

Un Python & son Piston

Objectifs

L'objectif principal est de développer un programme complet en Python 2.7.[12,13] pour représenter visuellement la progression d'un ensemble de N balles dures confinées à l'intérieur d'un piston dont la tête se déplace à vitesse constante. Ce problème-type de la thermodynamique est un calcul simplifié d'une expansion gazeuse en régime adiabatique. Les grands thèmes abordés comprennent :

1. revoir les modules `numpy`, `Tkinter` et `matplotlib` ;
2. tracer et animer des courbes et des objets graphiques ;
3. valider un calcul théorique par les outils / méthodes de modules Python.

Matériel

Les sujet et scripts de référence sont télé-chargeables du site ENT du cours. Ne pas oublier de sauvegarder vos expressions, résultats, etc dans un fichier de texte, voire directement dans une archive Unix (tar ...). Cette archive est à déposer au plus tard le jeudi 11 mai 12h15 sur le site du cours. L'archive doit contenir vos scripts Python et les figures demandées en exercice.

Partie I : mise en contexte

Dans un premier temps, il faut revoir le sujet de TP6 et la solution proposée `TkBalle.py` et `Balle.py` : cet exercice est une clé importante pour la suite. Nous allons ici aussi travailler dans un plan à deux dimensions d'axes x et y .

Un gaz peut être représenté par un grand nombre d'atomes. Dans la limite où le gaz est très dilué, les collisions directes entre atomes sont rares et le gaz se comporte comme s'il n'y avait aucun potentiel chimique entre les atomes le constituant : c'est la limite des **gaz parfaits**. La seule interaction se fait par le rebond sur les parois (solides) et nous supposons dans un premier temps que les **coefficients d'élasticité** $\mu_x = \mu_y = 1$ (rebond élastique parfait contre les parois).

Important - Pour des particules identiques subissant des collisions élastiques, il **n'est pas** nécessaire de prendre en compte les collisions entre elles. (Voyez-vous pourquoi ? Explications en quelques phrases en commentaire dans vos scripts.)

Lorsqu'un piston comprime le gaz, celui-ci tend à s'échauffer (sa température augmente). Si, au contraire, le piston se détend, le gaz occupe un plus grand volume et sa température aura tendance à diminuer. Or, la théorie cinétique des gaz permet de poser une proportion directe entre la température T d'un gaz, et l'agitation de ses atomes, agitation quantifiable par la dispersion des vitesses, σ^2 . Pour un repère où les vitesses moyennes selon des axes x et y sont nulles, la dispersion est simplement la moyenne des vitesses au carrés sommée sur chaque composante. Donc $\sigma^2 = \langle v_x^2 \rangle + \langle v_y^2 \rangle$, et nous poserons $T \sim \sigma^2$. On remarque que l'écart-type σ est la racine carrée de la dispersion.

Le fichier **Piston.mp4** (voir sur moodle3) est une animation qui illustre la mécanique du piston en expansion pour un jeu de 300 balles.

Partie II : Travail demandé, cahier des charges

Travail demandé :

Il faut mettre en place une application graphique Python, soit au moyen de l'interpréteur Tkinter(), soit par le module Matplotlib(), au choix. Cette application affichera le mouvement de N balles dans une cavité rectangulaire, dont l'une des parois se déplace à vitesse constante. Le volume total de la cavité où évoluent les balles augmente à chaque itération. Il s'agit d'un *piston* qui se dilate à vitesse constante.

L'utilisateur pourra fixer :

- I. le nombre de balles (méthode input, bouton, réglette, .. au choix) ;
- II. un nombre maximal d'itérations comme condition d'arrêt ;
- III. la vitesse d'expansion du piston.

Cahier des charges :

- Votre programme attribuera des vitesses & positions de départ **aléatoirement** à chaque balle.
- Le graphique doit indiquer par une droite horizontale la position de la tête du piston, qui se déplace selon l'axe vertical.
- Il doit être évident, par inspection visuelle, que chaque balle demeure à l'intérieur de la cavité : vous donnerez et commenterez les conditions mathématiques de la réflexion sur chaque surface.
- Le rebond sur une surface en mouvement doit respecter le principe de la **transformation de Galilée** pour l'addition des vecteurs (des vitesses, positions).

Lors de l'exécution, vous calculerez la moyenne du carré des vitesses à chaque itération pour portez en graphique cette quantité (= axe vertical) en fonction du volume de la cavité V (= axe horizontal).

Partie III : Interprétation physique

Pour un gaz expansion adiabatique, on s'attendrait à ce que la température T du gaz varie selon une loi de puissance de son volume V : (le sous-script o indique les valeurs de départ)

$$\frac{T}{T_o} = \left(\frac{V}{V_o} \right)^{-\frac{2}{3}} .$$

- a) Est-ce que cette relation est un bon ajustement de vos données ? Apportez des arguments quantitatifs ou graphiques qui soutiennent ou invalide cette hypothèse. Des commentaires dans vos programmes suffiront.
- b) Si l'énergie thermique d'un gaz $PV = 3/2 N k_b T$ (P est la pression, k_b la constante de Boltzmann), montrez que $P \sim \rho^{5/3}$ avec $\gamma = 5/3$ l'indice adiabatique des gaz parfait. Au vu de votre analyse en (a), est-ce que vous pouvez conclure que $\gamma = 5/3$ s'applique à votre système ? Quelques lignes de commentaires (avec ou sans calcul) sont demandées.

Partie IV : archive Unix

1. Créez une **archive Unix**, soit avec le bouton droit de la souris (cliquer sur « compression » et glisser les documents souhaités sur l'icône de l'archive), soit à la ligne de commandes du terminal au moyen de l'utilitaire « tar » : `tar -cvf ArchiveUnix.tar Fichier1, Fichier2, ...` : cette commande créera l'archive `.tar` et y inclura les fichiers indiqués (et leur contenu) ;
2. **Validez** le contenu de votre archive (clic de souris sur l'icône, puis « Informations », ou encore au terminal : `tar -tvf ArchiveUnix.tar` pour la liste des fichiers concrètement dans l'archive ;
3. **Dépôt**. Lorsque vous êtes satisfait/e que l'archive est bien comme vous le souhaitez, allez sur le site ENT du cours y déposer votre archive dans le Devoir nommé « DM ». Un seul document peut être téléchargé, par contre il peut l'être plusieurs fois.

Attention : les *copiers-collers* d'archive (plagiat) seront sanctionnés.

Attention-bis : Les binômes (travail fait en partenariat) sont donc priés de s'identifier.

Attention à l'indentation des blocs d'instructions pour une exécution correcte de votre script Python !!

fin