

## CONTEXTE DU SUJET

Mme M. reprend le tennis, son sport de toujours après de longues années d'arrêt ... Coup droit, revers, volée, amorti .... La technique c'est comme le vélo, ça ne se perd pas sauf .... pour le service ! Retrouver ce coup si important pour prendre l'avantage sur l'adversaire dès l'engagement n'est pas si facile. Mme M est alors en plein débat avec son entraîneur :

Mme M : « Pour que mon service soit rapide et efficace, je dois lancer ma balle suffisamment haut et la frapper quand elle est en phase descendante ».

L'entraîneur : « et non, la vitesse de ton service ne dépend pas de la hauteur de ton lancer mais uniquement de ta frappe au moment de l'impact ».



**Le but de cette activité est d'effectuer l'étude énergétique d'une balle de tennis au cours d'un lancer afin de savoir qui a raison.**

## QUELQUES DOCUMENTS

Document 1 : Grandeurs énergétiques

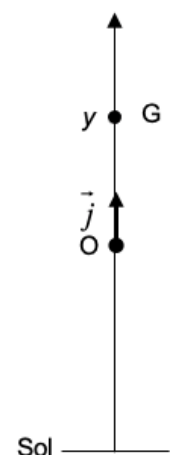
- $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$  : l'énergie cinétique du système ponctuel de masse  $m$  et de vitesse  $v$  ;
- $E_p = m \cdot g \cdot y$  : l'énergie potentielle de pesanteur du système, où  $E_p = 0$  J pour  $y = 0$  m, à l'origine O du repère ;  
 $g$  : la valeur de l'intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$  ;  
 $y$  : l'ordonnée de G dans le repère choisi.

Les unités des différentes grandeurs sont celles du système international d'unités.

Document 2 : Modélisation de la situation

- Le système étudié est la balle de tennis de masse  $m = 58$  g modélisée par son centre de masse G.
- Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre supposé galiléen.

Le mouvement de G, dans le champ de pesanteur terrestre, est supposé rectiligne vertical. Les positions successives de G sont repérées dans un repère à une dimension  $(O, \vec{j})$  muni d'un axe  $(Oy)$  orienté vers le haut. Le point O, origine du repère, coïncide avec la balle lorsqu'elle quitte la main du joueur de tennis.

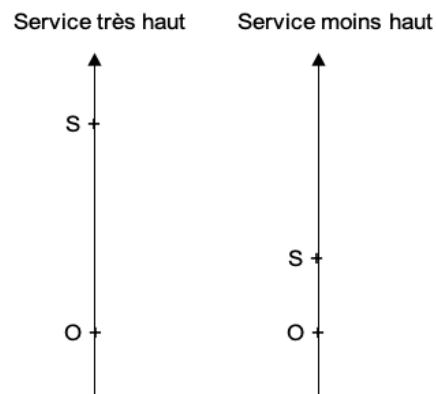


On considère pour simplifier l'étude que la balle est frappée par la raquette lorsqu'elle repasse par le point O en phase descendante.

## 1. Acquisition du mouvement d'une balle de tennis

### Enregistrement d'une vidéo

Un enregistrement vidéo du lancer vertical d'une balle de tennis, intitulé « lancer\_1 » simulant un service très haut est à disposition sur Moodle (la télécharger sur LORDI). Au cours de ce lancer, la hauteur entre la main lorsqu'elle lâche la balle au point O et le sommet S de la trajectoire de la balle, est de 2 m environ.



- Visualiser la vidéo « lancer\_1 ».
- Afin de simuler un service moins haut, procéder à un enregistrement vidéo en utilisant la webcam à disposition (sur l'ordinateur fixe) du lancer vertical d'une balle de tennis identique à celui de la vidéo « lancer\_1 » ; la hauteur entre la main lorsqu'elle lâche la balle au point O et le sommet S de la trajectoire doit être comprise entre 0,5 m et 1 m environ.

Note : Il est possible de filmer plusieurs lancers sur le même enregistrement vidéo afin de sélectionner celui qui semble le plus approprié.

- Enregistrer la vidéo sur l'ordinateur fixe dans un dossier nommé « Lancer\_plus\_haut » et la nommer « lancer\_2 ».

### Pointage

*Pour vérifier la vidéo*



- À l'aide du logiciel Regressi et de la vidéo « lancer\_2 », repérer les positions successives du centre d'inertie de la balle à partir du sommet de la trajectoire. Arrêter le pointage lorsque la balle revient à son altitude de départ.  
L'origine O du repère doit coïncider avec la balle lorsqu'elle quitte la main.

*Pour vérifier le pointage*



## 2. Évolution temporelle des énergies cinétique et potentielle

- A l'aide du logiciel Regressi, créer les grandeurs  $v_y$ ,  $E_c$  et  $E_p$
- Afficher les graphes d'évolution de  $E_c$  et  $E_p$  en fonction du temps



## 3. Exploitation des résultats

- ➔ Pour le fichier « lancer\_2 », relever graphiquement la valeur de l'énergie cinétique finale  $E_c(\text{finale})_2$ .

Pour afficher les graphes d'évolution de  $E_c$  et  $E_p$  en fonction du temps de la première vidéo « lancer\_1 », nous allons utiliser un fichier python.

- ➔ Télécharger sur LORDI le programme « programme\_initial.py » ainsi que le fichier tableur « lancer\_1 ». Ces deux programmes doivent se trouver dans le même dossier !
- ➔ À l'aide de l'éditeur Python fourni, ouvrir le fichier « programme\_initial.py ».
- ➔ Dans la ligne 11 du programme Python, remplacer le nom du fichier « lancer\_2 » par « lancer\_1 » puis exécuter le programme pour visualiser les courbes d'énergies.
- ➔ Dans la section PARTIE À COMPLETER PAR LE CANDIDAT, compléter la ligne 58 avec la formule permettant de remplir la liste  $E_c$ .
- ➔ À la ligne 83, compléter le programme afin de tracer l'évolution temporelle de l'énergie cinétique sur le même graphique que l'énergie potentielle. La courbe de l'énergie cinétique doit être légendée et d'une couleur différente de celle de l'énergie potentielle.
- ➔ Sauvegarder le programme Python sous le nom « programme\_final.py ».



---

## ANALYSER

---

- a. Pour le fichier « lancer\_1 », quelle est la valeur de l'énergie cinétique finale  $E_c(finale)_1$  ?
- b. En déduire si le fait de lancer une balle de tennis plus haut permet ou pas à la balle d'atteindre une vitesse plus grande lorsqu'elle revient à son altitude initiale en phase descendante. Justifier sans calcul.



- c. Proposer une explication en interprétant les courbes tracées représentant les variations des énergies cinétique et potentielle en fonction du temps, l'énergie mécanique étant supposée constante.



- d. Pour servir, le joueur frappe la balle au point O avec sa raquette. La vitesse de la balle est alors mesurée à  $150 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Calculer l'énergie cinétique de la balle juste après le service.

- e. Comparer cette énergie cinétique avec les énergies cinétiques  $E_c(finale)_1$  et  $E_c(finale)_2$  qu'avait la balle juste avant d'être frappée dans les deux cas étudiés.

---

#### VALIDER

---

- Indiquer si la vitesse de la balle acquise après le service provient principalement de la hauteur du lancer ou de la frappe de la raquette et conclure sur qui a raison !



---

#### POUR ALLER PLUS LOIN

---

L'objectif de cet exercice est de modéliser la trajectoire d'une balle de tennis lors d'un service et de confronter ce modèle à la réalité d'un service analysé par pointage vidéo de la balle. Les règles du jeu standard indiquent que le serveur doit se tenir alternativement derrière la moitié droite et la moitié gauche du court. La balle doit passer en diagonale au-dessus du filet et toucher le sol dans le carré de service opposé avant que le relanceur ne la renvoie

#### Dimensions d'un terrain de tennis

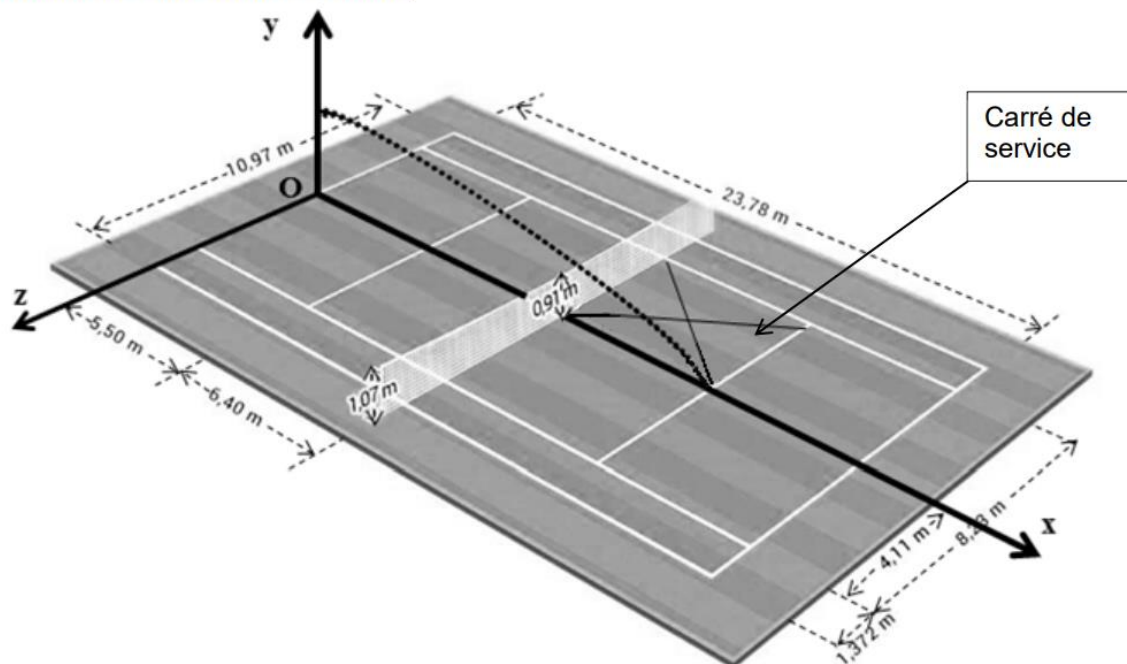
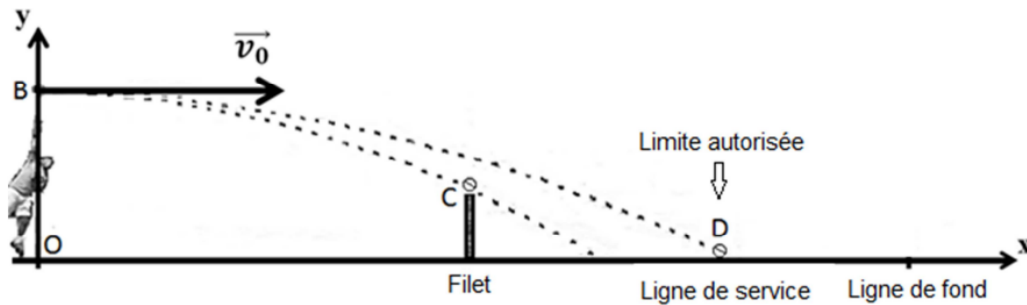


Figure 1 : Dimensions d'un terrain de tennis (Source : club de Westhouse)

### Schéma sans échelle des trajectoires de deux services « à plat »



On garde la même modélisation que dans la première partie. Plusieurs hypothèses seront faites dans le cadre de cette modélisation :

- les effets de rotation de la balle sur le mouvement sont négligés (service « à plat ») ;
- la trajectoire de la balle se trouve dans le plan vertical  $(O, x, y)$  ;
- le vecteur vitesse initiale de la balle est horizontal ;
- l'action de l'air est négligeable.

Donnée : Intensité du champ de pesanteur  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

#### Partie A : Établissement de l'équation de la trajectoire dans le cadre du modèle choisi

L'objectif de cette partie est de retrouver l'équation de la trajectoire de la balle de tennis obtenue en admettant que les quatre hypothèses précédentes sont valables.

On donne les coordonnées des conditions initiales :

- position de la balle frappée au service B  $\begin{pmatrix} 0 \\ H \end{pmatrix}$  ;
- vecteur vitesse initiale de la balle lors de la frappe  $\vec{v}_0 \begin{pmatrix} v_0 \\ 0 \end{pmatrix}$ .

1. Par application d'une des lois de Newton, à énoncer, déterminer les composantes du vecteur accélération  $\vec{a}$  du centre de masse G de la balle, au cours de son mouvement.

2. Déterminer les composantes du vecteur vitesse  $\vec{v}$  de G.

3. Déterminer les composantes du vecteur position  $\overrightarrow{OG}$  de G.

4. En déduire que l'équation de la trajectoire du centre de masse G de la balle établie dans le cadre du modèle choisi s'écrit :

$$y(x) = -\frac{g}{2v_0^2} x^2 + H$$

#### **Partie B : Influence de la vitesse initiale dans le cadre du modèle choisi**

Selon les bases du modèle choisi, la vitesse initiale doit être comprise entre deux valeurs limites : elle doit être supérieure à une valeur minimum  $v_{0\min}$  afin qu'elle franchisse juste le filet au point C et inférieure à une valeur maximum  $v_{0\max}$  afin qu'elle retombe dans les limites autorisées au point D.

1. À partir de l'équation de la trajectoire du centre d'inertie de la balle, donner l'expression de la vitesse initiale en fonction de  $y(x)$ ,  $x$ ,  $g$  et  $H$
2. Déterminer, à partir des documents fournis, les coordonnées des points C et D.
3. Si la hauteur à laquelle la balle est frappée au service est  $H = 2,6$  m, en déduire les valeurs  $v_{0\min}$  et  $v_{0\max}$  extrémales de la vitesse initiale de la balle pour que le service soit validé.
4. En réalité, la vitesse initiale mesurée lors du service est nettement supérieure aux vitesses calculées précédemment. Commenter.

### Partie C : Étude énergétique

La quatrième et dernière hypothèse du modèle suppose que l'action de l'air est négligeable. À partir d'une étude énergétique du mouvement réel, dont les données figurent ci-dessous, montrer que cette hypothèse n'est pas vérifiée.

|                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t$ (s)                  | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,24 | 0,27 |
| $y$ (m)                  | 2,58 | 2,43 | 2,29 | 2,11 | 1,97 | 1,81 | 1,63 | 1,48 | 1,28 | 1,10 |
| $v$ (m·s <sup>-1</sup> ) | 47,8 | 44,7 | 43,6 | 42,8 | 41,7 | 40,3 | 39,4 | 37,5 | 36,4 | 35,3 |

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti