

Semaine 23 : du 16 au 20 mars

Au programme

Chapitre T2 : Premier principe de la thermodynamique

- ▷ Vocabulaire des systèmes et des transformations : ouvert, fermé, isolé, iso-qqch, mono-qqch, quasi-statique, thermiquement et/ou mécaniquement réversible, finie, infinitésimale ;
- ▷ Algébrisation et signe des échanges énergétiques ;
- ▷ Modes de transfert thermique ; flux thermique et résistance thermique, loi de Newton ;
- ▷ Critères permettant une transformation adiabatique : système calorifugé ou transformation rapide ;
- ▷ Travail des forces pressantes : démonstration 1d et généralisation, interprétation graphique dans le diagramme de Watt (P, V) ; notion de pression extérieure apparente (p.ex. incluant le poids du piston) ;
- ▷ Énoncé du premier principe, simplification usuelle $\Delta E_m \ll \Delta U$;
- ▷ Application à la recherche de l'état final d'une adiabatique et à la détermination d'un transfert thermique ;
- ▷ Application aux transitoires thermiques : écriture infinitésimale pour obtenir une équation différentielle vérifiée par la température d'un système ;
- ▷ Premier principe en enthalpie ;
- ▷ Enthalpie et capacités thermiques d'un gaz parfait ; coefficient de Laplace γ ; relation de Mayer et expressions de C_p et C_v en fonction de γ ; loi de Laplace ;
- ▷ Enthalpie et capacité thermique d'une phase condensée indilatable et incompressible ;
- ▷ Calorimétrie, valeur en eau d'un calorimètre ; application à la mesure d'une capacité thermique.
- ✖ On se contente pour le moment d'une définition qualitative de la réversibilité, surtout pour utiliser la condition de réversibilité mécanique $P = P_{\text{ext}}$ (où P_{ext} peut être la pression extérieure apparente).
- ✖ La notion de résistance thermique et la loi de Newton sont des rappels de Terminale, en revanche les règles d'association des résistances thermiques sont au programme de deuxième année et n'ont pas du tout été vues : la résistance thermique doit être donnée lorsqu'elle est utile.
- ✖ Les changements d'état n'ont pas encore été abordés.

Chapitre M7 : Mouvement conservatif à un degré de liberté

- ▷ Lecture d'un profil d'énergie potentielle : points de vitesse nulle, positions accessibles, positions d'équilibre stables et instables, état lié et état de diffusion ;
- ▷ Caractérisation des positions d'équilibre par dérivation de l'énergie potentielle ;
- ▷ Approximation harmonique au voisinage d'une position d'équilibre stable : DL de l'énergie potentielle, équation du mouvement linéarisée, pulsation des petites oscillations ;
- ▷ Adimensionnalisation d'une équation différentielle, système d'unités naturelles, nombre de dimensions indépendantes (on ne peut pas tout adimensionner comme on veut !) ;
- ▷ Méthode d'Euler pour une équation différentielle d'ordre 2, limitations ;
- ▷ Utilisation de `scipy.integrate.odeint` ;
- ▷ Effet qualitatif des non-linéarités sur le mouvement : perte d'harmonicité et enrichissement spectral, perte d'isochronisme des oscillations, dissymétrie des oscillations par rapport à la position d'équilibre.
- ✖ J'ai travaillé sur l'exemple du potentiel de Morse, mais rien n'est à connaître à ce sujet ;
- ✖ Les spécifications de la fonction `odeint` ne sont pas à connaître et doivent être rappelées.

Applications de cours

Ces applications de cours sont des « briques élémentaires » des raisonnements à mener dans les exercices : les maîtriser est incontournable. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours.

Le travail demandé consiste à se les approprier, afin d'être capable de les réinvestir dans un sujet d'écrit ou d'oral. Je n'attends pas des étudiants un apprentissage par cœur, mais j'attends qu'ils les aient travaillées suffisamment pour les mener à bien en autonomie, c'est-à-dire savoir refaire seul les raisonnements, sans aide de l'interrogateur.

T2.1 - Un peu de vocabulaire (dans les deux sens : mot $\rightarrow$ définition et définition $\rightarrow$ mot) :

- ▷ système ouvert, fermé, isolé ;
- ▷ isotherme, isobare, isochore, monotherme, monobare, thermostat ;
- ▷ diatherme, calorifugé, adiabatique ;
- ▷ transformation quasi-statique, réversible, mécaniquement réversible.

T2.2 - Pour une transformation mécaniquement réversible d'un gaz parfait, représenter dans le diagramme de Watt et calculer le travail des forces de pression extérieure dans les cas isochore, isobare, isotherme, et/ou adiabatique réversible.

T2.3 - On comprime de manière adiabatique réversible un gaz parfait initialement à T_0, P_0 en lui apportant un travail W . Déterminer la température et la pression finales.

T2.4 - Considérons une résistance R parcourue par un courant I constant, plongée dans l'air de température T_0 constante. Un transfert thermique conducto-convectif a lieu à la surface de la résistance, modélisé par la loi de Newton de coefficient h sur une surface d'échange S . On note C la capacité thermique de la résistance. Établir l'équation différentielle vérifiée par la température de la résistance. Identifier sur cette équation la température d'équilibre T_{eq} et l'ordre de grandeur du temps nécessaire pour l'atteindre.

T2.5 - Établir la relation de Mayer et en déduire les capacités thermiques d'un gaz parfait en fonction du coefficient de Laplace γ .

T2.6 - Dans un calorimètre de valeur en eau μ , on place une masse d'eau m_{eau} . L'ensemble prend une température T_{eau} . On ajoute alors un bloc de fer de masse m_{fer} à $T_{\text{fer}} > T_{\text{eau}}$. Après avoir laissé l'ensemble évoluer quelques minutes, on obtient un équilibre thermique à température T_{eq} . Déterminer la capacité thermique massique du fer.

M7.1 - Montrer à l'aide d'un développement limité que les petites oscillations au voisinage d'une position d'équilibre stable peuvent s'approximer par celles d'un oscillateur harmonique. Exprimer la pulsation des oscillations en fonction des caractéristiques du profil d'énergie potentielle. On raisonnera sur une énergie potentielle quelconque $E_p(x)$ dépendant d'une coordonnée cartésienne x .

M7.2 - Compléter le code ci-dessous pour résoudre l'équation différentielle adimensionnée $\ddot{x} = f(x)$ par la méthode d'Euler et représenter la courbe $x(t)$. On établira les relations de récurrence utiles avant toute écriture de code.

M7.3 - Compléter le code ci-dessous pour résoudre l'équation différentielle adimensionnée $\ddot{x} = f(x)$ en utilisant la fonction `odeint` du module `scipy.integrate` et représenter la courbe $x(t)$. On rappelle que cette fonction permet de résoudre un système différentiel écrit sous la forme

$$\frac{d\vec{y}}{dt} = F(\vec{y}, t).$$

La fonction `odeint(F, y0, t)`

- ▷ prend trois arguments obligatoires : la fonction d'évolution $F(y, t)$, une condition initiale y_0 et une liste ou tableau numpy d'instants t ;
- ▷ renvoie le vecteur Y à tout instant contenu dans t sous forme d'un tableau numpy à $n + 1$ dimensions.

On explicitera le vecteur $\vec{y}$ et la fonction d'évolution F avant toute écriture de code.

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from scipy.integrate import odeint

5 ### Paramètres de la simulation :
6 dt = 0.001          # pas de temps adimensionné
```

```
7 | t_max = 70          # durée de la simulation adimensionnée
8 | N = int(t_max/dt) # nombre de points de la simulation

11 | ### Conditions initiales :
12 | x0 = 0             # pas d'énergie potentielle (fond du puits)
13 | v0 = .5

15 | ### Force adimensionnée dérivant du potentiel de Morse
16 | def f(x):
17 |     return - np.exp(-x) * (1-np.exp(-x))

19 | ### code à écrire à partir d'ici.
```

À quoi s'attendre pour les programmes suivants ?

- Chapitre T3 : Machines thermodynamiques.
- Chapitre M8 : Forces centrales conservatives.