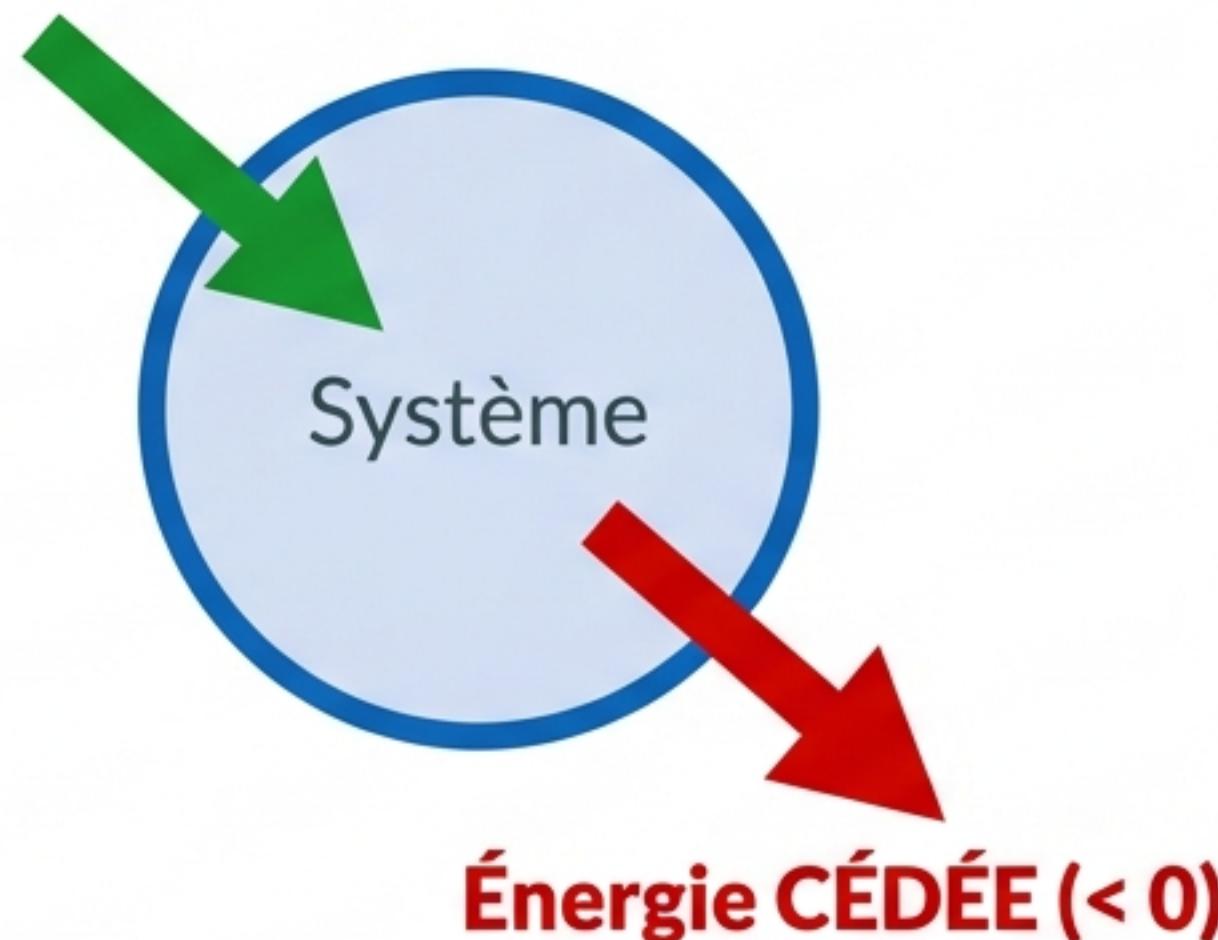
1. Le **Travail (W)** : Transfert ordonné (action mécanique macroscopique).
2. Le **Transfert Thermique (Q)** : Transfert désordonné (lié à une différence de température).



1^{er} Principe de la Thermodynamique

**Convention de signe
(Point de vue du système)**

Énergie REÇUE (> 0)



Conservation de l'énergie

Variation d'énergie totale : $\Delta E = W + Q$

Pour un système immobile (pas de variation d'énergie cinétique macroscopique) :

$$\Delta U = W + Q$$

ΔU : Variation d'énergie interne (J)

W : Travail (J)

Q : Transfert thermique (J)

Cas des systèmes incompressibles (Solides/Liquides)

Concerne les phases condensées sans changement d'état.

Le volume est constant, donc le travail des forces de pression est nul ($W = 0$).

La variation d'énergie interne ne dépend que de la variation de température.

$$\Delta U = Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

m : masse (kg)

c : capacité thermique massique ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ΔT : variation de température (K ou °C)

Exemple de l'eau : $c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Il faut fournir 4180 Joules pour augmenter la température d'1 kg d'eau de 1 degré.

Les 3 modes de transfert thermique

Transfert spontané du chaud vers le froid

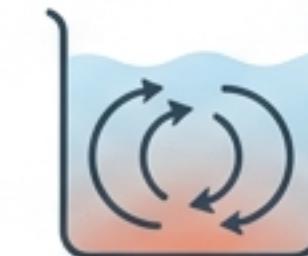
Conduction



Transfert de proche en proche sans déplacement de matière.

Principalement dans les solides.

Convection



Transfert porté par un mouvement de matière.

Dans les fluides (liquides et gaz).

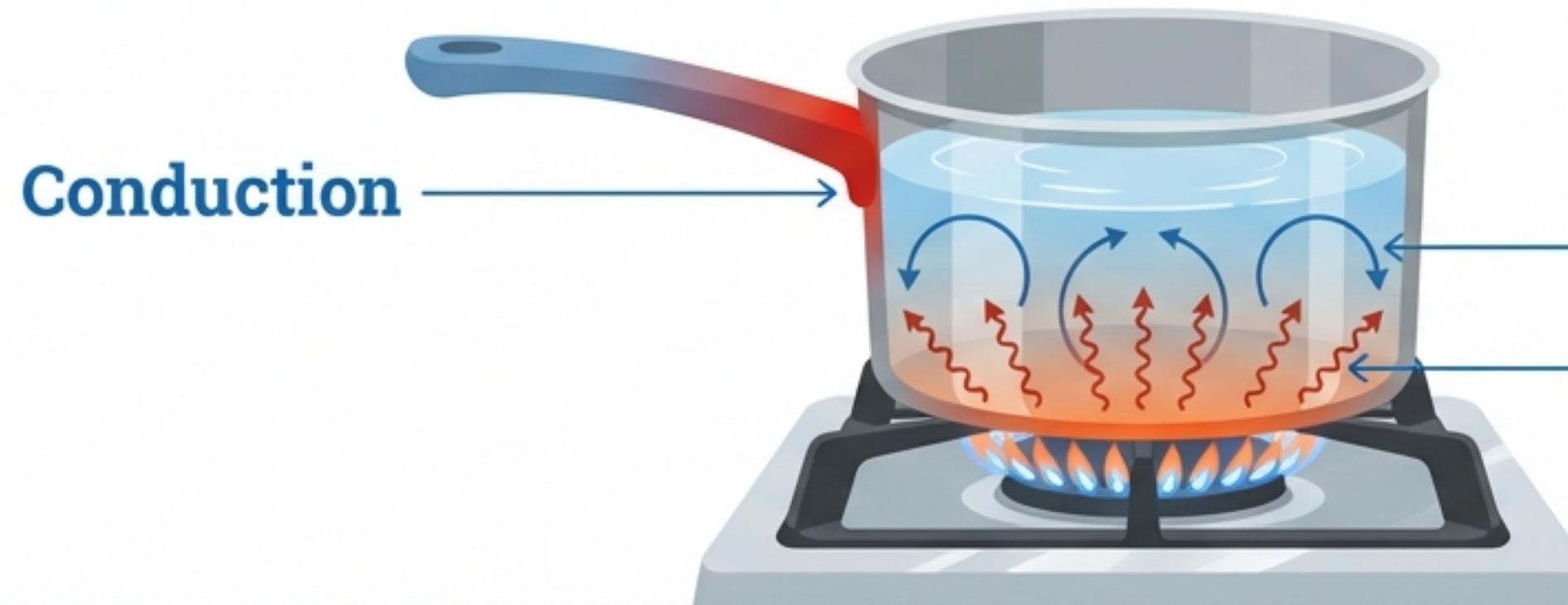
Rayonnement



Par ondes électromagnétiques (absorption/émission).

Possible dans le vide.

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$



Conduction

Convection

Rayonnement

La Conduction : Flux et Résistance thermique

Le Flux Thermique φ

Vitesse du transfert d'énergie.

$$\varphi = \frac{Q}{\Delta t}$$

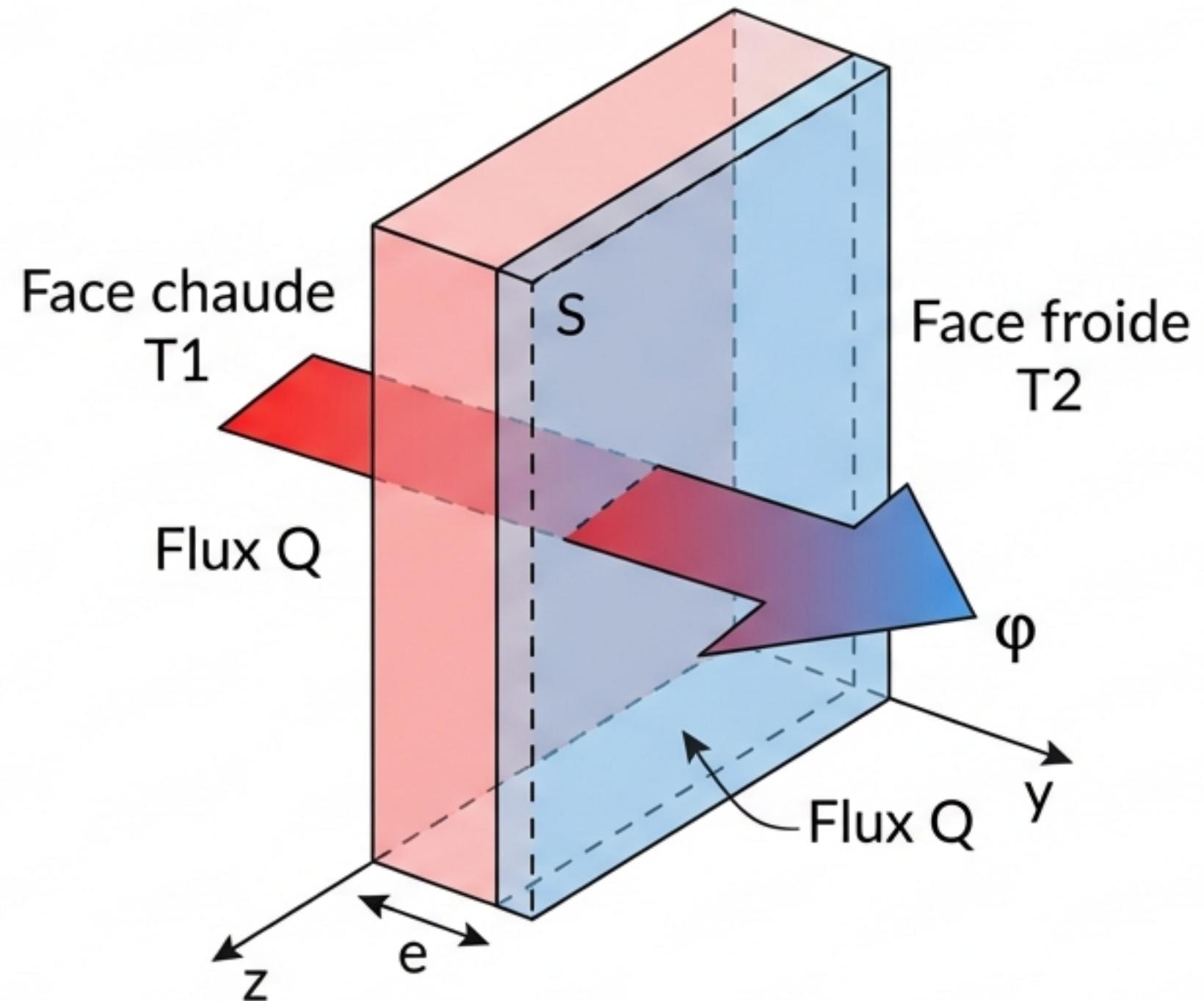
Unité : Watt (W)

La Résistance Thermique R_{th}

Analogie électrique (Loi d'Ohm thermique) :

$$\varphi = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}} = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

Plus la résistance R_{th} est élevée, plus le flux est faible (principe de l'isolation).



La Loi de Newton (Convection)

Modélise le transfert entre un corps à température $T(t)$ et un fluide extérieur (thermostat) à T_e .

Flux thermique :

$$\varphi = h \cdot S \cdot (T_e - T)$$

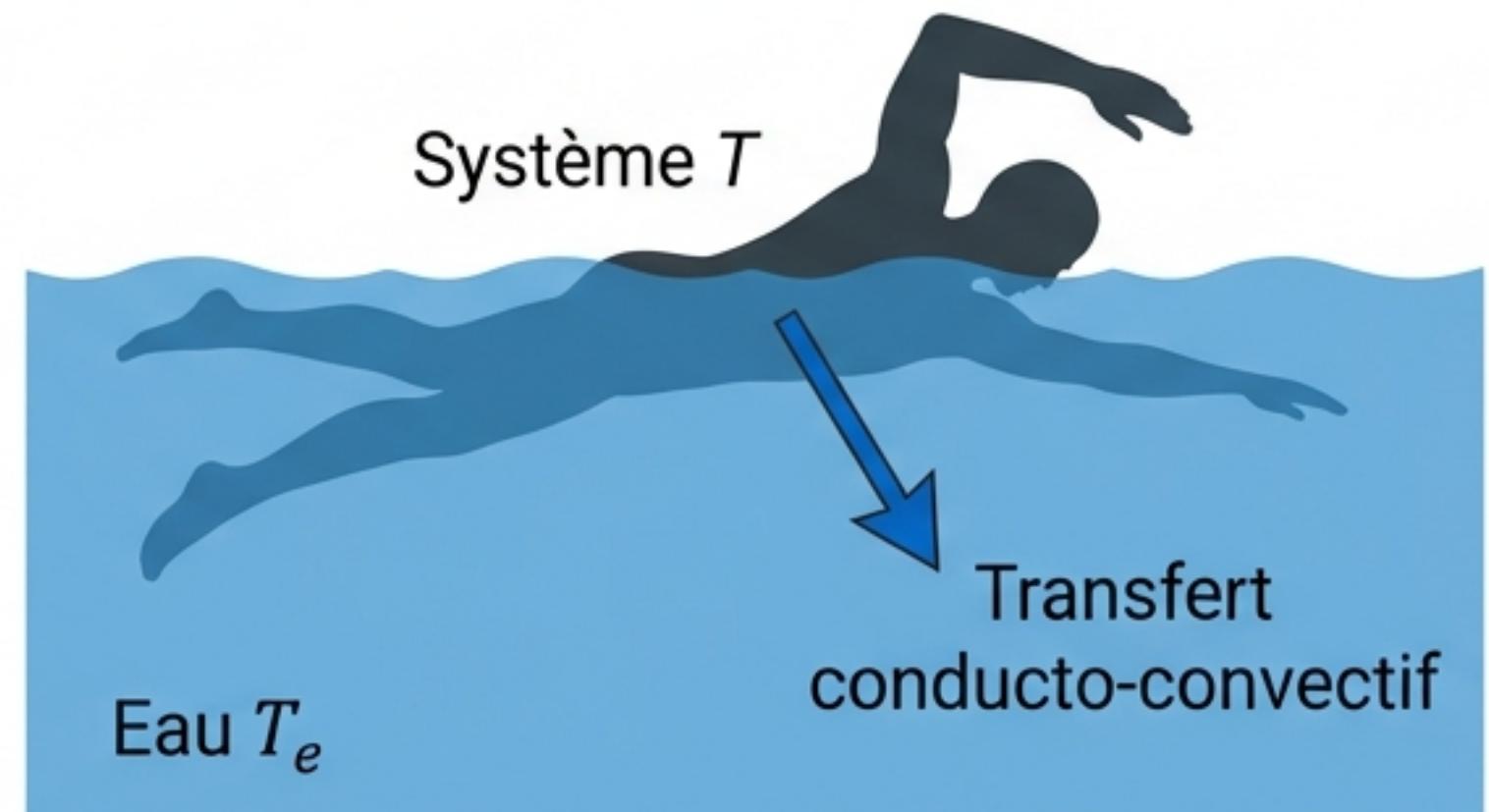
h : coefficient d'échange ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

S : surface d'échange (m^2)

Conduit à une équation différentielle d'évolution :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{1}{\tau} T = \frac{1}{\tau} T_e$$

Avec le temps caractéristique : $\tau = \frac{m \cdot c}{h \cdot S}$



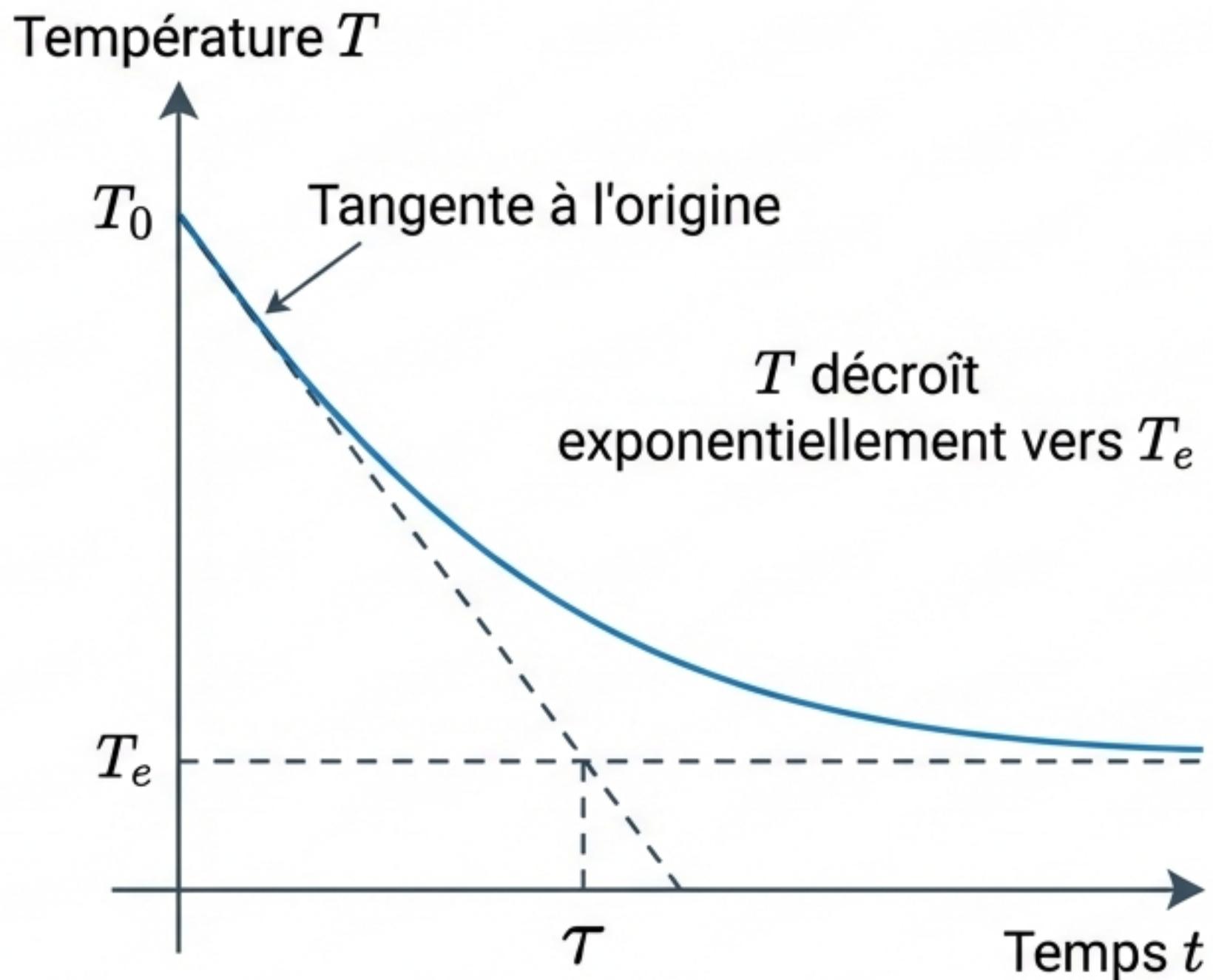
Solution de l'équation (Loi de Newton)

L'évolution de la température est exponentielle.

$$T(t) = T_e + (T_0 - T_e) \cdot e^{-t/\tau}$$

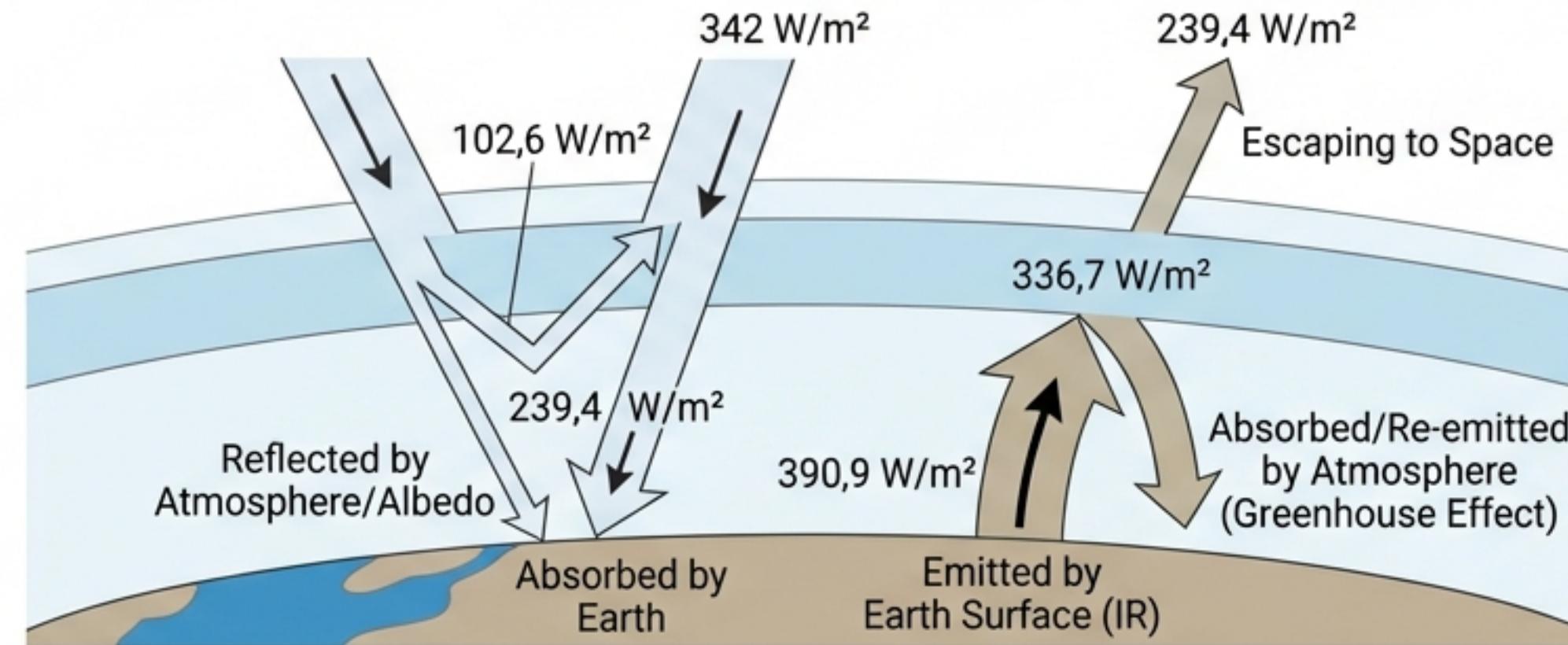
T_0 : Température initiale

T_e : Température finale (thermostat)



Rayonnement et Bilan Radiatif Terrestre

Loi de Stefan-Boltzmann : $\phi = \sigma \cdot S \cdot T^4$



Effet de serre : L'atmosphère absorbe les IR et les renvoie vers le sol.

Température moyenne : $+15^\circ\text{C}$ (au lieu de -18°C sans atmosphère).

Fiche Formules (À connaître par cœur)

1 Gaz Parfait

$$PV = nRT$$

(P en Pa, V en m³, T en K)

2 1^{er} Principe

$$\Delta U = W + Q$$

(Système immobile)

3 Calorimétrie

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

(Système incompressible)

4 Flux Thermique

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

$$\phi = h \cdot S \cdot (T_e - T)$$

5 Rayonnement

$$\phi = \sigma \cdot S \cdot T^4$$

Mini-exercices Flash

1. Un système reçoit 50J de travail et perd 20J de chaleur. Que vaut ΔU ?

Réponse : $\Delta U = (+50) + (-20) = +30 \text{ J}$

2. Convertir 20°C en Kelvin.

Réponse : $T(K) = 20 + 273,15 = 293,15 \text{ K}$

3. Si la résistance thermique R_{th} d'une paroi double, comment évolue le flux φ ?

Réponse : $\phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$. Le flux est divisé par 2.