PHYSIQUE-CHIMIE

04 Utiliser le rayonnement thermique et comprendre l'effet de serre

Terminale Bac Pro ICCER (Grpt 1) | Physique – Thermique | Rayonnement IR, caméra thermique, GES

Objectifs du chapitre

- Montrer qu'un objet peut se réchauffer sous l'effet d'un rayonnement
- Exploiter des images d'une caméra thermique (thermogrammes)
- Illustrer expérimentalement l'absorption du rayonnement IR par différents matériaux
- Expliquer le principe de l'effet de serre à partir d'un document
- Identifier les principaux gaz à effet de serre (GES) et leurs origines
- Comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'amplification de l'effet de serre

Situation professionnelle — Diagnostic thermique d'un bâtiment

Une technicienne de maintenance énergétique utilise une caméra thermique pour détecter les ponts thermiques d'une façade. Elle doit interpréter les thermogrammes et identifier les zones de déperdition pour conseiller les travaux d'isolation appropriés.

Introduction – Pourquoi étudier le rayonnement thermique ?

SITUATION PROFESSIONNELLE Métier

Un installateur thermique utilise une **caméra thermique** pour diagnostiquer une installation : il détecte les *ponts thermiques* d'une façade, les connexions électriques défectueuses dans un tableau ou les surchauffes de moteurs. Dans le même temps, le secteur du génie climatique est directement concerné par la réduction des émissions de GES : les fluides frigorigènes (HFC) ont des PRG très élevés, et l'efficacité énergétique des installations réduit les émissions de CO_2.

1. Le rayonnement thermique

DÉFINITION

Tout objet dont la température est supérieure au **zéro absolu** (0 K = −273,15 °C) émet un **rayonnement thermique** : il rayonne de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques dans toutes les directions, *sans nécessiter de support matériel* (propagation dans le vide).

Ce rayonnement est une conséquence de l'agitation thermique des atomes et molécules. Plus un corps est chaud, plus il émet d'énergie et plus son rayonnement se décale vers les courtes longueurs d'onde.

LOI DE WIEN – DÉPLACEMENT DU PIC D'ÉMISSION

$$\lambda_{max} \times T = 2{,}898 \times 10^{-3}\ \text{m·K}$$

λ_{max} : longueur d'onde du pic d'émission (m) | T : température absolue (K) | T(K) = T(°C) + 273

Quand T augmente → λ_{max} diminue (le pic se déplace vers les courtes longueurs d'onde).

APPLICATION

Un technicien de maintenance énergétique utilise une caméra thermique sur une façade à 20 °C. Calculer la longueur d'onde du pic d'émission de cette façade en micromètres.

LOI DE STEFAN-BOLTZMANN – PUISSANCE RAYONNÉE

Complément (hors connaissances exigibles) : donnée pour comprendre, non attendue en évaluation.

$$P = \varepsilon \, \sigma \, A \, T^4$$

ε : émissivité (0 à 1) | σ = 5,67 × 10^{-8} W·m^{-2}·K^{-4} | A : surface (m^2) | T : température (K)

La puissance rayonnée augmente très rapidement avec la température (exposant 4).

EXEMPLE – LOI DE WIEN (CORPS HUMAIN)

Corps humain à T = 37 °C = 37 + 273 = 310 K :

$$\lambda_{\max} = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{310} \approx 9{,}3 \ \mu\text{m}$$

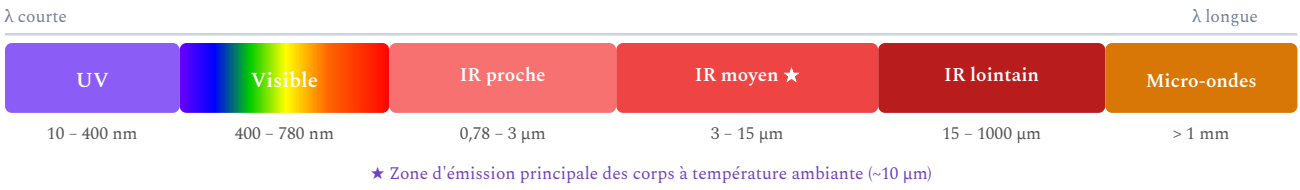
Ce rayonnement est dans l'

infrarouge moyen

, invisible à l'œil mais détectable par une caméra thermique.

2. Domaines spectraux : visible et infrarouge

Le spectre électromagnétique couvre un très large domaine de longueurs d'onde. Le rayonnement thermique des corps courants se situe essentiellement dans le domaine **infrarouge** (IR).



Spectre électromagnétique : les corps à température ambiante émettent dans l'infrarouge moyen, invisible à l'œil nu.

À RETENIR – QUEL CORPS ÉMET DANS QUEL DOMAINE ?

- Corps à température ambiante (~300 K) : **IR moyen** (~10 µm) — invisible
- Filament d'une lampe à incandescence (~2 700 K) : **IR + rouge visible**
- Métal porté au rouge (> 1 000 K) : **IR + visible rouge-orangé**
- Surface du Soleil (~5 780 K) : **visible + proche IR + UV** (pic vers 500 nm)
- La Terre (~288 K) émet dans l'**IR moyen** (pic vers 10 µm)

3. Simulation interactive – Loi de Wien

Déplacez le curseur pour choisir la température du corps et observer le pic d'émission dans le spectre.

9.7 µm	IR moyen	Corps humain (~310 K)
λ_{max} calculée	Domaine spectral	Exemple associé

4. La caméra thermique

DÉFINITION

Une **caméra thermique** (ou caméra infrarouge) détecte le rayonnement infrarouge émis par les objets et le convertit en une image visible colorée appelée **thermogramme**. Elle fonctionne dans l'obscurité totale et sans source de lumière visible.

Principe de fonctionnement

Un capteur matriciel (8–14 µm) mesure l'intensité IR reçue par chaque pixel, proportionnelle à la température de surface. Un logiciel attribue une couleur selon une palette :

- Couleurs **chaudes** (blanc, rouge, orange) → haute température
- Couleurs **froides** (bleu, violet, noir) → basse température

MÉTHODE – LIRE UN THERMOGRAMME

1. Identifier la palette de couleurs et son échelle de température (barre latérale).
2. Repérer les zones les plus lumineuses (chaudes) et les zones sombres (froides).
3. Relier les anomalies thermiques à des phénomènes : pont thermique, déperdition, point chaud électrique…

Applications professionnelles

Domaine	Application	Ce que l'on détecte
Bâtiment	Diagnostic énergétique	Ponts thermiques, fuites de chaleur, isolation déficiente
Industrie	Maintenance préventive	Surchauffe de moteurs, câbles, roulements, transformateurs
Électricité — Installation thermique Métier	Contrôle des tableaux	Points chauds, connexions défectueuses, disjoncteurs en surcharge
Médecine	Imagerie médicale	Inflammation, troubles circulatoires
Sécurité	Surveillance nocturne	Présence humaine ou animale dans l'obscurité

ATTENTION – ÉMISSIVITÉ

La caméra thermique mesure la **température de surface**, pas la température intérieure. La valeur lue dépend de l'**émissivité ε** du matériau (rapport entre rayonnement réel et corps noir idéal). Un métal poli (ε faible) peut paraître froid même s'il est chaud.

APPLICATION

Une technicienne de maintenance énergétique pointe sa caméra thermique sur une paroi en béton (ε = 0,95) à 15 °C. La caméra est réglée pour ε = 0,95. Quelle température affiche-t-elle ? Que se passerait-il si elle l'avait réglée pour ε = 0,50 par erreur ?

5. Absorption du rayonnement infrarouge par les matériaux

Lorsqu'un rayonnement IR frappe un matériau, trois phénomènes peuvent se produire :

LOI DE CONSERVATION – A + P + T = 1

Pour tout rayonnement incident :

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

- **α** (alpha) : coefficient d'**absorption** — l'énergie est absorbée, le matériau se réchauffe
- **ρ** (rho) : coefficient de **réflexion** — le rayonnement est renvoyé
- **τ** (tau) : coefficient de **transmission** — le rayonnement traverse le matériau

Un corps noir idéal : α = 1, ρ = 0, τ = 0.

Matériau	Comportement vis-à-vis de l'IR	Remarque
Verre ordinaire	Absorbe fortement l'IR (α ≈ 0,9)	Transparent au visible → effet de serre dans une serre
Eau liquide	Très forte absorption IR	Bandes intenses entre 2 et 15 µm
CO_2 (gaz)	Absorption sélective IR	Bandes vers 4,3 µm et 15 µm — rôle crucial dans l'effet de serre
Métal poli (aluminium)	Forte réflexion (ρ ≈ 0,95)	Faible absorption, faible émissivité — paraît froid en IR
Peinture noire mate	Forte absorption (α ≈ 0,95)	Proche du corps noir idéal
Sel gemme (NaCl)	Transparent à l'IR (τ ≈ 1)	Utilisé pour les fenêtres des spectromètres IR

EXPÉRIENCE – RÉCHAUFFEMENT SOUS RAYONNEMENT IR

On place une surface noire et une surface métallique polie sous une lampe IR et on mesure leur température.

Observation : La surface noire se réchauffe bien plus vite (α ≈ 0,95) que la surface métallique (α ≈ 0,05 qui réfléchit presque tout). La nature et la couleur de la surface influencent fortement l'absorption IR.

6. L'effet de serre naturel

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 (écart de 33 °C).

MÉCANISME – ÉTAPE PAR ÉTAPE

1. **Rayonnement solaire (visible + UV)** : le Soleil (~5 780 K) émet principalement dans le visible. L'atmosphère est transparente à ce rayonnement → il atteint la surface terrestre.
2. **Absorption par la surface** : sols, océans et végétation absorbent le rayonnement solaire et se réchauffent.
3. **Émission IR par la Terre** : la surface (~288 K) émet un rayonnement infrarouge (pic vers 10 µm) vers l'atmosphère.
4. **Absorption par les GES** : H_2O, CO_2, CH_4… absorbent cet IR. L'atmosphère ne laisse passer qu'une partie (fenêtres atmosphériques 8–12 µm).
5. **Ré-émission vers la Terre** : les GES réchauffés ré-émettent un rayonnement IR dans toutes les directions, dont une partie revient vers la surface → supplément d'énergie.
6. **Équilibre thermique** : la surface s'établit à un niveau plus élevé qu'en l'absence d'atmosphère.

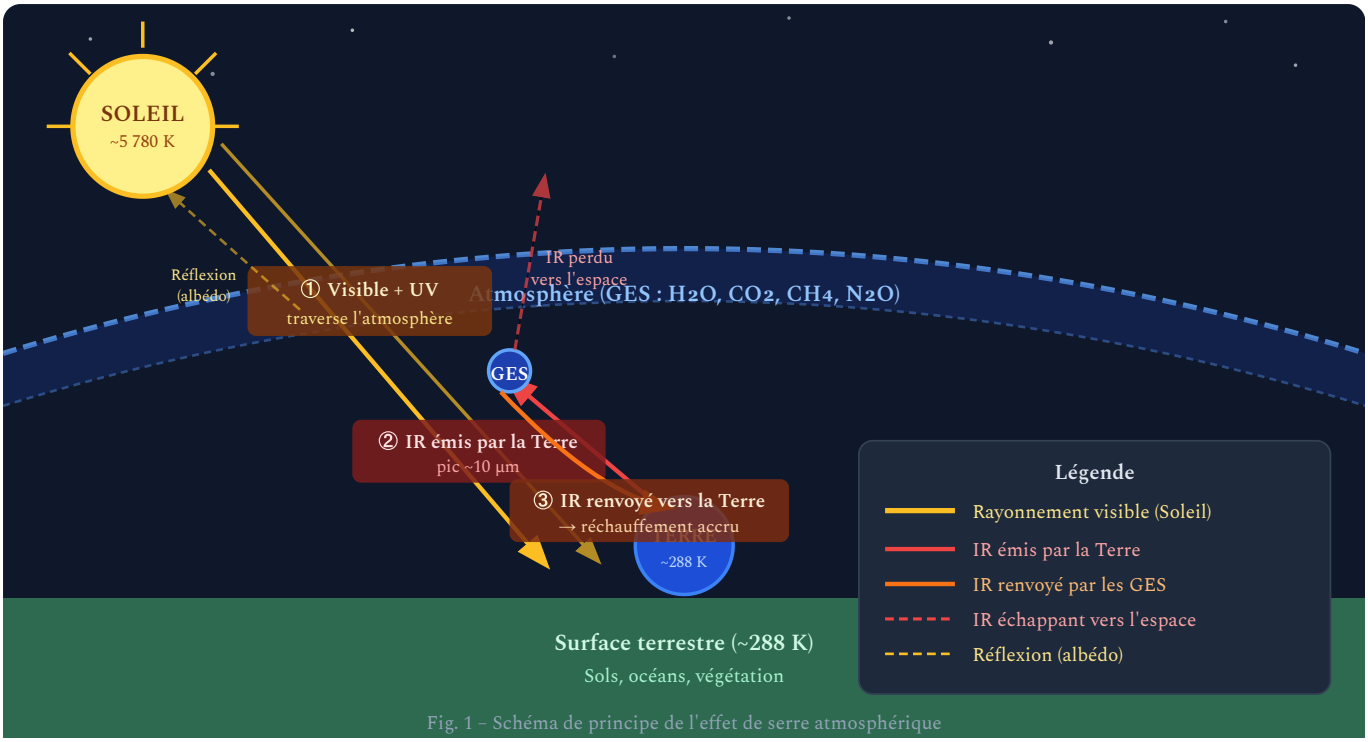


Fig. 1 – Schéma de principe de l'effet de serre atmosphérique

L'atmosphère est transparente au visible mais absorbe l'IR terrestre → les GES renvoient une partie de cet IR vers la surface (effet de serre).

POINT CLÉ

L'atmosphère est **transparente** au rayonnement visible solaire mais **absorbante** pour l'IR émis par la Terre. C'est cette asymétrie qui est à l'origine de l'effet de serre.

7. Les gaz à effet de serre (GES)

DÉFINITION

Les **gaz à effet de serre** absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre. Ils sont transparents au rayonnement visible solaire mais opaques à certaines longueurs d'onde IR (absorption par résonance moléculaire).

Gaz	Formule	Origine naturelle	Origine anthropique	PRG (100 ans)
Vapeur d'eau	H_2O	Évaporation des océans	Négligeable (directement)	— (amplificateur)
Dioxyde de carbone	CO_2	Respiration, volcans	Combustibles fossiles, déforestation, cimenterie	**1** (référence)
Méthane	CH_4	Zones humides, termites	Élevage, riziculture, décharges, gaz naturel	**28 – 36**
Protoxyde d'azote	N_2O	Sols, océans	Engrais azotés, élevage intensif, industrie	**265 – 298**
Gaz fluorés ICCER	HFC, PFC, SF_6	—	Réfrigérants, fluides frigorigènes, climatisation	**150 – 23 500**

PRG : Potentiel de Réchauffement Global sur 100 ans, par rapport au CO_2 (source : GIEC AR6, 2021).

RÔLE DE LA VAPEUR D'EAU

La vapeur d'eau est le GES le plus abondant mais sa concentration est régulée par le cycle de l'eau. L'activité humaine n'y agit pas directement, mais une augmentation de température (causée par CO_2…) entraîne plus d'évaporation → amplification : c'est un **mécanisme de rétroaction positive**.

GAZ FLUORÉS EN INSTALLATION THERMIQUE

Les HFC (hydrofluorocarbures) utilisés comme fluides frigorigènes dans les climatiseurs et pompes à chaleur ont des PRG très élevés (jusqu'à 23 500 fois le CO_2). La réglementation F-Gas impose leur remplacement progressif par des fluides à faible PRG (HFO, CO_2 R-744, ammoniac R-717).

APPLICATION

Un installateur thermique remplace 2 kg de R-410A (PRG = 2 088) par du R-32 (PRG = 675). Calculer la réduction de l'empreinte carbone équivalente (en kg CO_2 équivalent).

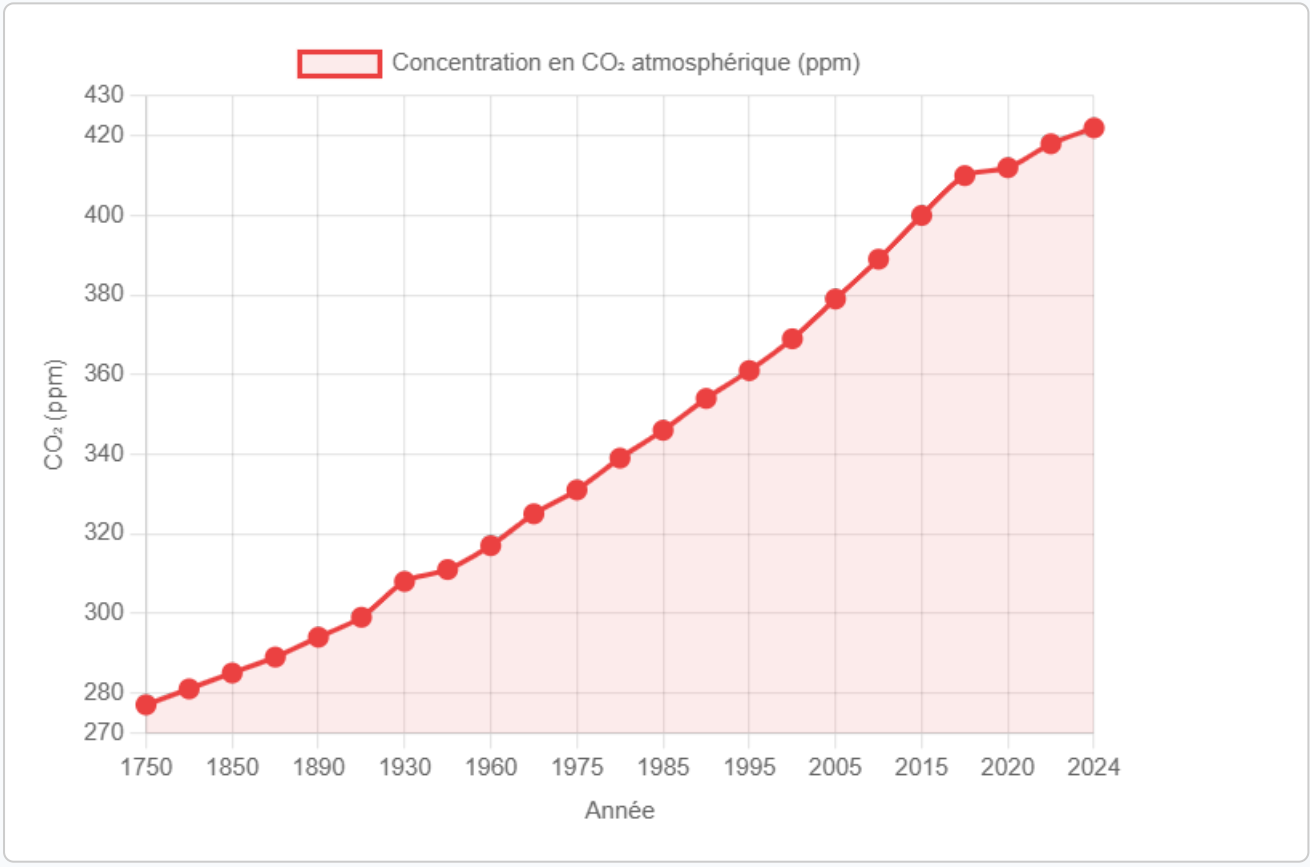
8. L'amplification de l'effet de serre par l'activité humaine

Depuis la révolution industrielle (~1850), les activités humaines ont considérablement augmenté la concentration des GES, amplifiant l'effet de serre naturel.

DONNÉES CLÉS (GIEC, 2023)

- CO_2 : ~280 ppm avant l'ère industrielle → **~422 ppm en 2024** (+50 %)
- CH_4 : concentration multipliée par 2,6 depuis l'ère préindustrielle
- Température moyenne mondiale : **+1,2 °C** depuis 1850–1900
- Réchauffement d'**origine humaine** (certitude > 95 % selon le GIEC)

Évolution de la concentration en CO_2 atmosphérique



Sources : données NOAA, Scripps Institute, Law Dome (glaces antarctiques). La ligne rouge verticale marque le début de l'ère industrielle (~1850).

COMBUSTIBLES FOSSILES ET CO_2

La combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel libère du CO2 stocké depuis des millions d'années :

$$C_nH_m + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

Le secteur de l'énergie représente plus de **70 %** des émissions mondiales de GES.

DÉFORESTATION

Les forêts sont des **puits de carbone** : elles absorbent le CO2 par photosynthèse. La déforestation libère ce carbone stocké et réduit la capacité d'absorption de la planète (~10–15 % des émissions mondiales de GES).

CONSÉQUENCES DE L'AMPLIFICATION

- Augmentation de la **température moyenne** mondiale (réchauffement climatique)
- **Fonte des glaces** et glaciers → montée du niveau des mers
- Multiplication des **événements extrêmes** (canicules, sécheresses, cyclones)
- Acidification des océans (absorption du CO2 dissous)
- Perturbation des écosystèmes et de la biodiversité

9. Mini-exercices

Exercice 1 – Loi de Wien : à quel domaine appartient le rayonnement ?

1. Calculer λ_{max} pour la surface du Soleil (T = 5 780 K). Dans quel domaine spectral se situe ce pic ?
2. Calculer λ_{max} pour la surface de la Terre (T = 288 K). Dans quel domaine spectral se situe ce pic ?
3. Calculer λ_{max} pour un filament de lampe à incandescence (T = 2 700 K).
4. Expliquer pourquoi on ne perçoit pas le rayonnement de la Terre avec nos yeux, mais qu'on peut percevoir celui du Soleil.

▶ Voir la correction

Exercice 2 – Absorption, réflexion et transmission

On mesure les propriétés de trois matériaux vis-à-vis d'un rayonnement IR :

- Matériau A : $\alpha = 0{,}85$, $\tau = 0$
- Matériau B : $\rho = 0{,}92$, $\tau = 0$
- Matériau C : $\alpha = 0{,}05$, $\rho = 0{,}05$

1. Calculer le coefficient manquant pour chaque matériau.
2. Identifier lequel est le plus proche d'un corps noir idéal.
3. Identifier lequel ressemble à un métal poli. Quel sera son comportement dans un thermogramme ?
4. Que peut-on dire du matériau C ? Donner un exemple.

▶ Voir la correction

Exercice 3 – Caméra thermique et diagnostic professionnel Métier

Un technicien de maintenance réalise un diagnostic thermographique d'un tableau électrique. La caméra affiche un point chaud à 85 °C sur une connexion, alors que les connexions voisines sont à 35 °C.

1. Calculer λ_{max} pour le point chaud (85 °C) et pour une connexion normale (35 °C).
2. Ces rayonnements sont-ils visibles à l'œil nu ? Justifier.
3. Que peut indiquer un point chaud sur une connexion électrique ?
4. La caméra est réglée pour une émissivité $\varepsilon = 0{,}95$ (peinture noire). Si le technicien vise un conducteur en cuivre poli (ε réel $\approx 0{,}03$) sans changer le réglage, la mesure sera-t-elle fiable ? Expliquer.

▶ Voir la correction

Exercice 4 – GES et fluides frigorigènes en installation thermique Métier

Une installation de climatisation utilise 5 kg de fluide frigorigène R-410A (HFC, PRG = 2 088 sur 100 ans). Ce fluide est progressivement remplacé par du R-32 (HFC, PRG = 675) ou du R-290 (propane, PRG = 3).

1. Calculer la masse équivalente en CO_2 (ou teqCO_2) pour 5 kg de R-410A.
2. Calculer la masse équivalente en CO_2 pour 5 kg de R-32.
3. Calculer la masse équivalente en CO_2 pour 5 kg de R-290.
4. Quel fluide est le plus respectueux du climat ? Quel est le facteur de réduction par rapport au R-410A ?
5. Citer un inconvénient du R-290 qui explique des contraintes d'installation particulières.

▶ Voir la correction

BILAN — CE QU'IL FAUT RETENIR

Formules et valeurs clés

- Loi de Wien : $\lambda_{max} \times T = 2{,}898 \times 10^{-3}$ m·K
- Bilan radiatif : $\alpha + \rho + \tau = 1$
- Corps humain (~37 °C) : $\lambda_{max} \approx 9{,}3$ µm (IR moyen)
- Soleil (~5 780 K) : $\lambda_{max} \approx 500$ nm (visible)
- Terre (~288 K) : $\lambda_{max} \approx 10$ µm (IR moyen)
- Sans effet de serre : −18 °C au lieu de +15 °C

Physique et installation thermique

- **Caméra thermique** → détecte l'IR, thermogramme
- **GES principaux** : H_2O, CO_2, CH_4, N_2O, HFC
- CO_2 : +50 % depuis 1850 → +1,2 °C en moyenne
- **Fluides frigorigènes HFC** = PRG très élevés → réglementation F-Gas
- Émissivité ε → à corriger pour les métaux polis
- Atmosphère : transparente au visible, absorbante à l'IR

Référence BO : Terminale Bac Pro — Groupement 1 — Physique-Chimie : « Utiliser le rayonnement thermique et comprendre l'effet de serre ». Connaissances exigibles : rayonnement thermique ; loi de Wien ; caméra thermique / thermogramme ; absorption IR (α, ρ, τ) ; effet de serre naturel ; principaux GES et origines ; amplification anthropique.

10. Tableau récapitulatif : sources de rayonnement thermique

Source	Température T (K)	λ_{max} (µm)	Domaine	Application professionnelle
Soleil	~5 780 K	~0,50	Visible (vert)	Capteurs solaires, éclairage naturel
Corps humain	~310 K (37 °C)	~9,3	Infrarouge moyen	Détecteurs de présence IR, caméras thermiques
Paroi de bâtiment	~293 K (20 °C)	~9,9	Infrarouge moyen	Thermographie bâtiment, déperditions thermiques
Échangeur chaud PAC	~323 K (50 °C)	~8,9	Infrarouge	Diagnostic PAC, suivi de condenseur
Terre (atmosphère)	~288 K (15 °C)	~10,1	Infrarouge moyen	Effet de serre, bilan énergétique planétaire
Connexion électrique défectueuse	350 – 600 K	5 – 8	Infrarouge	Thermographie électrique, maintenance préventive

11. Exercice 5 : Loi de Wien et caméra thermique

Exercice 5 – Caméra thermique et diagnostic bâtiment ICCER

Lors d'un audit énergétique, une caméra thermique est utilisée pour détecter des ponts thermiques dans une façade. L'émissivité de la paroi (crépi gris) est $\varepsilon = 0{,}90$.

1. La caméra détecte une zone à 8 °C sur la façade (pont thermique). Convertir en kelvin, puis calculer λ_{max} avec la loi de Wien.
2. La même caméra observe une gaine métallique en acier poli ($\varepsilon \approx 0{,}10$). Expliquer pourquoi la mesure sera erronée et comment y remédier.
3. Un panneau de verre extérieur a $\tau = 0$ (opaque à l'IR) et $\rho = 0{,}15$. Calculer α. La caméra peut-elle « voir » derrière le verre ?
4. À quelle température devrait-on chauffer une surface pour que son émission maximale soit dans le domaine visible ($\lambda = 0{,}7$ µm) ?

▶ Voir la correction

12. Réglementation F-Gas et impact en installation thermique

POINTS CLÉS RÉGLEMENTATION

- **Règlement F-Gas (UE 517/2014)** : réduction progressive des HFC à fort PRG
- Objectif : phase-down de 79 % des HFC d'ici 2030 (en équivalents CO_2)
- **Fluides de remplacement** : HFO (R-1234yf, PRG ≈ 4), CO_2 R-744 (PRG = 1), R-32 (PRG = 675)
- **Attestation de capacité** obligatoire pour manipuler les fluides frigorigènes (catégorie I à V)
- Tout rejet volontaire de fluide frigorigène est interdit et passible de sanctions
- Registre d'installation obligatoire : consignation des charges, fuites détectées, interventions

ERREURS FRÉQUENTES EN INSTALLATION THERMIQUE

- **Confondre λ_{max} et la longueur d'onde d'émission maximale d'énergie** : λ_{max} est le pic spectral, mais une surface rayonne sur toute une gamme de longueurs d'onde.
- **Ignorer l'émissivité ε** lors des mesures thermographiques : les métaux polis ($\varepsilon \approx 0{,}03$–$0{,}15$) faussent radicalement la mesure.
- **Assimiler GES = CO_2 uniquement** : les fluides frigorigènes HFC ont des PRG 2 000 à 23 500 fois supérieurs au CO_2.
- **Confondre l'effet de serre naturel (indispensable) et l'amplification anthropique** : sans effet de serre naturel, T = −18 °C ; le problème est l'amplification due aux émissions humaines.
- **Croire que la thermographie "voit" à travers les matériaux** : la caméra IR ne mesure que la surface d'un objet opaque à l'IR.

Erreurs fréquentes

✗ Utiliser la température en °C dans la loi de Wien

Les formules de Wien et Stefan-Boltzmann utilisent la température en **kelvins (K)**, pas en °C. Toujours convertir : T(K) = T(°C) + 273.

Conseil : écrire la conversion en première ligne avant tout calcul.

✗ Confondre λ en mètres et en micromètres

La constante de Wien vaut $2{,}898 \times 10^{-3}$ m·K. Le résultat est en mètres. Pour l'exprimer en micromètres, multiplier par 10^6 (1 m = 10^6 µm).

Conseil : vérifier que λ_max est entre 1 et 15 µm pour les corps courants (–20 °C à 1000 °C).

✗ Croire que la caméra thermique mesure la température intérieure

La caméra thermique mesure la **température de surface** et dépend de l'émissivité ε. Un matériau à faible ε (métal poli) semblera froid même s'il est chaud à l'intérieur.

Conseil : toujours régler l'émissivité sur la caméra selon le matériau observé.

✗ Confondre effet de serre naturel et réchauffement climatique

L'effet de serre naturel (+33 °C) est indispensable à la vie. C'est l'**amplification anthropique** due aux GES supplémentaires qui pose problème. Ne pas présenter l'effet de serre comme intrinsèquement négatif.

Conseil : toujours distinguer « effet de serre » (naturel) et « réchauffement climatique » (amplification).

Simulation interactive

Rayonnement thermique

PHYSIQUE-CHIMIE

04 Utiliser le rayonnement thermique et comprendre l'effet de serre

Rayonnement thermique et effet de serre | Terminale Bac Pro ICCER (Grpt 1)

Socle | Standard | Approfondissement | Tout voir

🎯 Objectifs du chapitre — cliquer pour développer

Rappels de cours — Formules essentielles

- **Loi de Stefan-Boltzmann :** $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot S$
  avec σ = 5,67 × 10^{-8} W/m^2/K^4, T en kelvins (K), S en m^2, ε = émissivité (0 ≤ ε ≤ 1)
- **Loi de Wien (longueur d'onde pic) :** $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$
  avec b = 2,898 × 10^{-3} m·K, T en kelvins, λ en mètres
- **Conversion de température :** T (K) = θ (°C) + 273
- **Albédo :** $\alpha = \frac{P_{réfléchie}}{P_{reçue}}$ — fraction du rayonnement réfléchie
- **Domaines spectraux :** UV (λ < 400 nm) | Visible (400–700 nm) | Infrarouge (λ > 700 nm)
- **Rappel d'unité :** 1 µm = 10^{-6} m = 1 000 nm

Exercices de base

SOCLE

EXERCICE 1 Conversions de température — pas à pas

Compléter les conversions suivantes en utilisant la relation $T\,(\mathrm{K}) = \theta\,(^\circ\mathrm{C}) + 273$.

Température en °C	Température en K
20 °C (température ambiante)	☐ K
60 °C (radiateur)	☐ K
−18 °C (congélateur)	☐ K
100 °C (eau bouillante)	☐ K

Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 2 Loi de Wien — QCM et calcul guidé

On considère un corps à la température T = 300 K.

1. La loi de Wien permet de calculer :

- ☐ a) La puissance rayonnée par un corps
- ☐ b) La longueur d'onde du maximum d'émission
- ☐ c) La température du corps

2. Compléter le calcul :

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{\square} = \square \text{ m}$$

3. Convertir en micromètres : $\lambda_{max} = \square$ µm

4. Ce rayonnement est dans le domaine :

- ☐ a) Ultraviolet (λ < 0,4 µm)
- ☐ b) Visible (0,4 à 0,7 µm)
- ☐ c) Infrarouge (λ > 0,7 µm)

Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 3 Loi de Stefan-Boltzmann — calcul guidé étape par étape

Un radiateur en acier peint (ε = 0,92) a une surface S = 1,5 m² et une température de surface T = 333 K (60 °C).

Étape 1 : Calculer T^4.

$T^4 = 333^4 = 333 \times 333 \times 333 \times 333 =$ ☐ K^4

Étape 2 : Appliquer la formule $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot S$.

$P =$ ☐ $\times\ 5{,}67 \times 10^{-8} \times$ ☐ $\times$ ☐

Étape 3 : Calculer le résultat.

$P =$ ☐ W

Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 4 Albédo — calcul guidé

La puissance solaire reçue par la Terre est $P_{reçue} = 1\,361\ \mathrm{W/m^2}$. L'albédo moyen de la Terre est $\alpha = 0{,}30$.

1. L'albédo représente :

- ☐ a) La fraction du rayonnement absorbée par la Terre
- ☐ b) La fraction du rayonnement réfléchie par la Terre
- ☐ c) La puissance totale émise par la Terre

2. Compléter :

$$P_{réfléchie} = \alpha \times P_{reçue} = \square \times 1\,361 = \square\ \mathrm{W/m^2}$$

3. Compléter :

$$P_{absorbée} = (1 - \alpha) \times P_{reçue} = (1 - \square) \times 1\,361 = \square\ \mathrm{W/m^2}$$

Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 5 Effet de serre — texte à compléter

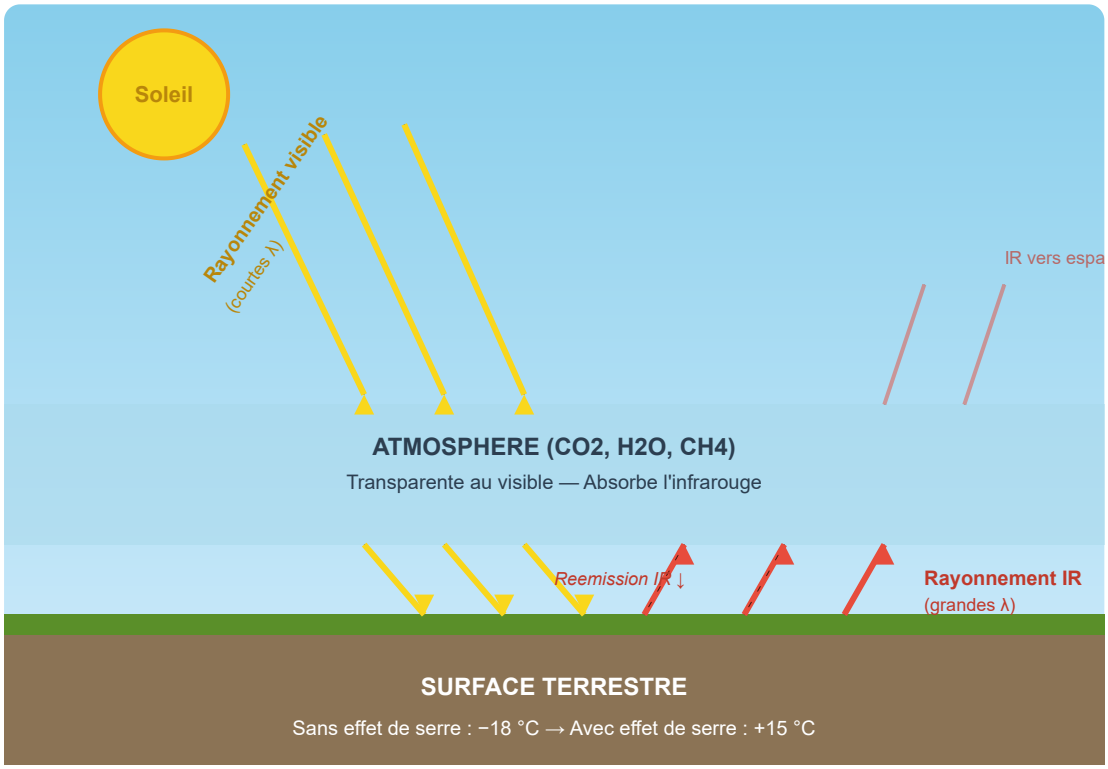
Compléter le texte avec les mots suivants : *infrarouge, visible, absorbe, température, gaz à effet de serre, atmosphère*.

Le Soleil émet un rayonnement principalement dans le domaine [ ]. Ce rayonnement traverse l'[ ] et réchauffe la surface de la Terre.

La Terre, réchauffée, réémet un rayonnement dans le domaine [ ].

L'atmosphère contient des [ ] (vapeur d'eau, CO_2) qui absorbent ce rayonnement infrarouge et le renvoient en partie vers la surface.

Ce phénomène augmente la [ ] moyenne de la Terre de −18 °C à +15 °C.



Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 6 Loi de Wien — calcul guidé pour un radiateur

Un technicien chauffagiste mesure la température de surface d'un radiateur à eau chaude : $\theta = 55\ °C$.

Étape 1 : Convertir la température en kelvins.

$T = \square + 273 = \square\ \mathrm{K}$

Étape 2 : Appliquer la loi de Wien.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{\square} = \square\ \mathrm{m}$$

Étape 3 : Convertir en micromètres et identifier le domaine spectral.

$\lambda_{max} = \square\ \mu\mathrm{m} \rightarrow$ domaine : $\square$

Étape 4 : Ce rayonnement est-il visible à l'œil nu ? Comment peut-on le détecter ?

Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 7 Conversions K ↔ °C dans les deux sens

Compléter le tableau suivant en utilisant les relations :

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

Situation	Température en °C	Température en K
Flamme d'un chalumeau	1 300 °C	☐ K
Surface du Soleil	☐ °C	5 778 K
Eau glycolée (chauffage)	−10 °C	☐ K
Fumées de chaudière	☐ °C	400 K
Zéro absolu	☐ °C	0 K

Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 8 Vrai ou Faux — Effet de serre et rayonnement

Pour chaque affirmation, indiquer si elle est **vraie** ou **fausse**, puis corriger les affirmations fausses.

1. L'effet de serre naturel est un phénomène bénéfique pour la vie sur Terre.
2. Sans effet de serre, la température moyenne de la Terre serait de +15 °C.
3. Le CO_2 absorbe le rayonnement visible du Soleil.
4. Un corps froid émet un rayonnement principalement dans l'infrarouge.
5. La caméra thermique détecte le rayonnement visible émis par les objets.
6. L'émissivité d'un corps vaut toujours exactement 1.

Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 9 Lecture d'une image de thermographie infrarouge

Un installateur thermique réalise un diagnostic avec une caméra thermique sur la façade d'un pavillon en hiver. L'image thermographique montre les zones suivantes :

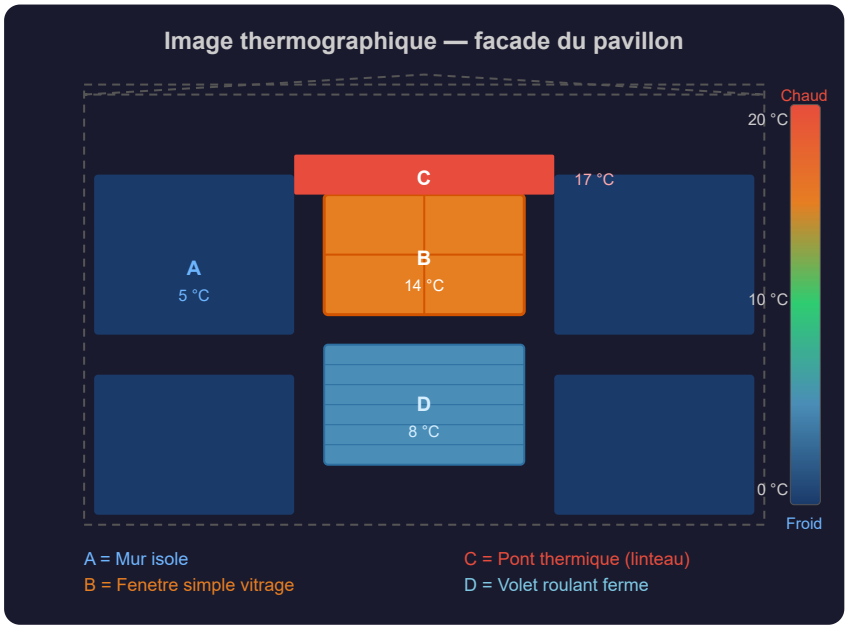
Zone	Couleur sur l'image	Température mesurée
A — Mur isolé	Bleu foncé	5 °C
B — Fenêtre simple vitrage	Orange	14 °C
C — Linteau béton (pont thermique)	Rouge	17 °C
D — Volet roulant fermé	Bleu clair	8 °C

1. Par quelle zone s'échappe le plus de chaleur ? Justifier à l'aide des températures.

2. Pourquoi la caméra thermique est-elle sensible au rayonnement infrarouge et non au rayonnement visible ?

3. Calculer la longueur d'onde pic du rayonnement émis par la zone C (T = 17 °C). Vérifier qu'il s'agit bien d'infrarouge.

4. Quelle amélioration l'installateur peut-il proposer pour réduire les pertes au niveau de la zone C ?



Mes calculs :

SOCLE

EXERCICE 10 Identifier les domaines spectraux — IR, visible, UV

Pour chaque longueur d'onde, indiquer le domaine spectral correspondant en cochant la bonne case.

Longueur d'onde	UV	Visible	Infrarouge
λ = 0,30 µm	☐	☐	☐
λ = 0,55 µm	☐	☐	☐
λ = 10 µm	☐	☐	☐
λ = 0,65 µm	☐	☐	☐
λ = 1,5 µm	☐	☐	☐

Rappel : UV : λ < 0,4 µm | Visible : 0,4 à 0,7 µm | Infrarouge : λ > 0,7 µm

Question bonus : Parmi ces rayonnements, lequel correspond approximativement à l'émission d'un corps à 300 K ? Justifier avec la loi de Wien.

Mes calculs :

Exercices d'application

STANDARD

EXERCICE 11 Comparaison Soleil / Terre — domaines spectraux et effet de serre

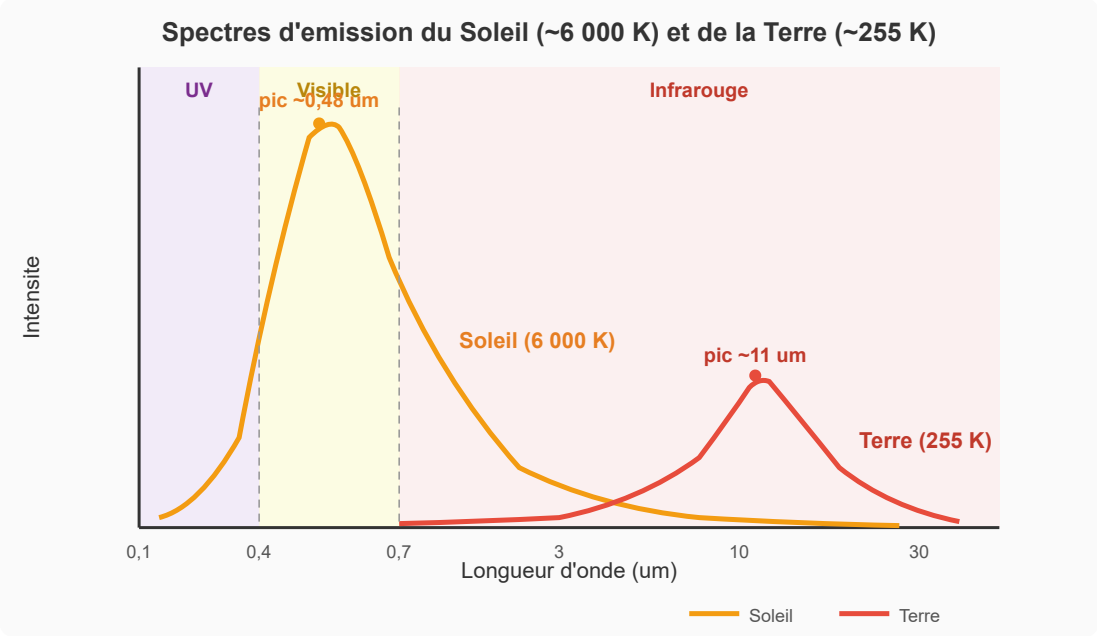
On compare le rayonnement du Soleil (T = 6 000 K) et celui de la Terre (T = 255 K, température d'équilibre sans atmosphère).

1. Calculer λ_{max} pour le Soleil (T = 6 000 K). Exprimer en µm et identifier le domaine spectral.

2. Calculer λ_{max} pour la Terre (T = 255 K). Exprimer en µm et identifier le domaine spectral.

3. Les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, CO_2) sont transparents au rayonnement solaire mais absorbent le rayonnement infrarouge terrestre. Expliquer le mécanisme de l'effet de serre naturel à partir des résultats précédents.

4. En quoi l'augmentation de la concentration en CO_2 perturbe-t-elle ce bilan radiatif ?



Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 12 Puissance rayonnée — influence de la température

Une surface noire (ε = 1) de surface S = 1 m^2 est successivement portée à différentes températures.

1. Rappeler la formule de Stefan-Boltzmann.

2. Calculer la puissance rayonnée P pour T = 300 K et pour T = 500 K.

3. Calculer le rapport $\frac{P_{500}}{P_{300}}$. Comparer avec le rapport $\frac{500}{300}$. Que peut-on conclure sur l'influence de la température ?

4. Un technicien chauffagiste mesure une température de surface de 70 °C sur un tuyau de chauffage non isolé (ε = 0,90, diamètre 28 mm, longueur 5 m). Calculer la surface latérale du tuyau puis la puissance perdue par rayonnement. Conclure sur l'intérêt de l'isolation.

Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 13 Température d'équilibre de la Terre

On veut calculer la température d'équilibre de la Terre en supposant qu'elle se comporte comme un corps noir ($\varepsilon = 1$) sans effet de serre.

Données : constante solaire $E_0 = 1\,361\ \mathrm{W/m^2}$, albédo $\alpha = 0{,}30$.

1. La Terre intercepte le rayonnement solaire sur sa section droite (disque de surface πR^2). Calculer la puissance moyenne reçue par $\mathrm{m^2}$ de surface terrestre (surface totale = $4\pi R^2$).

2. Avec $\alpha = 0{,}30$, calculer la puissance moyenne absorbée par $\mathrm{m^2}$.

3. À l'équilibre, la Terre réémet toute cette puissance en infrarouge. En égalisant $P_{absorbée} = \sigma \cdot T^4$, calculer la température d'équilibre T.

4. Comparer à la température réelle moyenne (+15 °C = 288 K). Expliquer l'écart.

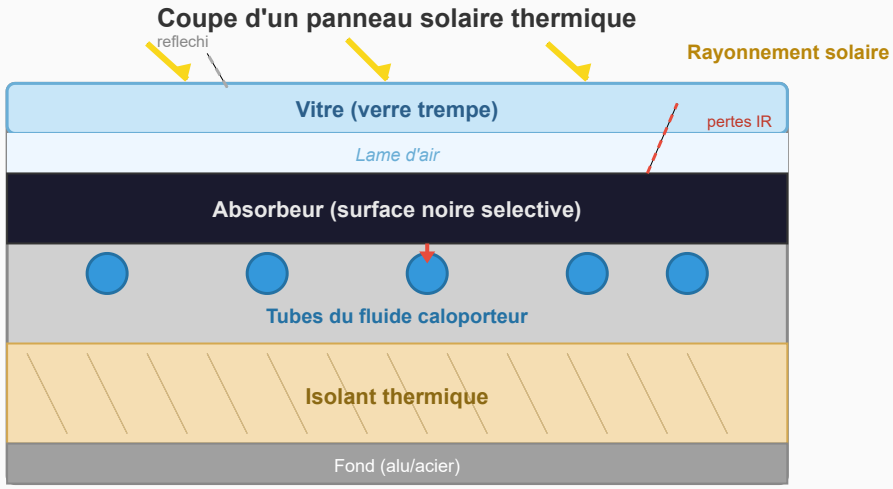
Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 14 Panneau solaire thermique — bilan radiatif de l'absorbeur

Un installateur en énergies renouvelables pose des panneaux solaires thermiques sur le toit d'un gymnase. L'absorbeur a une surface S = 2 m^2, une température T = 350 K et une émissivité ε = 0,95. La puissance solaire incidente est $P_{inc} = 800\ \mathrm{W/m^2}$.

1. Calculer la puissance solaire totale reçue par l'absorbeur.
2. Calculer la puissance rayonnée par l'absorbeur (loi de Stefan-Boltzmann).
3. Calculer la puissance nette disponible pour chauffer le fluide caloporteur.
4. Calculer le rendement radiatif $\eta = \dfrac{P_{nette}}{P_{reçue}}$. Commenter et proposer une solution technique.



L'absorbeur capte le visible et chauffe le fluide. Le revetement selectif reduit les pertes IR.

Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 15 Effet de serre dans une serre vitrée

Un simple vitrage laisse passer environ 80 % du rayonnement solaire mais est pratiquement opaque au rayonnement infrarouge.

1. Calculer la longueur d'onde pic du rayonnement solaire (T = 5 778 K). En déduire le domaine spectral.

2. Calculer la longueur d'onde pic du rayonnement émis par le sol d'une serre à T = 293 K. En déduire le domaine spectral.

3. Expliquer pourquoi la température s'élève à l'intérieur d'une serre vitrée.

4. Faire l'analogie avec l'effet de serre atmosphérique.

Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 16 Loi de Stefan-Boltzmann — dimensionner la surface d'un radiateur

Un technicien CVC doit installer un radiateur en acier peint (ε = 0,90) dans une chambre d'hôpital. La puissance de chauffage requise par rayonnement est P = 800 W. La température de surface du radiateur est T = 60 °C.

1. Convertir la température en kelvins.

2. Calculer T^4.

3. En utilisant la loi de Stefan-Boltzmann $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot S$, exprimer la surface S en fonction des autres grandeurs.

4. Calculer la surface S nécessaire. Le radiateur choisi fait 0,60 m de haut. Quelle longueur minimale doit-il avoir (on considère les deux faces) ?

Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 17 Loi de Wien — comparer trois sources de rayonnement

On compare le rayonnement de trois sources différentes rencontrées par un installateur thermique.

Source	Température
Soleil	5 778 K
Corps humain	37 °C
Plancher chauffant	28 °C

1. Convertir toutes les températures en kelvins.

2. Calculer λ_{max} pour chaque source. Exprimer les résultats en µm.

3. Classer les trois sources par ordre croissant de λ_{max}. Identifier le domaine spectral de chacune.

4. Expliquer pourquoi une caméra thermique peut détecter un corps humain dans une pièce sombre mais pas le rayonnement solaire direct.

Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 18 Caméra thermique et défauts d'isolation

Un technicien CVC effectue un diagnostic thermique d'un immeuble collectif en hiver (température extérieure : 2 °C, température intérieure : 20 °C). La caméra thermique révèle les températures de surface extérieure suivantes :

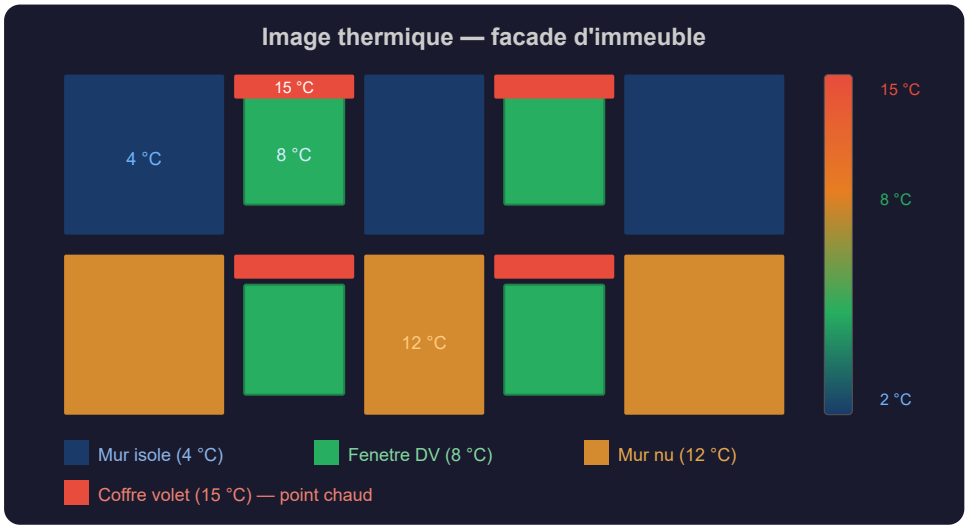
Zone inspectée	T surface ext. (°C)	Observation
Mur isolé (laine de verre)	4	Couleur bleue uniforme
Mur sans isolation	12	Couleur orange
Coffre de volet roulant	15	Couleur rouge
Fenêtre double vitrage	8	Couleur verte

1. Classer les zones de la moins déperditive à la plus déperditive. Justifier.

2. Pour la zone « coffre de volet roulant » (T = 15 °C, ε = 0,90, surface S = 0,4 m^2), calculer la puissance rayonnée par cette zone.

3. Pour la zone « mur isolé » (T = 4 °C, ε = 0,92, surface équivalente S = 0,4 m^2), calculer la puissance rayonnée et comparer.

4. Proposer deux solutions techniques pour réduire les déperditions au niveau du coffre de volet roulant.



Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 19 Spectre d'absorption des gaz à effet de serre

Les principaux gaz à effet de serre de l'atmosphère terrestre absorbent le rayonnement dans certaines bandes de longueurs d'onde. Voici les données simplifiées :

Gaz	Bandes d'absorption principales (µm)	Concentration (ppm)
Vapeur d'eau (H_2O)	2,7 ; 6,3 et au-delà de 12	Variable (0–40 000)
Dioxyde de carbone (CO_2)	4,3 et 15	420
Méthane (CH_4)	3,3 et 7,7	1,9

Rappel : la Terre émet un rayonnement infrarouge avec un pic autour de 10 µm.

1. Calculer la température de surface de la Terre qui correspond à un pic d'émission à $\lambda = 10$ µm (loi de Wien).

2. La bande d'absorption du CO_2 à 15 µm est-elle proche du pic d'émission terrestre ? Expliquer pourquoi le CO_2 est un gaz à effet de serre efficace.

3. Quel gaz possède l'effet de serre le plus important en valeur absolue ? Justifier.

4. Expliquer pourquoi, malgré sa faible concentration (420 ppm), l'augmentation du CO_2 est la principale cause du réchauffement climatique d'origine humaine.

Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 20 Comparer les émissivités de matériaux courants

Un technicien chauffagiste doit choisir le revêtement d'un tuyau de chauffage pour minimiser les pertes par rayonnement. Le tuyau a une surface S = 0,50 m^2 et une température de surface T = 50 °C.

Revêtement	Émissivité ε
Peinture noire mate	0,95
Peinture blanche	0,90
Acier galvanisé nu	0,25
Feuille d'aluminium	0,05

1. Convertir la température en kelvins et calculer T^4.

2. Calculer la puissance rayonnée pour chaque revêtement. Présenter les résultats dans un tableau.

3. Calculer le rapport entre la puissance rayonnée par la peinture noire et celle de la feuille d'aluminium.

4. En déduire l'intérêt d'envelopper les tuyaux de chauffage non calorifugés avec une feuille d'aluminium.

Mes calculs :

STANDARD

EXERCICE 21

Loi de Wien appliquée au chauffage — plancher chauffant vs radiateur haute température

Un installateur thermique compare deux systèmes de chauffage :

- **Plancher chauffant basse température :** T surface = 28 °C
- **Radiateur haute température :** T surface = 75 °C

1. Calculer λ_{max} pour chaque système. Exprimer en µm.

2. Les deux systèmes émettent-ils dans le même domaine spectral ? Justifier.

3. Calculer la puissance rayonnée par m^2 pour chaque système (on prend ε = 0,90 pour les deux).

4. Calculer le rapport des puissances rayonnées. En déduire pourquoi un plancher chauffant nécessite une grande surface d'émission pour compenser sa faible température.

Mes calculs :

Exercices contextualisés — Installation thermique

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 22

Installation de capteurs solaires thermiques — optimisation du rendement

Un technicien en énergies renouvelables installe des panneaux solaires thermiques sur un toit. La surface totale de captation est S = 6 m^2. Chaque mètre carré reçoit $P_{solaire} = 700$ W/m^2. Les capteurs fonctionnent à T = 360 K.

1. Calculer la puissance solaire totale reçue par les capteurs.

2. Calculer la puissance rayonnée par les capteurs avec ε = 0,95 (peinture noire classique).

3. Calculer la puissance nette et le rendement radiatif. Conclure.

4. Le technicien propose des capteurs à revêtement sélectif (ε = 0,10). Calculer la nouvelle puissance rayonnée, la nouvelle puissance nette et le gain relatif par rapport à la situation initiale.

5. En supposant que le fluide caloporteur circule à un débit de 0,05 kg/s et que toute la puissance nette est transmise au fluide (capacité thermique c = 4 180 J/(kg·K)), calculer l'élévation de température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur dans le cas du revêtement sélectif. Commenter.

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 23 Isolation d'une toiture — rayonnement et écran réfléchissant

Un technicien CVC étudie les pertes par rayonnement d'une toiture de surface S = 80 m^2. La surface intérieure est à T_1 = 15 °C avec une émissivité ε = 0,85.

1. Convertir T_1 en kelvins et calculer la puissance rayonnée par la surface intérieure.

2. La surface extérieure est à T_2 = −5 °C avec ε = 0,85. Calculer la puissance rayonnée vers l'extérieur.

3. Calculer le bilan net des échanges par rayonnement à travers la toiture.

4. Un écran réfléchissant (pare-vapeur aluminisé, ε = 0,05) est placé côté intérieur. Calculer la nouvelle puissance rayonnée depuis la surface intérieure et le pourcentage de réduction.

5. Estimer le coût annuel des pertes par rayonnement avec et sans écran, sachant que le prix de l'énergie est 0,12 €/kWh et que la saison de chauffe dure 5 mois (3 650 heures). Conclure sur la rentabilité de l'écran (coût d'installation : environ 800 €).

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 24 Bilan thermique d'un bâtiment — déperditions par les parois

Un technicien CVC réalise le bilan thermique d'un local industriel. Le bâtiment possède les parois suivantes exposées à l'extérieur :

Paroi	Surface (m^2)	T surface int. (°C)	Émissivité ε
Mur béton	120	18	0,93
Toiture tôle	200	16	0,28
Vitrage	30	12	0,92

1. Calculer la puissance rayonnée par chaque paroi (côté intérieur).

2. Calculer la puissance totale rayonnée par l'ensemble des parois intérieures.

3. Quelle paroi contribue le plus aux pertes par rayonnement ? Quelle paroi contribue le moins par m^2 ? Expliquer.

4. Proposer et chiffrer une solution pour réduire les pertes radiatives de la toiture (par exemple, ajout d'un film réfléchissant ε = 0,05 sous la tôle).

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 25 Impact climatique des fluides frigorigènes — problème ouvert

Un installateur de pompes à chaleur doit choisir un fluide frigorigène pour une installation neuve. Voici les données disponibles :

Fluide	PRG (100 ans)	Charge typique PAC	Taux de fuite annuel
R-410A	2 088	4,2 kg	5 %
R-32	675	3,0 kg	3 %
R-290 (propane)	3	1,5 kg	1 %

Rappel : équivalent CO_2 = masse × PRG. Le seuil réglementaire F-Gas pour le contrôle d'étanchéité annuel est 5 tonnes éq. CO_2.

1. Calculer l'équivalent CO_2 de la charge initiale pour chaque fluide. Lequel dépasse le seuil F-Gas ?

2. Calculer la masse de fluide perdue par fuite chaque année pour chaque fluide, et l'équivalent CO_2 annuel correspondant.

3. Sur une durée de vie de 15 ans, calculer l'impact climatique total (charge initiale + fuites cumulées) pour chaque fluide en tonnes éq. CO_2.

4. Rédiger un avis argumenté pour le client en comparant les trois solutions (impact environnemental, contraintes réglementaires, coût de maintenance).

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 26

Audit thermique complet d'un bâtiment — déperditions par rayonnement

Un technicien CVC réalise l'audit thermique d'une maison individuelle de plain-pied (100 m^2 au sol). Il relève les données suivantes en période de chauffe (température intérieure 20 °C, extérieure 0 °C) :

Paroi	Surface (m^2)	T surf. int. (°C)	T surf. ext. (°C)	ε int.
Murs isolés (laine de roche)	85	19	3	0,92
Toiture isolée (laine de verre)	100	18	2	0,90
Fenêtres double vitrage	15	14	6	0,92
Porte d'entrée (bois)	2	16	8	0,90
Plancher bas (dalle béton)	100	19	—	0,93

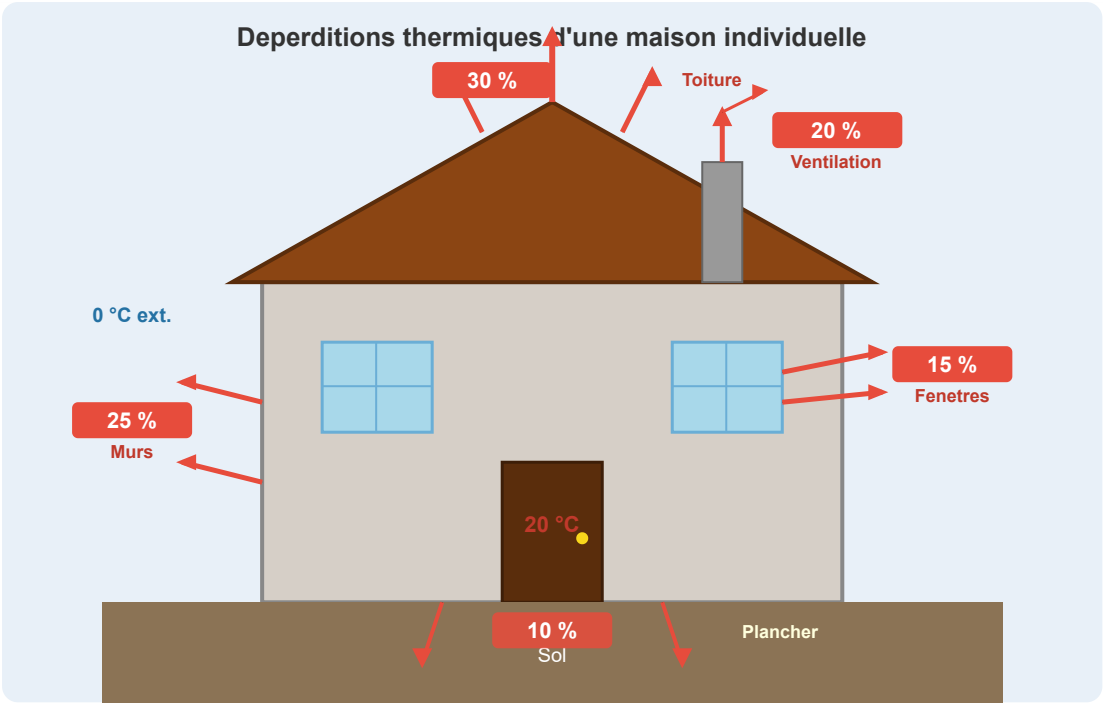
1. Calculer la puissance rayonnée par la surface intérieure de chaque paroi (sauf plancher bas, qui rayonne vers l'intérieur et ne constitue pas une déperdition directe).

2. Calculer la puissance totale rayonnée par les surfaces intérieures des parois donnant sur l'extérieur.

3. En supposant que les surfaces extérieures de ces parois rayonnent aussi (avec les T surf. ext. données et ε = 0,90), calculer le bilan net par rayonnement pour les murs isolés uniquement.

4. Le technicien constate que les fenêtres représentent seulement 15 m^2 sur 202 m^2 de parois, mais contribuent significativement aux pertes. Calculer la puissance rayonnée par m^2 pour les fenêtres et pour les murs isolés. Comparer et expliquer.

5. Proposer un plan d'amélioration hiérarchisé (3 actions prioritaires) en justifiant chaque choix par les résultats numériques.


Deperditions thermiques d'une maison individuelle
30 %
Toiture
20 %
Ventilation
0 °C ext.
15 %
Fenetres
25 %
Murs
20 °C
10 %
Sol
Plancher

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 27 Bilan énergétique — radiateur électrique vs pompe à chaleur

Un technicien en énergies renouvelables compare deux solutions de chauffage pour un local de 40 m^2. Le besoin de chauffage par rayonnement est de 2 500 W.

Solution A — Radiateur électrique à inertie : ε = 0,92, T surface = 65 °C, COP = 1 (rendement de conversion électrique → chaleur = 100 %).

Solution B — Pompe à chaleur air-eau + plancher chauffant : ε = 0,90, T surface = 28 °C, COP = 3,5.

1. Pour la solution A, calculer la surface de radiateur nécessaire pour émettre 2 500 W par rayonnement.

2. Pour la solution B, calculer la puissance rayonnée par m^2 de plancher. En déduire la surface de plancher chauffant nécessaire.

3. Calculer la consommation électrique de chaque solution pour produire 2 500 W de chauffage, en utilisant le COP.

4. En supposant un fonctionnement de 8 heures par jour pendant 180 jours (saison de chauffe) et un prix de l'électricité de 0,18 €/kWh, calculer le coût annuel de chaque solution.

5. La pompe à chaleur coûte 8 000 € de plus que les radiateurs électriques à l'installation. Calculer le temps de retour sur investissement.

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 28 Modélisation de l'effet de serre — bilan radiatif à une couche

On modélise l'effet de serre avec un modèle simplifié à une couche atmosphérique :

- La Terre reçoit une puissance solaire moyenne $P_s = 240\ \text{W/m}^2$ (après réflexion par l'albédo).
- L'atmosphère est modélisée par une couche unique, transparente au rayonnement visible, qui absorbe une fraction f du rayonnement infrarouge terrestre et le réémet moitié vers le sol, moitié vers l'espace.
- La surface terrestre est un corps noir (ε = 1).

1. Sans atmosphère (f = 0), écrire le bilan radiatif de la surface. En déduire la température de surface T_0.

2. Avec atmosphère (f quelconque), la surface reçoit P_s du Soleil et $\frac{f}{2} \cdot \sigma T_s^4$ de l'atmosphère. Écrire le bilan radiatif de la surface à l'équilibre.

3. En déduire l'expression de T_s en fonction de P_s, σ et f.

4. Calculer T_s pour f = 0 ; f = 0,50 ; f = 0,78 ; f = 1. Exprimer en °C. Quelle valeur de f donne une température proche de +15 °C ?

5. L'augmentation du CO2 fait passer f de 0,78 à 0,80. Calculer la nouvelle température et l'élévation correspondante. Commenter.

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 29

Dimensionnement d'un capteur solaire thermique — production d'eau chaude sanitaire

Un technicien en énergies renouvelables dimensionne une installation solaire thermique pour un foyer de 4 personnes. Données :

- Besoin en eau chaude sanitaire : 50 litres/personne/jour à 55 °C
- Température d'eau froide du réseau : 12 °C
- Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4\,180$ J/(kg·K)
- Ensoleillement moyen annuel sur le site : 4,2 kWh/m²/jour
- Capteurs à revêtement sélectif : $\varepsilon = 0{,}08$, absorption solaire $\alpha = 0{,}95$
- Température de fonctionnement des capteurs : T = 65 °C
- Pertes optiques et thermiques annexes : 20 % de l'énergie captée

1. Calculer le volume total d'eau chaude nécessaire par jour et l'énergie thermique correspondante en kWh.

2. Calculer la puissance rayonnée par m² de capteur à T = 65 °C (loi de Stefan-Boltzmann). Exprimer en W/m².

3. L'ensoleillement moyen est de 4,2 kWh/m²/jour, soit environ 4 200 Wh/m²/jour. Avec une absorption $\alpha = 0{,}95$, calculer l'énergie solaire utile captée par m² et par jour.

4. En soustrayant les pertes par rayonnement (sur 6 h d'ensoleillement effectif) et les pertes annexes (20 %), calculer l'énergie nette disponible par m² et par jour.

5. En déduire la surface de capteurs nécessaire. Proposer un nombre de capteurs (surface unitaire : 2,5 m²) et estimer le taux de couverture solaire annuel.

Mes calculs :

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 30

Analyse coût-bénéfice de l'isolation thermique d'un réseau de chauffage

Un technicien chauffagiste diagnostique un réseau de distribution de chauffage dans un sous-sol non chauffé. Le réseau comprend :

Tronçon	Diamètre (mm)	Longueur (m)	T surface (°C)	ε
Départ chaudière	42	15	70	0,90
Distribution étage	28	25	55	0,90
Retour chaudière	42	15	40	0,90

Données complémentaires : prix du gaz naturel = 0,08 €/kWh PCI, rendement chaudière = 92 %, saison de chauffe = 5 mois = 3 650 h, prix d'une coquille isolante (ε résiduel = 0,10, T surface avec coquille = 25 °C) = 12 €/mètre linéaire.

1. Calculer la surface latérale ($S = \pi \times d \times L$) de chaque tronçon.

2. Calculer la puissance perdue par rayonnement pour chaque tronçon non isolé.

3. Calculer la puissance totale perdue par le réseau non isolé.

4. Avec les coquilles isolantes (ε = 0,10, T surface = 25 °C = 298 K), calculer la nouvelle puissance totale perdue par rayonnement pour l'ensemble du réseau.

5. Calculer l'énergie économisée sur une saison de chauffe (en kWh). En tenant compte du rendement chaudière, calculer l'économie de gaz et le coût évité.

6. Calculer le coût total d'installation des coquilles et le temps de retour sur investissement. Rédiger une conclusion pour le client.

Mes calculs :

À retenir

- Tout corps émet un rayonnement thermique. Sa puissance est donnée par la **loi de Stefan-Boltzmann** : $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot S$. La puissance varie comme T⁴ : très sensible à la température.
- La **loi de Wien** $\lambda_{max} = b/T$ indique la longueur d'onde du maximum d'émission. Plus le corps est chaud, plus le rayonnement est à courte longueur d'onde (vers le visible). Un corps froid rayonne dans l'infrarouge.
- L'**effet de serre** repose sur la différence de domaine spectral entre le rayonnement solaire (visible) et le rayonnement terrestre (infrarouge) que les gaz à effet de serre absorbent.
- Pour les **capteurs solaires thermiques**, le revêtement sélectif (ε faible) réduit drastiquement les pertes par rayonnement infrarouge.
- Un **écran réfléchissant** (feuille aluminisée, ε ≈ 0,05) réduit fortement les échanges par rayonnement dans une paroi.

PHYSIQUE-CHIMIE

04 Utiliser le rayonnement thermique et comprendre l'effet de serre

Utiliser le rayonnement thermique et comprendre l'effet de serre | Terminale Bac Pro ICCER (Grpt 1)

Socle | Standard | Approfondissement | Tout voir

🎯 Objectifs du chapitre — cliquer pour développer

Durée
55 minutes

Barème
20 points

Documents
Non autorisés (sauf fiche de formules fournie)

Calculatrice
Autorisée

SOCLE

EXERCICE 1 — Rayonnement d'un radiateur — calculs guidés — 8 points

Un technicien chauffagiste vérifie les performances d'un radiateur en acier peint dans un appartement. La température de surface du radiateur est de 60 °C. Le radiateur a une surface d'émission S = 1,8 m².

Données :

- Constante de Wien : $b = 2{,}898 \times 10^{-3}$ m·K
- Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W·m^{-2}·K^{-4}
- Émissivité de l'acier peint : $\varepsilon = 0{,}92$
- T(K) = T(°C) + 273

1. Convertir la température du radiateur en kelvins. Compléter : *(1 pt)*

$T = 60 + \square = \square$ K

2. Appliquer la loi de Wien. Compléter le calcul : *(2 pts)*

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{\square} = \square \text{ m} = \square \text{ µm}$$

3. Ce rayonnement se situe dans le domaine : *(1 pt)*

☐ ultraviolet (λ < 0,4 µm) ☐ visible (0,4 à 0,7 µm) ☐ infrarouge (λ > 0,7 µm)

4. Appliquer la loi de Stefan-Boltzmann. Compléter : *(3 pts)*

$T^4 = 333^4 = \square$ K^4

$P = \varepsilon \times \sigma \times S \times T^4 = \square \times 5{,}67 \times 10^{-8} \times \square \times \square$

$P = \square$ W

5. La puissance nominale du radiateur est 1 200 W. Pourquoi peint-on les radiateurs plutôt que de les laisser en acier brut (ε ≈ 0,25) ? *(1 pt)*

SOCLE

EXERCICE 2 Effet de serre — QCM et texte à compléter 6 points

On étudie le mécanisme de l'effet de serre et son rôle dans le bilan énergétique de la Terre.

1. Le Soleil émet principalement dans le domaine : *(1 pt)*

☐ infrarouge ☐ visible ☐ ultraviolet

2. La Terre, réchauffée, réémet dans le domaine : *(1 pt)*

☐ infrarouge ☐ visible ☐ ultraviolet

3. Compléter le texte avec les mots : *infrarouge, gaz à effet de serre, +15 °C, −18 °C*. *(2 pts)*

Les ☐ (CO_2, vapeur d'eau) absorbent le rayonnement ☐ émis par la Terre et le renvoient en partie vers la surface. Sans ce phénomène, la température serait de ☐ au lieu de ☐.

4. Citer deux gaz à effet de serre naturels et un gaz à effet de serre d'origine industrielle. *(1,5 pt)*

5. L'augmentation du CO_2 dans l'atmosphère provoque : *(0,5 pt)*

☐ un refroidissement de la Terre ☐ un réchauffement de la Terre ☐ aucun effet

SOCLE

EXERCICE 3 Albédo — calcul guidé — 6 points

La puissance solaire reçue par la Terre est $P_{reçue} = 1\,361$ W/m^2. L'albédo moyen est α = 0,30.

1. Compléter la définition : l'albédo est la fraction du rayonnement ☐ par la Terre. *(1 pt)*

2. Calculer la puissance réfléchie : *(1,5 pt)*

$P_{réfléchie} = \alpha \times P_{reçue} = \square \times 1\,361 = \square$ W/m^2

3. Calculer la puissance absorbée : *(1,5 pt)*

$P_{absorbée} = (1 - \alpha) \times P_{reçue} = \square \times 1\,361 = \square$ W/m^2

4. La neige a un albédo de 0,85 et l'océan de 0,06. Laquelle absorbe le plus de rayonnement solaire ? *(1 pt)*

5. Si les glaces polaires fondent, l'albédo de la Terre augmente-t-il ou diminue-t-il ? Quel est l'effet sur le réchauffement ? *(1 pt)*

TOTAL : 20 points

STANDARD

EXERCICE 1 Radiateur de chauffage central 7 points

Un technicien chauffagiste vérifie les performances d'un radiateur en acier dans un appartement. La température de surface du radiateur est de 60 °C. Le radiateur a une surface totale d'émission A = 1,8 m^2.
Données :

- Constante de Wien : $\lambda_{max} \times T = 2{,}898 \times 10^{-3}$ m·K
- Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W·m^{-2}·K^{-4}
- Émissivité de l'acier peint : $\varepsilon = 0{,}92$
- T(K) = T(°C) + 273

1. Convertir la température de surface du radiateur en kelvins. *(0,5 pt)*

2. Appliquer la loi de Wien pour déterminer la longueur d'onde λ_{max} du maximum d'émission. *(1,5 pt)*

3. Dans quel domaine spectral se situe ce rayonnement (visible, infrarouge, ultraviolet) ? Justifier. *(1 pt)*

4. Appliquer la loi de Stefan-Boltzmann pour calculer la puissance totale P rayonnée par le radiateur. *(2 pts)*

5. La puissance de chauffage nominale du radiateur est de 1 200 W (convection + rayonnement). Quel pourcentage de cette puissance est émis par rayonnement ? *(1 pt)*

6. Pourquoi peint-on les radiateurs plutôt que de les laisser en acier brut ($\varepsilon \approx 0{,}25$) ? *(1 pt)*

STANDARD

EXERCICE 2 Thermogramme d'un bâtiment — 7 points

Un technicien en efficacité énergétique réalise un diagnostic thermique d'un immeuble à l'aide d'une caméra thermique. Le thermogramme révèle :

- Mur courant (bien isolé) : $T_1 = 8\ °C$
- Zone de pont thermique (linteau béton) : $T_2 = 14\ °C$
- Fenêtre simple vitrage : $T_3 = 18\ °C$

Température intérieure $T_{int} = 20\ °C$, extérieure $T_{ext} = 5\ °C$.

Rappel : $\alpha + \rho + \tau = 1$ (absorption + réflexion + transmission).

1. Expliquer le principe de fonctionnement d'une caméra thermique. Quel type de rayonnement détecte-t-elle ? *(1,5 pt)*

2. Parmi les trois zones, laquelle présente les plus grandes déperditions thermiques ? Justifier. *(1,5 pt)*

3. Un mur opaque a $\tau = 0$ et $\rho = 0{,}15$. Calculer son coefficient d'absorption α. *(1 pt)*

4. Une vitre a $\alpha = 0{,}10$ et $\rho = 0{,}08$. Calculer son coefficient de transmission τ. Que signifie cette valeur ? *(1,5 pt)*

5. Proposer deux solutions pour réduire les déperditions thermiques observées. *(1,5 pt)*

STANDARD

EXERCICE 3 Gaz à effet de serre et réglementation F-Gas — 6 points

Un installateur thermique travaille sur une pompe à chaleur contenant du fluide frigorigène R-410A.
Données :

- PRG du R-410A : 2 088 ; PRG du R-32 : 675 ; PRG du CO_2 : 1 (référence)
- Charge de la PAC : 4,2 kg de R-410A

1. Expliquer en deux ou trois phrases le mécanisme de l'effet de serre naturel. *(1,5 pt)*

2. Citer deux gaz à effet de serre naturels et deux d'origine industrielle. *(1 pt)*

3. Calculer l'équivalent CO_2 de la charge de R-410A (éq. CO_2 = masse × PRG). *(1 pt)*

4. Le seuil F-Gas pour le contrôle d'étanchéité annuel est 5 t éq. CO_2. Cette PAC y est-elle soumise ? *(1 pt)*

5. Calculer le nouvel équivalent CO_2 si on remplace le R-410A par du R-32 (même charge). Quel est l'avantage ? *(1,5 pt)*

TOTAL : 20 points

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 1 — Diagnostic thermique d'un local — bilan radiatif complet — 8 points

Un technicien CVC réalise le bilan thermique d'un local technique. Le mur principal (béton, $\varepsilon = 0{,}93$) a une surface $S = 25\ m^2$ et une température intérieure de surface $T_{int} = 19\ °C$. La température extérieure est $T_{ext} = 2\ °C$.

Données : $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-4}$; $b = 2{,}898 \times 10^{-3}\ m{\cdot}K$.

1. Convertir T_{int} et T_{ext} en kelvins. *(0,5 pt)*

2. Calculer la puissance rayonnée par la surface intérieure du mur. *(1,5 pt)*

3. Calculer la longueur d'onde du maximum d'émission du mur intérieur. Identifier le domaine spectral. *(1,5 pt)*

4. Un écran réfléchissant ($\varepsilon = 0{,}05$) est posé sur la face intérieure du mur. Calculer la nouvelle puissance rayonnée et le pourcentage de réduction. *(2 pts)*

5. Le prix de l'énergie est 0,15 €/kWh et la saison de chauffe dure 4 000 heures. Estimer l'économie annuelle réalisée grâce à l'écran réfléchissant sur ce mur seul. L'écran coûte 120 €. En combien de temps est-il rentabilisé ? *(2,5 pts)*

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 2 Capteur solaire thermique — optimisation et rendement 6 points

Un installateur en énergies renouvelables dimensionne un chauffe-eau solaire individuel (CESI). Le capteur plan a une surface utile $S = 4\ m^2$, reçoit un ensoleillement moyen de 650 W/m^2 et fonctionne à $T = 345\ K$.
Données : $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-4}$. Deux types de revêtement sont envisagés : peinture noire ($\varepsilon = 0{,}95$) et revêtement sélectif ($\varepsilon = 0{,}08$).

1. Calculer la puissance solaire totale reçue. *(0,5 pt)*

2. Pour chaque revêtement, calculer la puissance rayonnée par le capteur et la puissance nette disponible. *(2,5 pts)*

3. Le fluide caloporteur (eau glycolée, $c = 3\,800\ J/(kg{\cdot}K)$) circule à 0,04 kg/s. Calculer l'élévation de température du fluide pour le revêtement sélectif. *(1,5 pt)*

4. Le ballon de stockage contient 200 L d'eau à 15 °C. En supposant un rendement global de 45 %, combien de temps faut-il pour atteindre 55 °C ? On donne $c_{eau} = 4\,180\ J/(kg{\cdot}K)$. *(1,5 pt)*

APPROFONDISSEMENT

EXERCICE 3 Fluides frigorigènes et impact climatique — analyse comparative

6 points

Un installateur de pompes à chaleur compare trois fluides pour une PAC résidentielle.

Fluide	PRG (100 ans)	Charge (kg)	Fuite annuelle (%)
R-410A	2 088	4,2	5 %
R-32	675	3,0	3 %
R-290 (propane)	3	1,5	1 %

Rappel : éq. CO_2 = masse × PRG. Seuil F-Gas : 5 t éq. CO_2.

1. Calculer l'équivalent CO_2 de la charge initiale pour chaque fluide. Lequel dépasse le seuil F-Gas ? *(1,5 pt)*

2. Calculer la masse de fluide perdue par fuite chaque année et l'équivalent CO_2 annuel pour chaque fluide. *(1,5 pt)*

3. Sur 15 ans, calculer l'impact climatique total (charge + fuites cumulées) en tonnes éq. CO_2 pour chaque fluide. *(1,5 pt)*

4. Rédiger un avis argumenté pour le client comparant les trois solutions (impact environnemental, contraintes réglementaires, sécurité). *(1,5 pt)*

TOTAL : 20 points