

# Olympiades de Physiques 2021-2022

Comment gagner dans les sports de balle grâce à la physique ?



Fleury-Demais Sacha, Lemaire Elias, Hopsore Paul, Marie Stanislas, Clavier Guillaume

# Table des matières

1. Résumé
2. Introduction
3. Historique de l'effet Magnus
4. Etude du mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme sans frottements
  - 4.1. Partie expérimentale
    - 4.1.1. Expérience
    - 4.1.2. Interprétation des résultats
  - 4.2. Partie théorique
    - 4.2.1. Lancer d'un projectile
    - 4.2.2. Bilan des forces
    - 4.2.3. Vecteur vitesse instantanée
    - 4.2.4. Vecteur position
    - 4.2.5. Cas particulier de la chute libre sans vitesse initiale
    - 4.2.6. Equation cartésienne
    - 4.2.7. Flèche de la trajectoire
    - 4.2.8. Portée de la trajectoire
    - 4.2.9. Schématisation d'une trajectoire à l'aide d'un programme python
5. Etude du mouvement d'un projectile en rotation sur lui-même dans un champ de pesanteur uniforme avec frottements.
  - 5.1. Trajectoire d'un projectile en rotation sur lui-même dans le sens horaire
  - 5.2. Trajectoire d'un projectile en rotation sur lui-même dans le sens anti-horaire
6. Expérience du rouleau en papier
  - 6.1. Protocole
  - 6.2. Expériences
  - 6.3. Interprétation des résultats
7. Conclusion
8. Bibliographie
9. Remerciements

## **1. Résumé :**

Nous sommes cinq élèves de terminale passionnés de physique au lycée Notre-Dame de la Compassion. Notre professeur de physique-chimie de première et terminale nous a proposé en début d'année de participer à ce concours. Très vite nous nous sommes mis d'accord pour étudier les mouvements et plus précisément les trajectoires balistiques. En effet, ce domaine de la physique rejoint nos passions, les sports comme le football, le baseball ou le basketball. Dans tous ces sports, il y a un point commun :

Les sportifs optimisent leur technique afin de pouvoir donner à la balle une trajectoire pouvant tromper les adversaires et ainsi gagner le match.

## **2. Introduction**

Dans les sports de balle, il n'est pas rare d'observer des trajectoires étonnantes. En effet, au lieu d'emprunter une trajectoire rectiligne, la balle a quelquefois une trajectoire curviligne. Ainsi, la balle change de direction alors qu'elle est en plein vol. Cette trajectoire peut s'expliquer par l'effet Magnus notamment. Ce phénomène fut découvert par Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), un physicien allemand. Il a lieu lorsqu'un objet est en rotation sur lui-même dans un fluide (corps composé de particules pouvant se déplacer les unes par rapport aux autres : liquide ou gaz). Le frottement engendré par cette rotation modifie l'écoulement du fluide autour de l'objet. D'un côté, la balle entraîne le fluide qui accélère. De l'autre, le fluide est décéléré. Ainsi, selon l'équation de Bernoulli, la pression diminue du côté où le fluide est accéléré et au contraire, elle est augmentée du côté où le fluide est décéléré. Nous allons donc nous intéresser à la trajectoire d'un projectile dans deux conditions différentes. Dans le premier cas nous négligerons les frottements de l'air. Dans le second cas, le projectile sera en rotation sur lui-même dans un fluide, ici l'air. Nous espérons que ce projet va nous apporter de meilleures connaissances dans ce domaine de la physique que nous serons amenés à étudier plus tard dans l'année scolaire.

## **3. Historique de l'effet Magnus**

L'effet Magnus est bien connu pour son influence sur la trajectoire d'une balle en rotation. Outre les jeux de balle, la méthode consistant à produire une force perpendiculaire au mouvement en faisant tourner un corps dans un courant transversal n'a pas été utilisée dans une quelconque application commerciale avant 1924, date à laquelle Anton Flettner a inventé et construit le premier bateau à rotor : Buckau.

Très peu de dispositifs basés sur l'effet Magnus ont attiré l'attention ou ont été couronnés de succès. En revanche, ses avantages potentiels par rapport à d'autres dispositifs de force ascendante basés sur des profils aérodynamiques, tels qu'un coefficient de portance élevé, ont incité les ingénieurs à mettre au point des dispositifs permettant d'extraire l'énergie du vent afin de propulser et diriger des navires et même faire voler un avion.

Isaac Newton aurait été le premier à aborder cet effet en observant le mouvement d'une balle de tennis en fonction de sa rotation. Dans sa lettre à Oldenburg en 1671, il détaillait le mouvement d'une balle frappée par une raquette qui subissait un effet.

Gustav Magnus professeur de physique à l'université de Berlin de 1834 à 1869 réalise une expérience en 1852. Elle consistait en un cylindre qui pouvait tourner, accroché à un pivot auquel il pouvait communiquer une vitesse de rotation élevée au moyen d'une ficelle. Il monta le cylindre sur un bras librement rotatif et dirigea vers lui un courant d'air provenant d'une soufflerie. Lorsqu'il fit tourner le cylindre, il remarqua que le cylindre en rotation avait toujours tendance à dévier vers le côté qui allait dans la même direction que le courant d'air provenant de la soufflerie. Désormais, le phénomène est appelé effet Magnus.

En 1912 un ingénieur français rendit compte de ses recherches dans les laboratoires de physique de l'Ecole Polytechnique et de l'Etablissement d'aviation militaire de Vincennes. Il a mené des expériences et a démontré qu'avec des cylindres rotatifs, on peut améliorer la portance.

Ses mesures ont montré comment les forces sont distribuées autour du cylindre et comment les lignes de courant sont déviées à proximité du cylindre en rotation. Cependant, il manquait toujours une formule appropriée pour calculer la distribution de la pression autour d'un cylindre rotatif.

Finalement en 1920 l'allemand Anton Flettner tenta dans les années 1920 d'utiliser les forces de portance élevées que l'on peut obtenir sur un cylindre en rotation dans un courant d'air. Ce dernier est un ingénieur aussi connu pour avoir construit un prototype d'hélicoptère pour les nazis. Durant l'entre-deux guerres Flettner a consulté des ingénieurs et des groupes de recherche sur l'idée de remplacer la voile d'un navire par des cylindres rotatifs (rotor). Ainsi dans un vent de travers, l'effet Magnus produirait une poussée plusieurs fois supérieure à celle d'une surface de voile équivalente.

Ainsi le premier bateau utilisant l'effet Magnus fut le *Buckau* (rebaptisé plus tard *Baden-Baden*). Ce voilier tirait sa force de propulsion de l'écoulement de l'air autour de deux grands cylindres rotatifs. Ainsi le bateau consommait moins de carburant et pouvait avancer plus vite lorsqu'il était de travers au vent.

. Le *Buckau*, qui fit son premier voyage d'essai en 1924 équipé de deux rotors, était aussi mû par un moteur auxiliaire à hélice par *calme plat* (absence de vent)

. Après plusieurs essais par différentes conditions de vent, le *Buckau* rebaptisé *Baden-Baden* traversa l'Atlantique et rallia New York le 9 mai 1926.

La puissance nécessaire pour entraîner ces rotors s'est avérée être une petite fraction de la puissance requise pour la propulsion par hélices. Plusieurs bateaux comme le *Barbara* furent construits sur ce principe mais ils passèrent assez inaperçus du public.

L'océanographe Jacques-Yves Cousteau fit construire l'*Alcyon* (un bateau) au début des années 1980 dans le but d'utiliser l'effet Magnus pour améliorer l'efficacité du bateau. Ces

deux cylindres fournissaient environ 25 à 30 % de l'énergie propulsive qui venait assister la propulsion par hélice. Le navire fit son premier voyage en 1985.

Le projet le plus récent et notable reste l'E-Ship :

en 2006, la société de construction d'éoliennes Enercon commanda aux chantiers navals Lindenau-Werft de Kiel un cargo de 130 mètres de long équipé, en plus de deux moteurs diesel, de quatre rotors Flettner. Il a été mis à l'eau en août 2008, et mis en service en août 2010. Au-delà du but publicitaire ce bateau montre que les rotors sont un moyen efficace d'utiliser l'effet Magnus pour optimiser un bateau

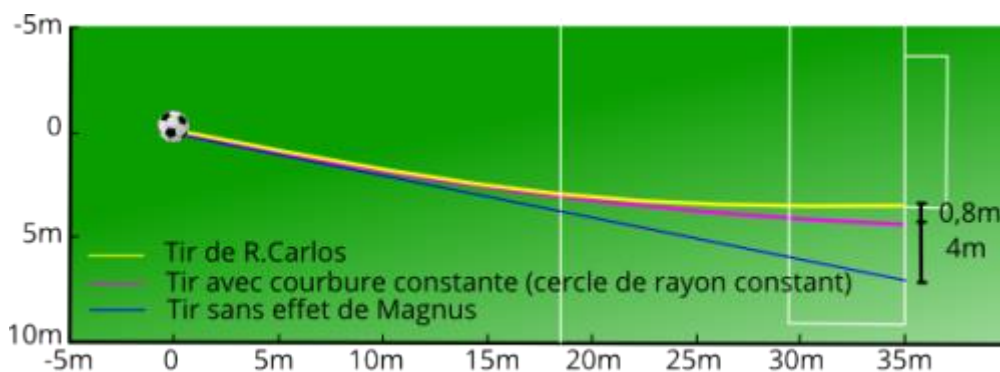
Mais l'effet Magnus a aussi été utilisé pour les avions, en effet, là où l'effet Magnus permet d'optimiser la consommation de carburant et d'avancer plus vite en vent de travers pour les bateaux ; pour les avions il permet de raccourcir la distance à parcourir pour le décollage et l'atterrissage en ayant une portance élevée à faible vitesse.

Le Plymouth AA 2004 construit dans les années 1930 par 3 inventeurs dont les noms ont été perdu avait des cylindres rotatifs au lieu d'ailes. Ces cylindres étaient mis en rotation par un moteur.

Néanmoins le projet n'a pas abouti car en cas de panne moteur (ce qui était fréquent en 1930) les cylindres s'arrêteraient de tourner, la portance de l'avion serait alors nul et ce dernier chuterait brutalement tandis que dans ce cas un avion avec des ailes classiques pourrait toujours planer. De plus il était dur à piloté à cause de l'effet gyroscopique engendré par la rotation des cylindres.

De nos jours l'effet Magnus peut aussi être constaté dans de nombreux domaines comme le sport, les armes ou encore la construction de navires.

Ainsi, l'effet Magnus est régulièrement observé dans les sports de « raquette » (tennis, ping-pong, badminton...) et de « balle » (football, basket, ...). D'ailleurs, certains tirs au football ont été longtemps étudiés par les physiciens, comme le coup franc de Roberto Carlos contre la France en 1997.



Source : Football curves (Dupeux et al. 2010)

La trajectoire d'un ballon de football va ainsi dépendre de la zone du ballon en contact avec le pied du joueur au moment de frapper et de la vitesse de rotation donnée au ballon. L'effet donné est appelé « enrouler ». On parle de tir « slicé » ou « lifté » pour les sports de raquette.

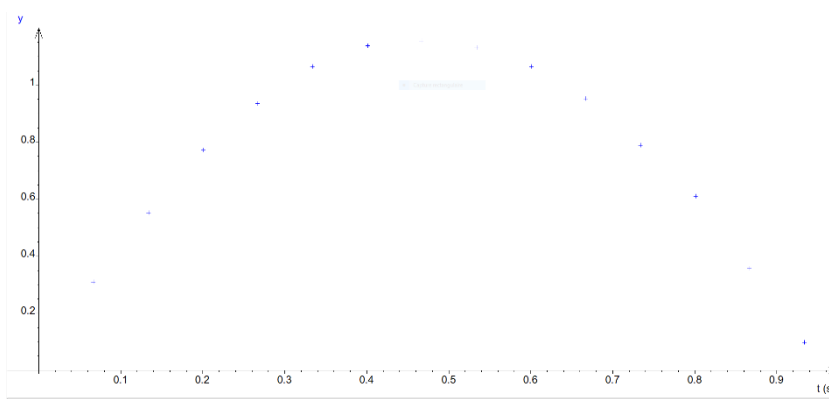
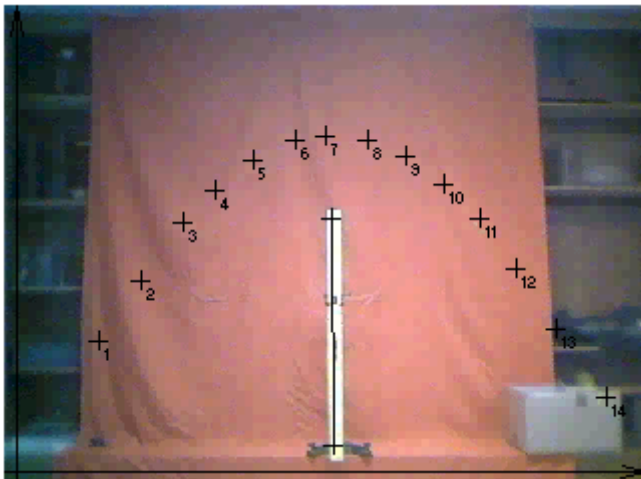
## **4. Étude du mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme sans frottements :**

### **4.1. Partie expérimentale**

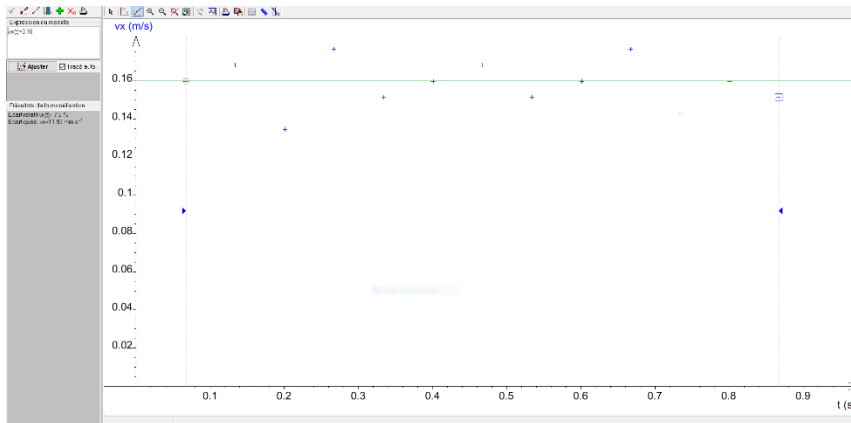
#### **4.1.1. Expérience**

Nous avons réalisé une chronophotographie d'une balle de tennis de table lancée sans effet.

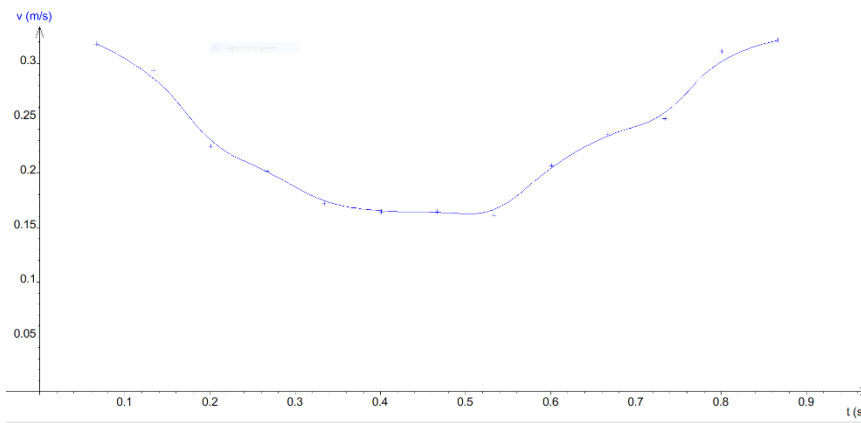
Nous avons utilisé les logiciels Regavi et Regressi afin d'avoir la position de la balle pour ensuite tracer les graphiques suivants :



**Graphique 1 : Étude de la hauteur de la balle en fonction de la distance parcourue**



Graph 2 : Etude la vitesse horizontale de la balle en fonction du temps



Graph 3 : Etude de la vitesse de la balle en fonction du temps

#### 4.1.2. Interprétation des résultats

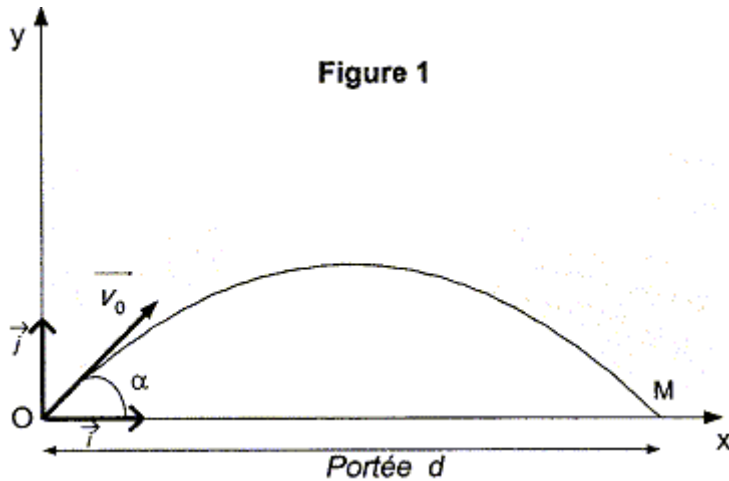
Le premier graphique présente la hauteur de la balle ( $y$ ) en fonction de la distance parcourue ( $x$ ) ( $y$  en fonction de  $x$ ), on observe que la partie ascendante de la trajectoire est symétrique à la partie descendante par rapport à la flèche de la trajectoire.

De plus le troisième graphique présente la vitesse en m/s en fonction du temps, on observe que la vitesse initiale est égale à la vitesse finale.

La vitesse atteint un minimum à 0,15 m/s ce qui correspond au sommet de la trajectoire, en ce point, la vitesse verticale est nulle donc la vitesse au sommet de la trajectoire est égale à la vitesse horizontale qui est constante pendant le mouvement. En effet le deuxième graphique montre bien que la vitesse horizontale est constante.

## 4.2. Partie théorique

### 4.2.1. Lancer d'un projectile



Un projectile est lancé à un instant  $t = 0$  avec une vitesse  $\vec{v}_0$  et formant un angle  $\alpha$  avec l'horizontal.

On associe le projectile à un point matériel de masse  $m$  afin de le réduire au mouvement de son centre d'inertie.

On considère que le champ de pesanteur  $\vec{g}$  est uniforme.

On néglige les forces de frottements de l'air.

On étudie le mouvement du projectile dans le référentiel terrestre supposé galiléen, muni d'un repère orthonormé  $(O ; \vec{i} ; \vec{j})$

Les coordonnées du vecteur vitesse initiale sont données par :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_0 \cos \alpha \\ v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

### 4.2.2. Bilan des forces

Le projectile est uniquement soumis à son poids lors de ce lancer car on néglige les forces de frottements.

On a donc le poids  $\vec{P} = m\vec{g}$ , dirigé vers le bas et de valeur constante

D'après la deuxième loi de Newton on a :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Or :



$$\sum \vec{F} = \vec{P}$$

Et :

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Donc l'accélération du système est le champ de pesanteur :

$$\vec{a} = \vec{g}$$

Ainsi l'accélération et donc le mouvement du projectile ne dépend pas de la masse de ce dernier.

#### 4.2.3. Vecteur vitesse instantanée

On sait que :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{Et} \quad \vec{g} = -g\vec{j}$$

Ainsi :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x(t) = \frac{dv_x}{dt}(t) = 0 \\ a_y(t) = \frac{dv_y}{dt}(t) = -g \end{cases}$$

Afin d'obtenir les coordonnées du vecteur vitesse, il suffit d'intégrer les coordonnées du vecteur accélération par rapport au temps :

$$\vec{v} \begin{cases} v_x(t) = C_1 \\ v_y(t) = -gt + C_2 \end{cases}$$

Déterminons maintenant  $C_1$  et  $C_2$  à l'aide du vecteur vitesse initiale :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_0 \cos \alpha \\ v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_0 \cos \alpha = C_1 \\ v_0 \sin \alpha = C_2 \end{cases}$$

On a donc le vecteur vitesse :

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos \alpha \\ v_y(t) = -gt + v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

Ainsi la vitesse horizontale est constante car l'accélération horizontale est nulle et la vitesse verticale est uniformément accélérée car l'accélération verticale est constante.

#### 4.2.4. Vecteur position

On a  $\vec{v} = \frac{d\overline{OM}}{dt}$  où  $\overline{OM}$  est le vecteur position de coordonnées :

$$\overline{OM}(t) \begin{cases} x(t) \\ y(t) \end{cases}$$

Ainsi le vecteur vitesse peut également s'écrire :

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = \frac{dx}{dt}(t) = v_0 \cos \alpha \\ v_y(t) = \frac{dy}{dt}(t) = -gt + v_0 \sin \alpha \end{cases}$$

Ainsi, les coordonnées du vecteur position  $\overline{OM}$  sont les primitives des coordonnées du vecteur vitesse par rapport au temps :

$$\overline{OM}(t) \begin{cases} x(t) = (v_0 \cos \alpha)t + C_4 \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin \alpha)t + C_5 \end{cases}$$

Déterminons  $C_4$  et  $C_5$  grâce au vecteur position initiale dont ses coordonnées sont nulles :

$$\overline{OM}(0) \begin{cases} x(0) = 0 = (v_0 \cos \alpha) \times 0 + C_4 \\ y(0) = 0 = -\frac{1}{2}g \times 0^2 + (v_0 \sin \alpha) \times 0 + C_5 \end{cases}$$

Ainsi  $C_4 = C_5 = 0$

Le vecteur position s'écrit donc :

$$\overline{OM}(t) \begin{cases} x(t) = (v_0 \cos \alpha)t \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin \alpha)t \end{cases}$$

#### 4.2.5. Cas particulier de la chute libre sans vitesse initiale

On considère maintenant que le projectile est lâché à une hauteur  $h$  avec une vitesse initiale nulle. Ainsi, les vecteurs  $\vec{v}(t)$  et  $\overline{OM}(t)$  peuvent s'écrire :

$$\vec{v}(t) = \begin{cases} v_x(t) = 0 \\ v_y(t) = -gt \end{cases}$$

$$\overline{OM}(t) \begin{cases} x(t) = 0 \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

Nous en déduisons que le mouvement est rectiligne et uniformément accéléré.

#### 4.2.6. Équation cartésienne

On a  $t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha}$

Ainsi on peut remplacer  $t$  par cette expression dans l'équation horaire de  $y$  :

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + (v_0 \sin \alpha) \frac{x}{v_0 \cos \alpha}$$
$$\Leftrightarrow y = \frac{-gx^2}{2v_0^2 \cos(\alpha)^2} + x \tan \alpha$$

#### 4.2.7. Flèche de la trajectoire

Il s'agit de la distance entre le sommet de la trajectoire et le sol soit l'axe des abscisses. Or le sommet est atteint lorsque  $v_y(t_s) = 0$ .

Soit :

$$t_s = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

On peut maintenant introduire cette expression de  $t_s$  dans l'équation horaire de  $y(t)$  :

$$y(t_s) = -\frac{1}{2}g \left( \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 + v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$
$$\Leftrightarrow y(t_s) = \frac{v_0^2 \sin(\alpha)^2}{2g}$$

#### 4.2.8. Portée de la trajectoire

Il s'agit de la distance horizontale parcourue par le projectile. C'est donc la distance entre l'origine du repère (d'où est lancé le projectile) et le point au sol sur lequel arrive le projectile après sa chute.

On a donc l'équation suivante :

$$y = 0$$
$$\Leftrightarrow \frac{-gx^2}{2v_0^2 \cos(\alpha)^2} + x \tan \alpha = 0$$
$$\Leftrightarrow x \left( \frac{-xg}{2v_0^2 \cos(\alpha)^2} + \tan \alpha \right) = 0$$

Ainsi :

$$x = 0$$

Soit la position initiale du projectile,

Où :

$$x = \frac{2v_0^2 \cos(\alpha)^2 \tan \alpha}{g}$$

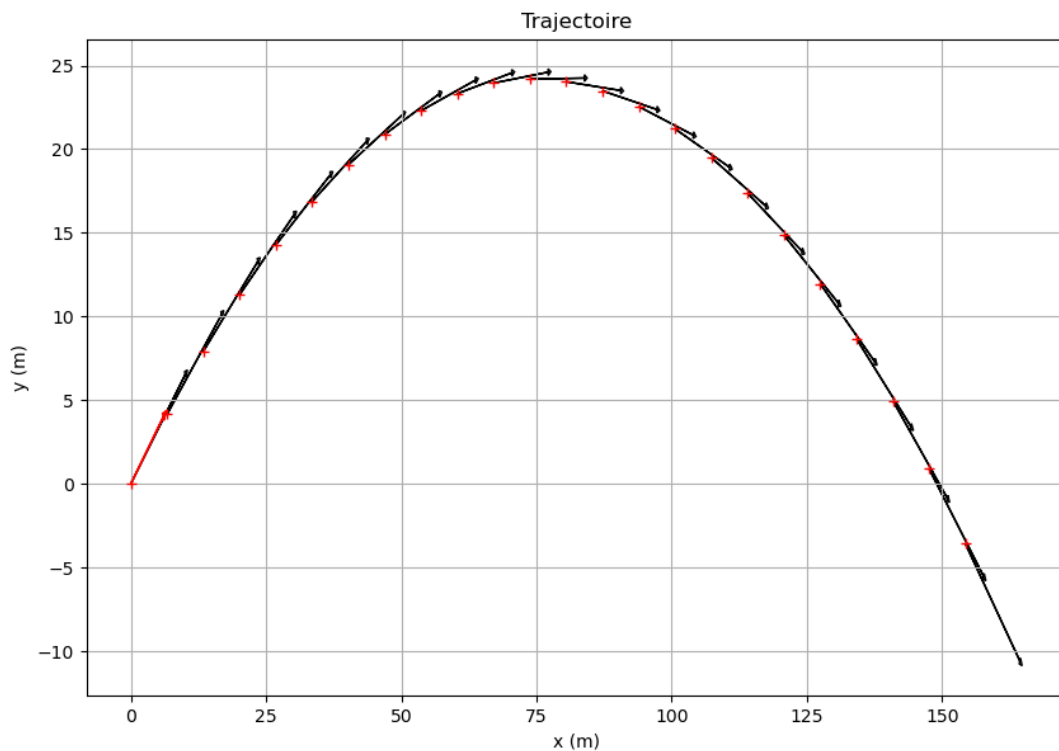
$$x = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

#### 4.2.9. Schématisation d'une trajectoire à l'aide d'un programme python

A partir des formules précédentes nous pouvons maintenant modéliser la trajectoire d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme à l'aide du langage de programmation python :

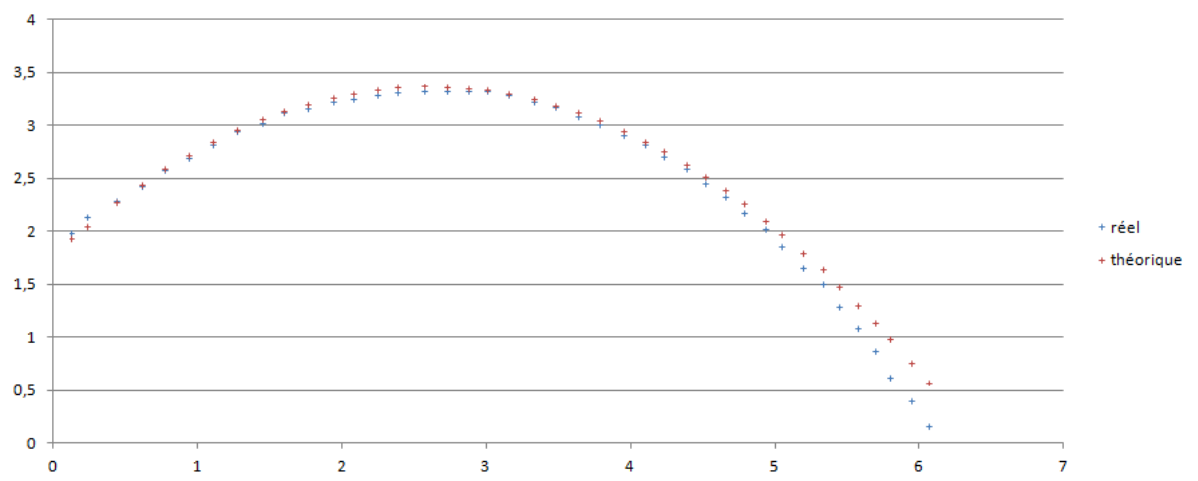
```
import matplotlib.pyplot as plt
from math import*
g=-9.81
a=float(input("angle (degrés) : "))
a=a*pi/180
v=float(input("vitesse initiale (m/s) : "))
h=float(input("hauteur initiale (m) : "))
ax = plt.axes()
listeX=[]
listeY=[]
ListeVX=[]
ListeVY=[]
t=0
x=0
listeX.append(x)
y=h
listeY.append(y)
vx=v*cos(a)
vy=v*sin(a)
ListeVX.append(vx)
ListeVY.append(vy)
while y >= 0:
    t=t+0.2
    x=v*cos(a)*t
    y=g*((t**2)/2)+v*sin(a)*t+h
    vy=g*t+v*sin(a)
    ListeVY.append(vy)
    ListeVX.append(vx)
    listeX.append(x)
    listeY.append(y)
for i in range (len(listeX)):
    ax.arrow(listeX[i],listeY[i],0.3*ListeVX[i],0.3*ListeVY[i],head_width=0.4,head_length=0.5,fc='lightblue')
plt.title("Trajectoire")
plt.xlabel("x (m)")
plt.ylabel("y (m)")
plt.grid(True)
plt.plot(listeX,listeY,"+",color="red")
plt.show()
ax.arrow(0, 0, 6.0, 4.0, head_width=0.5, head_length=0.7, fc='red', ec='red')
```

En choisissant comme valeurs  $\alpha = 33$  degrés,  $v_0 = 40$  m/s et la hauteur initiale  $h_0 = 0$  m on obtient la trajectoire suivante avec le vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  en rouge :



## 5. Étude du mouvement d'un projectile en rotation sur lui-même dans un champ de pesanteur uniforme avec frottements

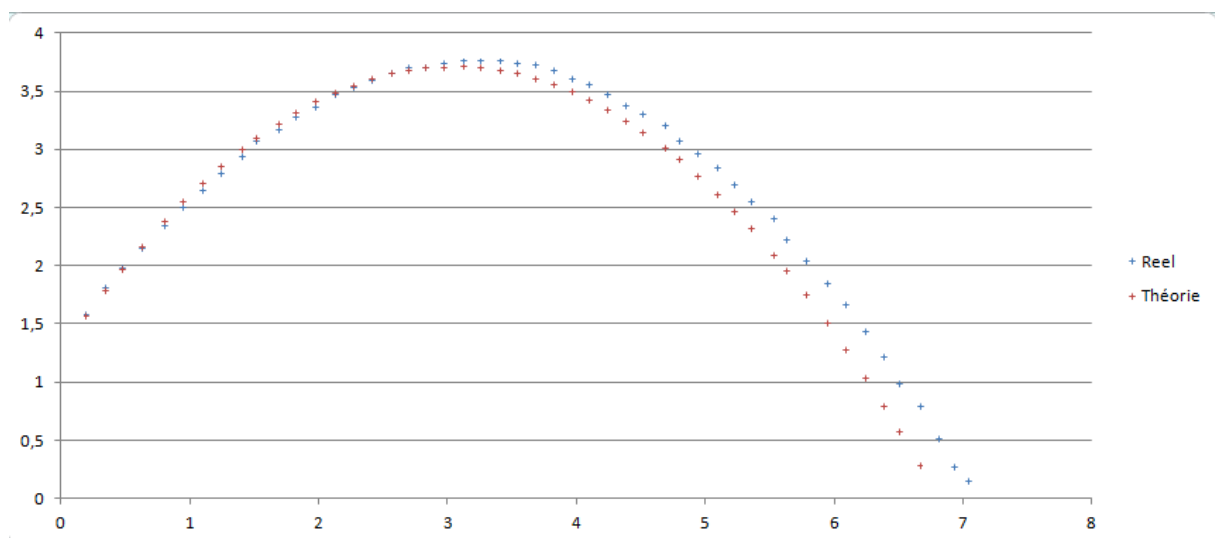
### 5.1. Trajectoire d'un projectile en rotation sur lui-même dans le sens horaire



Graphique de la position d'une balle en mètres

La courbe réelle en bleu correspond à la trajectoire d'une balle ayant une rotation sur elle-même dans le sens horaire en prenant en compte les frottements de l'air. La courbe théorique correspond à la trajectoire d'une balle n'ayant pas de rotation sur elle-même sans prendre en compte les frottements de l'air. On observe que la balle ayant une rotation sur elle-même retombe au sol avant la balle sans rotation. Cela peut s'expliquer par l'effet Magnus qui agit perpendiculairement au mouvement. Ici la balle tournant dans le sens horaire, la force Magnus est dirigée vers le bas. En effet l'air passant au-dessus de la balle est décélérée tandis que celle passant en dessous de la balle est accélérée tout en épousant la forme de la balle. Ainsi, l'air est projeté vers le haut. Or la loi sur la conservation des quantités de mouvement de Newton impose l'existence d'une force vers le bas (force Magnus).

## 5.2. Trajectoire d'un projectile en rotation sur lui-même dans le sens anti-horaire



### Graphique de la position d'une balle en mètres

La courbe réelle en bleu correspond à la trajectoire d'une balle en rotation sur elle-même dans le sens anti-horaire en prenant en compte les frottements de l'air. La courbe théorique correspond à la trajectoire d'une balle n'ayant pas de rotation sur elle-même sans prendre en compte les frottements de l'air. On observe que la balle ayant une rotation sur elle-même dans le sens anti-horaire atteint le sol après la balle sans rotation. Cela peut s'expliquer par l'effet Magnus qui agit perpendiculairement au mouvement. Ici, la balle tournant dans le sens anti-horaire, la force Magnus est dirigée vers le haut. En effet, l'air passant au-dessus de la balle est accélérée en épousant la forme de la balle tandis que l'air passant en-dessous de la balle est décélérée. Ainsi, l'air est projeté vers le bas. Or la loi sur la conservation des quantités de mouvement de Newton impose l'existence d'une force vers le haut (force Magnus).

## **6. Expérience du rouleau en papier**

### **6.1. Protocole**

Pour démontrer la présence de l'effet Magnus nous nous sommes inspirés d'une expérience déjà existante. Nous avons fait tomber un cylindre de papier enroulé dans 2 ficelles, ici les ficelles donnent un mouvement de rotation au cylindre, ainsi on suppose que ces rotations feront varier la trajectoire de la chute du cylindre par rapport à celle d'une chute libre.

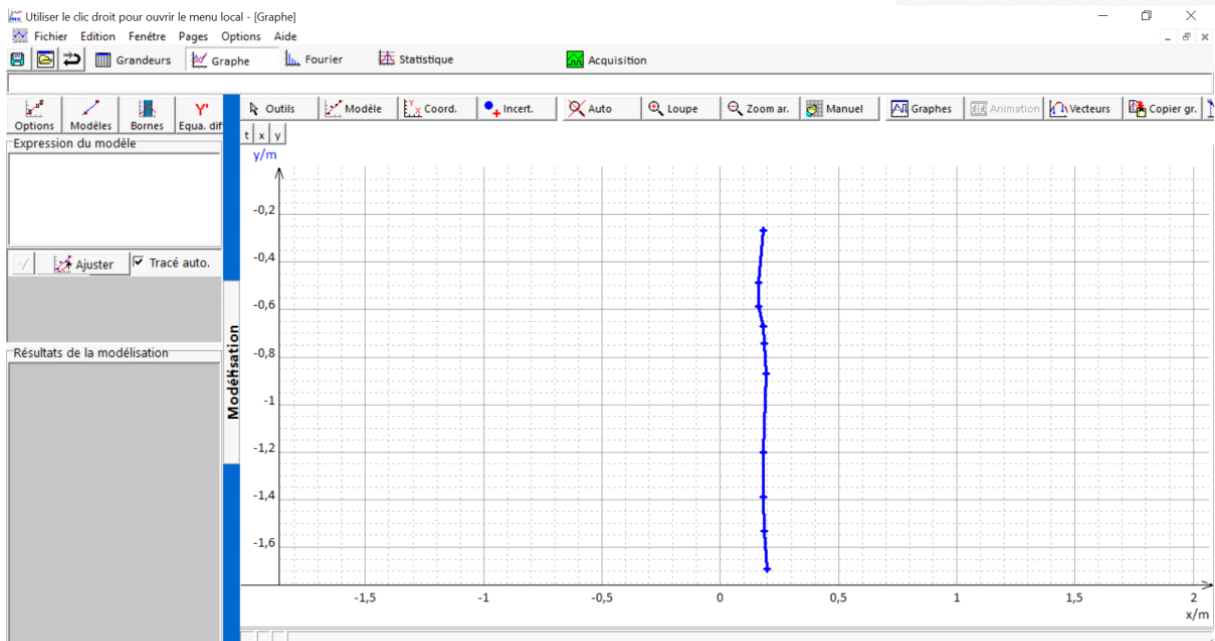
1. Accrocher à distance égale un cylindre de papier à deux ficelles d'une longueur de 1 mètre
2. Fixer les ficelles à une poutre à plus de 1 mètre du sol de sorte que le cylindre soit parallèle à la poutre
3. Chute témoin :
  - Lâcher le cylindre sans l'enrouler dans les ficelles
  - Filmer la chute puis réaliser une chronophotographie
  - Avec cette chronophotographie réaliser le graphique représentant la position du projectile dans le plan.
4. Chute A : enrouler le cylindre dans les ficelles dans le sens horaire.
  - Lâcher le cylindre
  - Filmer la chute puis réaliser une chronophotographie
  - Avec cette chronophotographie réaliser le graphique représentant la position du projectile dans le plan lors de la chute A
5. Chute B : Enrouler le cylindre dans les fils dans le sens anti-horaire
  - Lâcher le cylindre
  - Filmer la chute puis réaliser une chronophotographie
  - Avec cette chronophotographie réaliser le graphique représentant la position du projectile dans le plan lors de la chute B

## 6.2. Expériences

### Chute témoin :

Après avoir réalisé le protocole, nous obtenons la chronophotographie ci-contre pour la trajectoire témoin.

Nous pouvons observer que le cylindre poursuit une trajectoire quasi-rectiligne. Nous avons rentré les valeurs des abscisses et des ordonnées à chaque position afin d'obtenir ce graphique :

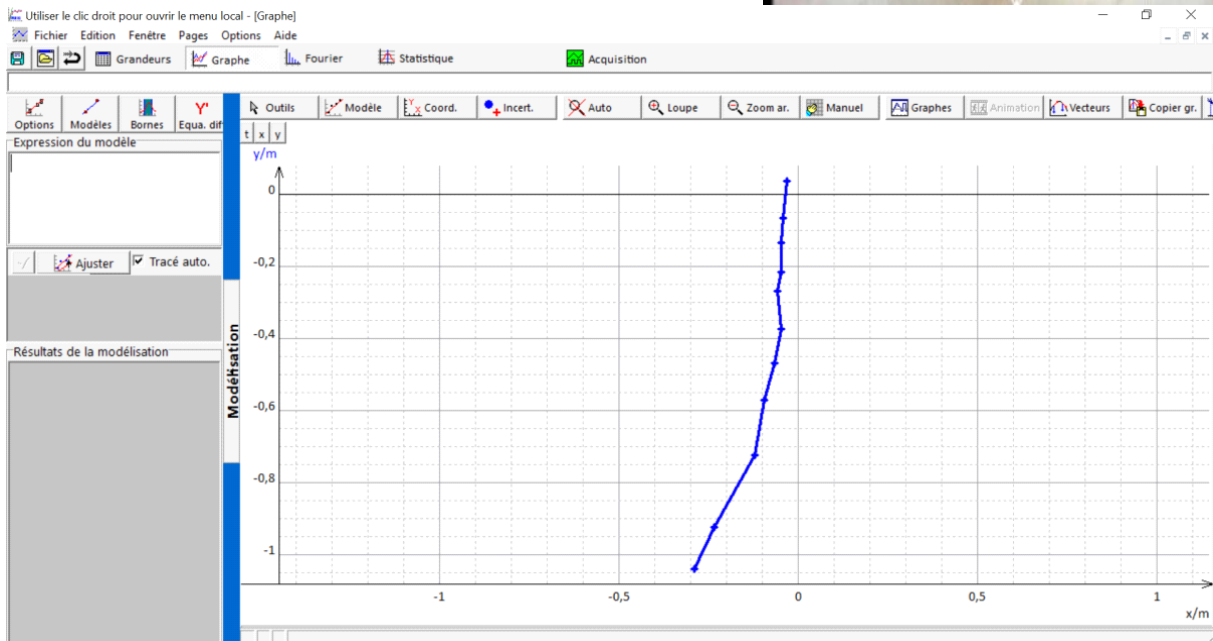




## Chute A :

Après avoir réalisé le 4ème point du protocole nous obtenons pour la Chute A la chronophotographie ci-dessous :

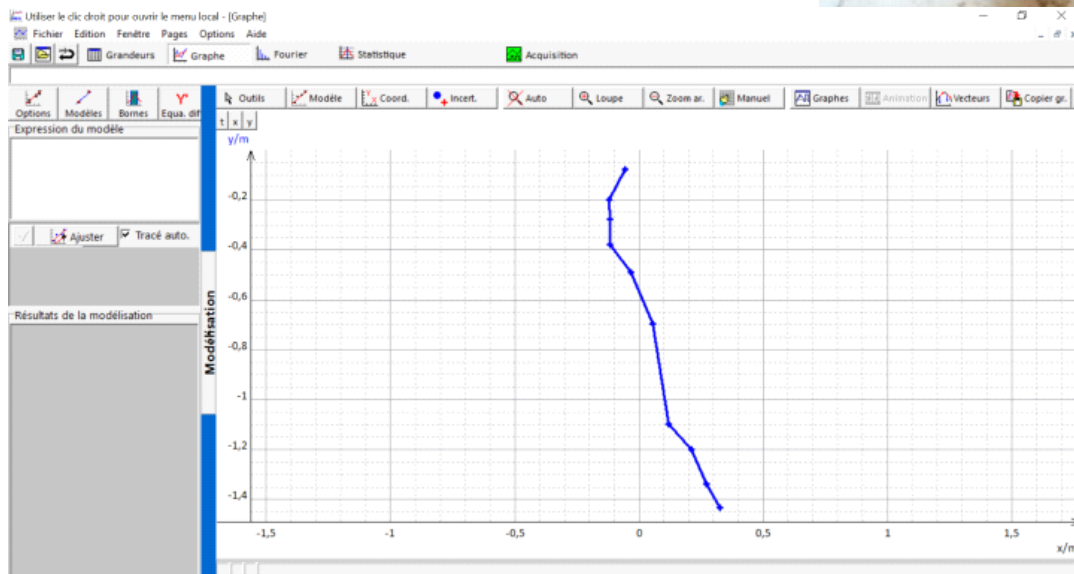
Ici, nous pouvons remarquer que le cylindre possède une trajectoire curviligne vers la gauche et uniformément accélérée. Ainsi nous pouvons en déduire que le fait d'avoir enroulé la ficelle autour du cylindre afin de lui donner une rotation sur lui-même a influencé sa trajectoire. Nous obtenons alors le graphique suivant :



## Chute B :

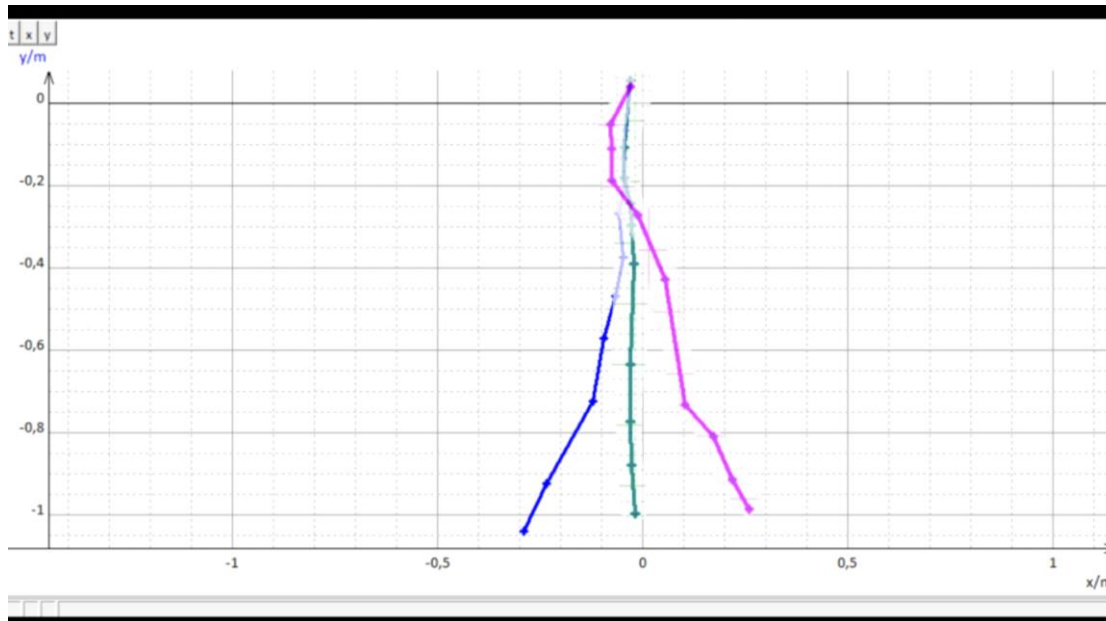
Enfin après avoir réalisé la 5ème partie du protocole nous obtenons la chronophotographie suivante :

Nous pouvons observer que le cylindre prend cette fois aussi une trajectoire courbée vers la droite. Nous obtenons donc le graphique suivant :



## Comparaison des trajectoires

A l'aide d'un logiciel de montage photo, nous avons superposé les courbes des différents graphiques afin de les comparés en fonction de la trajectoire témoin.



Ici, il apparaît clairement que les trajectoires des chutes A et B sont bel et bien différents de la trajectoire témoin, lorsque le cylindre n'était pas en rotation sur lui-même.

### 6.3. Interprétation des résultats

On observe que sans rotation, le cylindre a une trajectoire rectiligne, uniformément accélérée. Or lorsque le cylindre est en rotation anti-horaire (enroulé dans le sens horaire) sa trajectoire est curviligne vers la droite.

Et avec une rotation dans le sens horaire (enroulé dans le sens antihoraire) sa trajectoire de chute est décalée vers la gauche

## 7. Conclusion

Malgré un principe, à première vue abordable, les effets modifiant la trajectoire d'une balle, l'effet Magnus s'est révélé difficile à comprendre.

Les chronophotographies ont été compliqué à réaliser et nous aurions pu améliorer notre étude en réalisant un lanceur de balle à l'aide d'un matériel Arduino ce qui nous aurait permis de conserver les mêmes paramètres d'une chronophotographie à l'autre. A cela s'ajoute la difficulté d'aborder une notion complètement nouvelle pour nous.

Finalement nous avons démontré la présence de l'effet Magnus en analysant ses effets sur la trajectoire d'un projectile. De plus nous avons appris que l'effet Magnus a de nombreuses applications allant de l'industrie jusqu'aux sports de balles où il est clé pour gagner.

## **8. Bibliographie**

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_Magnus](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Magnus)

<https://www.youtube.com/watch?v=imdJBd88AcA>

<https://sciencealpha.com/fr/the-magnus-effect/>

<https://sciencealpha.com/fr/the-magnus-effect/>

[Lancers de Balles de Volleys | Magnus, la rotation d'une balle et ses conséquences \(wordpress.com\)](#)

[06 cours quelques mvt particuliers melisso.pdf \(lyceedadultes.fr\)](#)

Livre de Physique-Chimie Spécialité Terminale édition Hatier

## **9. Remerciements**

Nous souhaitons remercier Mme. Cadet, notre professeur de physique-chimie qui est toujours prête à nous aider et nous a incités à participer à ce concours.