

SESSION 2010

---

**AGREGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

**Section : SCIENCES PHYSIQUES  
Option : PHYSIQUE ET CHIMIE**

**COMPOSITION SUR LA PHYSIQUE  
ET LE TRAITEMENT AUTOMATISÉ DE L'INFORMATION**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

**Tournez la page S.V.P.**

# Quelques aspects du réchauffement climatique

## Introduction

Depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, la température moyenne sur Terre ne cesse d'augmenter. Cette montée est particulièrement importante si on ne considère que les cinquante dernières années, et bat des records les douze dernières années.

Les scientifiques recommandent de ne pas dépasser une hausse de  $1,5^{\circ}\text{C}$  alors que le GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) prévoit une hausse moyenne comprise entre  $1,4^{\circ}\text{C}$  et  $5,8^{\circ}\text{C}$  d'ici à la fin du siècle, chiffre qui dépend des quantités de gaz à effet de serre (GES) émises dans l'atmosphère.

Une des questions fondamentales qui se pose alors est : comment répondre à une demande croissante d'énergie alors que les réserves de pétrole, de gaz et de charbon sont limitées et qu'il faut enrayer le réchauffement climatique ?

Ce problème comporte quatre parties en relation avec divers aspects du réchauffement climatique. Ces quatre parties sont indépendantes les unes des autres et, à l'intérieur de chaque partie, de nombreuses questions sont également indépendantes les unes des autres.

La partie **A** aborde la notion de température enseignée au lycée.

La partie **B** s'intéresse au rôle de la couche d'ozone stratosphérique.

La partie **C** est consacrée à l'effet de serre.

À l'intérieur de la partie **C** figure un paragraphe relatif aux oscillateurs mécaniques enseignés au lycée (partie **C** 2.1.), en prélude à l'étude d'un gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ).

La partie **D** concerne le projet de mise en fonction en 2012 d'un réacteur nucléaire de troisième génération, à eau sous pression, qui permettra de produire de l'énergie sans émettre de GES. À l'intérieur de la partie **D** figure un paragraphe concernant l'énergie d'origine nucléaire enseignée au lycée (partie **D** 1.).

On notera le nombre complexe  $i$  tel que  $i^2 = -1$  et  $\Im m(i) = 1$ .

Les grandeurs complexes seront soulignées.

L'usage de la calculatrice est autorisé. Les numéros des questions sont encadrés.

★  
★   ★

## Partie A : Notion de température au lycée

Des extraits du programme officiel des classes de Seconde et Première S figurent en annexe.

- 1 La notion de température est abordée au lycée en classe de Seconde. Comment est définie la température absolue dans cette classe ? Quel enseignement expérimental peut-on associer à cette notion ? Proposer un plan de séance.
- 2 Proposer une expérience, réalisable en classe de Seconde, montrant qu'il existe un lien entre le spectre d'une lumière émise par un corps chaud et la température de ce corps.

- 3] La loi qui relie  $\lambda_m$  (longueur d'onde pour laquelle la densité spectrale d'un rayonnement à l'équilibre thermique est maximum) à la température  $T$  à l'équilibre est :

$$\lambda_m.T = 2898 \mu\text{m.K}$$

Comment s'appelle cette loi ?

En classe de Seconde, on donne la température moyenne de surface de quelques étoiles :

| Étoile                             | Bételgeuse | Soleil | Sirius | Rigel  |
|------------------------------------|------------|--------|--------|--------|
| Température moyenne de surface (K) | 3000       | 5600   | 8000   | >10000 |

Quelle est la couleur de chaque étoile ?

- 4] Donner trois exemples de thermomètres en précisant pour chacun d'eux la grandeur physique qui dépend de l'état thermique du corps dont on veut mesurer la température. Expliquer le fonctionnement d'un de ces trois thermomètres.
- 5] Expliquer brièvement comment on peut atteindre expérimentalement une température de :
- ◇ 80 K
  - ◇ 1 K
  - ◇  $10^{-6}$  K
- Quelle est la température la plus basse que l'on sait obtenir à l'heure actuelle ? En quelle année a-t-elle été atteinte ? Quelle technique est utilisée pour cela ?
- 6] Proposer l'organisation d'une séance de cours en classe de Seconde sur le thème du gaz parfait.
- Indiquer les éléments supposés acquis par les élèves avant le début de cette séance.
- Préciser le plan de la séance, les expériences réalisées et le travail demandé aux élèves.
- Préciser les connaissances et les compétences travaillées au cours de cette séance.
- 7] Les transferts thermiques sont abordés en classe de Première S.
- Définir les deux modes de transfert thermique ainsi que le transfert d'énergie par rayonnement. Donner un exemple pour les trois types de transfert.
- 8] Que répondre à un élève de Première S qui demande pourquoi la température varie peu sur Terre alors que le Soleil réchauffe la Terre ?

★  
★   ★

## Partie B : Le rôle de la couche d'ozone stratosphérique

La diminution de la couche d'ozone stratosphérique est due à l'émission de gaz chlorofluorocarbène (CFC). Les rayons UV sont alors moins bien interceptés dans la haute atmosphère et l'énergie solaire arrive davantage au sol. Il en résulte un réchauffement de la basse atmosphère. Un autre inconvénient introduit par la diminution de la couche d'ozone dans la haute atmosphère est aussi de laisser passer les UV proches, lesquels sont nocifs pour la peau.

Dans toute cette partie, on négligera les effets de la pesanteur.

**Données :**

- \* Charge de l'électron :  $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- \* Masse de l'électron :  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- \* Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- \* Permittivité électrique du vide :  $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} \text{ F.m}^{-1}$
- \* Perméabilité magnétique du vide :  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$
- \*  $\vec{\text{rot}}(\vec{\text{rot}}\vec{A}) = \vec{\text{grad}}(\text{div}\vec{A}) - \Delta\vec{A}$

On étudie la propagation d'une onde électromagnétique plane, progressive, monochromatique, issue du soleil, dans la couche d'ozone de la stratosphère. On considère l'ozone comme un diélectrique linéaire, homogène et isotrope. On néglige la polarisabilité d'orientation et on ne tient donc compte que de la polarisabilité moléculaire.

On suppose que la couche d'ozone occupe le demi-espace  $z > 0$ . Le champ électrique de l'onde qui s'y propage est noté en complexe :  $\vec{E} = E_0 e^{i(\omega t - \vec{k}z)} \vec{u}_x$ .

Sous l'action de ce champ les molécules se polarisent. On envisage le modèle de l'électron élastiquement lié dans lequel on étudie un seul électron par molécule d'ozone. Cet électron (charge  $-e$  et masse  $m$ ) situé en un point  $M$  est élastiquement lié au centre  $O$  fixe de la molécule. On note  $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ , et le cas échéant, en complexe  $\vec{r} = \vec{r}_0 e^{i\omega t}$ .

Cet électron est soumis à trois forces :

- \* une force d'interaction avec l'onde électromagnétique,
- \*  $\vec{f}_A = -m\omega_0^2 \vec{r}$  où  $\omega_0$  est une pulsation propre caractéristique du mouvement de l'électron,
- \*  $\vec{f}_B = -m\Omega \frac{d\vec{r}}{dt}$ .

- [9] Quel est le nom du protocole international qui régleme les émissions de CFC ? Quelle est l'année de sa signature ?
- [10] Donner la plage d'altitudes par rapport à la surface de la Terre correspondant à la stratosphère ?
- [11] À quels phénomènes physiques correspondent les forces  $\vec{f}_A$  et  $\vec{f}_B$  ? Quelle est la dimension de  $\Omega$  ?
- [12] On ne tient pas compte de la force magnétique qu'exerce l'onde sur l'électron. Pourquoi ?
- [13] Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'électron. Les équations étant linéaires, on utilise la notation complexe. En déduire l'équation différentielle vérifiée par le vecteur position  $\vec{r}$  de l'électron. Déterminer  $\vec{r}$  qu'on exprimera notamment en fonction de  $\vec{E}$ .
- [14] En déduire le moment dipolaire induit  $\vec{p}$  ainsi que la polarisation  $\vec{P}$  de la stratosphère. On note  $n_p$  la densité particulaire d'ozone dans la stratosphère.
- [15] Le milieu n'est pas magnétique et est globalement neutre. Écrire les équations de Maxwell reliant les champs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  et la polarisation du milieu.
- [16] Les champs n'étant fonction que de  $z$  et  $t$ , en déduire l'équation :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}$$

- [17] Déduire de l'équation obtenue à la question précédente écrite sous forme complexe et de

l'expression de la polarisation  $\vec{P}$ , l'expression de  $\underline{k}^2$ . On posera :

$$\omega_p^2 = \frac{n_p e^2}{m \varepsilon_0}$$

- [18] L'indice complexe est défini par  $\underline{n}(\omega) = \frac{c}{\omega} \underline{k}$ . En déduire  $\underline{n}^2$ .

En notant  $\underline{n} = n_1 - i n_2$ , compte tenu d'une approximation dont on ne se préoccupe pas ici, on admet les expressions respectives de  $n_1$  et  $n_2$  :

$$1 + \frac{\omega_p^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{2((\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \Omega^2 \omega^2)} \quad \text{et} \quad \frac{\Omega \omega \omega_p^2}{2((\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \Omega^2 \omega^2)}$$

- [19] Quelle est l'expression du champ électrique  $\vec{E}$  (observable) en fonction notamment de  $n_1$  et  $n_2$  ? Comment appelle-t-on  $n_1$  et  $n_2$  ? Justifier.
- [20] Constater qu'il apparaît un terme d'atténuation et en déduire la distance caractéristique  $\delta$  du phénomène en fonction de  $c$ ,  $\omega$  et  $n_2$ .
- [21] On donne  $\omega_0 = 7,4 \cdot 10^{15} \text{ rad.s}^{-1}$  la pulsation centrale de la bande d'absorption de l'ozone. Dans quel domaine du spectre électromagnétique se situe  $\omega_0$  ? On donne  $\Omega = 10^{14} \text{ rad.s}^{-1}$  ainsi que la densité particulaire maximum d'ozone dans la stratosphère  $n_p = 4 \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3}$ . Calculer  $\delta$  pour les deux fréquences suivantes :
- ◇  $f_0$  correspondant à la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 250 \text{ nm}$
  - ◇  $f$  correspondant à la longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 600 \text{ nm}$
- Conclure : pourquoi est-il important de maintenir la couche d'ozone stratosphérique ?

★  
★   ★

## Partie C : L'effet de serre

### 1. L'atmosphère terrestre

**Données :**

- ★ Rayon du Soleil :  $R_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$
- ★ Rayon de la Terre :  $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$
- ★ Distance Terre - Soleil :  $d = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- ★ La constante de STEFAN :  $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

On considèrera que le Soleil se comporte comme un corps noir à la température  $T_S$  et que la Terre se comporte comme un corps noir à la température  $T_0$ .

- [22] Expliquer à quoi correspondent  $\phi$ ,  $T$  et  $\sigma$  dans la loi de STEFAN :  $\phi = \sigma T^4$ .
- [23] Quelle est l'expression de la puissance totale rayonnée par le Soleil en fonction de  $\sigma$ ,  $T_S$  (température à la surface du Soleil) et  $R_S$  ?
- [24] Quelle est l'expression de la puissance reçue par la Terre en fonction de  $\sigma$ ,  $T_S$ ,  $R_S$ ,  $R_T$  et  $d$  ?
- [25] Déterminer la température à la surface du Soleil  $T_S$  sachant que le maximum du spectre qu'il émet se situe à  $\lambda_m = 520 \text{ nm}$ . On pourra se reporter à la partie A question 3.

En réalité la Terre réfléchit une partie de l'énergie qu'elle reçoit de la part du Soleil et absorbe le reste. La fraction réfléchie s'appelle l'albédo qu'on note  $A$  et dont on donne la valeur numérique  $A = 0,34$ .

- [26] Déterminer la température de la Terre  $T_0$ , en régime permanent, en fonction de  $A$ ,  $T_S$ ,  $R_S$  et  $d$ . Calculer  $T_0$ . Commenter.

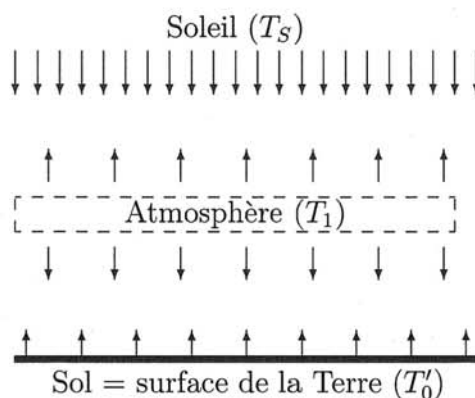
Avec le modèle qui va suivre, on souhaite interpréter le fait que le sol terrestre est en réalité à une température  $T'_0$  supérieure à  $T_0$ . C'est l'effet de serre.

On considère donc le sol à la température  $T'_0$  et l'atmosphère à la température moyenne  $T_1$ . L'atmosphère est assimilée à une couche sphérique dont le centre est celui de la Terre et d'épaisseur  $e$ , avec  $e \ll R_T$ . Le sol et l'atmosphère sont supposés rayonner comme des corps noirs de températures respectives  $T'_0$  et  $T_1$ .

- [27] Si on assimile une sphère de rayon  $R_T + e$  à une sphère de rayon  $R_T$  ( $e \ll R_T$ ), quelle est l'erreur relative commise sur le calcul de la surface ?  
Faire l'application numérique. On prendra  $e \simeq 10$  km.

Dans la suite du problème, on considérera donc que  $R_T + e \simeq R_T$ .

L'atmosphère absorbe la fraction  $\alpha$  du rayonnement solaire et absorbe complètement le rayonnement terrestre. Par ailleurs, elle émet vers la Terre et vers l'Espace. La Terre absorbe le reste du rayonnement solaire et absorbe le rayonnement de l'atmosphère vers la Terre. Les échanges sont symbolisés dans le schéma ci-dessous, où les flèches représentent les rayonnements.



L'ensemble Terre-atmosphère a le même albédo  $A$  que la Terre seule.

- [28] Effectuer un bilan thermique pour le sol et un bilan thermique pour l'atmosphère.  
[29] Calculer  $T_1$  et  $T'_0$  en prenant  $\alpha = 0,33$ . Conclure.

## 2. Un gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )

- [30] Quel est le nom du protocole international qui réglemente les émissions de gaz à effet de serre ? Quelle est l'année de sa signature ?

### 2.1. Oscillateurs mécaniques au lycée

Des extraits du programme officiel des classes de Première S et de Terminale S figurent en annexe.

Les systèmes oscillants mécaniques sont abordés en classe de Terminale S.

- [31] Définir, pour une classe de Terminale S, un pendule pesant et un pendule simple. Quelles en sont les différences ?

En classe de Terminale S, par un ensemble d'expériences, on veut :

- \* enregistrer un mouvement oscillant plus ou moins amorti,
- \* vérifier la loi d'isochronisme des petites oscillations,
- \* vérifier l'expression de la période propre d'un pendule simple.

- [32] Préciser, pour chacun des trois points qui précèdent, l'expérience réalisée, les graphes que doivent tracer les élèves pour interpréter chaque expérience, et les conclusions attendues.

- [33] Parmi les documentaires qu'on peut exposer aux élèves, on considère l'expérience du pendule de FOUCAULT qui a été reproduite au Panthéon ces dernières années.

En quelle année FOUCAULT a-t-il installé son pendule au Panthéon ?

Quel point primordial a mis en évidence cette expérience ?

Le dispositif solide-ressort est étudié en Terminale S. Un enseignant propose l'exercice suivant :

*La liaison chimique entre l'atome d'hydrogène de masse  $m_H$  et l'atome de chlore de masse  $m_{Cl}$ , dans la molécule de chlorure d'hydrogène (HCl), peut être modélisée par un ressort de constante de raideur  $k$ , reliant les deux masses.*

*La période propre  $T_0$  des oscillations de ce système est la même que celle d'un oscillateur comportant un ressort de constante de raideur  $k$ , dont une extrémité est fixe, tandis que l'autre est reliée à une masse dite masse réduite de valeur :*

$$\mu = \frac{m_H m_{Cl}}{m_H + m_{Cl}}$$

*Des mesures de spectroscopie montrent que la molécule  $H^{35}Cl$ , à l'état gazeux, absorbe les ondes électromagnétiques de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 3,3 \mu m$ .*

*La fréquence des ondes absorbées est égale à la fréquence des oscillations de la molécule.*

*Calculer la constante de raideur du ressort modélisant la liaison H-Cl.*

*Données :  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $M_H = 1,00 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $M_{Cl} = 35,0 \text{ g.mol}^{-1}$  et  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .*

- [34] Rédiger brièvement la réponse attendue.

Dans l'exercice proposé à la question précédente, on demande à l'élève de Terminale S d'admettre que, en ce qui concerne le mouvement relatif, le système des deux masses est équivalent à un système unique de masse égale à la masse réduite du système. Cette équivalence est établie en première année de Classes Préparatoires aux Grandes Écoles en étudiant le système des deux masses dans son référentiel barycentrique.

- [35] Définir le référentiel barycentrique  $\mathcal{R}^*$  d'un système de points matériels.

Le référentiel  $\mathcal{R}^*$  est-il galiléen ? Justifier.

- [36] Proposer pour chaque question suivante une expérience à réaliser en classe de Première S. Donner clairement les réponses attendues.

◇ Quelle est la particularité du mouvement du centre d'inertie d'un système soumis à des forces qui se compensent, dans un référentiel galiléen ?

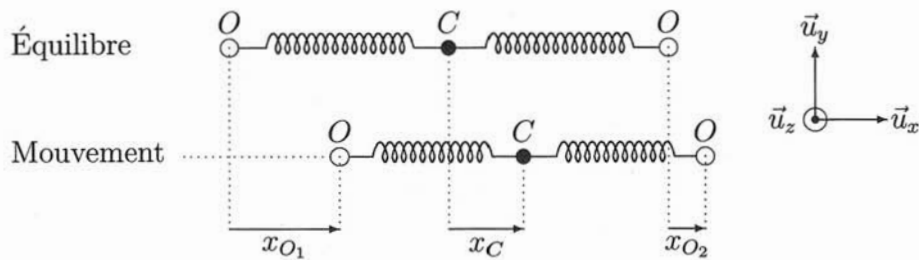
◇ Comment varie le vecteur vitesse du centre d'inertie d'un système soumis à des forces qui ne se compensent pas, dans un référentiel galiléen ?

## 2.2. Mouvements d'élongation d'une molécule de $\text{CO}_2$

Soit une molécule de dioxyde de carbone constituant un système isolé. Chaque liaison carbone-oxygène est indépendante de l'autre. Les atomes sont assimilés à des points matériels de masse  $m_O = 2,7 \cdot 10^{-26}$  kg pour l'oxygène et  $m_C = 2,0 \cdot 10^{-26}$  kg pour le carbone.

L'atome de carbone interagit avec ses deux voisins, les deux atomes d'oxygène, lesquels n'interagissent pas entre eux.

À l'équilibre les deux liaisons carbone-oxygène sont identiques et ont donc même longueur. Les trois atomes restent toujours alignés dans la direction donnée par le vecteur unitaire  $\vec{u}_x$ . Au voisinage de l'état d'équilibre, on modélise les deux liaisons carbone-oxygène par deux ressorts identiques de constante de raideur  $k = 1,4 \cdot 10^3 \text{ N.m}^{-1}$  et de longueur à vide  $\ell_0 = 0,17 \text{ nm}$ .



On repère par  $x_{O1}$ ,  $x_C$  et  $x_{O2}$  les déplacements des atomes par rapport à la position d'équilibre de la molécule.

[37] On étudie la molécule de  $\text{CO}_2$  dans son référentiel barycentrique  $R^*$ . Justifier que, dans cet exemple,  $R^*$  est galiléen.

[38] Justifier la relation :  $m_O(x_{O1} + x_{O2}) + m_C x_C = 0$ .

[39] Établir le système d'équations différentielles vérifiées par  $x_{O1}$  et  $x_{O2}$ , par application du principe fondamental de la dynamique.

Les solutions sont de la forme  $\underline{x_{O1}}(t) = \underline{A_{O1}}e^{i\omega t}$ ,  $\underline{x_{O2}}(t) = \underline{A_{O2}}e^{i\omega t}$ , et  $\underline{x_C}(t) = \underline{A_C}e^{i\omega t}$ , en notation complexe.

Déterminer les pulsations  $\omega_1$  et  $\omega_2$  conduisant à  $\underline{A_{O1}}$ ,  $\underline{A_{O2}}$  et  $\underline{A_C}$  non nuls (on prendra  $\omega_1 < \omega_2$ ).

Comment s'appellent ces pulsations ?

Les calculer.

[40] Décrire brièvement le mouvement de la molécule pour  $\omega = \omega_1$  et  $\omega = \omega_2$ .

## 2.3. Propagation d'une onde électromagnétique dans l'atmosphère contenant du $\text{CO}_2$ .

Les liaisons carbone-oxygène sont des dipôles. Chaque oxygène porte la charge  $-\delta e$  et le carbone porte la charge  $+2\delta e$  ( $0 < \delta < 1$ ).

La molécule de  $\text{CO}_2$  est supposée toujours rester alignée selon  $\vec{u}_x$  ; elle est dans le plan  $z = 0$ .

Une onde électromagnétique de pulsation  $\omega$ , polarisée selon  $\vec{u}_x$ , se propage selon  $\vec{u}_z$  et va rencontrer une molécule de  $\text{CO}_2$ . On appelle cette onde l'onde *incidente*.

Son champ électrique est de la forme :  $\vec{E}(z, t) = E_0 \cos\left(\omega t - \frac{\omega z}{c}\right) \vec{u}_x$  où  $c$  est la célérité de la lumière dans le vide.

On néglige l'action du champ magnétique.

[41] Justifier que  $R^*$  est encore galiléen.

[42] Établir le système d'équations différentielles vérifiées par  $x_{O1}$  et  $x_{O2}$ , par application du principe fondamental de la dynamique.

[43] En régime sinusoïdal forcé, les solutions, en notation complexe, sont de la forme :

$$\underline{x_{O1}}(t) = \underline{A_{O1}}e^{i\omega t}, \quad \underline{x_{O2}}(t) = \underline{A_{O2}}e^{i\omega t}$$

Déterminer  $\underline{A_{O1}}$  et  $\underline{A_{O2}}$  en fonction de  $\delta$ ,  $e$ ,  $E_0$ ,  $\omega$ ,  $\omega_2$  et  $m_O$ .

[44] Exprimer le moment dipolaire  $\vec{p}(t)$  de la molécule de  $\text{CO}_2$  en fonction de  $\delta$ ,  $e$ ,  $E_0$ ,  $\omega$ ,  $\omega_2$ ,  $m_O$ ,  $m_C$  et  $t$ .

Une molécule de  $\text{CO}_2$  est donc modélisée par un dipôle rayonnant. On peut montrer que la puissance moyenne rayonnée par ce dipôle s'exprime par :

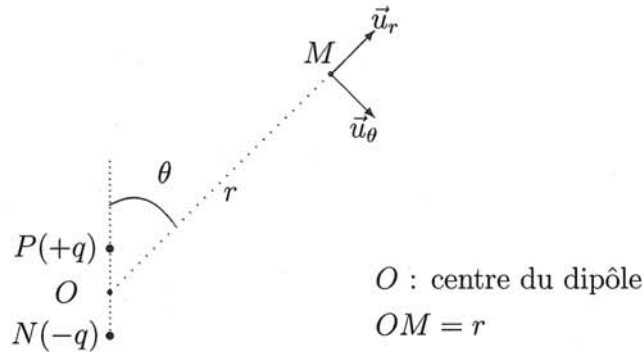
$$\langle \mathcal{P} \rangle = \frac{\mu_0 \omega^4 p_0^2}{12\pi c}$$

où  $p_0$  est l'amplitude de  $\vec{p}(t)$ .

On rappelle que le champ électrique rayonné par un dipôle oscillant  $NP$  est :

$$\vec{E}(M, t) = \frac{\ddot{p}(t - r/c)}{4\pi\epsilon_0 r c^2} \sin\theta \vec{u}_\theta$$

où  $\ddot{p}$  est la dérivée seconde de  $p$  par rapport au temps.



[45] Expliquer brièvement d'où vient la puissance quatrième dans  $\omega^4$  dans l'expression de  $\langle \mathcal{P} \rangle$ .

[46] Exprimer la puissance moyenne  $I_0$  en  $z = 0$  transportée par l'onde incidente à travers une unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation, en fonction de  $\mu_0$ ,  $c$  et  $E_0$ .  
En déduire que  $\langle \mathcal{P} \rangle = SI_0$  et exprimer  $S$  en fonction de  $\delta$ ,  $e$ ,  $\omega$ ,  $\omega_2$ ,  $\mu_0$ ,  $m_O$  et  $m_C$ .

L'atmosphère contient  $n$  molécules de  $\text{CO}_2$  par unité de volume. On considérera qu'un tiers d'entre elles sont alignées dans chacune des directions de l'espace.

Les molécules de  $\text{CO}_2$  rayonnent de l'énergie qu'elles prennent à l'onde incidente et l'intensité de l'onde incidente diminue donc avec  $z$ .

[47] Effectuer un bilan d'énergie sur un volume élémentaire de hauteur  $dz$ . En déduire que  $I(z)$  est de la forme  $I(z) = I(0)e^{-z/L}$ , avec  $I(0) = I_0$ .  
Exprimer  $L$  en fonction de  $S$  et  $n$ .

Quel est le sens physique de  $L$  ?

- [48] En déduire que l'onde est fortement absorbée pour  $\omega \rightarrow \omega_2$ .

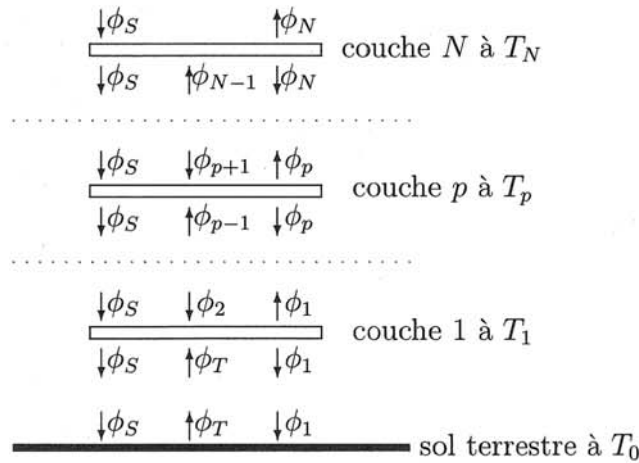
Expliquer qualitativement pourquoi l'onde n'est pas absorbée pour  $\omega \rightarrow \omega_1$ .

- [49] Calculer la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_2$  correspondant à la pulsation  $\omega_2$ . À quel domaine du spectre électromagnétique appartient-elle ? Commenter.

#### 2.4. Conséquence de l'augmentation de la quantité de $\text{CO}_2$ gazeux dans l'atmosphère

On suppose que la quantité de  $\text{CO}_2$  gazeux augmente et on modélise cette augmentation par la superposition de  $N$  couches de  $\text{CO}_2$  gazeux entourant la Terre. Chaque couche contient la même concentration fixée  $C_0$  en  $\text{CO}_2$  gazeux.

Modèle des  $N$  couches de  $\text{CO}_2$  superposées



Le sol terrestre se comporte comme un corps noir de température  $T_0$  et émet un flux surfacique  $\phi_T$ .

On ne tient pas compte ici de l'albédo de la Terre.

$\phi_S$  est le flux solaire reçu par la Terre, par unité de surface de la Terre.

$\phi_p$  est le flux surfacique émis vers le haut et vers le bas par la couche  $p$ , de température  $T_p$ .

Le rayonnement émis par une couche est complètement absorbé par les autres couches.

Les couches sont transparentes au rayonnement solaire, qui arrive sous incidence normale sur chaque couche.

- [50] À partir d'un ordre de grandeur usuel pour  $T_0$ , déterminer l'ordre de grandeur de la longueur d'onde d'émission maximum du sol terrestre.

En déduire que la couche 1 de  $\text{CO}_2$  gazeux absorbe totalement le rayonnement de flux  $\phi_T$ .

- [51] Effectuer un bilan radiatif pour :

- ◊ le sol,
- ◊ le sol et la couche 1,
- ◊ le sol et les couches 1 à  $p$ ,
- ◊ le sol et toutes les couches.

- [52] En déduire d'une part  $\phi_p$  en fonction de  $\phi_S$ ,  $N$  et  $p$ , et d'autre part  $\phi_T$  en fonction de  $\phi_S$  et  $N$ .

- [53] Dédire de la loi de STEFAN l'expression de  $T_0$  en fonction de  $\phi_S$ ,  $N$  et  $\sigma$ , la constante de STEFAN.

Conclure : quelle est la conséquence de l'augmentation de la quantité de  $\text{CO}_2$  gazeux dans l'atmosphère ?

★  
★   ★

## Partie D : Un exemple de production d'énergie sans émission de gaz à effet de serre, l'EPR de Flamanville 3

Les premières centrales nucléaires françaises encore en fonctionnement devraient être arrêtées en 2020. Ceci impose la construction de leurs remplaçantes cinq ans avant. EDF a donc décidé, en mai 2006, conformément à la politique énergétique actuelle de la France, de construire un réacteur nucléaire dit de "troisième génération", de type EPR (European Pressurized water Reactor – ou REP, Réacteur nucléaire à Eau sous Pression, en français), à Flamanville dans la Manche.

Sa mise en service est prévue pour 2012. Sa puissance sera de 1650 MW, contre 1450 MW pour les réacteurs les plus puissants actuellement, et devra permettre de répondre à une demande d'électricité qui devrait doubler d'ici les trente prochaines années.

On considère tous les gaz comme des **gaz parfaits**.

### 1. L'énergie d'origine nucléaire au lycée

Les transformations nucléaires sont abordées en classe de Terminale S (cf. annexe) notamment afin de comprendre que la conversion masse-énergie peut être à l'origine de la production d'énergie dans les centrales nucléaires.

- [54] En quelle année la radioactivité a-t-elle été découverte ? Par qui ?
- [55] Définir un noyau radioactif.
- [56] Qu'appelle-t-on radioactivité  $\beta^-$  ?  $\beta^+$  ?  $\alpha$  ? Qu'est-ce que le rayonnement  $\gamma$  ?
- [57] On a mesuré l'activité d'un échantillon contenant du radon 220 en opérant, toutes les 20 secondes, des comptages successifs d'une durée de 1 seconde. Les résultats du nombre  $n$  d'impulsions détectées par le compteur sont regroupés dans le tableau suivant :

| Date $t$ (s) | 0   | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 | 120 | 140 | 160 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $n$          | 483 | 380 | 290 | 227 | 182 | 140 | 103 | 87  | 64  |

La durée du comptage est-elle adaptée ?

- [58] Proposer une séance de travaux pratiques qui permettrait aux élèves d'acquérir et d'exploiter les données de la question précédente.
- ◊ Indiquer le matériel utilisé, le principe de l'expérience et le protocole à suivre.
  - ◊ Expliciter les objectifs visés en termes de connaissances ainsi que les compétences au cours de cette séance.
- [59] Dans une centrale nucléaire française fonctionnant avec un réacteur à eau pressurisée (EPR), on réalise la fission contrôlée de l'uranium 235.
- On s'intéresse à la réaction suivante :



dans laquelle  $z$  et  $x$  ne sont pas précisés.

◊ À partir de cette réaction et des données qui suivent, proposer l'énoncé d'un exercice.

◊ Le résoudre en indiquant pour chaque question les connaissances et les compétences évaluées

### Données :

- \* masse de  $^{235}_{92}\text{U} = 234,99332 \text{ u}$
- \* masse de  $^{94}\text{Sr} = 93,89446 \text{ u}$
- \* masse de  $^{140}\text{Xe} = 139,89195 \text{ u}$
- \* masse de  $^1_0\text{n} = 1,00886 \text{ u}$
- \* pouvoir calorifique du pétrole =  $42 \text{ MJ.kg}^{-1}$
- \*  $1 \text{ eV} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- \*  $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- \*  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- \*  $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## 2. La température du circuit primaire

On considère le moteur ditherme de CARNOT fonctionnant de manière réversible entre deux sources de températures  $T_1$  et  $T_2$  ( $T_1 < T_2$ ). Le cycle décrit par le fluide (l'agent thermique) se compose de deux isothermes et deux adiabatiques.

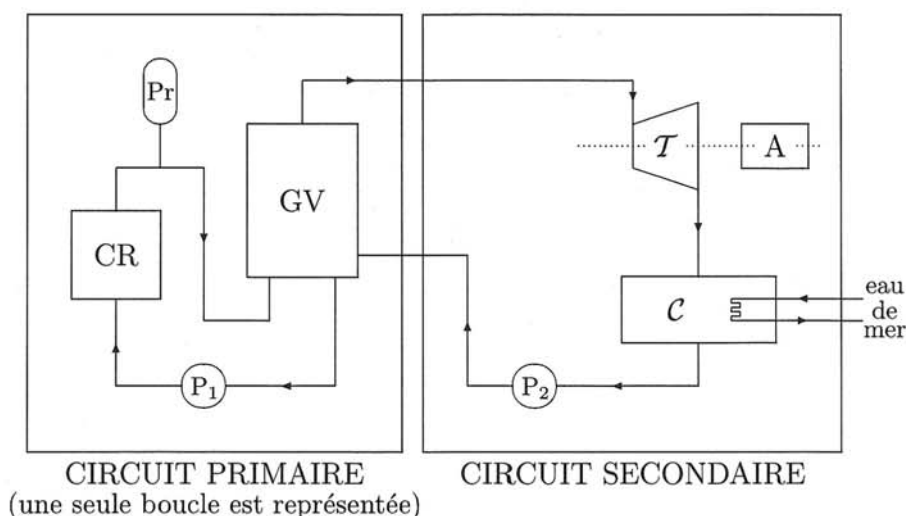
Les transferts thermiques avec les sources froide et chaude sont notés respectivement  $Q_1$  et  $Q_2$ . Le travail transféré est noté  $W$ .

- [60] Faire les bilans énergétique et entropique pour le fluide, en appliquant les deux principes de la thermodynamique.
- [61] Définir le rendement. L'exprimer en fonction de  $T_1$  et  $T_2$ . Comment s'appelle ce rendement ? Que représente-t-il physiquement ?

## 3. Étude thermodynamique du circuit secondaire

### Principe de fonctionnement :

Soit le schéma simplifié d'un réacteur EPR 1650 MW ci-dessous.



Le circuit primaire comporte quatre éléments : le cœur situé dans la cuve réacteur (CR), le

pressuriseur (Pr), le générateur de vapeur (GV) et la pompe primaire ( $P_1$ ).

Pour augmenter l'efficacité, une tranche nucléaire comporte quatre boucles parallèles comportant chacune un GV et une pompe  $P_1$ .

La pression est maintenue constante dans le cœur grâce à un unique pressuriseur situé dans une des quatre boucles.

Les deux circuits primaire et secondaire sont fermés. Dans le cas de Flamanville 3, c'est de l'eau de mer qui joue le rôle d'eau de refroidissement du condenseur  $\mathcal{C}$ .

★ Dans le réacteur, la fission nucléaire produit une grande quantité de chaleur. L'eau ainsi chauffée circule dans le circuit primaire où elle est mise sous pression pour la maintenir à l'état liquide.

★ Le circuit primaire chauffe le circuit secondaire par échange thermique. L'eau du circuit secondaire, propulsée par la pompe secondaire ( $P_2$ ), se transforme en vapeur dans le générateur de vapeur. Elle fait tourner une turbine ( $\mathcal{T}$ ) couplée à un alternateur ( $A$ ) qui produit de l'électricité.

★ Le circuit secondaire comporte la partie secondaire du générateur de vapeur (source chaude), une turbine  $\mathcal{T}$ , un condenseur  $\mathcal{C}$  (source froide) et une pompe d'alimentation,  $P_2$  (cf. schéma ci-dessus).

### 3.1. Diagramme de CLAPEYRON du système liquide-vapeur de l'eau

- [62] Représenter l'allure du diagramme ( $P, V$ ) de l'eau où  $P$  est la pression et  $V$  le volume. Placer la courbe de saturation, le point critique, les domaines du liquide (L), de la vapeur (V) et du mélange liquide-vapeur (L+V).

### 3.2. Modélisation du fonctionnement du circuit secondaire : cycle de RANKINE

On raisonne sur  $m = 1$  kg de fluide. La capacité thermique massique isobare du fluide liquide supposée constante est  $c = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Le coefficient de dilatation isobare  $\alpha$  de l'eau liquide, supposé constant, est  $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ . Les transformations subies par l'eau sont les suivantes :

- ★  $A \rightarrow B$  : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression  $P_1 = 0,05$  bar à la pression  $P_2 = 70$  bar, du liquide saturant sortant du condenseur à la pression  $P_1$  (point  $A$ )
- ★  $B \rightarrow D$  : échauffement isobare à  $P_2$  du liquide dans le générateur de vapeur jusqu'à un état de liquide saturant (point  $D$ )
- ★  $D \rightarrow E$  : vaporisation totale isobare à  $P_2$  jusqu'à un état de vapeur saturante (point  $E$ ).
- ★  $E \rightarrow F$  : détente adiabatique réversible dans la turbine de  $P_2$  à  $P_1$  jusqu'à un état de mélange liquide-vapeur (point  $F$ ).
- ★  $F \rightarrow A$  : liquéfaction totale isobare dans le condenseur à  $P_1$ , de la vapeur présente en  $F$ .

- [63] Représenter le cycle (cycle de RANKINE) dans le diagramme de CLAPEYRON ( $P, v$ ).

Le transfert thermique peut s'écrire :  $\delta q = cdT + kdP$ , où  $k$  est le coefficient massique de chaleur de compression isotherme et où  $c$  est la capacité thermique massique isobare du système étudié.

- [64] ♦ Dans le cas d'une transformation réversible élémentaire, établir :

$$dh = cdT + (k + v)dP$$

où  $h$  est l'enthalpie massique du système, et établir :

$$ds = \frac{c}{T}dT + \frac{k}{T}dP$$

où  $s$  est l'entropie massique du système

◊ En exprimant que  $dh$  et  $ds$  sont des différentielles totales exactes, établir :  $k = -T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P$

En déduire l'expression de  $k$  en fonction de  $T$ ,  $v$  et  $\alpha$ .

Dans toute la suite, on supposera que l'eau liquide est incompressible. On donne son volume massique :  $v_\ell = 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ .

On note  $\Delta T = T_B - T_A$  l'augmentation de température du liquide dans la pompe d'alimentation.

- [65] Compte tenu que  $\Delta T \ll T_A$ , calculer  $\Delta T$  à partir de l'expression de la variation d'entropie du système de  $A$  à  $B$ . On donne  $T_A = 306 \text{ K}$ .

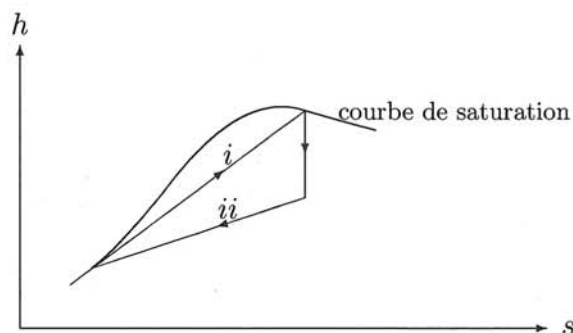
Dans la suite du problème, on néglige donc  $\Delta T$  devant  $T_A$  et donc  $T_B \simeq T_A$ .

- [66] Calculer la variation d'enthalpie massique  $\Delta h_{AB}$  du liquide au cours de la compression  $AB$ .

Que pensez-vous de la valeur de  $\Delta h_{AB}$  ?

- [67] On effectue le bilan enthalpique pour le fluide au cours d'un cycle. On néglige  $\Delta h_{AB}$ . Exprimer alors le travail massique  $w$  en fonction des enthalpies massiques du fluide à l'entrée et à la sortie de la turbine ( $h_E$  et  $h_F$ ).

On donne l'allure du cycle dans le diagramme de MOLLIER en coordonnées  $(h, s)$ .



- [68] Placer les points  $A$ ,  $B$ ,  $D$ ,  $E$  et  $F$ .

Justifier l'allure du cycle. Justifier que la pente de  $(i)$  est supérieure à celle de  $(ii)$ .

L'intérêt de ce diagramme est que l'on peut lire directement les transferts d'énergie mis en jeu.

Indiquer où se trouvent les grandeurs massiques  $q_1$ ,  $q_2$  et  $w$  associées aux grandeurs définies dans le paragraphe **D 2**.

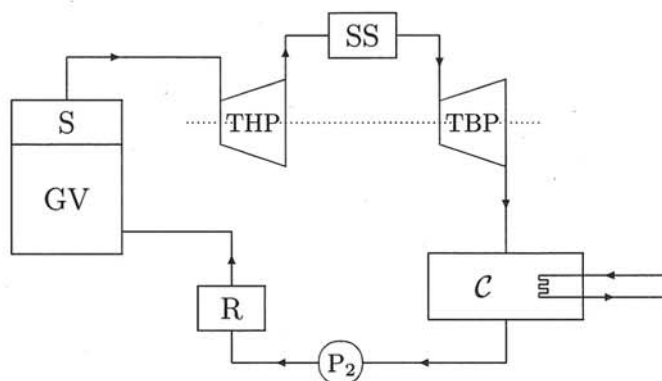
- [69] On donne  $w = -967 \text{ kJ.kg}^{-1}$  et  $q_2 = 2561 \text{ kJ.kg}^{-1}$ . Calculer le rendement.

### 3.3. Optimisation du cycle

On part du cycle précédent (cycle de RANKINE) et on ajoute un surchauffeur (S) de sorte que le fluide sort du générateur de vapeur (GV) sous forme de vapeur surchauffée (vapeur sèche).

Il est plus efficace d'utiliser deux turbines : une à basse pression (TBP) et une à haute pression (THP). Entre les deux, on place un sécheur-surchauffeur (SS).

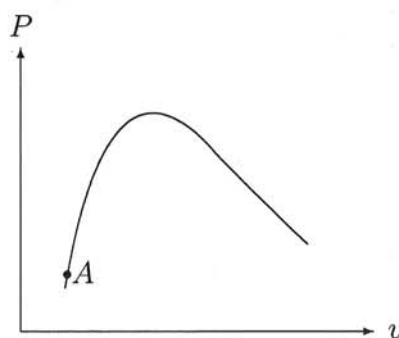
Le sécheur-surchauffeur sépare le liquide de la vapeur et resurchauffe la vapeur à la sortie de THP de façon isobare. Il joue donc, à l'entrée de TBP le même rôle que le surchauffeur du générateur de vapeur à l'entrée de THP. Sur la figure ci-après, R représente un réchauffeur.



Les transformations sont maintenant modélisées par :

- \*  $A \rightarrow B$  : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, du liquide saturant sortant du condenseur, de la pression  $P_1 = 0,05$  bar à une pression intermédiaire  $P_{\text{int}}$  (avec  $P_1 < P_{\text{int}} < P_2$ ).
- \*  $B \rightarrow D$  : échauffement isobare dans le réchauffeur jusqu'au liquide saturant, à la pression  $P_{\text{int}}$ .
- \*  $D \rightarrow D'$  : compression adiabatique réversible du liquide saturant, de la pression  $P_{\text{int}}$  à la pression  $P_2 = 70$  bar.
- \*  $D' \rightarrow E'$  : échauffement isobare à  $P_2$  du liquide dans GV, vaporisation totale isobare à  $P_2$  dans GV, puis passage isobare dans le surchauffeur à  $P_2$ .
- \*  $E' \rightarrow F'$  : détente adiabatique réversible dans THP de  $P_2$  à  $P_{\text{int}}$ . En  $F'$  l'état du système est un mélange liquide-vapeur proche de la vapeur saturante.
- \*  $F' \rightarrow F''$  : passage dans le sécheur-surchauffeur isobare à  $P_{\text{int}}$ . En  $F''$  l'état est de la vapeur surchauffée (sèche), proche de la vapeur saturante.
- \*  $F'' \rightarrow F$  : détente adiabatique réversible dans TBP de  $P_{\text{int}}$  à  $P_1$ . En  $F$  l'état est un mélange liquide vapeur.
- \*  $F \rightarrow A$  : liquéfaction totale isobare dans le condenseur à  $P_1$ , de la vapeur présente en  $F$ .

On a représenté la courbe de saturation sur le diagramme  $(P, v)$  sur lequel on a placé le point  $A$  :



- [70] Représenter le cycle décrit ci-dessus sur le diagramme  $(P, v)$  et placer les points  $B, D, D', E', F', F''$  et  $F$ .
- [71] Une conséquence de l'ajout d'un surchauffeur est d'obtenir de la vapeur surchauffée au lieu de la vapeur saturante qu'on trouvait dans le cycle non optimisé du paragraphe D 3.2. L'aire du cycle est donc augmentée. Quel en est l'intérêt ?

**Données :**

$$\star h_{D'} = 510 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_{E'} = 2716 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_{F'} = 2186 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_{F''} = 2279 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\star h_F = 1756 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

72 Exprimer littéralement en fonction des enthalpies massiques aux points  $D'$ ,  $E'$ ,  $F'$ ,  $F''$  et  $F$  le rendement du circuit secondaire et le calculer. Conclure.

## Annexe A : Extraits du programme de la classe de seconde

### L'air qui nous entoure (3 TP, 6 heures en classe entière)

#### Objectifs

Pour illustrer l'existence de plusieurs niveaux d'appréhension du monde naturel, le macroscopique et le microscopique, on étudie le comportement d'un fluide gazeux : l'air qui nous entoure.

On y apprend comment on peut modéliser le comportement de cette matière gazeuse dont la nature microscopique n'est pas aisément perceptible ; on met d'abord en évidence l'agitation moléculaire puis, comme il est impossible de connaître le mouvement précis des molécules, on introduit les grandeurs macroscopiques qui vont permettre de rendre compte de l'état d'un gaz. Les instruments de mesures qui permettent d'évaluer ces grandeurs sont introduits au cours des activités expérimentales.

La description de phénomènes physiques liés à l'état thermique d'un corps, dans l'intention de montrer le principe du repérage d'une température, permet d'introduire sans dogmatisme la notion de température absolue : c'est l'état thermique d'une quantité donnée de gaz à faible pression qui permet de définir l'échelle Kelvin.

L'équation d'état du modèle du gaz parfait vient finaliser cette partie.

| EXEMPLES D'ACTIVITÉS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CONTENUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Comment expliquer que deux gaz finissent toujours par se mélanger ?</p> <p><i>Observation du mouvement brownien.</i></p> <p>De quels paramètres la pression d'un gaz dépend-elle ?</p> <p><i>Mise en œuvre de situations expérimentales simples permettant l'identification et la mesure des grandeurs macroscopiques décrivant l'état d'un gaz : mise en évidence de l'influence des paramètres <math>V, n, T</math> sur la pression d'un gaz*.</i></p> <p>Quels phénomènes peuvent fournir des renseignements objectifs sur l'état thermique d'un corps ?</p> <p><i>Mise en œuvre de situations expérimentales permettant de montrer des phénomènes physiques dépendant de l'état thermique d'un corps.</i></p> | <p>1. Du macroscopique au microscopique</p> <p>1.1 Description d'un gaz à l'échelle microscopique.</p> <p>1.2 Nécessité de décrire l'état gazeux par des grandeurs physiques macroscopiques</p> <p>1.2.1 Notion de pression</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- force pressante exercée sur une surface, perpendiculairement à cette surface .</li> <li>- définition de la pression exercée sur une paroi par la relation <math>P=F/S</math>.</li> <li>- instrument de mesure de la pression : le manomètre.</li> <li>- unités de pression.</li> <li>- mise en évidence et origine de la pression dans un gaz ; interprétation microscopique.</li> </ul> <p>1.2.2. Notion d'état thermique</p> <p>De nombreux phénomènes physiques peuvent renseigner sur l'état thermique d'un corps comme : la dilatation des liquides, la dilatation des gaz, la variation de la résistance électrique, l'émission de rayonnement (cf. Messages de la lumière)...</p> <p>La mesure d'une température implique l'équilibre thermique de deux corps en contact.</p> | <p>Savoir que la matière est constituée de molécules en mouvement.</p> <p>Savoir que l'état d'un gaz peut être décrit par des grandeurs macroscopiques comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sa température</li> <li>• son volume</li> <li>• la quantité de matière du gaz</li> <li>• sa pression</li> </ul> <p>Utiliser la relation <math>P=F/S</math>.</p> <p>Connaître l'unité légale de pression.</p> <p>Savoir interpréter la force pressante sur une paroi par un modèle microscopique de la matière.</p> <p>Donner quelques exemples de propriétés physiques qui dépendent de l'état thermique d'un corps.</p> <p><i>Savoir mesurer une pression et une température :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- utiliser un manomètre adapté à la mesure*</li> <li>- utiliser un thermomètre adapté à la mesure*</li> <li>- garder un nombre de chiffres significatifs en adéquation avec la précision de la mesure</li> <li>- exprimer le résultat avec une unité correcte</li> </ul> |
| <p>Utilisation de logiciels de simulation montrant l'agitation moléculaire*.</p> <p><i>Etude quantitative du comportement d'une quantité donnée de gaz à température constante* : loi de Mariotte.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>2. Lien entre agitation thermique et température : équation d'état des gaz parfaits</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'agitation des molécules constituant un gaz à faible pression caractérise son état thermique et peut être utilisée pour définir sa température.</li> <li>- tous les gaz permettent de définir la même échelle de température, dite échelle Kelvin.</li> <li>- l'absence d'agitation thermique correspond au zéro absolu.</li> <li>- unité de température absolue : le Kelvin.</li> <li>- la température <math>\theta</math> en degré Celsius est déduite de la température absolue <math>T</math></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>Savoir que, à une pression donnée et dans un état thermique donné, un nombre donné de molécules occupe un volume indépendant de la nature du gaz.</p> <p>Savoir que l'équation d'état <math>PV=nRT</math> définit le modèle de comportement du gaz "parfait".</p> <p>Savoir utiliser la relation : <math>\theta (^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15</math> et <math>T(\text{K}) = \theta (^{\circ}\text{C}) + 273,15</math></p> <p>Savoir que dans les conditions habituelles de température et de pression l'air de la salle de classe peut être assimilé à un gaz parfait.</p> <p>Savoir utiliser la relation <math>PV = nRT</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p>Comment interpréter les observations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pourquoi un ballon de foot devient-il plus dur quand on le gonfle ?,</li> <li>- pourquoi la soupape d'une cocotte-minute se met-elle à tourner ?</li> <li>- que se passe-t-il dans l'expérience du jet d'eau ? ...</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

\* Les activités pouvant mettre en jeu les technologies de l'information et de la communication sont repérées par un astérisque.

Commentaires :

Les logiciels de simulation sont d'une aide précieuse pour permettre aux élèves de se construire une représentation du modèle microscopique. On peut signaler que la vitesse moyenne d'une molécule de dioxygène ou de diazote de la salle de classe est d'environ 500 m/s. Si l'enseignant souhaite faire observer le mouvement brownien (dans un gaz ou dans un liquide), l'idée que cette vitesse moyenne diminue lorsque la masse augmente peut être évoquée. En effet, les particules de poussières qui sont "géantes" et très lourdes comparées aux molécules de l'air se déplacent beaucoup moins vite. C'est ce qui permet l'observation du mouvement brownien dans le champ d'un microscope.

Dans un souci de familiarisation avec le matériel, on confronte tout d'abord l'élève à des situations expérimentales où sont mises en œuvre des mesures de volume, de température et de pression.

Le professeur choisit des situations où l'identification et, éventuellement, la mesure des grandeurs qui évoluent au cours de l'expérience peuvent se faire sans équivoque ; il s'agit de sensibiliser les élèves à l'interdépendance des quatre variables d'état.

On doit signaler que le calcul de la quantité de matière contenue dans un mélange gazeux (tel que l'air) n'est possible que si on en connaît l'exacte composition.

La description expérimentale de phénomènes physiques dépendant de l'état thermique d'un corps doit rester simple et ne déboucher sur aucun formalisme. On explique à cette occasion pourquoi les sensations thermiques humaines ne sont pas fiables pour mesurer une température.

*Il est important de faire comprendre aux élèves que l'échelle de température absolue est actuellement l'échelle de référence dont sont déduites d'autres échelles d'utilisation courante souvent bien plus commodes.*

*On signale, à l'attention du professeur, que depuis 1968, l'échelle Celsius est définie internationalement à partir de l'échelle de température absolue (ou thermodynamique) par la relation  $\theta(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$  ; le degré Celsius est donc égal au Kelvin et les deux échelles ne diffèrent l'une de l'autre que par une simple translation. Il découle de sa "nouvelle" définition que l'échelle Celsius n'est pas a priori une échelle centésimale et, du reste, elle ne l'est pas exactement (à l'échelle d'une précision du centième de degré).*

La dernière partie, dont le contenu se résume à l'équation d'état des gaz parfaits, est entièrement enseignée à travers des activités expérimentales comme :

- des expériences quantitatives dont l'enjeu est de comparer le comportement d'un gaz du laboratoire avec le modèle du gaz dit "parfait" ;
- des "situations-problème" empruntées à la vie courante ou montrant des expériences de laboratoire, dont l'enjeu est l'exercice de la démarche scientifique. Les élèves doivent utiliser les outils de résolution comme le modèle du gaz parfait et l'origine de la force pressante pour parvenir à interpréter les situations observées.

## Annexe B : Extraits du programme de la classe de première de la série scientifique

### - Forces, travail et énergie

(durée indicative 18 heures, 6 TP)

#### A - FORCES ET MOUVEMENTS

##### Objectifs

L'idée est de reprendre et d'approfondir les notions vues en seconde en montrant comment une action s'exerçant sur un solide est capable de modifier son mouvement.

L'un des objectifs est de préciser la conception newtonienne du mouvement selon laquelle la force est liée au changement de la vitesse et non à la vitesse. Ce travail a déjà été entrepris en classe de seconde avec une première approche du principe de l'inertie et de la force de gravitation. Il s'agit maintenant de donner davantage de consistance au point de vue newtonien en étendant le champ de l'étude à celle de solides soumis à plusieurs actions simultanées, le cas du solide en translation étant privilégié. Le mouvement du centre d'inertie d'un solide est le principal objet de l'étude, mais pour autant il ne s'agit pas de présenter la mécanique du "point matériel" mais d'aborder celle de systèmes réels par celle du système matériel le plus simple, le solide.

| EXEMPLES D'ACTIVITÉS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | CONTENUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Observation du mouvement du centre d'inertie. Observation des mouvements des autres points (vidéos, chronophotographies...) *.</p> <p>Réalisation et exploitation d'enregistrements: table à coussin d'air, table à digitaliser, vidéos, capteurs chrono-cinés*...</p> <p>Détermination de vecteurs vitesses à partir d'enregistrements.</p> <p>Étude du mouvement du centre d'inertie d'un solide dans diverses situations (projectiles, satellites).</p> <p>Recherche de forces sur des exemples variés (expériences, vidéos, logiciels...)*.</p> <p>Utilisation du principe d'inertie pour analyser les forces qui agissent sur un solide, en mouvement ou non.</p> <p>Mettre en relation la variation du vecteur vitesse <math>V_G</math> d'un mobile avec la somme des forces appliquées dans des situations simples et variées.</p> <p>Expliquer pourquoi il y a des ceintures de sécurité dans les voitures.</p> <p>Analyser comment le principe d'inertie s'applique à un véhicule qui monte une côte rectiligne à vitesse constante.</p> <p>Expliquer le rôle des roues motrices et du sol dans le mouvement d'une voiture.</p> | <p><b>1 - Mouvement d'un solide indéformable</b></p> <p>1.1 Vecteur vitesse d'un point du solide</p> <p>1.2 Centre d'inertie d'un solide</p> <p>1.3 Mouvement de translation d'un solide</p> <p>1.4 Mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe; vitesse angulaire</p> <p><b>2 - Forces macroscopiques s'exerçant sur un solide</b></p> <p>Actions exercées sur un solide; exemples d'effets produits (maintien en équilibre, mise en mouvement de translation, mise en mouvement de rotation, déformations).</p> <p><b>3 - Une approche des lois de Newton appliquées au centre d'inertie</b></p> <p><b>1ère loi :</b> Principe d'inertie</p> <p>Ce principe n'est vrai que dans certains référentiels.</p> <p>Ces référentiels sont dit galiléens.</p> <p><b>2ème loi :</b> Aspect semi-quantitatif: comparaison de la somme des forces et de la variation du vecteur vitesse du centre d'inertie dans un référentiel galiléen.</p> <p><b>3ème loi :</b> Principe des actions réciproques</p> | <p><i>Sur un enregistrement réalisé ou donné, déterminer et représenter le vecteur vitesse <math>V</math> d'un point mobile</i></p> <p>Savoir que le vecteur vitesse <math>V</math> est le même pour tous les points d'un solide en translation. Savoir que chaque point d'un solide en rotation autour d'un axe fixe a une trajectoire circulaire. Pour un solide en rotation autour d'un axe fixe, relier la vitesse d'un point à la vitesse angulaire.</p> <p>Identifier et représenter les actions qui s'exercent sur un solide.</p> <p>Prévoir dans des cas simples la possibilité de mise en rotation d'un solide autour d'un axe fixe.</p> <p>Connaître et appliquer les lois de Newton:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse <math>V_G</math> du centre d'inertie ne varie pas, la somme <math>F = \sum f</math> des forces qui s'exercent sur le solide est nulle et réciproquement.</li> <li>- Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse <math>V_G</math> du centre d'inertie varie, la somme <math>F = \sum f</math> des forces qui s'exercent sur le solide n'est pas nulle. Sa direction et son sens sont ceux de la variation de <math>V_G</math> entre deux instants proches.</li> <li>- A et B étant deux corps, soient <math>F_{B/A}</math> la force exercée par B sur A et <math>F_{A/B}</math> la force exercée par A sur B. Quel que soit l'état de mouvement de A par rapport à B on a toujours l'égalité vectorielle: <math>F_{A/B} = -F_{B/A}</math></li> </ul> <p>Analyser un exemple où une force de frottement sert à la propulsion.</p> |

\* Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication

##### Commentaires

##### Vitesse d'un point d'un solide.

La valeur de la vitesse moyenne est introduite comme le quotient de la distance parcourue par la durée. La mesure approchée de la valeur de la vitesse d'un point est obtenue par le calcul de la valeur de la vitesse moyenne entre deux instants voisins.

**Tournez la page S.V.P.**

### Mouvement d'un solide

Connaître le mouvement d'un solide, c'est connaître le mouvement de chacun de ses points.

L'étude, dans le référentiel terrestre, du mouvement d'un solide soumis à la seule action de la Terre montre qu'il existe un point G dont le mouvement est plus simple que les autres: le centre d'inertie. Cette étude est conduite en référence à un ou deux exemples concrets et simples de situations de dynamique. On pourra, à cette fin, utiliser des enregistrements vidéo ou chronophotographiques de mouvements judicieusement choisis.

### Forces macroscopiques s'exerçant sur un solide

La description microscopique des actions subies par un corps nécessite en général la connaissance de tout un ensemble de forces réparties en volume ou à la surface de contact avec les autres corps; pour l'étude du mouvement du centre d'inertie des corps, la connaissance de la résultante de chacune de ces diverses actions est suffisante, d'où la modélisation, à ce niveau, de chacune de ces actions en terme d'une force unique, par exemple: "résultante des forces de pesanteur" ou "résultante des forces de contact entre solides". Pour pouvoir mettre un solide en rotation autour d'un axe fixe, la droite support d'une force ne doit pas passer par l'axe ni être parallèle à cet axe. Les déformations élastiques sont à citer car elles conduisent en particulier, après étalonnage, à des appareils de mesure de forces (dynamomètres).

Il est signalé aux élèves que les forces macroscopiques qui s'exercent sur un solide (exception faite de celles de pesanteur) ont pour origine l'interaction électromagnétique; on fait ainsi le lien entre le domaine de la mécanique et celui des interactions fondamentales étudié dans la partie précédente.

### Une approche des lois de Newton

On se limite à un niveau de formulation semi-quantitatif des lois de Newton qu'on énoncera comme principes fondamentaux dans un référentiel galiléen. Valables pour tout corps même déformable, on se contentera ici de les appliquer à des solides.

La première loi permet de retrouver le principe d'inertie. Pour son application, le référentiel terrestre et le référentiel géocentrique seront considérés comme galiléens.

L'approche quantitative de la deuxième loi s'appuie sur le constat d'une variation  $\Delta V_G$  de la vitesse du centre d'inertie calculée entre deux instants proches. La relation  $F = ma$  sera vue en classe terminale; seuls la direction et le sens des vecteurs  $F$  et  $\Delta V_G$  seront comparés en classe de première (cas où la somme des forces est nulle, cas d'un mouvement rectiligne varié, cas d'un mouvement curviligne varié, cas d'un mouvement circulaire uniforme).

Pour la troisième loi, on dit que deux corps A et B sont en interaction si l'état de mouvement ou de repos de l'un (A) dépend de l'existence de l'autre (B). Une interaction entre deux corps A et B suppose toujours deux actions réciproques: celle de A sur B et celle de B sur A. Une expression plus complète de la troisième loi doit prendre en compte les moments des forces; cela ne sera pas abordé ici. De plus on évitera l'emploi de l'expression "loi de l'action et de la réaction" qui peut induire l'idée fausse d'une "réaction" causée par une "action" et lui faisant suite temporellement.

Il est intéressant de faire remarquer aux élèves que la résultante des forces de frottements s'exerçant sur un mobile peut être dirigée dans le sens opposé à la vitesse du mobile (freinage) mais aussi dans le même sens (propulsion).

On se limite dans ce programme au mouvement du centre d'inertie; dans l'application des deux premières lois à ce point, pour effectuer la somme des forces, les vecteurs qui les décrivent seront représentés graphiquement à partir d'une origine commune; ce point peut être le centre d'inertie ou de préférence un point en dehors de la figure représentant le dispositif étudié.

## B - TRAVAIL MÉCANIQUE ET ÉNERGIE

### Objectifs

Le but est d'introduire une grandeur fondamentale, l'énergie, dont la conservation constitue une des lois les plus générales de la physique et constitue le guide sous-jacent à la progression.

Différentes formes d'énergie sont introduites à partir de la notion du travail d'une force, tout en montrant que selon les situations, ces différentes formes sont susceptibles de se transformer les unes dans les autres. L'objectif est ainsi de progresser vers l'idée de conservation.

Enfin pour illustrer le fait que le travail n'est pas le seul mode de transfert d'énergie, on termine cette introduction par quelques considérations simples sur le transfert thermique, en évitant la confusion entre chaleur et température.

| EXEMPLES D'ACTIVITÉS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | CONTENUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Approche qualitative de la mise en contact de deux corps à des températures différentes: évolution vers l'équilibre thermique.</p> <p>Analyse qualitative des transferts d'énergie se faisant sur un système déterminé.</p>                                                                                                                                          | <p><b>- Le transfert thermique</b></p> <p>Un travail reçu peut produire une élévation de température d'un corps. Une élévation identique de température peut être obtenue par transfert d'énergie sous une autre forme: le transfert thermique ; aspect microscopique.</p> <p>Autre mode de transfert énergétique: le rayonnement.</p> | <p>Savoir qu'à l'échelle macroscopique, un transfert thermique se fait spontanément du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse. Prévoir sur des exemples simples le sens d'un transfert thermique.</p> <p>Savoir que le rayonnement est un mode de transfert de l'énergie.</p> |
| <p><b>La conclusion de l'analyse présentée dans le chapitre s'exprimera sous la forme suivante :</b></p> <p><b>À tout système dans un état donné, on peut associer une grandeur appelée "énergie". Si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit par travail, par transfert thermique ou par rayonnement.</b></p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### Commentaires

#### Un autre mode de transfert d'énergie: le transfert thermique

En apportant de l'énergie par travail mécanique ou électrique (plus tard pour ce dernier point) on peut échauffer un corps, d'où l'idée qu'en général à une élévation de température correspond une énergie stockée plus importante.

On s'appuie ensuite sur l'étude de situations simples dans lesquelles un système voit son énergie évoluer (par exemple un corps chaud qu'on laisse refroidir au contact de l'air atmosphérique ou un corps froid placé au contact d'une source chaude). On définit alors un deuxième mode de transfert d'énergie: le transfert thermique (cette expression sera utilisée de préférence au terme de chaleur pour éviter la confusion trop fréquente entre chaleur et température).

On indique qu'à l'échelle macroscopique, ce transfert d'énergie s'effectue spontanément du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse. On se limite dans cette première approche au transfert thermique par conduction. Cette notion de transfert thermique sera réinvestie dans l'enseignement de SVT.

Il a été vu en classe de seconde que la température est la variable macroscopique rendant compte de l'agitation des molécules d'un gaz. Le transfert thermique est un mode de transfert désordonné qui s'interprète à l'échelle microscopique par des transferts d'énergie lors d'interactions concernant des particules situées à l'interface entre le système et son environnement.

Le transfert d'énergie par rayonnement ne fait ici l'objet que d'une approche simple et qualitative à partir d'exemples courants (soleil, lampe...)

## Annexe C : Extraits du programme de la classe de terminale de la série scientifique

### - Transformations nucléaires (2 TP - 7HCE)

#### Objectifs

L'objectif de cette partie est triple :

- aborder quelques notions concernant la structure des noyaux atomiques à partir de l'observation expérimentale de leur instabilité (radioactivité).
- connaître quelques ordres de grandeurs concernant la radioactivité naturelle (corps humain, roches), et comprendre qu'elle peut être utilisée pour la datation à des échelles de temps géologiques ou historiques.
- comprendre que la conversion masse-énergie peut être à l'origine de la production d'énergie utilisable (soleil, centrales nucléaires, géothermie)

| EXEMPLES D'ACTIVITÉS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CONTENUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Exploitation du diagramme (N,Z) afin de prévoir les domaines des noyaux émetteurs <math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math>, et <math>\beta^+</math>.</p> <p>Découverte de la radioactivité par Becquerel (textes)*.</p> <p>Film et document illustrant une décroissance radioactive.</p> <p>La radioactivité dans notre environnement (corps humain, roches, habitations, etc.)*</p> <p>Exemples de datations*.</p> <p><i>Utilisation d'un compteur de radioactivité :</i><br/>                     - caractère aléatoire de la désintégration ;<br/>                     analyse statistique des comptages*<br/>                     - tracé de courbes d'évolution<br/>                     - mesure de la radioactivité naturelle</p> | <p><b>1 - Décroissance radioactive</b></p> <p>1.1 Stabilité et instabilité des noyaux<br/>Composition ; isotopie ; notation <math>{}^A_ZX</math>.<br/>Diagramme (N,Z)</p> <p>1.2 La radioactivité<br/>La radioactivité <math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math>, <math>\beta^+</math>, émission <math>\gamma</math>.<br/>Lois de conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons</p> <p>1.3 Loi de décroissance<br/>Évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs<br/><math>\Delta N = -\lambda N \Delta t</math> ; <math>N = N_0 e^{-\lambda t}</math>.<br/>Importance de l'activité <math>\lambda = \Delta N / \Delta t</math> ; le becquerel.<br/>Constante de temps <math>\tau = 1/\lambda</math>.<br/>Demi-vie <math>t_{1/2} = \tau \ln 2</math>.<br/>Application à la datation.</p> | <p>Connaître la signification du symbole <math>{}^A_ZX</math> et donner la composition du noyau correspondant.</p> <p>Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes.</p> <p>Reconnaître les domaines de stabilité et d'instabilité des noyaux sur un diagramme (N,Z).</p> <p>Définir un noyau radioactif.</p> <p>Connaître et utiliser les lois de conservation.</p> <p>Définir la radioactivité <math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math>, <math>\beta^+</math>, l'émission <math>\gamma</math> et écrire l'équation d'une réaction nucléaire pour une émission <math>\alpha</math>, <math>\beta^-</math> ou <math>\beta^+</math> en appliquant les lois de conservation.</p> <p>À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de radioactivité.</p> <p>Connaître l'expression de la loi de décroissance et exploiter la courbe de décroissance.</p> <p>Savoir que 1 Bq est égal à une désintégration par seconde.</p> <p>Expliquer la signification et l'importance de l'activité dans le cadre des effets biologiques.</p> <p>Connaître la définition de la constante de temps et du temps de demi-vie.</p> <p>Utiliser les relations entre <math>\tau</math>, <math>\lambda</math> et <math>t_{1/2}</math>.</p> <p>Déterminer l'unité de <math>\lambda</math> ou de <math>\tau</math> par analyse dimensionnelle.</p> <p>Expliquer le principe de la datation, le choix du radioélément et dater un événement.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux<br/> <i>Réaliser une série de comptages relatifs à une désintégration radioactive.</i><br/> <i>À partir d'une série de mesures, utiliser un tableur ou une calculatrice pour calculer la moyenne, la variance et l'écart-type du nombre de désintégrations enregistrées pendant un intervalle de temps donné.</i></p> |
| <p>Découvertes de la fission et de la fusion.</p> <p>La fission et le réacteur naturel du Gabon.</p> <p>La fusion et les étoiles*.</p> <p>Quelques utilisations des réactions nucléaires*.</p> <p>La fission industrielle et la gestion des déchets*.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p><b>2 - Noyaux, masse, énergie</b></p> <p>2.1 Équivalence masse-énergie<br/>Défaut de masse ; énergie de liaison<br/><math>\Delta E = \Delta m c^2</math> ; unités : eV, keV, MeV.<br/>Énergie de liaison par nucléon.<br/>Équivalence masse-énergie.<br/>Courbe d'Aston - <math>E_f/A = f(A)</math></p> <p>2.2 Fission et fusion<br/>Exploitation de la courbe d'Aston ; domaines de la fission et de la fusion.</p> <p>2.3 Bilan de masse et d'énergie d'une réaction nucléaire<br/>Exemples pour la radioactivité, pour la fission et la fusion.<br/>Existence de conditions à réaliser pour obtenir l'amorçage de réactions de fission et de fusion.</p>                                                                                                                                                                    | <p>Définir et calculer un défaut de masse et une énergie de liaison.</p> <p>Définir et calculer l'énergie de liaison par nucléon.</p> <p>Savoir convertir des J en eV et réciproquement.</p> <p>Connaître la relation d'équivalence masse-énergie et calculer une énergie de masse.</p> <p>Commenter la courbe d'Aston pour dégager l'intérêt énergétique des fissions et des fusions.</p> <p>Définir la fission et la fusion et écrire les équations des réactions nucléaires en appliquant les lois de conservation.</p> <p>À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de réaction.</p> <p>Faire le bilan énergétique d'une réaction nucléaire en comparant les énergies de masse.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

\*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

### Commentaires

Le thème de la radioactivité est l'occasion d'opérer une convergence thématique avec les mathématiques (exponentielle, probabilité, statistiques et équation différentielle) et les sciences de la vie et de la Terre (datation). Une concertation entre les professeurs des trois disciplines scientifiques est encouragée.

Le caractère aléatoire de la désintégration radioactive peut être observé en cours de physique avec une source de césium-137 (CRAB), ou en mesurant la radioactivité naturelle (radon). Il s'agit là d'observations sur une population macroscopique de noyaux. Les hypothèses de base concernant la désintégration d'un noyau individuel ("la désintégration d'un noyau n'affecte pas celle d'un noyau voisin", "un noyau meurt sans vieillir") permettent d'établir la loi de décroissance d'une population de noyaux. Ce modèle est traité dans le cours de mathématiques. L'élève sera amené à remarquer que l'association d'un processus aléatoire à l'échelle microscopique et d'une évolution macroscopique déterministe s'observe également lors de l'évolution d'un système chimique.

L'observation d'une décroissance radioactive permet d'établir empiriquement sa loi d'évolution. Connaissant un ensemble de valeurs de  $\Delta N/\Delta t$ , on peut remonter à la dépendance temporelle de  $N(t)$ , en utilisant la notion d'intégrale vue en mathématiques comme "aire sous la courbe", vérifier qu'elle est bien exponentielle et en déduire une constante de temps. Il faut cependant remarquer que l'expérience ne donne pas accès au nombre total de noyaux radioactifs à un instant donné, car le détecteur a d'une part une fenêtre d'entrée limitée, et d'autre part une efficacité inférieure à 100 %. Pour des conditions de mesure fixes, on fait l'hypothèse statistique selon laquelle le nombre de désintégrations mesuré est proportionnel au nombre total de désintégrations. Dans ces conditions, la constante de temps extraite est bien celle que l'on cherche.

Les effets biologiques des rayonnements ne sont pas seulement liés à l'activité, mais également à l'énergie qu'ils déposent dans le corps. Cependant aucun développement concernant l'absorption des rayonnements n'est au programme, ni les grandeurs et les unités correspondantes. Il est important, compte tenu de la difficulté d'appréhension du phénomène, de donner quelques ordres de grandeur de la radioactivité naturelle. Celle du corps humain (environ 10 000 Bq, dus essentiellement au  $^{14}\text{C}$  et au  $^{40}\text{K}$ ), et celle des roches, qui libèrent principalement du radon, dont le taux de désintégration mesuré en France est de quelques dizaines à quelques centaines de becquerels par mètre cube.

Concernant l'application à la datation, une concertation avec le professeur de sciences de la vie et de la Terre est encouragée. La datation par la méthode du carbone-14 est simple, car elle repose sur l'hypothèse selon laquelle le rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  dans l'atmosphère est en première approximation indépendant du temps. La radio-chronologie utilisant des noyaux à longue durée de vie (par exemple rubidium-strontium pour déterminer l'âge de la Terre), qui nécessite l'élaboration d'une méthode permettant de s'affranchir de la connaissance de la composition isotopique initiale de la roche, est envisageable plutôt dans le cours de sciences de la Terre.

On réalisera les datations par méthode graphique et par le calcul. Les deux méthodes seront exigibles en fin d'année.

Le neutrino et l'antineutrino ne seront pas exigibles dans l'écriture des réactions nucléaires.

Si un noyau fils est produit dans un état excité, on écrira sa désexcitation dans une deuxième équation.

Les bilans de masse seront effectués en utilisant les masses des noyaux et non celles des atomes.

Dans le bilan énergétique on n'effectuera pas de calcul de l'énergie cinétique de chacun des noyaux produits.

L'introduction de l'électron-volt sera faite par un argument dimensionnel. On fera remarquer à l'élève que cette unité est bien adaptée à l'atome, et que le MeV est bien adapté à l'échelle du noyau. Ce sera l'occasion d'un retour sur le chapitre **L'énergie au quotidien** du programme de chimie de la classe de première S.

Dans le cas de la fission et de la fusion on signalera, au moment de faire le bilan énergétique, que ces réactions, si elles libèrent de l'énergie, nécessitent d'être amorcées. Aucun développement technologique ne sera traité.

### Précisions terminologiques

On rappelle que la notation  $^A_Z\text{X}$  caractérise le noyau (et non l'atome). Les équations seront écrites au niveau des noyaux. Le terme nucléide n'est pas exigible.

Le becquerel est la seule unité utilisée pour caractériser la radioactivité d'un élément.

Pour éviter toute confusion avec la période des phénomènes périodiques, le terme période radioactive est évité au profit de l'expression demi-vie.

L'énergie de liaison est définie comme l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour le dissocier en nucléons isolés et immobiles.

L'unité de masse atomique, de symbole  $u$ , est utilisable mais non exigée.

## - Évolution temporelle des systèmes mécaniques (5 TP - 22 HCE)

### Objectifs

Cette partie constitue l'aboutissement de l'enseignement de mécanique commencé en classe de seconde. L'appropriation des lois de Newton, à travers les différents exemples de mouvements étudiés, permet aux élèves de pratiquer les différents aspects de la démarche scientifique :

- modéliser un système et utiliser les lois de la dynamique pour prévoir son comportement, en utilisant une résolution analytique et/ou une méthode numérique itérative ;

- réaliser des mesures quantitatives et les confronter aux prédictions d'une théorie, dans le but éventuel d'améliorer la modélisation.

La variété des systèmes étudiés doit illustrer la généralité de la théorie.

Dans chaque cas considéré, ce qui est appelé "résolution analytique" dans la colonne des compétences exigibles comprend : l'établissement de l'équation différentielle, la vérification qu'une solution analytique proposée la satisfait, et la détermination des constantes à partir des paramètres du circuit et des conditions initiales.

| EXEMPLES D'ACTIVITÉS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CONTENUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Exemples de systèmes oscillants dans la vie courante : suspension de voiture, oscillation des immeubles de grande hauteur sous l'action du vent, vibration du sol au passage d'un TGV. Textes historiques de Galilée*.</p> <p><i>Expériences de cours mettant en évidence les notions à introduire.</i></p> <p><i>Étude de la force de rappel exercée par un ressort en statique.</i></p> <p><i>À l'aide d'un dispositif expérimental (par exemple un mobile sur coussin d'air relié à un ou deux ressorts ou un solide fixé à un ressort vertical) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- enregistrer <math>x = f(t)</math></li> <li>- déterminer l'amplitude et la pseudopériode</li> <li>- déterminer l'influence de l'amortissement sur l'amplitude et sur la pseudopériode</li> <li>- déterminer l'influence des paramètres <math>m</math> et/ou <math>k</math>.</li> </ul> | <p><b>3. Systèmes oscillants</b></p> <p>3.1 Présentation de divers systèmes oscillants mécaniques</p> <p>Pendule pesant, pendule simple et système solide-ressort en oscillation libre : position d'équilibre, écart à l'équilibre, abscisse angulaire, amplitude, amortissement (régime pseudo-périodique, régime apériodique), pseudo-période et isochronisme des petites oscillations, période propre.</p> <p>Expression de la période propre d'un pendule simple : justification de la forme de l'expression par analyse dimensionnelle.</p> <p>3.2 Le dispositif solide-ressort</p> <p>Force de rappel exercée par un ressort. Étude dynamique du système "solide" : choix du référentiel, bilan des forces, application de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton, équation différentielle, solution analytique dans le cas d'un frottement nul. Période propre.</p> <p>3.3 Le phénomène de résonance</p> <p>Présentation expérimentale du phénomène : exciteur, résonateur, amplitude et période des oscillations, influence de l'amortissement. Exemples de résonances mécaniques.</p> | <p>Définir un pendule simple.</p> <p>Justifier la position d'équilibre dans le cas d'un pendule simple.</p> <p>Définir l'écart à l'équilibre, l'abscisse angulaire, l'amplitude, la pseudo-période, la période propre et les mesurer sur un enregistrement. Énoncer la loi d'isochronisme des petites oscillations.</p> <p>Savoir comment un système peut atteindre un régime apériodique.</p> <p>Savoir que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période est voisine de la période propre.</p> <p>Pour un pendule simple, justifier la forme de l'expression de la période propre par analyse dimensionnelle.</p> <p>À partir d'une série de résultats expérimentaux, vérifier la validité de l'expression de la période propre d'un pendule simple.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p><i>Décrire un protocole expérimental permettant :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'enregistrer le mouvement d'un système oscillant plus ou moins amorti</li> <li>- de vérifier la loi d'isochronisme des petites oscillations</li> <li>- de vérifier l'expression de la période propre dans le cas du pendule simple.</li> </ul> <p>Connaître les caractéristiques de la force de rappel exercée par un ressort.</p> <p>Appliquer la deuxième loi de Newton au solide et effectuer la résolution analytique dans le cas d'un dispositif oscillant horizontalement.</p> <p>Connaître la signification de tous les termes intervenant dans la solution de l'équation différentielle et leur unité.</p> <p>Connaître et savoir exploiter l'expression de la période propre, vérifier son homogénéité par analyse dimensionnelle.</p> <p>Savoir-faire expérimentaux</p> <p><i>Enregistrer un mouvement oscillant amorti. Savoir mesurer une amplitude, une pseudo-période.</i></p> <p><i>Savoir faire varier l'amortissement. Savoir montrer l'influence des paramètres masse et rigidité sur la période propre.</i></p> <p>Savoir que la résonance mécanique se produit lorsque la période de l'exciteur est voisine de la période propre du résonateur.</p> <p>Savoir que l'augmentation de l'amortissement provoque une diminution de l'amplitude.</p> <p>Connaître des exemples de résonance mécanique.</p> |

### Commentaires

3 - La présentation de divers systèmes oscillants est uniquement descriptive. Dans cette partie aucune équation n'est écrite et l'expression littérale de la période propre n'est pas donnée.

Le pendule pesant est utilisé expérimentalement en repérant, au cours de son mouvement, les positions respectives du centre d'inertie et de l'axe de rotation. Aucune définition n'est à donner et le moment d'inertie est hors programme. Le pendule simple est présenté comme un modèle idéalisé du pendule pesant.

L'amortissement est constaté expérimentalement mais aucun développement sur l'expression des forces de frottement n'est effectué.

La pseudo-période sera définie expérimentalement à partir d'enregistrements du mouvement de pendules pour diverses amplitudes initiales. Pour de petites amplitudes on vérifiera la loi d'isochronisme des petites oscillations.

Le système solide-ressort peut-être étudié verticalement ou horizontalement (éventuellement avec 2 ressorts).

Pour le pendule simple, à partir de l'inventaire des paramètres pouvant influencer sa période propre, on accèdera à l'expression de celle-ci par analyse dimensionnelle ; la constante  $2\pi$  sera donnée.

On montrera expérimentalement que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période des oscillations d'un pendule simple est sensiblement égale à sa période propre.

La force exercée par un ressort sur un objet fixé à une de ses extrémités, l'autre étant fixe, est appelée force de rappel ( $-kx$ ,  $x$  désignant l'allongement algébrique et  $i$  un vecteur unitaire parallèle à l'axe du ressort). On réservera le mot "tension" pour la force opposée, c'est à dire la force exercée par un objet ou un opérateur sur un ressort ( $+kx$ ).

L'équation différentielle ne sera établie que dans le cas d'un ressort à réponse linéaire et horizontal.

Dans le bilan des forces et dans l'écriture de l'équation différentielle on tiendra compte d'une force de frottement  $f$  dont on ne précisera pas l'expression.

La solution de l'équation différentielle sera donnée sous la forme  $x = x_m \cos(2\pi t/T_0 + \phi_0)$  ;  $\phi_0$  est la phase à l'origine des dates. La pulsation propre ne sera pas introduite.

La résonance mécanique sera introduite expérimentalement sur des dispositifs qui permettent de différencier nettement exciteur et résonateur, ce qui n'est pas le cas dans l'expérience des pendules couplés.

Aucune courbe de résonance ne sera tracée expérimentalement.

## Compétences scientifiques générales exigibles en fin de classe terminale S

### Compétences expérimentales

- Formuler une hypothèse sur un événement susceptible de se produire ou sur un paramètre pouvant influencer un phénomène
- Proposer une expérience susceptible de valider ou d'invalider une hypothèse ou répondant à un objectif précis
- Choisir et justifier l'utilisation du matériel de laboratoire
- Décrire une expérience, un phénomène
- Analyser les résultats expérimentaux et les confronter aux prévisions d'un modèle

### Compétences manipulatoires

- Reconnaître et nommer le matériel de laboratoire
- Suivre un protocole et utiliser le matériel prescrit
- Respecter les règles de sécurité élémentaires pour l'utilisation du matériel et des produits
- Faire le schéma d'un montage expérimental
- Réaliser un montage à partir d'un schéma ou d'un protocole

### Compétences scientifiques

- Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique
- Associer un modèle à un phénomène
- Elaborer une argumentation, une démarche scientifique
- Discuter la pertinence, la cohérence et la logique d'une argumentation scientifique
- Utiliser des unités adaptées
- Utiliser l'analyse dimensionnelle
- Evaluer l'ordre de grandeur d'un résultat
- S'interroger sur la vraisemblance d'un résultat
- Utiliser un vocabulaire scientifique adapté
- Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document
- Construire une courbe à partir d'un ensemble de mesures et l'exploiter
- Savoir exploiter une courbe

### Compétences transversales

- Utiliser un axe orienté et des mesures algébriques
- Utiliser les vecteurs et les opérations correspondantes (coordonnées, addition, produit scalaire)
- Utiliser les fonctions du programme de mathématiques
- Conduire un calcul de dérivée, de primitive et d'intégrale
- Utiliser la notion d'équation différentielle
- Utiliser les notions de statistique et de probabilité du programme de mathématiques
- Exploiter un tableau de valeurs
- Utiliser l'ordinateur pour acquérir et/ou traiter des données expérimentales
- Effectuer une recherche documentaire et savoir trier les informations selon des critères pertinents
- S'interroger sur la crédibilité d'une information
- Produire un document en utilisant les technologies de l'information et de la communication