

Série d'exercices n°14

** Exercice 1 *Effet de serre*

Un exercice de bilan de rayonnement thermique (semaine 13, transparents 22 et 23) et qui clarifie ce qui est ou ce qui n'est pas effet de serre.

On considère un modèle simplifié d'effet de serre. Soit un revêtement sombre absorbant la lumière solaire et recouvert par une vitre qui est parfaitement transparente à la lumière solaire (\approx visible, UV et IR proche) et parfaitement opaque dans l'infra-rouge moyen ($\approx 10\mu\text{m}$). Soit T_n , T_v et T_e les températures du revêtement absorbant, de la vitre et de l'air ambiant à l'extérieur. On notera E_s , l'énergie reçue par l'éclairement solaire. On ne considèrera que les échanges de chaleur par rayonnement.

1. Ecrire le bilan des échanges de chaleur pour le revêtement absorbant.
2. Ecrire le bilan des échanges de chaleur pour la vitre.
3. En déduire une relation entre T_e , T_n et E_s .
4. Calculer T_n .

A.N. : $T_e = 300\text{K}$, $E_s = 1\text{kW/m}^2$, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ (constante de Stefan).

Remarque : C'est souvent la manière qui est utilisée pour expliquer le fonctionnement d'une serre de jardinerie. En fait si ce modèle s'applique bien à l'effet de serre pour le climat et les gaz à effet qui ont un rôle comparable à celui de la vitre, ce modèle ne s'applique pas vraiment pour une serre de jardinage où l'augmentation de la température est due au fait que l'on bloque la conduction thermique par convection. Cela a été mis en évidence dès 1909 par R.W. Wood (Note on the Theory of the Greenhouse. The London, Edinburgh and Dublin philosophical magazine and journal of science, 1909, vol17 Ser 6 Page 319). Cette idée reçue est encore très répandue de nos jours. Paradoxalement, pour éviter la confusion, les climatologues préfèrent utiliser le terme de "forçage radiatif" pour désigner en fait le "vrai" effet de serre.

** Exercice 2 *Température du soleil et des planètes*

Un autre exercice de bilan de rayonnement thermique (semaine 13, transparents 22 et 23) et qui donne très simplement la température des planètes d'un système solaire.

Un simple calcul d'ordre de grandeur permet de calculer le rapport de température entre la surface d'une planète et d'une étoile. Soit T_s la température de l'étoile et R_s son rayon. L'étoile rayonne de manière isotrope dans tout l'espace.

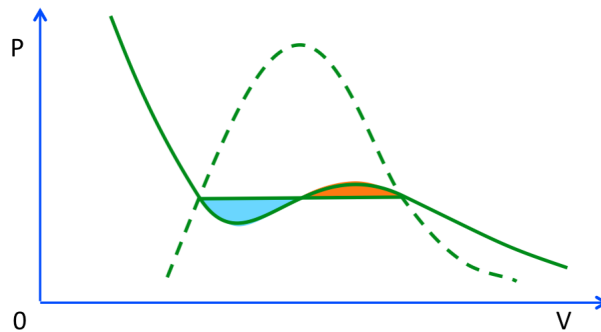
1. Calculer la puissance reçue par une planète de rayon R_p située à une distance $d \gg R_s$ et R_p . On suppose que l'émissivité de la planète et de l'étoile sont égales à 1.
2. La température de la planète est T_p . Calculer la puissance rayonnée par la planète.
3. En déduire une relation entre T_p , T_s , R_s et d .
4. Cas de la terre : La température moyenne à la surface de la terre est de $T_p = 287\text{K}$, la température est aussi un peu affectée par l'effet de serre dû à la présence de l'atmosphère, $R_s = 7 \cdot 10^8\text{m}$ et $d = 1.5 \cdot 10^{11}\text{m}$. Calculer T_s .



*** Exercice 3 Règle de Maxwell pour un gaz de van der Waals (Examen SIE 2016)

Cet exercice est inspiré de l'article : Am. J. Phys. vol. 50, 163 (1982)

Le but du problème est de démontrer la règle de Maxwell pour un gaz de van der Waals (VdW) qui énonce que le palier de liquéfaction est tel que les aires des deux surfaces comprises entre le palier de liquéfaction et l'isotherme de l'équation d'état de VdW sont égales (aires bleue et orange sur le schéma)



- Sur le diagramme ($p - V$) ci-dessus, indiquez **clairement et sans ambiguïté** :
 - Le palier de liquéfaction
 - Une isotherme de l'équation d'état de VdW
 - La pression de vapeur saturante p_{sat} à la température de l'isotherme
 - La courbe de saturation
 - La région où on observe un mélange des formes liquides et gazeuses
 - Le point L et le volume V_L au delà duquel il n'existe plus que la phase liquide lorsque l'on suit l'isotherme dessinée sur le schéma
 - Idem pour le point G et le volume V_G au delà duquel il n'existe plus que la phase gazeuse
- Soit dU la forme différentielle de l'énergie interne du gaz. $dU = TdS - pdV$, où T est la température, S l'entropie, p la pression et V le volume. Cette relation est-elle toujours vraie ou seulement restreinte à des transformations réversibles ? Justifiez votre réponse sur les feuilles libres.

☐ Oui, toujours vraie
☐ Non, seulement réversibles
- Soit H l'enthalpie $H = U + pV$. Expliquer les motivations et l'intérêt d'introduire cette nouvelle fonction d'état pour certaines transformations que l'on précisera. Écrire la différentielle dH de l'enthalpie en fonction de T, S, p et V .

$$dH = \dots\dots\dots$$

- Nous allons utiliser une approche semblable pour étudier des transformations à température constante (isotherme). On définit la fonction F^* :

$$F = U - TS$$

- F est-elle une fonction d'état ? Justifiez

☐ Oui

☐ Non

*. La fonction F porte le nom d'énergie libre.

- (b) Écrire la différentielle dF de F en fonction de S, T, p et V

$$dF = \dots\dots\dots$$

- (c) Expliquer pourquoi on peut en déduire que, pour une transformation isotherme, la quantité pdV est une différentielle totale exacte.

5. On considère maintenant la suite de transformations suivantes pour un gaz de VdW. Étape 1 : de G vers L en suivant le palier de liquéfaction, et étape 2 : de L vers G en suivant l'isotherme donnée par l'équation d'état du gaz de VdW.

- (a) Que vaut ΔF le long de ce trajet ? Justifiez.

$$\Delta F = \dots\dots\dots$$

- (b) Que représente graphiquement $\int_{V_1}^{V_2} pdV$?

- (c) En déduire la règle de Maxwell.

6. Le but est maintenant de trouver une relation liant V_G , V_L , a et b . On rappelle l'équation d'état d'un gaz de Van der Waals pour une mole de gaz :

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

où a et b sont des constantes dépendantes du gaz.

- (a) Exprimer pdV pour un gaz de Van der Waals, puis en déduire l'équation implicite (c'est-à-dire une équation du type $f(x, y, \dots) = 0$) liant T , P_{sat} , V_G , V_L , a et b .

Ne pas essayer de la résoudre.

$$f(T, P_{\text{sat}}, V_G, V_L, a, b) = \dots = 0$$

- (b) *Question Bonus* : Utiliser ce résultat pour proposer une autre démonstration de la règle de Maxwell.