

Objectifs du chapitre

- Comprendre que tout corps émet un rayonnement thermique dépendant de sa température
- Identifier le domaine infrarouge du rayonnement thermique usuel
- Exploiter des images de caméra thermique
- Expliquer le principe de l'effet de serre et le rôle des gaz à effet de serre (GES)

1. Introduction – Un outil essentiel dans le bâtiment

CONTEXTE PROFESSIONNEL

Sur un chantier de rénovation, un technicien pointe une **caméra thermique** vers la façade d'une maison. Sur l'écran, certaines zones apparaissent en rouge vif : ce sont les **ponts thermiques**, les endroits où la chaleur s'échappe le plus. Ces caméras ne "voient" pas la lumière visible, mais le **rayonnement infrarouge** émis par les bâtiments. Pour comprendre cet outil indispensable à la rénovation énergétique, il faut comprendre le rayonnement thermique.

Toute matière émet constamment de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce phénomène s'appelle le **rayonnement thermique**. Sa nature dépend directement de la température du corps.

2. Le spectre électromagnétique

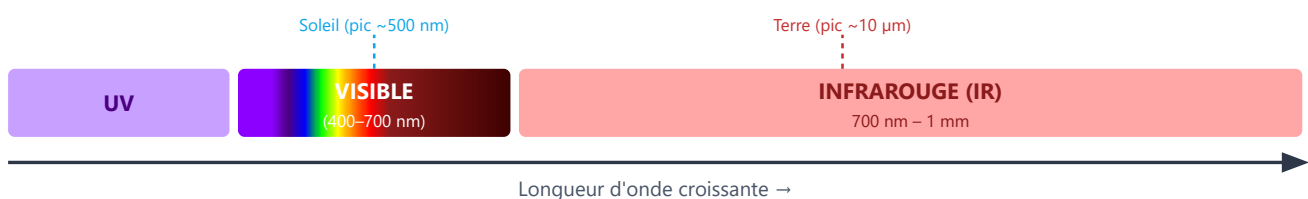


Figure 1 – Le spectre électromagnétique simplifié

DÉFINITION

Le **rayonnement thermique** est un rayonnement électromagnétique émis par tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$). Il transporte de l'énergie sans nécessiter de support matériel (il se propage dans le vide).

3. Rayonnement et température

La nature du rayonnement émis dépend directement de la **température** du corps. Plus un corps est chaud, plus il rayonne dans des longueurs d'onde courtes (donc plus énergétiques).

LOI DE DÉPLACEMENT DE WIEN (QUALITATIVE)

Plus la température d'un corps est **élevée**, plus le rayonnement émis se déplace vers des **longueurs d'onde courtes** (vers le visible, voire l'UV).

Formule : $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$ avec $b = 2,898 \times 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$ et T en Kelvin (K)

APPLICATION

Un menuisier chauffe un fer à brûler le bois à 450 °C . Calculer la longueur d'onde de son rayonnement maximal et déterminer dans quel domaine il se situe.

MÉTHODE

Appliquer la loi de Wien pour déterminer le type de rayonnement

1. Repérer la température T du corps (en $^{\circ}\text{C}$) et la convertir en Kelvin :

$$T_{(K)} = T_{(^{\circ}\text{C})} + 273$$

2. Appliquer la loi de Wien : $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$ (résultat en mètres).
3. Convertir le résultat en nm ($\times 10^9$) ou en μm ($\times 10^6$) pour faciliter l'interprétation.
4. Identifier le domaine du rayonnement : si 380-780 nm $\rightarrow$ visible ; si > 780 nm $\rightarrow$ infrarouge ; si < 380 nm $\rightarrow$ ultraviolet.
5. Conclure : un corps à température ambiante ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) émet en infrarouge (invisible), un corps très chaud émet dans le visible.

EXEMPLE NUMÉRIQUE

- 1 Le Soleil a une température de surface $T \approx 5800$ K

- 2 Son pic d'émission : $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{5800} \approx 5 \times 10^{-7} \text{ m} = 500 \text{ nm} \rightarrow$ dans le visible (jaune-vert)

- 3 La Terre a une température moyenne $T \approx 290$ K

- 4 Son pic d'émission : $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{290} \approx 10 \times 10^{-6} \text{ m} = 10 \mu\text{m} \rightarrow$ dans l'infrarouge

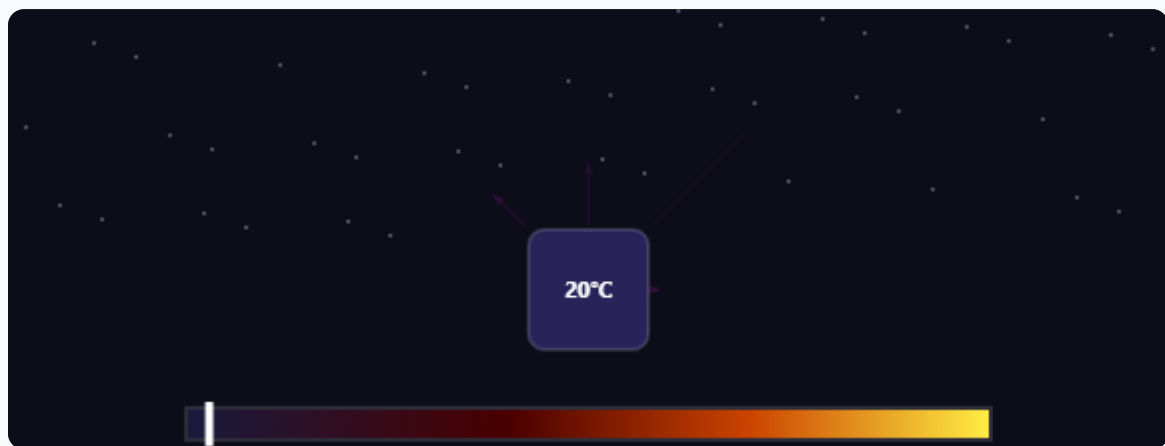
Corps	Température	Type de rayonnement	Visible à l'œil ?
Bâtiment (mur)	$\sim 20^{\circ}\text{C}$ (293 K)	Infrarouge lointain	Non
Fer chauffé (forge)	$\sim 700^{\circ}\text{C}$ (973 K)	IR + début rouge visible	Oui (rouge sombre)
Filament lampe	$\sim 2500^{\circ}\text{C}$ (2773 K)	IR + visible (blanc chaud)	Oui
Soleil	~ 5800 K	UV + visible + IR	Oui (brillant)

ATTENTION

Le rayonnement infrarouge émis par les bâtiments est **invisible à l'œil nu**. Seule une **caméra thermique** équipée d'un capteur spécial peut le détecter et le convertir en image colorée.

4. Animation – Rayonnement thermique

Simulation : Observez comment le rayonnement change avec la température



Température : 20 °C | Rayonnement : Infrarouge (invisible)

5. La caméra thermique – Application au bâtiment

APPLICATION PROFESSIONNELLE – DIAGNOSTIC THERMIQUE

Une caméra thermique détecte les **rayonnements infrarouges** émis par les surfaces d'un bâtiment. Elle convertit ces rayonnements en image colorée :

- **Rouge/blanc** → zones chaudes → fuites thermiques, ponts thermiques
- **Bleu/violet** → zones froides → bien isolées ou zones ombragées

Utilisations en agencement et maintenance : isolation des murs et toitures, détection de ponts thermiques, audit énergétique (DPE), contrôle des installations de chauffage.

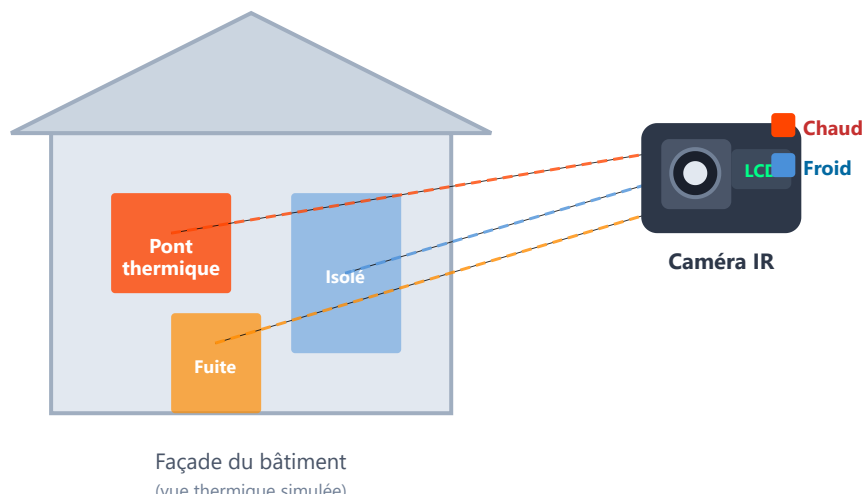


Figure 2 – Diagnostic thermique par caméra infrarouge

6. Comparaison des spectres d'émission – Soleil vs Terre

Le graphique ci-dessous compare la répartition de l'énergie rayonnée par le **Soleil** (pic dans le visible) et par la **Terre** (pic dans l'infrarouge) en fonction de la longueur d'onde.

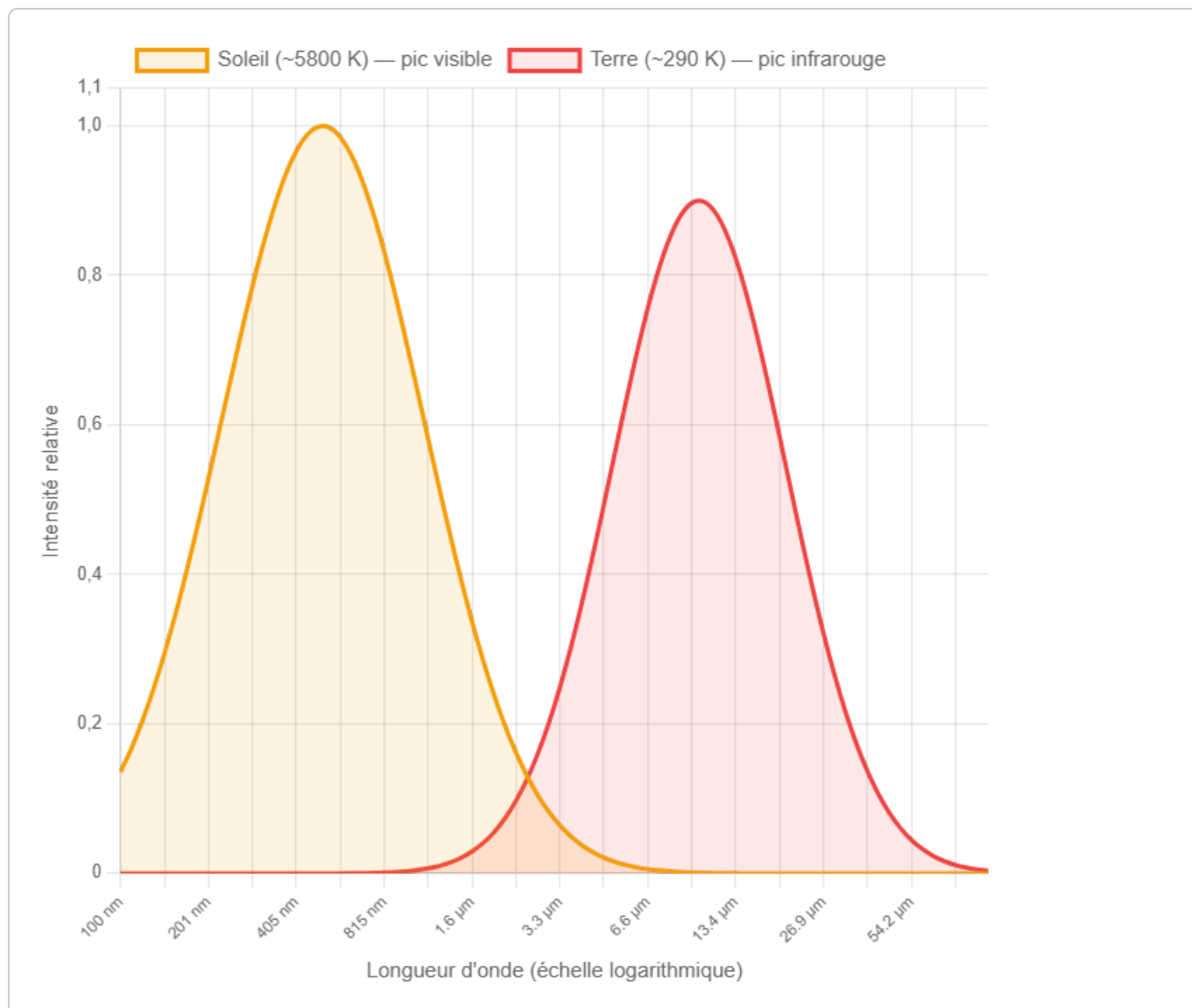


Figure 3 – Spectres d'émission simplifié du Soleil et de la Terre (intensités relatives normalisées)

7. L'effet de serre atmosphérique

L'effet de serre est un phénomène **naturel et indispensable à la vie** sur Terre. Sans lui, la température moyenne serait d'environ **-18 °C** au lieu de **+15 °C**.

APPLICATION

Un panneau de bois exposé au soleil sur un chantier d'agencement est à 60 °C. Calculer la longueur d'onde maximale de son rayonnement et préciser si ce rayonnement est visible.

MÉCANISME DE L'EFFET DE SERRE - ÉTAPE PAR ÉTAPE

- 1 Le **Soleil** émet des rayonnements visibles et UV (courtes longueurs d'onde)
- 2 Ces rayonnements **traversent l'atmosphère** presque sans être absorbés et arrivent à la surface terrestre
- 3 La **Terre absorbe** ces rayonnements et se réchauffe
- 4 La Terre (à ~15 °C) **réémet en infrarouge** (grandes longueurs d'onde)
- 5 Les **GES absorbent** ces IR et les réémettent dans toutes les directions, dont vers la Terre
- 6 La Terre se **réchauffe davantage** → effet de serre

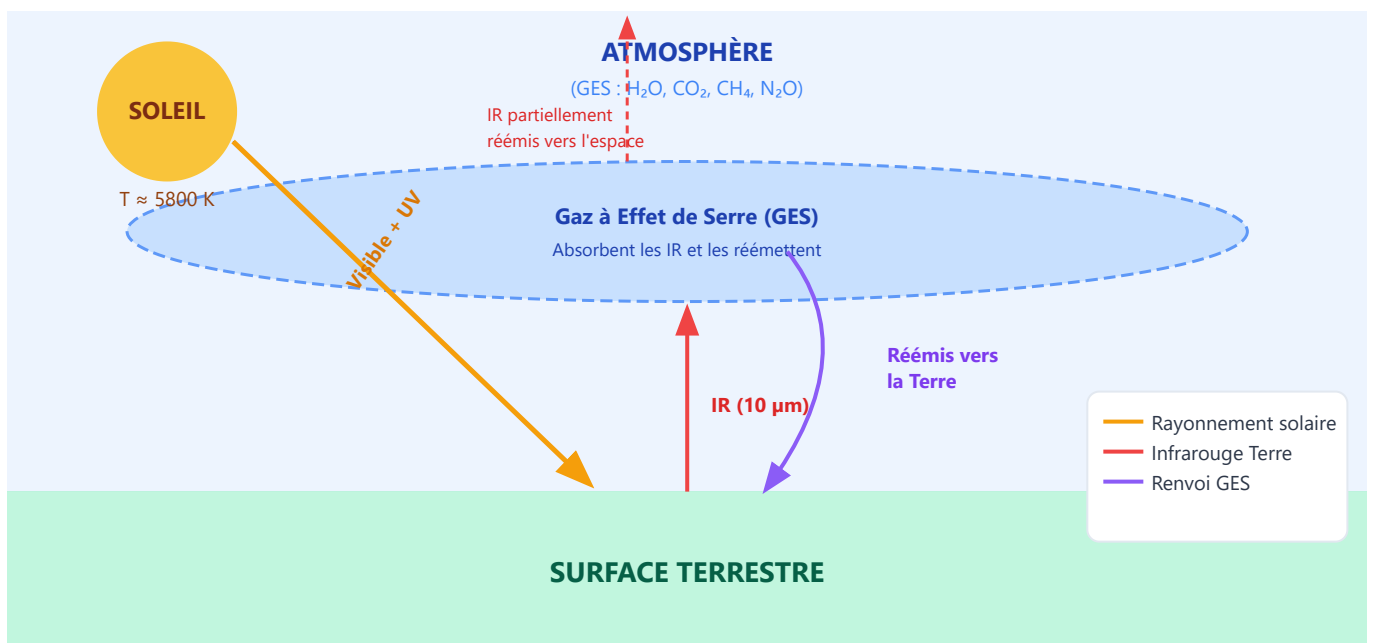


Figure 4 – Schéma de l'effet de serre atmosphérique

8. Les gaz à effet de serre (GES)

Gaz	Formule	Origine	Rôle
Vapeur d'eau	H ₂ O	Naturelle (évaporation)	GES le plus puissant
Dioxyde de carbone	CO ₂	Naturelle + combustion fossile	2e GES, amplifié par l'homme
Méthane	CH ₄	Élevage, décharges, gaz naturel	25× plus puissant que CO ₂
Protoxyde d'azote	N ₂ O	Agriculture (engrais)	298× plus puissant que CO ₂

EFFET DE SERRE NATUREL VS AMPLIFIÉ

- **Effet de serre naturel** : existait avant l'activité humaine, maintient la Terre à +15 °C (sans lui : -18 °C). Il est *indispensable à la vie*.
- **Effet de serre amplifié** : depuis la révolution industrielle, les activités humaines (combustion d'énergies fossiles, déforestation, élevage) augmentent la concentration de GES → réchauffement climatique.

APPLICATION

Un technicien utilise une caméra thermique pour inspecter la façade d'un showroom de menuiserie. Il détecte une zone à 35 °C sur un mur normalement à 20 °C. Quelle conclusion peut-il tirer et quelle action recommandez-vous ?

ATTENTION AUX ERREURS FRÉQUENTES

- L'effet de serre n'est **pas le "trou dans la couche d'ozone"** : ce sont deux phénomènes distincts.
- L'effet de serre n'est **pas uniquement négatif** : l'effet naturel est vital. C'est son amplification par l'homme qui pose problème.
- Une caméra thermique ne mesure pas la température directement : elle mesure le **rayonnement IR émis** et calcule la température.

À retenir – Rayonnement thermique

- Tout corps émet un rayonnement thermique qui dépend de sa **température T**
- À T ambiante ($\sim 20^\circ\text{C}$) : rayonnement **infrarouge (IR)**, invisible à l'œil nu
- Loi de Wien : plus T est élevée $\rightarrow$ pic vers les courtes longueurs d'onde (visible, UV)
- La Terre réémet en **IR ($\sim 10\ \mu\text{m}$)**, le Soleil rayonne dans le **visible ($\sim 500\ \text{nm}$)**
- Les GES (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O) absorbent les IR terrestres $\rightarrow$ **effet de serre**
- La caméra thermique est un outil clé en **diagnostic de bâtiment**

9. Applications concrètes

MÉTIERS DU BÂTIMENT

Diagnostic énergétique : La caméra IR permet de visualiser les déperditions thermiques (ponts thermiques, fenêtres mal isolées, infiltrations d'air). Ce diagnostic est obligatoire pour le DPE (Diagnostic de Performance Énergétique).

Rénovation énergétique : Comprendre le rayonnement thermique permet de choisir les bons matériaux isolants (laine de verre, ouate de cellulose) et de réduire les pertes par rayonnement.

Toitures : Les toitures sombres absorbent plus de rayonnement solaire qu'un toit clair (réflexion). Les toits végétalisés réduisent les îlots de chaleur urbains.

MÉTIERS DE LA MÉTALLERIE

Traitement thermique des métaux : En forgeant ou en soudant, on chauffe le métal à très haute température. La couleur de l'incandescence (rouge sombre, orange, blanc) est une indication visuelle de la température – c'est le rayonnement thermique en action.

Protection contre le rayonnement : Les équipements de protection individuelle (EPI) des soudeurs tiennent compte du rayonnement IR et UV émis par l'arc électrique.

10. Mini exercices

Exercice 1

Pourquoi les bâtiments mal isolés "brillent" en rouge sur une image infrarouge ?

► [Voir la réponse](#)

Exercice 2

Citez 3 gaz à effet de serre d'origine naturelle.

► [Voir la réponse](#)

Exercice 3

La Terre a une température moyenne d'environ 288 K. À quelle longueur d'onde environ émet-elle son rayonnement maximum ? Quel type de rayonnement est-ce ?

► [Voir la réponse](#)

Exercice 4

Quelle est la différence entre l'effet de serre naturel et l'effet de serre amplifié par l'homme ?

► Voir la réponse

Erreurs fréquentes



Oublier de convertir °C en Kelvin

La loi de Wien nécessite la température en Kelvin (K). Appliquer la formule avec des degrés Celsius donne un résultat faux.

Conseil : toujours écrire $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$ avant d'appliquer la formule.



Croire que tout rayonnement infrarouge est visible

Le rayonnement infrarouge est invisible à l'œil nu. Seules les caméras thermiques équipées de capteurs spéciaux peuvent le détecter. On "voit" les zones chaudes sur l'écran, pas à l'œil direct.

Conseil : ne pas confondre "émettre de la chaleur" (infrarouge) et "émettre de la lumière" (visible).



Confondre effet de serre naturel et anthropique

L'effet de serre naturel est indispensable à la vie (il apporte environ +33 °C, portant la température moyenne de la Terre à +15 °C au lieu de -18 °C). C'est son *renforcement* par les émissions humaines de CO₂ et CH₄ qui pose un problème climatique.

Conseil : distinguer "effet de serre" (phénomène) et "renforcement de l'effet de serre" (problème).



Croire que $\lambda_{\max}$ est la seule longueur d'onde émise

Un corps émet un spectre continu de rayonnements. $\lambda_{\max}$ est seulement la longueur d'onde pour laquelle l'émission est maximale, pas la seule émise.

Conseil : penser à la courbe en cloche du spectre d'émission — il y a des rayonnements de chaque côté du pic.

Simulations interactives

[Rayonnement thermique](#)

[Effet de serre](#)

Rayonnement thermique et effet de serre

Exercices — Terminale Bac Pro ERA-MA (Groupement 3)

Socle

Standard

Approfondissement

Tout voir



Objectifs du chapitre

[cliquer pour développer](#)

Rappels du cours

- Tout corps à température non nulle émet un **rayonnement thermique** (électromagnétique). Pour $T < 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, ce rayonnement se situe principalement dans l'infrarouge (IR).
- **Loi de Stefan-Boltzmann** : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$ avec $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$, S la surface en m^2 , T la température en **Kelvin**, et ε l'émissivité (0 à 1).
- Conversion : $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$
- **Caméra thermique** : détecte le rayonnement IR pour visualiser les déperditions de chaleur, les ponts thermiques dans les bâtiments industriels.
- **Effet de serre** : le CO_2 , la vapeur d'eau (H_2O) et le méthane (CH_4) absorbent le rayonnement IR émis par la Terre, ce qui provoque un réchauffement de l'atmosphère.
- Le Soleil émet principalement dans le **visible + UV** ($T \approx 6000\text{ K}$) ; la Terre émet dans l'**IR lointain** ($T \approx 288\text{ K}$).

Spectre électromagnétique simplifié

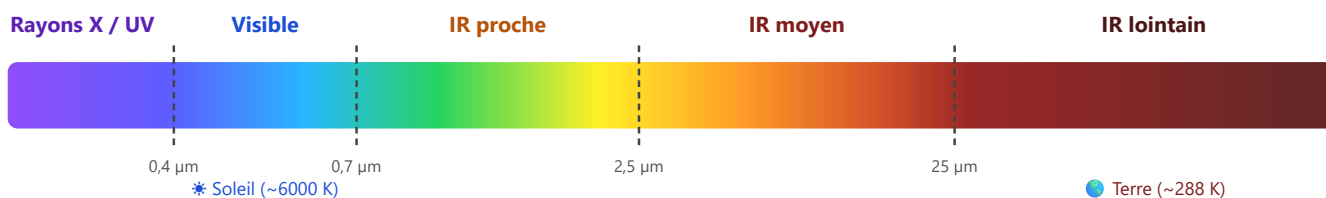


Schéma de l'effet de serre

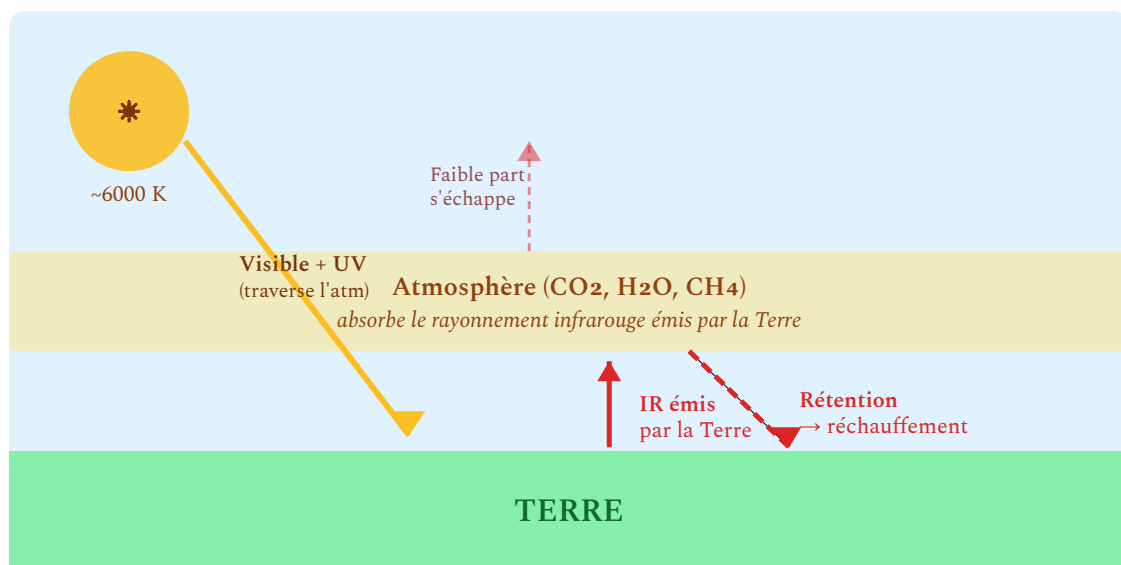


Figure 2 — L'effet de serre : le rayonnement solaire (visible) traverse l'atmosphère, la Terre réémet dans l'IR, les gaz à effet de serre en retiennent une partie

Rayonnement du corps noir selon la température

Méthode :

Plus la température est élevée, plus le pic d'émission se déplace vers les courtes longueurs d'onde (loi de Wien). Le Soleil ($\sim 6000\text{ K}$) émet surtout dans le visible ; un bâtiment ($\sim 300\text{ K}$) émet dans l'IR lointain, invisible à l'œil nu mais détectable avec une caméra thermique.

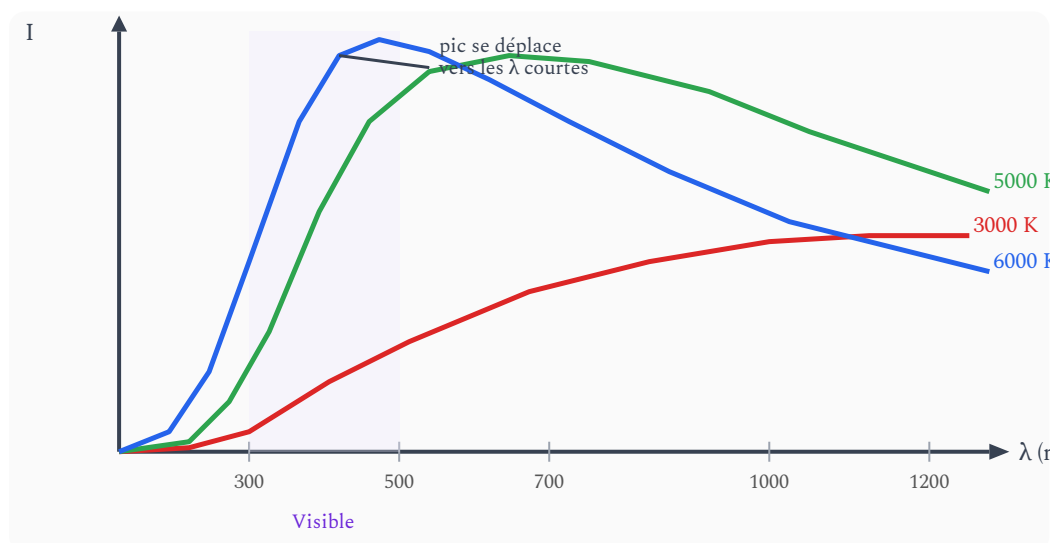


Figure 3 — Rayonnement du corps noir : plus T est élevée, plus le pic d'émission se déplace vers les courtes longueurs d'onde (loi de Wien)

Exercices guidés pas à pas

EXERCICE 1 Conversion °C → Kelvin – pas à pas

SOCLE

Rappel :

Pour convertir une température de degrés Celsius en Kelvin, on utilise la formule :

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

Compléter les conversions suivantes :

a) Température du corps humain : $T = 37^{\circ}\text{C}$

$$\rightarrow T(\text{K}) = 37 + \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ K}$$

b) Température d'une pièce chauffée : $T = 20^{\circ}\text{C}$

$$\rightarrow T(\text{K}) = \underline{\quad} + 273 = \underline{\quad} \text{ K}$$

c) Température extérieure en hiver : $T = -5^{\circ}\text{C}$

$$\rightarrow T(\text{K}) = -5 + \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ K}$$

d) Eau bouillante : $T = 100^{\circ}\text{C}$

$$\rightarrow T(\text{K}) = \underline{\quad} + \underline{\quad} = \underline{\quad} \text{ K}$$

e) Un mur industriel chauffé à 60°C :

$$\rightarrow T(\text{K}) = \underline{\quad} \text{ K}$$

Mes calculs :

EXERCICE 2 Loi de Stefan-Boltzmann – calcul guidé

SOCLE

Rappel :

La puissance rayonnée par un corps est : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$

avec $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, S en m^2 , T en Kelvin, ε sans unité.

Données : Corps humain à 37°C , surface $S = 1,8 \text{ m}^2$, émissivité $\varepsilon = 0,98$.

Compléter les étapes du calcul :

Étape 1 – Conversion en Kelvin :

$$T = 37 + 273 = \text{ } \text{K}$$

Étape 2 – Calcul de T^4 :

$$T^4 = (310)^4 = 310 \times 310 \times 310 \times 310$$

À la calculatrice : $T^4 = \text{ }$

(Aide : le résultat est de l'ordre de 9×10^9)

Étape 3 – Application de la formule :

$$P = \varepsilon \times \sigma \times S \times T^4$$

$$P = 0,98 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 1,8 \times \text{ }$$

$$P = \text{ } \text{W}$$

Étape 4 – Interprétation :

Le corps humain rayonne environ $\text{ } \text{W}$. Ce rayonnement se situe dans le domaine de l'
 (visible / infrarouge / ultraviolet).

Mes calculs :

EXERCICE 3 Effet de serre – texte à compléter

SOCLE

Compléter le texte ci-dessous avec les mots proposés :

Mots à placer : infrarouge — CO₂ — vapeur d'eau — CH₄ — visible — Kelvin — réchauffement — 288 K — 6000 K — atmosphère

- a) Le Soleil, dont la température de surface est d'environ _____, émet principalement un rayonnement _____ qui traverse l'_____ terrestre.
- b) La Terre, dont la température moyenne est d'environ _____, réémet de l'énergie sous forme de rayonnement _____.
- c) Les trois principaux gaz à effet de serre sont : le dioxyde de carbone (____), la _____ (H₂O) et le méthane (____).
- d) Ces gaz absorbent le rayonnement _____ émis par la Terre, ce qui provoque un _____ de l'atmosphère.
- e) Pour effectuer un calcul avec la loi de Stefan-Boltzmann, la température doit toujours être exprimée en _____.

Mes calculs :

EXERCICE 4 Conversion Kelvin $\rightarrow$ $^{\circ}\text{C}$ – pas à pas

SOCLE

Rappel :

Pour convertir une température de Kelvin en degrés Celsius : $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273$

Compléter les conversions suivantes :

a) Température de surface de la Terre : $T = 288 \text{ K}$

$$\rightarrow T(^{\circ}\text{C}) = 288 - \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}} ^{\circ}\text{C}$$

b) Un panneau de bois exposé au soleil : $T = 333 \text{ K}$

$$\rightarrow T(^{\circ}\text{C}) = \underline{\hspace{1cm}} - 273 = \underline{\hspace{1cm}} ^{\circ}\text{C}$$

c) Température d'un atelier en hiver : $T = 283 \text{ K}$

$$\rightarrow T(^{\circ}\text{C}) = \underline{\hspace{1cm}} ^{\circ}\text{C}$$

d) Fer chauffé dans une forge : $T = 973 \text{ K}$

$$\rightarrow T(^{\circ}\text{C}) = \underline{\hspace{1cm}} ^{\circ}\text{C}$$

e) L'azote liquide bout à $T = 77 \text{ K}$. Quelle est cette température en $^{\circ}\text{C}$?

$$\rightarrow T(^{\circ}\text{C}) = \underline{\hspace{1cm}} ^{\circ}\text{C}$$

Mes calculs :

EXERCICE 5 Les gaz à effet de serre – Vrai ou Faux guidé

SOCLE

Indiquer si chaque affirmation est vraie ou fausse. Corriger les affirmations fausses.

- a) Le Soleil émet principalement un rayonnement infrarouge.
- b) La Terre émet principalement un rayonnement infrarouge.
- c) Les gaz à effet de serre absorbent le rayonnement visible du Soleil.
- d) Sans effet de serre naturel, la température moyenne de la Terre serait d'environ -18°C .
- e) Le méthane (CH_4) est un gaz à effet de serre.
- f) La vapeur d'eau (H_2O) n'est pas un gaz à effet de serre.

Mes calculs :

EXERCICE 6 Caméra thermique – Lecture d'image guidée**SOCLE**

Un menuisier agenceur effectue un diagnostic d'un logement avec une caméra thermique. Il observe les couleurs suivantes :

Zone	Couleur sur l'écran
Mur isolé	Bleu foncé
Contour de fenêtre	Rouge
Radiateur	Blanc
Plafond	Vert

Compléter les phrases suivantes :

- a) La zone la plus chaude est le _____ car il apparaît en couleur _____.
- b) La zone la mieux isolée est le _____ car il apparaît en _____.
- c) Le contour de fenêtre apparaît en rouge : cela signifie qu'il y a une _____ de chaleur à cet endroit.
- d) La caméra thermique détecte le rayonnement _____ (visible / infrarouge / ultraviolet).

Mes calculs :

EXERCICE 7 Puissance rayonnée – Calcul avec aide

SOCLE

Rappel :

$$P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}.$$

Données : Un panneau de bois verni dans un atelier de menuiserie est à 40 °C. Sa surface est $S = 2 \text{ m}^2$ et son émissivité est $\varepsilon = 0,88$.

Étape 1 : Convertir 40 °C en Kelvin.

$$T = 40 + \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ K}$$

Étape 2 : Calculer T^4 à la calculatrice.

$$T^4 = (313)^4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K}^4$$

(Aide : le résultat est de l'ordre de $9,6 \times 10^9$)

Étape 3 : Appliquer la formule.

$$P = 0,88 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 2 \times \underline{\hspace{1cm}}$$

$$P = \underline{\hspace{1cm}} \text{ W}$$

Étape 4 : Ce panneau de bois émet-il un rayonnement visible ou invisible ? Justifier en une phrase.

Mes calculs :

EXERCICE 8 Mécanisme de l'effet de serre – Schéma à compléter

SOCLE

Remettre dans l'ordre les étapes du mécanisme de l'effet de serre :

Étapes mélangées :

- A. Les gaz à effet de serre (CO_2 , H_2O , CH_4) absorbent une partie de ce rayonnement IR.
- B. Le Soleil émet un rayonnement visible qui traverse l'atmosphère.
- C. Les GES réémettent du rayonnement IR dans toutes les directions, y compris vers la Terre.
- D. La surface terrestre absorbe ce rayonnement et se réchauffe.
- E. La Terre, réchauffée, émet un rayonnement infrarouge vers l'espace.
- F. La température de la surface terrestre augmente (effet de serre).

Ordre correct : __ → __ → __ → __ → __ → __

Question bonus : Quelle serait la température moyenne de la Terre sans effet de serre naturel ?

_____ °C

Mes calculs :

Exercices de base

EXERCICE 9 Puissance rayonnée par le corps humain

STANDARD

Méthode :

Appliquer la loi de Stefan-Boltzmann $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$. Convertir d'abord la température en Kelvin : $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$.

Données : Corps humain à 37°C , surface corporelle $S = 1,8 \text{ m}^2$, émissivité $\varepsilon = 0,98$ (peau humaine), $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

Q1. Convertir 37°C en Kelvin.

Q2. Calculer la puissance P rayonnée par le corps humain (en W). Arrondir au watt.

Q3. Dans quel domaine du spectre électromagnétique se situe ce rayonnement ? Justifier.

Q4. Est-il dangereux ? Peut-on le voir à l'œil nu ?

Mes calculs :

EXERCICE 10 Domaine spectral selon la température

STANDARD

On considère deux corps :

- Corps A : paroi de bâtiment à 300 K ($\sim 27^\circ\text{C}$)
- Corps B : surface du Soleil à 6000 K

Q1. Quel corps émet principalement dans le domaine visible ? Justifier.

Q2. Quel corps émet principalement en infrarouge lointain ? Justifier.

Q3. En se basant sur la loi de Stefan, quel corps rayonne le plus de puissance par unité de surface (pour une même émissivité) ? Calculer le rapport P_B/P_A .

Q4. Pourquoi une caméra thermique est-elle utile pour inspecter des bâtiments industriels, mais pas pour observer le Soleil directement ?

Mes calculs :

EXERCICE 11 Effet de serre – Questions de cours

STANDARD

- Q1. Citer trois gaz à effet de serre (GES) présents dans l'atmosphère terrestre.
- Q2. Quel type de rayonnement ces gaz absorbent-ils principalement ?
- Q3. Le rayonnement solaire traverse-t-il facilement l'atmosphère ? Pourquoi ?
- Q4. Expliquer en deux phrases le mécanisme de l'effet de serre naturel.
- Q5. Quel est l'impact d'une augmentation de la concentration en CO₂ sur l'effet de serre ?
Citer une activité industrielle concernée par ce phénomène.

Attention : L'effet de serre *naturel* est indispensable à la vie sur Terre (sans lui, T moyenne $\approx -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ au lieu de $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$). C'est son *renforcement* par les activités humaines qui pose problème.

Mes calculs :

Exercices guidés

EXERCICE 12 Puissance rayonnée par un mur industriel chaud

STANDARD

Contexte : Dans un atelier de menuiserie, un mur en béton peint est porté à 60 °C par la proximité d'un four industriel. Sa surface est de 10 m^2 . L'émissivité du béton peint est $\varepsilon = 0,9$. La température ambiante est de 20 °C .

Q1. Convertir 60 °C et 20 °C en Kelvin.

Q2. Calculer la puissance rayonnée P_{mur} par le mur (vers l'environnement à 20 °C) en utilisant la formule du bilan net :

$$P_{net} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_{mur}^4 - T_{amb}^4)$$

Q3. Cette puissance est-elle significative ? Comparer avec la consommation d'un radiateur électrique de 2 kW .

Q4. On estime que la puissance perdue par convection naturelle du même mur est de 500 W . Calculer la puissance totale perdue. Quel phénomène domine ici ?

Q5. Si on peint le mur avec une peinture réfléchissante ($\varepsilon = 0,1$), quelle serait la nouvelle puissance rayonnée nette ?

Méthode :

Pour le bilan net, on soustrait la puissance reçue de l'environnement à la puissance émise. Les deux températures doivent être en Kelvin.

Mes calculs :

EXERCICE 13 Utilisation d'une caméra thermique – Interprétation

STANDARD

Contexte : Un technicien de maintenance effectue un diagnostic thermique d'un local industriel avec une caméra thermique. Il obtient l'image suivante (décrite ci-dessous) :

Zone observée	Couleur caméra IR	Température relevée
Mur central (béton)	Bleu foncé	12 °C
Angle mur/plafond gauche	Rouge vif	28 °C
Fenêtre double vitrage	Jaune-orange	18 °C
Porte métallique	Rouge vif	30 °C
Tuyauterie vapeur	Blanc	45 °C

Q1. Rappeler ce que représentent les couleurs chaudes (rouge, blanc) et froides (bleu) sur une image thermique.

Q2. Identifier les zones de déperdition thermique (ponts thermiques) dans ce local. Justifier.

Q3. Pourquoi la porte métallique apparaît-elle aussi chaude ? Rappeler le rôle de l'émissivité.

Q4. Proposer deux actions correctives pour améliorer l'isolation de ce local.

Q5. La caméra donne une température de 45 °C pour la tuyauterie vapeur. Calculer la puissance rayonnée par 1 m² de tuyauterie ($\varepsilon = 0,8$, $T_{amb} = 15$ °C).

Mes calculs :

Exercices d'application

EXERCICE 14 Bilan thermique d'un bâtiment industriel

STANDARD

Contexte : Un atelier de menuiserie industrielle a les caractéristiques suivantes :

Élément	Surface	T intérieure	T extérieure	Émissivité ϵ	R thermique ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
Murs béton peint	120 m^2	20 °C	0 °C	0,9	2,5
Toiture métallique	200 m^2	20 °C	0 °C	0,3	1,5
Fenêtres DV	30 m^2	20 °C	0 °C	0,85	0,5

Q1. Calculer la puissance perdue par rayonnement pour les murs. Utiliser le bilan net ($T_{int} = 293 \text{ K}$, $T_{ext} = 273 \text{ K}$).

Q2. Calculer la puissance perdue par conduction à travers les murs : $P_{cond} = S \cdot \Delta T / R$.

Q3. Comparer rayonnement et conduction pour les murs. Quel phénomène est dominant ?

Q4. Calculer la puissance rayonnée totale de l'atelier (murs + toiture + fenêtres).

Q5. Pour réduire les pertes par rayonnement de la toiture, un ingénieur propose un film aluminisé ($\epsilon = 0,05$). Calculer le gain en puissance.

Mes calculs :

EXERCICE 15 Puissance rayonnée par un plancher chauffant

STANDARD

Contexte : Un menuisier agenceur installe un parquet sur un plancher chauffant dans une maison en rénovation. La surface du plancher est $S = 35 \text{ m}^2$, sa température de surface est de 28°C et la température de la pièce est de 20°C . L'émissivité du parquet en chêne est $\varepsilon = 0,90$.

Q1. Convertir les deux températures en Kelvin.

Q2. Calculer la puissance nette rayonnée par le plancher vers la pièce.

Q3. Exprimer cette puissance en kW. Comparer avec un radiateur électrique de 1,5 kW.

Q4. Si on remplace le parquet chêne par un carrelage ($\varepsilon = 0,95$), la puissance rayonnée augmente-t-elle ou diminue-t-elle ? Calculer la nouvelle puissance.

Mes calculs :

EXERCICE 16 Rayonnement et loi de Wien – Identifier le domaine spectral

STANDARD

Rappel – Loi de Wien :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T} \text{ (T en Kelvin, résultat en mètres).}$$

Si $\lambda_{\max}$ est entre 0,4 et 0,7 μm $\rightarrow$ visible ; si $\lambda_{\max} > 0,7 \mu\text{m}$ $\rightarrow$ infrarouge.

Pour chaque corps, calculer $\lambda_{\max}$ et indiquer le domaine du spectre :

Corps	Température	$\lambda_{\max}$	Domaine
Mur d'atelier	20 °C	?	?
Tuyau de chauffage	60 °C	?	?
Filament d'ampoule	2500 °C	?	?
Surface du Soleil	5800 K	?	?

Mes calculs :

EXERCICE 17 Émissivité et matériaux – Choix d'un revêtement

STANDARD

Contexte : Un fabricant de mobilier doit choisir la finition d'un meuble placé près d'un poêle à bois. Le meuble a une surface exposée de $S = 1,5 \text{ m}^2$ et atteint 50°C . La pièce est à 22°C .

Trois finitions sont envisagées :

Finition	Émissivité ϵ
Bois brut ciré	0,85
Laque noire mate	0,97
Vernis métallisé	0,15

Q1. Convertir les températures en Kelvin.

Q2. Calculer la puissance rayonnée nette pour chaque finition.

Q3. Quelle finition limite le plus le rayonnement thermique du meuble ? Pourquoi ?

Q4. Si l'objectif est au contraire de diffuser la chaleur du poêle dans la pièce (par exemple un écran thermique derrière le poêle), quelle finition choisir ?

Mes calculs :

EXERCICE 18 Effet de serre renforcé – Analyse de données

STANDARD

Le tableau ci-dessous donne l'évolution de la concentration en CO₂ et de la température moyenne terrestre :

Année	CO ₂ (ppm)	T moyenne (°C)
1850	280	13,7
1950	310	13,9
2000	370	14,4
2024	425	15,0

Q1. Calculer l'augmentation de la concentration en CO₂ entre 1850 et 2024 (en ppm et en pourcentage).

Q2. Calculer l'augmentation de la température moyenne entre 1850 et 2024.

Q3. Expliquer le lien entre l'augmentation du CO₂ et celle de la température en utilisant le mécanisme de l'effet de serre.

Q4. Citer deux activités humaines responsables de l'augmentation du CO₂ atmosphérique.

Q5. Dans le secteur du bâtiment, citer deux actions qui permettent de réduire les émissions de CO₂.

Mes calculs :

EXERCICE 19 Déperditions d'une menuiserie extérieure

STANDARD

Contexte : Un poseur de cuisines doit installer une baie vitrée dans une maison. Deux modèles sont proposés :

- **Modèle A – Châssis aluminium sans rupture :** surface vitrée 4 m^2 , $\varepsilon_{\text{verre}} = 0,84$, température intérieure côté vitre : 10°C
- **Modèle B – Châssis PVC avec double vitrage faible émissivité :** surface vitrée 4 m^2 , $\varepsilon_{\text{verre}} = 0,15$ (traitement), température intérieure côté vitre : 17°C

Température intérieure de la pièce : 21°C . Température extérieure : 2°C .

Q1. Pour chaque modèle, calculer la puissance rayonnée nette par la surface vitrée vers l'intérieur (la vitre est plus froide que la pièce, elle absorbe le rayonnement de la pièce).

Q2. Quel modèle provoque le moins de déperditions par rayonnement ? Justifier.

Q3. Pourquoi le vitrage à faible émissivité améliore-t-il le confort thermique, même si la vitre reste froide ?

Mes calculs :

EXERCICE 20 Bois et carbone – Matériau de construction et effet de serre

STANDARD

Contexte : Un artisan menuisier compare l'impact environnemental de deux matériaux pour réaliser une ossature de maison :

Matériau	Masse utilisée	Émissions CO ₂ fabrication (kg CO ₂ /kg)	CO ₂ stocké (kg CO ₂ /kg)
Ossature bois (épicéa)	3 000 kg	0,05	1,8
Ossature béton	12 000 kg	0,13	0

Q1. Calculer les émissions de CO₂ liées à la fabrication pour chaque matériau.

Q2. Calculer la quantité de CO₂ stockée dans l'ossature bois.

Q3. Calculer le bilan carbone net (émissions – stockage) pour chaque solution.

Q4. Expliquer en quoi le choix du bois comme matériau de construction contribue à limiter l'effet de serre.

Q5. Le CO₂ dégagé lors de la fabrication du béton contribue-t-il à l'effet de serre ? Par quel mécanisme ?

Mes calculs :

Exercices d'approfondissement

EXERCICE 21 Comparaison d'émissivité : acier brut vs acier peint

APPROFONDISSEMENT

Contexte : Deux pièces métalliques identiques ($S = 0,5 \text{ m}^2$, $T = 80 \text{ °C}$) sont dans un atelier à 20 °C . L'une est en acier brut ($\epsilon = 0,1$), l'autre est peinte en noir mat ($\epsilon = 0,9$).

Q1. Calculer la puissance rayonnée nette pour chaque pièce.

Q2. Quelle pièce se refroidira plus vite par rayonnement ? D'un facteur combien ?

Q3. Dans un système de refroidissement passif, quelle surface choisir pour maximiser le refroidissement d'un composant électronique ? Justifier.

Q4. À l'inverse, dans un four industriel dont on veut minimiser les pertes thermiques par rayonnement, quelle surface de paroi choisir ?

Q5. Un radiateur de chauffage est peint en blanc ($\epsilon \approx 0,95$). Expliquer pourquoi la couleur importe peu pour le rayonnement IR thermique.

À retenir : L'émissivité dépend de l'état de surface, pas de la couleur visible. Une surface lisse et métallique réfléchit l'IR (ϵ faible). Une surface rugueuse, peinte ou oxydée absorbe l'IR (ϵ élevée). La couleur visible n'influe que sur l'absorption du rayonnement solaire (visible).

Mes calculs :

EXERCICE 22 Diagnostic thermique d'un local industriel avec caméra IR

APPROFONDISSEMENT

Contexte professionnel : Vous êtes technicien d'agencement dans une entreprise de maintenance industrielle. Votre chef vous demande de réaliser un diagnostic thermique de l'atelier de production (T intérieure : 22 °C , T extérieure : 2 °C) avec une caméra thermique FLIR.

Résultats de la campagne de mesures :

Point de mesure	T mesurée (°C)	T attendue (°C)	Écart
Mur nord (isolé)	20	20–21	Normal
Jonction mur/dalle – angle NE	11	18–20	–8 °C
Châssis fenêtre aluminium	8	15–18	–10 °C
Linteau de porte EST	9	16–19	–9 °C
Tableau électrique	35	25–28	+9 °C
Moteur asynchrone en marche	55	40–55	Normal

Q1. Identifier les zones présentant des anomalies thermiques. Distinguer les défauts d'isolation des anomalies électriques/mécaniques.

Q2. Expliquer pourquoi les châssis aluminium constituent un pont thermique. Quel est le rôle de la conductivité thermique de l'aluminium ?

Q3. Le tableau électrique à 35 °C est-il dangereux ? Quelle norme impose une température maximale sur les bornes ?

Q4. Rédiger un tableau de synthèse avec : anomalie, cause probable, action corrective recommandée.

Q5. Calculer la puissance rayonnée par le châssis de fenêtre ($S = 2\text{ m}^2$, $T = 8\text{ °C}$, $\varepsilon = 0,3$ pour l'aluminium anodisé, $T_{\text{amb}} = 22\text{ °C}$). Comparer avec un châssis PVC (même surface, $\varepsilon = 0,9$, $T = 16\text{ °C}$).

Mes calculs :

EXERCICE 23 Isolation d'un hangar : laine de verre ou film aluminisé ?

APPROFONDISSEMENT

Contexte : Un hangar de maintenance industrielle (toiture métallique, $S = 500 \text{ m}^2$) doit être isolé. Deux solutions sont comparées :

- **Solution A – Laine de verre 100 mm :** $R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, ε toiture inchangé = 0,3, coût = 15 €/m^2
- **Solution B – Film aluminisé multicouche :** $R = 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, ε toiture réduit à 0,05, coût = 8 €/m^2

Conditions : T intérieure = 18°C , T extérieure = -5°C . Le prix du kWh chauffage = $0,12 \text{ €}$.

Q1. Calculer la puissance perdue par conduction pour chaque solution.

Q2. Calculer la puissance perdue par rayonnement pour chaque solution (bilan net, même ΔT que conduction).

Q3. Calculer la puissance totale perdue (conduction + rayonnement) pour chaque solution.

Q4. Calculer le coût annuel de chauffage imputable à la toiture pour chaque solution (8760 h/an).

Q5. Calculer le coût d'investissement pour 500 m^2 . En déduire le temps de retour sur investissement pour chaque solution si la situation de référence (sans isolation) perd 3500 W par conduction et 1800 W par rayonnement.

Q6. Quelle solution recommandez-vous ? Argumenter en tenant compte des aspects thermiques, économiques et pratiques (facilité de pose, durabilité).

Mes calculs :

EXERCICE 24 Bilan radiatif d'une toiture industrielle — loi de Stefan-Boltzmann

APPROFONDISSEMENT

La toiture métallique d'un atelier d'agencement a une surface $A = 600 \text{ m}^2$ et une émissivité $\varepsilon = 0,90$. En été, sa température de surface atteint $T_{\text{toit}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$. La température ambiante intérieure est $T_{\text{int}} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$. On donne $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$.

1. Convertir les températures en Kelvin.
2. Calculer la puissance rayonnée par la toiture vers l'intérieur de l'atelier (loi de Stefan-Boltzmann, flux net : $\Phi = \varepsilon\sigma A(T_{\text{toit}}^4 - T_{\text{int}}^4)$).
3. Un revêtement réfléchissant ramène l'émissivité à $\varepsilon' = 0,10$. Calculer la nouvelle puissance rayonnée.
4. Calculer l'économie de puissance (en kW) et l'économie annuelle en énergie (en kWh) si l'atelier fonctionne 200 jours/an à raison de 8 h/j.
5. Si le kWh de climatisation coûte 0,18 €, calculer le gain financier annuel.

Mes calculs :

EXERCICE 25 Caméra thermique sur chantier — analyse et interprétation

APPROFONDISSEMENT

Un technicien d'agencement utilise une caméra infrarouge pour diagnostiquer des déperditions thermiques sur un bâtiment en cours de rénovation. La caméra mesure des températures apparentes de surface. Les propriétés des matériaux sont :

Zone	T° apparente	Matériau	Émissivité réelle
Mur briques	8 °C	Brique	0,93
Fenêtre	4 °C	Verre	0,84
Pont thermique	1 °C	Métal	0,30

La caméra est étalonnée pour $\varepsilon = 1$. La température extérieure est -3 °C .

1. Rappeler la loi de Stefan-Boltzmann et expliquer pourquoi l'émissivité du matériau influence la température apparente mesurée.
2. Quelle zone présente le plus de déperditions thermiques par conduction ? Justifier à partir des températures mesurées.
3. Le métal a une émissivité $\varepsilon = 0,30$: la caméra surestime ou sous-estime sa température réelle ? Expliquer.
4. Calculer le flux rayonné par le mur briques (surface $S = 15\text{ m}^2$) vers l'extérieur. Données : $T_{\text{mur}} = 8 + 273 = 281\text{ K}$; $T_{\text{ext}} = -3 + 273 = 270\text{ K}$; $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$.
5. Proposer deux actions correctives pour réduire les déperditions identifiées par la caméra.

Mes calculs :

EXERCICE 26 Serre horticole – Modélisation de l'effet de serre

APPROFONDISSEMENT

Contexte : Un ébéniste passionné de botanique construit une serre en verre pour ses plantes. La serre a une surface vitrée totale de $S = 40 \text{ m}^2$. Le verre utilisé laisse passer 85 % du rayonnement visible mais absorbe 90 % du rayonnement infrarouge émis par le sol intérieur.

Données : Le sol de la serre (terre noire, $\varepsilon = 0,95$) est à 30°C . L'air extérieur est à 5°C . $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$.

- Q1. Expliquer pourquoi la serre se réchauffe : quel type de rayonnement entre et quel type est piégé ?
- Q2. Calculer la puissance IR totale émise par le sol de la serre (surface au sol : 20 m^2).
- Q3. Quelle fraction de cette puissance est absorbée par le verre ? Quelle fraction s'échappe ?
- Q4. Le verre, une fois chauffé, réémet une partie du rayonnement absorbé vers l'intérieur. En quoi ce mécanisme est-il analogue à l'effet de serre atmosphérique ? Identifier les correspondances : Soleil $\leftrightarrow$?, sol de la serre $\leftrightarrow$?, verre $\leftrightarrow$?
- Q5. Pour améliorer la serre en hiver, on propose d'ajouter un film à faible émissivité ($\varepsilon = 0,10$) sur la face intérieure du verre. Expliquer qualitativement l'effet sur les déperditions IR.

Mes calculs :

EXERCICE 27 Problème ouvert – Dimensionner un séchoir à bois

APPROFONDISSEMENT

Contexte professionnel : Un menuisier agenceur souhaite construire un séchoir à bois solaire. Le séchoir est un local fermé dont les parois intérieures (peintes en noir mat, $\varepsilon = 0,97$) sont chauffées par le soleil. L'air intérieur doit atteindre $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour sécher le bois efficacement.

Données :

- Surface totale des parois intérieures : $S = 60\text{ m}^2$
- Température extérieure : $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Le toit vitré laisse entrer une puissance solaire de 800 W/m^2 sur 10 m^2 de surface au sol
- Pertes par conduction à travers les parois : $P_{\text{cond}} = 1\,200\text{ W}$
- Pertes par renouvellement d'air : $P_{\text{air}} = 400\text{ W}$

Q1. Calculer la puissance solaire totale reçue par le séchoir.

Q2. Calculer la puissance perdue par rayonnement des parois vers l'extérieur (bilan net, $T_{\text{int}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ext}} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Q3. Calculer les pertes totales (rayonnement + conduction + renouvellement d'air).

Q4. Le séchoir peut-il atteindre $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec la seule énergie solaire ? Justifier en comparant puissance reçue et pertes totales.

Q5. Proposer deux modifications pour améliorer le bilan thermique du séchoir.

Mes calculs :

EXERCICE 28 Albédo et réchauffement climatique

APPROFONDISSEMENT

L'**albédo** est la fraction du rayonnement solaire réfléchi par une surface (sans être absorbée). Il varie de 0 (absorption totale) à 1 (réflexion totale).

Surface	Albédo
Neige fraîche	0,85
Glace de mer	0,60
Forêt de conifères	0,10
Océan (soleil haut)	0,06
Béton clair	0,40
Asphalte noir	0,05

La Terre reçoit en moyenne 340 W/m^2 du Soleil.

Q1. Calculer la puissance absorbée par 1 m^2 de neige fraîche et par 1 m^2 d'océan.

Q2. Lorsque la banquise fond, la glace (albédo 0,60) est remplacée par l'océan (albédo 0,06). Calculer l'augmentation de la puissance absorbée par m^2 suite à cette fonte.

Q3. Expliquer pourquoi la fonte des glaces constitue une « boucle de rétroaction positive » pour le réchauffement climatique.

Q4. Dans le secteur du bâtiment, un artisan menuisier propose de peindre les toitures en blanc (albédo $\approx 0,70$) au lieu de noir (albédo $\approx 0,05$). Pour une toiture de 150 m^2 , calculer la réduction de puissance solaire absorbée.

Q5. En quoi cette action locale peut-elle avoir un effet sur l'effet de serre à l'échelle globale ?

Mes calculs :

EXERCICE 29 Température d'équilibre d'une plaque métallique au soleil

APPROFONDISSEMENT

Contexte : Un technicien d'agencement stocke des panneaux en acier laqué noir ($\varepsilon = 0,95$) à l'extérieur. Sous le soleil, chaque panneau reçoit une puissance solaire $P_{\text{sol}} = 700 \text{ W/m}^2$ (albédo du laqué noir $\approx 0,05$). La surface d'un panneau est $S = 3 \text{ m}^2$ (une seule face exposée au soleil, les deux faces rayonnent).

À l'équilibre thermique, la puissance absorbée du soleil égale la puissance rayonnée par le panneau (on néglige convection et conduction) :

$$P_{\text{absorbée}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S_{\text{totale}} \cdot T_{\text{eq}}^4$$

Q1. Calculer la puissance solaire absorbée par le panneau ($P_{\text{abs}} = (1 - \text{albédo}) \times P_{\text{sol}} \times S$).

Q2. Le panneau rayonne par ses deux faces (surface totale = $2S$). Écrire l'équation d'équilibre thermique.

Q3. En déduire T_{eq}^4 , puis T_{eq} en Kelvin et en $^{\circ}\text{C}$.

Q4. Cette température est-elle dangereuse pour un opérateur qui touche le panneau ? Pour le revêtement laqué ?

Q5. Si on stocke des panneaux en aluminium brut ($\varepsilon = 0,05$, albédo $\approx 0,90$), recalculer T_{eq} . Commenter.

Mes calculs :

EXERCICE 30 Synthèse – Rénovation thermique d'un atelier d'agencement

APPROFONDISSEMENT

Contexte professionnel : Un menuisier agenceur souhaite rénover son atelier pour réduire sa facture énergétique et son empreinte carbone. L'atelier actuel a les caractéristiques suivantes :

Élément	Surface	T° intérieure	T° extérieure	Émissivité ϵ
Murs parpaing peint	80 m ²	19 °C	3 °C	0,92
Toiture tôle ondulée	120 m ²	19 °C	3 °C	0,28
Vitrage simple	15 m ²	19 °C	3 °C	0,90
Portail acier	12 m ²	19 °C	3 °C	0,15

Projet de rénovation :

- Isolation extérieure des murs (l'émissivité de la surface intérieure reste inchangée mais les pertes par conduction sont réduites de 60 %)
- Film réfléchissant sous la toiture : émissivité réduite à $\epsilon' = 0,05$
- Remplacement du vitrage simple par du double vitrage faible émissivité : $\epsilon' = 0,15$, température de surface intérieure portée à 16 °C
- Isolation du portail : émissivité inchangée, mais température de surface intérieure portée à 17 °C

Q1. Calculer la puissance rayonnée nette actuelle pour chaque élément et le total.

Q2. Calculer la puissance rayonnée nette après rénovation pour chaque élément et le total.

Q3. Calculer la réduction de puissance en watts et en pourcentage.

Q4. En supposant que l'atelier fonctionne 250 jours/an, 10 h/jour, et que le kWh de chauffage coûte 0,15 €, calculer l'économie annuelle sur la facture de chauffage (liée au rayonnement uniquement).

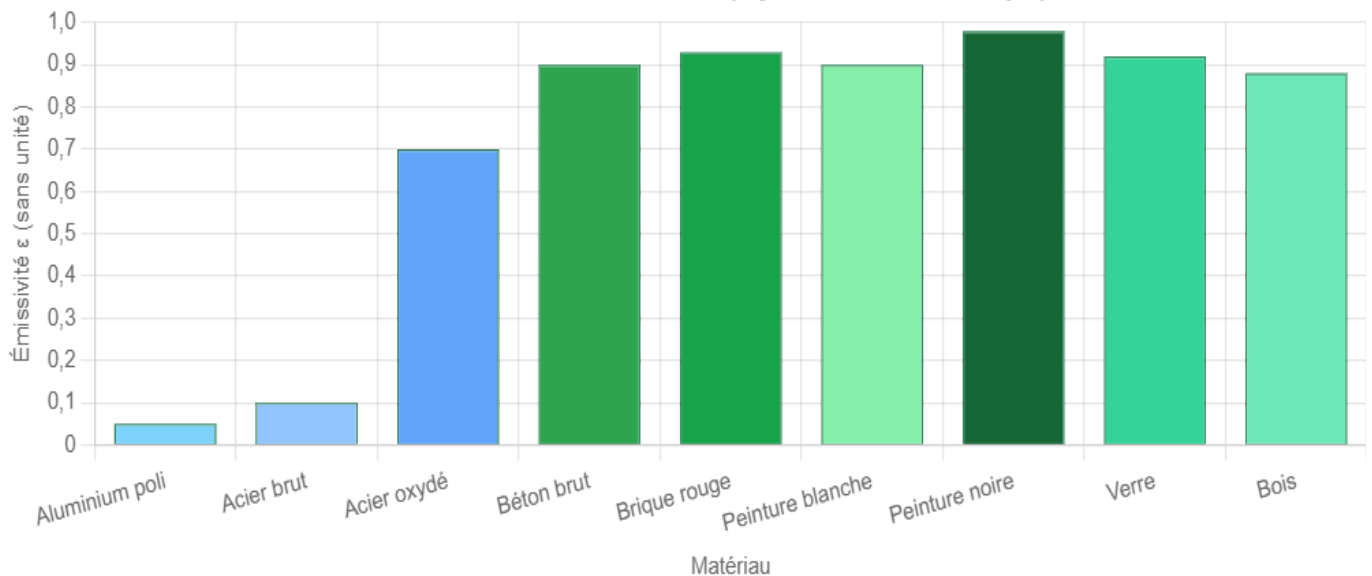
Q5. Si le chauffage de l'atelier fonctionne au gaz naturel (émission : 0,2 kg CO₂/kWh), calculer la réduction annuelle d'émissions de CO₂. Expliquer en quoi cette rénovation contribue à limiter l'effet de serre.

Mes calculs :

Comparaison des émissivités de matériaux courants

À retenir : L'émissivité ε est une grandeur sans unité comprise entre 0 (corps parfaitement réfléchissant) et 1 (corps noir parfait). Elle conditionne directement la puissance rayonnée et l'efficacité d'isolation thermique.

Émissivité ε de matériaux courants (rayonnement IR thermique)



Attention : La température dans la loi de Stefan-Boltzmann doit **toujours** être exprimée en **Kelvin**. Oublier la conversion en K est l'erreur la plus fréquente dans les calculs de rayonnement thermique.

À retenir – Loi de Stefan-Boltzmann :

$$P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (\text{puissance totale émise})$$

$$P_{net} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{bilan net entre deux surfaces})$$

avec $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, T en Kelvin, S en m^2 .

Rayonnement thermique et effet de serre

ERA-MA — Groupement 3 — Terminale Bac Pro

Socle

Standard

Approfondissement

Tout voir



Objectifs du chapitre

[cliquer pour développer](#)**Durée :** 1 heure **Barème :** /20 points **Documents :** Calculatrice autorisée — aucun document**Nom :** _____

APP - S'Approprier

ANA - Analyser/Raisonner

REA - Réaliser

VAL - Valider

COM - Communiquer

Exercice	Questions	Compétences	Points
Exercice 1 — Caméra thermique en maintenance préventive	Q1 à Q4	APP, ANA, REA, VAL	10 pts
Exercice 2 — Corps noir et émissivité	Q1 à Q4	APP, REA, REA, VAL	10 pts
Total			20 pts

SOCLE

EXERCICE UNIQUE Contrôle thermique d'un contacteur — Démarche guidée

20 points

Contexte : Un technicien de maintenance utilise une caméra thermique pour vérifier l'état d'un contacteur électrique dans une armoire. La caméra mesure une température de surface de $T_s = 85\text{ °C}$. Le contacteur a une surface rayonnante $S = 10\text{ cm}^2$ et une émissivité $\varepsilon = 0,9$. La température ambiante est $T_{amb} = 25\text{ °C}$.

Données : Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ — Formule de conversion : $T(\text{K}) = T(\text{°C}) + 273$ — Loi de Stefan-Boltzmann : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$ — Norme IEC 60439 : échauffement maximal autorisé $\Delta T_{max} = 40\text{ °C}$

Partie A — Conversion des températures (4 points)

1. **APP** Compléter la phrase : pour convertir une température de degrés Celsius en Kelvin, on utilise la formule :

$$T(\text{K}) = T(\text{°C}) + \underline{\hspace{2cm}} \quad 1 \text{ pt}$$

...

2. **REA** Convertir la température du contacteur en Kelvin. Compléter :

$$T_s = 85 + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K} \quad 1,5 \text{ pt}$$

...

3. **REA** Convertir la température ambiante en Kelvin. Compléter :

$$T_{amb} = 25 + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K} \quad 1,5 \text{ pt}$$

...

Partie B — La loi de Stefan-Boltzmann (4 points)

4. **APP** La loi de Stefan-Boltzmann permet de calculer la puissance rayonnée par un objet. Compléter la formule ci-dessous en plaçant les grandeurs au bon endroit :

$$P = \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times T^4$$

(Grandeurs à placer : ε , σ , S) 2 pts

...

5. **APP** Relier chaque grandeur à sa définition en complétant le tableau : 2 pts

Symbole	Nom	Unité
P	_____	_____
ε	_____	sans unité
σ	constante de Stefan-Boltzmann	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$
S	_____	_____
T	_____	_____

...

Partie C — Calcul guidé de la puissance rayonnée (6 points)

6. **REA** Convertir la surface en m^2 . Compléter :

$$S = 10 \text{ cm}^2 = 10 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = \text{_____} \text{ m}^2 \text{ 1 pt}$$

...

7. **REA** Remplacer les grandeurs par leurs valeurs dans la formule. Compléter :

$$P = \text{_____} \times 5,67 \times 10^{-8} \times \text{_____} \times (\text{_____})^4$$

(Valeurs à placer : 0,9 ; 10^{-3} ; 358) 2 pts

...

8. **REA** À l'aide de la calculatrice, calculer $(358)^4$, puis en déduire P . Compléter :

$$(358)^4 = \text{_____}$$

$$P = 0,9 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 10^{-3} \times \text{_____} \approx \text{_____} \text{ W 3 pts}$$

...

Partie D — Conclusion sur l'état du contacteur (6 points)

9. **ANA** Calculer l'échauffement du contacteur par rapport à la température ambiante.

Compléter :

$$\Delta T = T_s - T_{amb} = \underline{\hspace{1cm}} - \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ 2 pts}$$

...

10. **VAL** Compléter avec > ou < :

L'échauffement réel $\Delta T = \underline{\hspace{1cm}} \text{ } ^\circ\text{C}$ est $\underline{\hspace{1cm}}$ (supérieur / inférieur) à la limite autorisée

$\Delta T_{max} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$. 2 pts

...

11. **COM** Cocher la bonne réponse et compléter :

☐ Le contacteur fonctionne normalement, aucune action nécessaire.

☐ Le contacteur présente un échauffement anormal. Il faut

$\underline{\hspace{3cm}}$. 2 pts

...

STANDARD

EXERCICE 1 Caméra thermique en maintenance préventive

10 points

Contexte : Le technicien de maintenance utilise une caméra thermique infrarouge pour contrôler les armoires électriques de l'atelier. Cet outil permet de détecter des échauffements anormaux sans arrêter les installations. On s'intéresse à un contacteur électrique dont la surface rayonnante est de $S = 10 \text{ cm}^2$, avec une émissivité $\varepsilon = 0,9$ et une température de surface mesurée de $T_s = 85 \text{ }^\circ\text{C}$. La température ambiante est de $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Données : Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ — Loi de Stefan-Boltzmann : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$

1. **APP** Écrire la loi de Stefan-Boltzmann : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$. Définir chaque grandeur en précisant son nom, son symbole et son unité SI. 2 pts

...

2. **ANA** La loi de Stefan-Boltzmann nécessite une température en Kelvin. Rappeler la formule de conversion : $T (\text{K}) = T (^\circ\text{C}) + 273$. Convertir la température du contacteur $T_s = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ en Kelvin. Convertir également la température ambiante $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ en Kelvin. 2 pts

...

3. **REA** Calculer la puissance rayonnée P par le contacteur sachant que : $S = 10 \text{ cm}^2 = 10 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $\varepsilon = 0,9$, $T = 358 \text{ K}$, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$. Donner le résultat en watts, arrondi au centième. 3 pts

...

4. **VAL** La norme IEC 60439 autorise un échauffement maximal de $\Delta T_{max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ au-dessus de la température ambiante pour un contacteur en service normal. La température

ambiante est $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ et le contacteur est mesuré à $T_s = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

a) Calculer l'échauffement réel : $\Delta T = T_s - T_{amb}$.

b) Comparer à la valeur limite. Conclure : le contacteur est-il en état normal ou défaillant ?

Quelle action de maintenance préconisez-vous ? 3 pts

...

EXERCICE 2 Corps noir et émissivité**10 points**

Contexte : On compare le rayonnement thermique d'une plaque d'acier poli et d'une même plaque peinte en noir mat. Les deux plaques ont une surface de $S = 0,05 \text{ m}^2$ et sont portées à la même température $T = 500 \text{ K}$. On utilise la loi de Stefan-Boltzmann avec $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

1. **APP** Rappeler ce qu'est un corps noir en physique. Quelle est la valeur de son émissivité ε ? Donner la valeur typique de l'émissivité de l'acier poli ($\varepsilon \approx 0,1$) et expliquer ce que cela signifie physiquement par rapport à un corps noir. 2 pts

...

2. **REA** Calculer la puissance rayonnée P_1 par la plaque d'acier poli ($\varepsilon_1 = 0,1$, $S = 0,05 \text{ m}^2$, $T = 500 \text{ K}$). Montrer le calcul détaillé. 3 pts

...

3. **REA** Calculer la puissance rayonnée P_2 par la même plaque peinte en noir mat ($\varepsilon_2 = 0,95$, $S = 0,05 \text{ m}^2$, $T = 500 \text{ K}$). Comparer P_2 à P_1 en calculant le rapport P_2/P_1 . 3 pts

...

4. **VAL** En utilisant les résultats obtenus aux questions 2 et 3, conclure sur l'intérêt de peindre les dissipateurs thermiques en noir dans les équipements électroniques et industriels. Justifier en une ou deux phrases. 2 pts

...

EXERCICE 1 Audit thermique d'un bâtiment industriel

10 points

Contexte : Un bureau d'études en agencement réalise l'audit thermique d'un atelier industriel chauffé à $T_{int} = 20\text{ °C}$. L'enveloppe du bâtiment comporte trois types de parois extérieures, dont les caractéristiques sont résumées ci-dessous. La température extérieure est $T_{ext} = 5\text{ °C}$. On étudie les pertes par rayonnement thermique de chaque paroi vers l'extérieur.

Données : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ — Loi de Stefan-Boltzmann : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$ —
Puissance nette échangée par rayonnement : $P_{net} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4)$

Paroi	Surface S	Émissivité ε	Description
Mur béton brut	120 m ²	0,93	Façade principale non isolée
Bardage métallique	85 m ²	0,25	Façade latérale, acier galvanisé
Toiture bac acier peint	200 m ²	0,88	Toiture sombre, peinture mate

1. **APP** Convertir les températures intérieure et extérieure en Kelvin. Expliquer pourquoi on utilise la formule de puissance nette P_{net} plutôt que $P = \varepsilon\sigma ST^4$ pour évaluer les pertes thermiques réelles. 2 pts

...

2. **REA** Calculer la puissance nette perdue par rayonnement P_{net} pour chacune des trois parois. Présenter les résultats dans un tableau récapitulatif. 3 pts

...

3. **ANA** Le maître d'ouvrage envisage deux solutions d'isolation :

Solution A : Isoler le mur béton par l'extérieur avec un bardage à faible émissivité ($\varepsilon = 0,15$), coût : 18 000 €.

Solution B : Poser un écran réflecteur sous la toiture ($\varepsilon_{toiture}$ passe de 0,88 à 0,20), coût : 12 000 €.

Pour chaque solution, calculer la nouvelle puissance perdue par la paroi concernée et l'économie de puissance réalisée (en W). 3 pts

...

4. **VAL** Calculer le ratio « économie de puissance / coût » (en W/€) pour chaque solution. Quelle solution recommandez-vous en priorité ? Justifier votre choix en tenant compte de l'efficacité économique et de l'impact sur les pertes totales du bâtiment. 2 pts

...

EXERCICE 2 Choix de matériaux et optimisation du rayonnement

10 points

Contexte : Un ingénieur en conception d'équipements thermiques doit choisir les matériaux de surface pour deux applications opposées. Il dispose de quatre matériaux dont les émissivités sont données ci-dessous. Tous les éléments ont la même surface $S = 0,02 \text{ m}^2$.

Données : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ — Loi de Stefan-Boltzmann : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot T^4$

Matériau	Émissivité ε	Coût unitaire
Aluminium poli	0,05	8 €/pièce
Acier inoxydable brossé	0,35	12 €/pièce
Céramique blanche	0,90	20 €/pièce
Peinture noire mate (sur acier)	0,97	14 €/pièce

1. **REA** Calculer la puissance rayonnée P par chaque matériau à la température $T = 400 \text{ K}$. Présenter les résultats dans un tableau. 3 pts

...

2. **ANA** **Application 1 — Dissipateur thermique :** Un boîtier électronique doit évacuer un maximum de chaleur par rayonnement. Quel matériau choisissez-vous ? Calculer le rapport « puissance dissipée / coût » (en W/€) pour les deux meilleurs candidats et justifier votre choix final. 2,5 pts

...

3. **ANA** **Application 2 — Isolation thermique :** Une canalisation de vapeur à $T = 450 \text{ K}$ ($S = 0,02 \text{ m}^2$) doit conserver sa chaleur le plus longtemps possible. Quel matériau de

revêtement minimise les pertes par rayonnement ? Calculer la puissance perdue avec ce matériau et comparer au pire choix possible. Exprimer la réduction en pourcentage. 2,5 pts

...

4. **COM** Rédiger un paragraphe de synthèse (5 à 8 lignes) expliquant pourquoi le choix du matériau de surface est un levier majeur d'optimisation thermique dans le bâtiment et l'industrie. Illustrer avec les deux applications étudiées et citer au moins un exemple concret supplémentaire du domaine de l'agencement et du bâtiment (enveloppe du bâtiment, CVC, etc.). 2 pts

...