

## CAHIER 2

# Énergie, oscillations, fluides et thermodynamique

---

*Conserver, transférer et transformer l'énergie*



*Image decorative en lien avec le theme general du cahier (mathematiques, etude), sans rapport avec un exercice precis*

**VERSION D'ENTRAÎNEMENT — sans correction**

### Sciences physiques — passage en L1

Niveau très exigeant, esprit prépa et ancienne série C

Objectif : calculer, modéliser, démontrer et interpréter sans raccourci

## Présentation du cahier

Ce cahier relie mécanique énergétique, oscillateurs, statique et dynamique des fluides, gaz parfaits et thermodynamique. Les exercices demandent de distinguer travail, chaleur, énergie interne et rendement, puis de mobiliser ces notions dans des cycles et des machines idéales.

### Objectifs

- Utiliser le théorème de l'énergie cinétique et l'énergie mécanique.
- Étudier oscillateurs libres, amortis et pendulaires.
- Appliquer hydrostatique, poussée d'Archimède et Bernoulli.
- Maîtriser premier principe, transformations des gaz et rendements.

### Méthode de travail

- 1) Faire un schéma, choisir le système étudié et préciser le référentiel.
- 2) Écrire les lois littéralement avant toute application numérique.
- 3) Contrôler les unités, les ordres de grandeur et le nombre de chiffres significatifs.
- 4) Chercher au moins vingt minutes avant de consulter une aide ou une correction.
- 5) Rédiger une conclusion physique ou chimique, pas seulement un résultat numérique.

**Cette version ne contient aucune correction. Utiliser ensuite le cahier jumeau corrigé pour comparer la démarche, pas seulement le résultat.**

### Constantes utiles

| Constante                        | Valeur                  | Unité / remarque                                 |
|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| Accélération de la pesanteur $g$ | 9,81                    | $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$                     |
| Constante gravitationnelle $G$   | $6,67 \times 10^{-11}$  | $\text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$     |
| Célérité de la lumière $c$       | $3,00 \times 10^8$      | $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$                     |
| Charge élémentaire $e$           | $1,602 \times 10^{-19}$ | C                                                |
| Constante d'Avogadro $N_A$       | $6,022 \times 10^{23}$  | $\text{mol}^{-1}$                                |
| Constante des gaz parfaits $R$   | 8,314                   | $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ |
| Constante de Faraday $F$         | $9,6485 \times 10^4$    | $\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$                   |

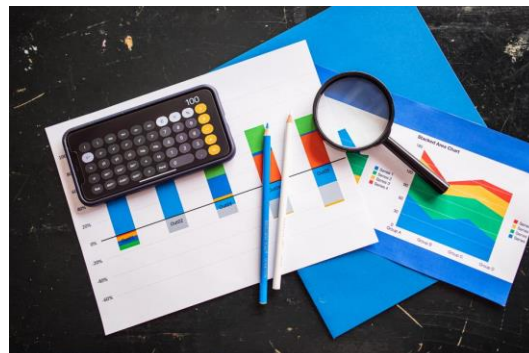
# I. Travail et énergie mécanique

## Exercice 1. Travail d'une force variable

### [Consolidation]

**Éléments du cours mobilisés :** Travail d'une force variable ; intégrale ; théorème de l'énergie cinétique ; force conservative et énergie potentielle.  
**Indications / méthode :** Représenter mentalement  $F(x)$  sur l'intervalle, puis intégrer. Pour l'énergie potentielle, utiliser le fait que sa dérivée est l'opposé de la force.

**Formules / relations utiles :**  $W = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx$  ;  $\Delta E_c = W$  ;  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$  ;  $F(x) = -dU/dx$ .



Une particule de masse  $m = 1,50 \text{ kg}$  se déplace sur l'axe  $x$  sous l'action de  $F(x) = 6x - 2x^2$ , en newtons, entre  $x=0$  et  $x=3,00 \text{ m}$ . Sa vitesse initiale est  $2,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

- 1) Calculer le travail de la force.
- 2) En déduire la vitesse finale.
- 3) Construire une énergie potentielle  $U(x)$  telle que  $U(0)=0$ .
- 4) Étudier le signe de la force sur  $[0 ; 3]$ .

#### Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Exercice 2. Condition de passage dans une boucle [Approfondissement]

**Éléments du cours mobilisés :** Énergie mécanique ; mouvement circulaire vertical ; réaction normale ; condition de contact ; dynamique radiale.

**Indications / méthode :** Au sommet, écrire d'abord l'équation radiale et chercher la condition limite  $N=0$ . Ensuite seulement relier le sommet au point de départ par conservation de l'énergie.

**Formules / relations utiles :**  $E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$  ; au sommet :  $mg+N = mv^2/R$  ; condition limite :  $N=0$ .

Une bille glisse sans frottement depuis le repos sur une piste qui comporte une boucle verticale de rayon  $R$ .

- 1) Déterminer la vitesse minimale au sommet pour que la bille reste en contact.
- 2) En déduire la hauteur minimale  $h$  de départ, mesurée depuis le bas de la boucle.
- 3) Pour  $R=0,800 \text{ m}$ , calculer  $h$ , la vitesse au bas et la réaction normale au bas.
- 4) Expliquer pourquoi la condition énergétique seule ne suffit pas.

#### Espace de travail

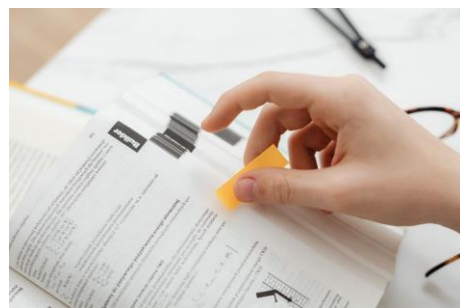
.....

.....

.....

.....

.....



### Exercice 3. Lancement vertical et énergie gravitationnelle [Approfondissement]

**Éléments du cours mobilisés :** Énergie potentielle gravitationnelle non uniforme ; conservation de l'énergie mécanique ; vitesse de libération ; mouvement radial dans un champ newtonien.

**Indications / méthode :** Travailler avec l'énergie par unité de masse pour alléger les écritures. Au rayon maximal la vitesse s'annule ; comparer ensuite le cas donné au seuil d'échappement.

**Formules / relations utiles :**  $\varepsilon = \frac{1}{2}v^2 - GM/r$  ;  $v_{\text{lib}} = \sqrt{2GM/R}$  ; conservation :  $\varepsilon_{\text{initiale}} = \varepsilon_{\text{finale}}$ .

Depuis la surface d'une planète sphérique de rayon  $R$  et de masse  $M$ , un projectile est lancé radialement avec  $v_0 = 0,800 v_{\text{lib}}$ , où  $v_{\text{lib}} = \sqrt{2GM/R}$ . On néglige toute atmosphère.

- 1) Écrire l'énergie mécanique par unité de masse.
- 2) Déterminer le rayon maximal atteint.
- 3) Donner l'altitude maximale en multiples de  $R$ .
- 4) Que se passerait-il pour  $v_0 = v_{\text{lib}}$  ?

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

## II. Oscillations

### Exercice 4. Oscillateur harmonique avec conditions initiales [Consolidation]

**Éléments du cours mobilisés :** Oscillateur masse-ressort ; pulsation propre ; solution sinusoïdale ; conditions initiales ; énergie mécanique.

**Indications / méthode :** Calculer  $\omega_0$ , puis utiliser  $x(0)$  et  $v(0)$  pour fixer amplitude et phase. Une vérification énergétique permet de contrôler l'amplitude et la vitesse maximale.

**Formules / relations utiles :**  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$  ;  $x = A \cos(\omega_0 t - \phi)$  ;  $v = -A \omega_0 \sin(\omega_0 t - \phi)$  ;  $E = \frac{1}{2} k x^2 + \frac{1}{2} m v^2$ .

Un oscillateur masse-ressort a  $m=0,500$  kg et  $k=50,0$  N·m<sup>-1</sup>. À  $t=0$ ,  $x_0=8,00$  cm et  $v_0=0,600$  m·s<sup>-1</sup>.

- 1) Calculer la pulsation propre.
- 2) Écrire  $x(t)=A \cos(\omega t - \phi)$  et déterminer A et  $\phi$ .
- 3) Calculer l'énergie mécanique et la vitesse maximale.
- 4) Déterminer le premier passage par  $x=0$ .

Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

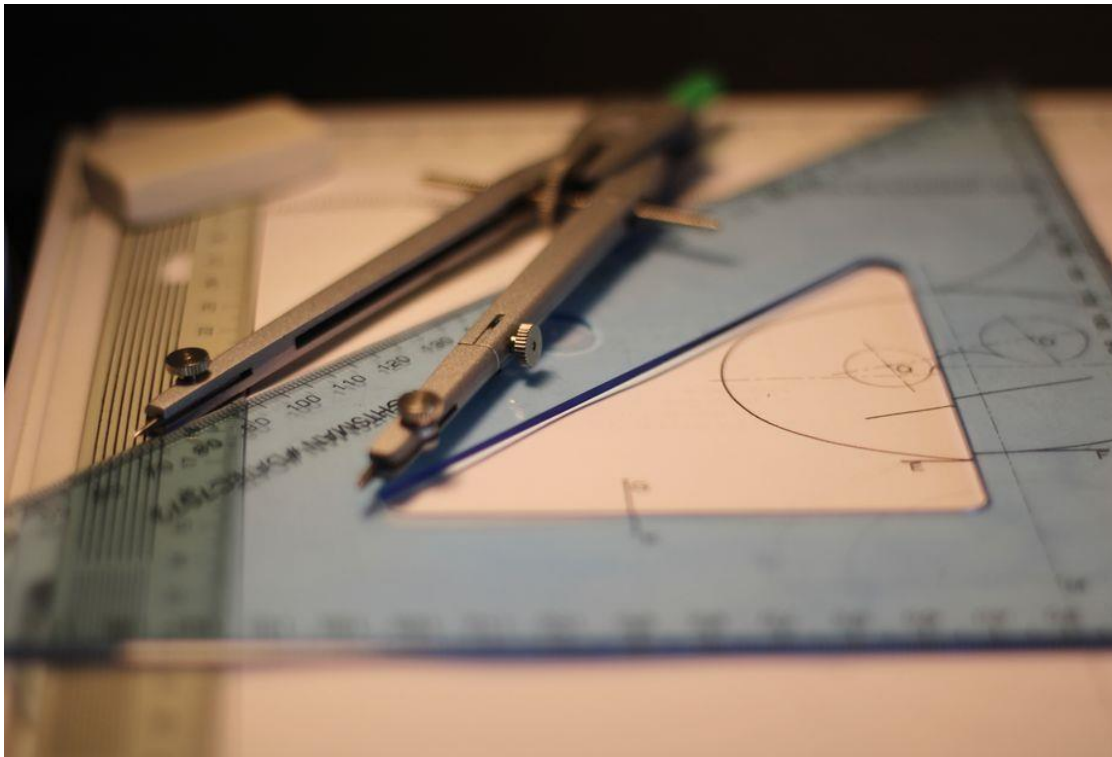


Figure geometrique pedagogique illustrant la notion

## Exercice 5. Pendule simple et approximation des petits angles [Approfondissement]

**Éléments du cours mobilisés :** Pendule simple ; équation non linéaire ; approximation  $\sin\theta \approx \theta$  ; oscillateur harmonique ; conservation de l'énergie ; correction de période.

**Indications / méthode :** Écrire l'équation exacte puis linéariser uniquement après avoir exprimé l'angle en radians. Comparer ensuite modèle harmonique et bilan énergétique exact.

**Formules / relations utiles :**  $\theta'' + (g/\ell)\sin\theta = 0$  ; petits angles :  $\theta'' + (g/\ell)\theta = 0$  ;  $T_0 = 2\pi\sqrt{\ell/g}$  ;  $E = \frac{1}{2}m\ell^2\dot{\theta}^2 + mg\ell(1 - \cos\theta)$ .

Un pendule de longueur  $\ell = 1,00$  m est lâché sans vitesse à partir de  $\theta_0 = 10,0^\circ$ .

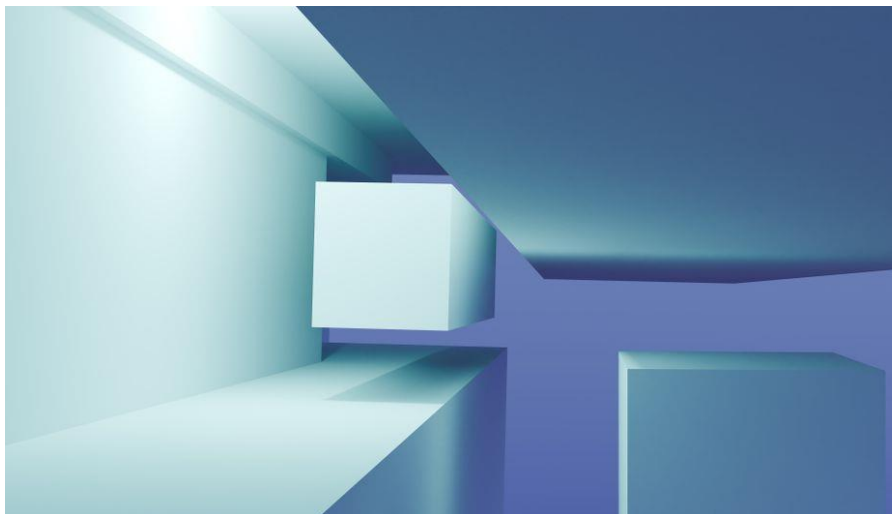


Image decorative en lien avec le theme general du cahier (mathematiques, etude), sans rapport avec un exercice precis

- 1) Linéariser l'équation du pendule pour les petits angles.
- 2) Calculer la période approchée.
- 3) Calculer la vitesse maximale par l'approximation harmonique et par l'énergie exacte.
- 4) Estimer la correction relative de période  $T \approx T_0(1 + \theta_0^2/16)$ ,  $\theta_0$  en radians.

### Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Exercice 6. Oscillateur amorti [Prépa]

**Éléments du cours mobilisés :** Équation différentielle du second ordre ; amortissement visqueux ; régimes sous-amorti, critique et sur-amorti ; pseudo-pulsation ; enveloppe exponentielle.

**Indications / méthode :** Comparer  $\lambda$  et  $\omega_0$  avant toute résolution. Dans le régime pseudo-périodique, écrire une exponentielle décroissante multipliée par une sinusoïde, puis appliquer les conditions initiales.

**Formules / relations utiles :**  $x'' + 2\lambda x' + \omega_0^2 x = 0$  ; si  $\lambda < \omega_0$  :  $\Omega = \sqrt{\omega_0^2 - \lambda^2}$  ;  $x = e^{(-\lambda t)}[A \cos \Omega t + B \sin \Omega t]$ .

Un système vérifie  $x'' + 2\lambda x' + \omega_0^2 x = 0$  avec  $\lambda = 1,00 \text{ s}^{-1}$  et  $\omega_0 = 5,00 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . On donne  $x(0) = 0,100$  m et  $x'(0) = 0$ .

- 1) Identifier le régime.
- 2) Déterminer la pseudo-pulsation.
- 3) Écrire la solution complète.
- 4) Au bout de combien de temps l'enveloppe d'amplitude est-elle divisée par 10 ?

### Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### III. Fluides et gaz

#### Exercice 7. Poussée d'Archimède et flottabilité [Consolidation]

**Éléments du cours mobilisés :** Statique des fluides ; poussée d'Archimède ; équilibre vertical ; masse volumique ; fraction immergée.  
**Indications / méthode :** À l'équilibre d'un corps flottant, évaluer le poids et la poussée d'Archimède. Le volume déplacé est le volume immergé, pas nécessairement le volume total.

**Formules / relations utiles :**  $\Pi_A = \rho_{\text{fluide}} g V_{\text{immergé}}$  ; à l'équilibre :  $mg = \rho g V_{\text{immergé}}$  ; fraction immergée =  $\rho_{\text{objet}} / \rho_{\text{fluide}}$ .

Un solide homogène de volume 2,00 L et de masse 1,40 kg flotte dans l'eau.

- 1) Calculer son volume immergé.
- 2) Quelle fraction est immergée ?
- 3) Quel serait le volume immergé dans une huile de masse volumique  $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ?
- 4) Quelle masse minimale faut-il ajouter pour que le solide soit juste totalement immergé dans l'eau ?

##### Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....

#### Exercice 8. Venturi et équation de Bernoulli [Prépa]

**Éléments du cours mobilisés :** Débit volumique ; conservation de la masse ; équation de continuité ; Bernoulli ; pression dynamique ; manométrie.

**Indications / méthode :** Calculer les sections puis les vitesses avec le débit. Pour un tube horizontal, le terme de pesanteur s'annule dans Bernoulli ; relier ensuite  $\Delta p$  à une hauteur de fluide.

**Formules / relations utiles :**  $Q = Sv$  ;  $S_1 v_1 = S_2 v_2$  ;  $p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z = \text{constante}$  ;  $\Delta p = \rho g \Delta h$ .

De l'eau s'écoule horizontalement dans un tube dont les rayons sont  $r_1 = 3,00 \text{ cm}$  et  $r_2 = 1,50 \text{ cm}$ . Le débit volumique est  $Q = 2,00 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ .

- 1) Calculer les vitesses  $v_1$  et  $v_2$ .
- 2) Déterminer  $p_1 - p_2$  avec Bernoulli.
- 3) À quelle différence de hauteur d'eau correspond cette différence de pression ?
- 4) Discuter les hypothèses du modèle.

##### Espace de travail

.....

.....

.....

.....

.....



## Exercice 9. Transformations d'un gaz parfait [Prépa]

**Éléments du cours mobilisés :** Gaz parfait ; transformations isotherme et isochore ; travail des forces de pression ; premier principe ; énergie interne d'un gaz monoatomique.

**Indications / méthode :** Identifier le type de chaque transformation avant de calculer. Utiliser l'équation d'état aux états d'équilibre et le premier principe avec une convention de signe cohérente.

**Formules / relations utiles :**  $pV=nRT$  ; gaz monoatomique :  $U=3nRT/2$  ; isotherme :  $\Delta U=0$  ; isochore :  $W=0$  ;  $\Delta U=Q+W$  (travail reçu).

Une mole de gaz parfait monoatomique est initialement à  $T_1=300\text{ K}$  et  $p_1=1,00\text{ bar}$ .

- 1) Calculer son volume initial.
- 2) Le gaz est comprimé isothermement jusqu'à  $V_2=V_1/2$ . Calculer  $p_2$ , le travail reçu par le gaz,  $\Delta U$  et  $Q$ .
- 3) Il est ensuite chauffé à volume constant jusqu'à  $600\text{ K}$ . Calculer  $p_3$ ,  $\Delta U$  et  $Q$ .
- 4) Tracer qualitativement le trajet dans le diagramme  $p(V)$ .

**Espace de travail**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## IV. Thermodynamique et machines

### Exercice 10. Calorimétrie avec changement d'état [Défi]

**Éléments du cours mobilisés :** Calorimétrie ; capacité thermique massique ; chaleur latente ; bilan énergétique ; coexistence des phases à l'équilibre.

**Indications / méthode :** Construire deux bilans séparés : énergie que l'eau chaude peut céder jusqu'à 0 °C et énergie requise par la glace. Leur comparaison détermine l'état final avant tout calcul de masse fondue.

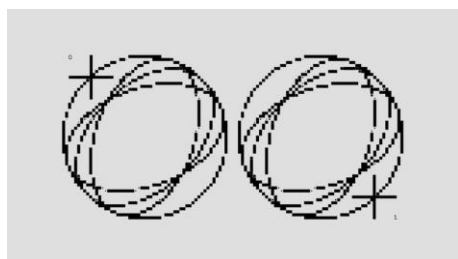
**Formules / relations utiles :**  $Q_{\text{sensible}} = mc\Delta T$  ;  $Q_{\text{fusion}} = mL_f$  ; dans un calorimètre idéal :  $\Sigma Q = 0$ .

Dans un calorimètre idéal, on mélange 0,200 kg de glace à -10,0 °C avec 0,500 kg d'eau à 30,0 °C.

- 1) Calculer l'énergie que peut céder l'eau en refroidissant jusqu'à 0 °C.
- 2) Calculer l'énergie nécessaire pour amener la glace à 0 °C puis la fondre entièrement.
- 3) Déterminer l'état final et les masses de glace et d'eau.
- 4) Justifier la température finale.

Données :  $c_{\text{glace}} = 2,10 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $L_f = 334 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Espace de travail



### Exercice 11. Cycle rectangulaire d'un gaz parfait [Défi]

**Éléments du cours mobilisés :** Diagramme p(V) ; travail au cours d'un cycle ; premier principe ; gaz parfait ; transformations isochores/isobares.

**Indications / méthode :** Tracer le cycle avec son sens. Le travail net est l'aire algébrique enfermée dans le diagramme ; sur un cycle complet, l'énergie interne revient à sa valeur initiale.

**Formules / relations utiles :**  $W_{\text{fourni}} = \text{aire algébrique du cycle dans p(V)}$  ;  $\Delta U_{\text{cycle}} = 0$  ;  $Q_{\text{net}} = W_{\text{fourni}}$  (avec convention cohérente) ;  $T = pV/(nR)$ .

Un gaz parfait décrit le cycle A(1,00 L ; 1,00 bar) → D(1,00 L ; 3,00 bar) → C(3,00 L ; 3,00 bar) → B(3,00 L ; 1,00 bar) → A.

- 1) Représenter le cycle dans le plan p(V).
- 2) Calculer le travail net fourni par le gaz.
- 3) En déduire la chaleur nette reçue sur un cycle.
- 4) Pour  $n = 0,100 \text{ mol}$ , calculer les températures aux quatre sommets.

Espace de travail

## Exercice 12. Machine de Carnot et réfrigérateur [Très exigeant]

**Éléments du cours mobilisés :** Second principe ; machine thermique réversible ; rendement de Carnot ; bilan d'énergie ; coefficient de performance d'un réfrigérateur.

**Indications / méthode :** Commencer par identifier  $T_{ch}$  et  $T_{fr}$  en kelvins. Écrire séparément la machine motrice puis le fonctionnement inverse ; ne pas confondre rendement et coefficient de performance.

**Formules / relations utiles :**  $\eta_C = 1 - T_{fr}/T_{ch}$  ;  $W = \eta Q_{ch}$  ;  $Q_{ch} = W + Q_{fr}$  ;  $COP_{frigo} = Q_{fr}/W = T_{fr}/(T_{ch} - T_{fr})$ .

Une machine de Carnot fonctionne entre une source chaude à 600 K et une source froide à 300 K. Elle reçoit 1,20 kJ par cycle.

- 1) Calculer son rendement, son travail et la chaleur rejetée.
- 2) Si elle effectue 20 cycles par seconde, calculer sa puissance.
- 3) Utilisée à l'envers comme réfrigérateur, calculer le coefficient de performance frigorifique.
- 4) Quel travail faut-il fournir pour extraire 2,40 kJ de la source froide ?

**Espace de travail**

.....

.....

.....

.....

.....

## Bilan du cahier

Le cahier est maîtrisé si l'étudiant sait choisir entre une approche par les forces et une approche énergétique, établir un bilan thermodynamique signé et interpréter le sens des transferts.

- ☐ Je sais identifier le système, les interactions et les hypothèses du modèle.
- ☐ Je maîtrise les équations littérales avant le calcul numérique.
- ☐ Je contrôle systématiquement dimensions, unités et ordre de grandeur.
- ☐ Je sais commenter les limites d'un modèle et interpréter physiquement le résultat.

**Passer ensuite à la version corrigée du même cahier et comparer ligne par ligne la démarche suivie.**