

DEVOIR SURVEILLE N°9
PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 4h00

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

EXERCICE I. LA MÉCANIQUE AU SERVICE DE LA PÉTANQUE (5 points)

La pétanque est un jeu de boules dérivé du jeu provençal aussi appelé "la longue". Le but du jeu consiste tout simplement à lancer la boule le plus près possible du "but" matérialisé par le bouchon. Le terrain de jeu est horizontal.

Au début d'une partie de pétanque, un joueur trace un cercle sur le sol, il se place dans ce cercle et lance le bouchon à une distance entre 6 et 10 mètres de ce cercle.

Les joueurs de pétanque ont le choix entre *pointer* c'est-à-dire tenter de placer leur boule plus près du but que l'adversaire ou *tirer* c'est-à-dire déplacer la boule adverse pour l'éloigner du "but" et remporter le point.

Le pointeur joue avec des boules de petit diamètre (71 à 74 mm) pour offrir moins de surface au tireur, assez lourdes pour un meilleur contrôle (710 à 740 g). Le tireur joue avec des boules de gros diamètre (74 à 78 mm), légères afin de limiter la fatigue (670 à 700 g).

D'après <http://www.la boule bleue.fr>

Cet exercice aborde l'étude d'un lancer d'une boule par un pointeur, puis par un tireur. Dans tout l'exercice, les frottements seront négligés.

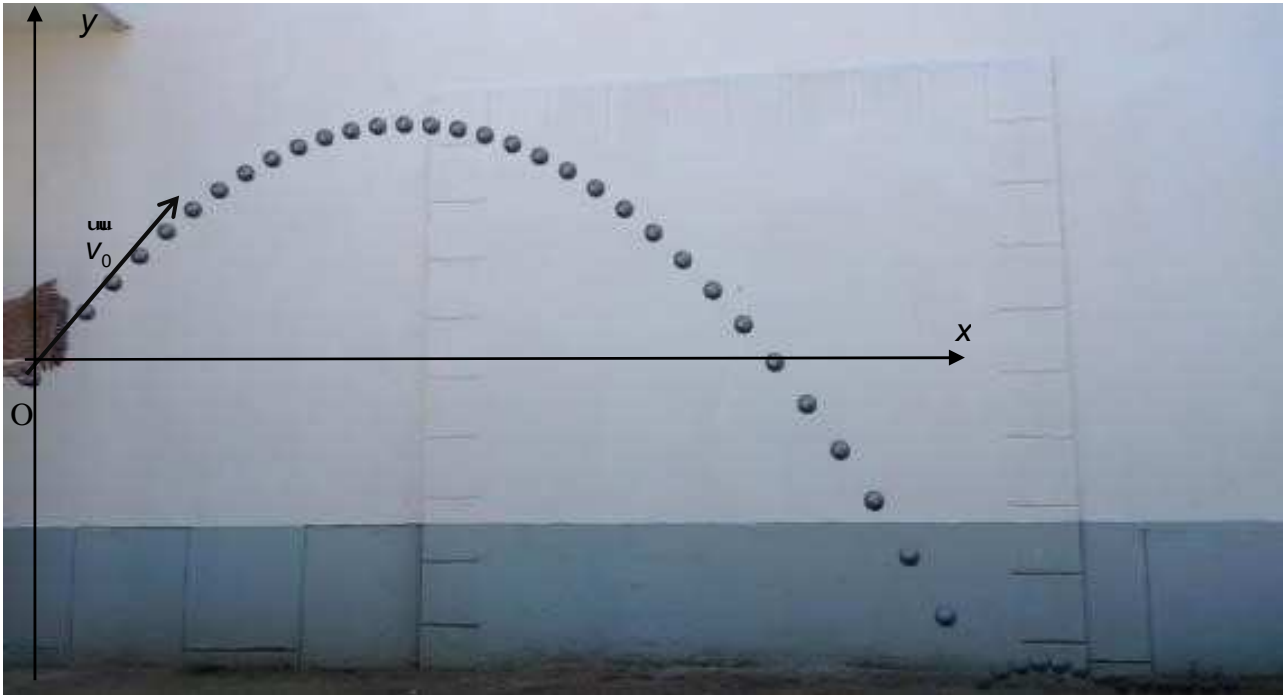
Partie A - Le pointeur

Le pointeur lance sa boule de masse $m = 710$ g avec une vitesse initiale \vec{V}_0 faisant un angle α par rapport à l'horizontale. L'origine O est prise au point où le pointeur lâche la boule. Le modèle de la chute libre conduit aux équations horaires du mouvement du centre G de la boule dans le repère (O, x, y) :

$$\begin{cases} x = V_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t \\ y = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + V_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t \end{cases}$$

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

1. On réalise la chronophotographie du mouvement de la boule lancée par le pointeur. Cette chronophotographie est représentée ci-dessous ; l'intervalle de temps entre deux prises de vue est de 33,3 ms.



Quelques coordonnées du centre de la boule de pétanque

Date t(s)	x (m)	y (m)
0,000	0,000	0,000
0,033	0,117	0,117
0,067	0,243	0,243
0,100	0,346	0,360

1.1. Déterminer, à partir de la chronophotographie, la valeur de l'angle α entre l'horizontale et le vecteur vitesse à l'origine des dates en précisant la méthode choisie.

1.2. En exploitant le modèle de la chute libre et en utilisant les résultats expérimentaux, déterminer la valeur de la vitesse initiale V_0 .

2. Le pointeur lance la boule en direction du bouchon et la lâche au point O origine du repère choisi. Le point O est situé à une hauteur de 1,2 m du sol.

2.1. Montrer que la boule suit une trajectoire parabolique d'équation :

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{(V_0 \cdot \cos(\alpha))^2} + \tan(\alpha) \cdot x$$

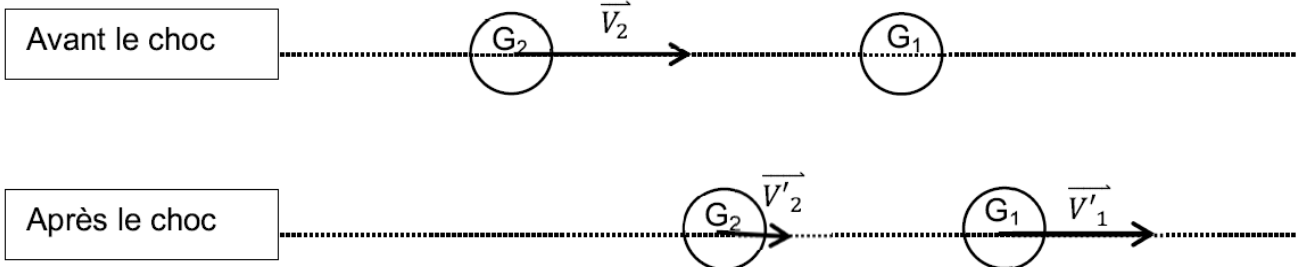
2.2. Pour un angle α de 51° et une vitesse initiale de valeur égale à $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la boule touche le sol, puis roule vers le bouchon. Calculer l'abscisse du point d'impact de la boule avec le sol.

Partie B - Le tireur

La boule lancée par le pointeur étant proche du bouchon, le tireur de l'équipe adverse va chercher à la déplacer. Le tireur lance sa boule à quelques centimètres de la boule visée ; la boule du tireur roule puis percute la boule du pointeur de plein fouet avec une vitesse $V_2 = 8,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Dans le référentiel terrestre, après le choc, les deux boules, de masses respectives m_1 et m_2 , possèdent les vecteurs vitesse \vec{V}'_1 , et \vec{V}'_2 portés par la même direction.

On étudie le cas de figure du choc donné par le schéma suivant :



1. Lors de ce choc, deux grandeurs se conservent et permettent d'écrire les relations suivantes :

$$m_2 \cdot V_2 = m_1 \cdot V'_1 + m_2 \cdot V'_2$$

$$\frac{1}{2} m_2 \cdot V_2^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot (V'_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot (V'_2)^2$$

Nommer les deux grandeurs dont la conservation est exprimée par ces relations.

2. La résolution du système précédent permet d'écrire les relations vectorielles suivantes :

$$\vec{V}'_1 = \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \cdot \vec{V}_2 \quad \text{et} \quad \vec{V}'_2 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \cdot \vec{V}_2$$

À partir de ces relations vectorielles, associer les relations A, B et C comparant les masses aux trois propositions 1, 2 et 3 :

$m_1 = m_2$	A
$m_1 > m_2$	B
$m_1 < m_2$	C

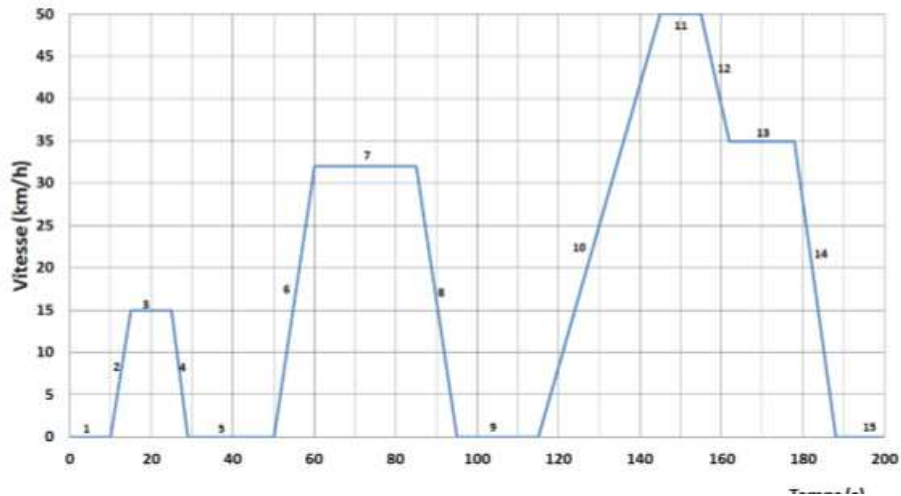
1	la boule G_2 repart en sens inverse
2	la boule G_2 suit la boule G_1
3	les boules échangent leurs vitesses

Reporter vos réponses sur votre copie et justifier chaque choix.

3. Que se passe-t-il si la masse m_1 est très largement supérieure à la masse m_2 ?

Exercice ii ETUDE DU COMPORTEMENT D'UN VEHICULE HYBRIDE

Le New European Driving Cycle (ou cycle NEDC) est un cycle de conduite automobile conçu pour imiter de façon reproductible les conditions rencontrées sur les routes européennes. Il est principalement utilisé pour la mesure de la consommation et des émissions polluantes des véhicules.



Dans cette partie on néglige les forces de résistance au roulement et les forces de résistance aérodynamique.

1 - Etude mécanique : Pour les questions 1.1 et 1.2, on se limite à l'étude d'une portion du cycle de la phase 5 incluse à la phase 9 incluse.

1.1 Compléter la colonne 2 (type de phase) du tableau récapitulatif du document réponse en précisant s'il s'agit d'une accélération, d'une vitesse stabilisée ou d'une décélération.

1.2 On note a l'accélération d'un véhicule dont la variation de vitesse est Δv sur la durée Δt .

a) Donner la relation qui relie l'accélération à Δv et Δt

b) Préciser les unités de la relation précédente.

c) Compléter la troisième colonne du tableau récapitulatif du document réponse en donnant le détail des calculs.

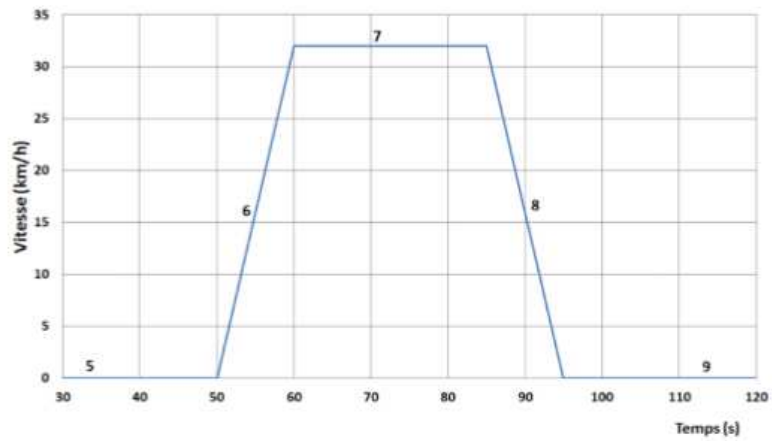
1.3 Expliquer à partir du graphique du cycle urbain élémentaire donné ci-dessus, comment repérer la phase pour laquelle l'accélération du véhicule est la plus importante.

1.4 Pendant la phase 6, on relève la puissance motrice P en fonction de la vitesse v . Déterminer à l'aide du graphe de $P=f(v)$ en annexe 1, la puissance motrice délivrée par le moteur en fin de la phase 6.

1.5 Vérifier, en vous servant du tableau des caractéristiques du véhicule donné en annexe 1, que le moteur électrique est capable à lui seul de garantir cette force motrice jusqu'à la fin de la phase 6.

A.1.1
A1.2.c




DOCUMENT REPONSE (à rendre avec la copie)



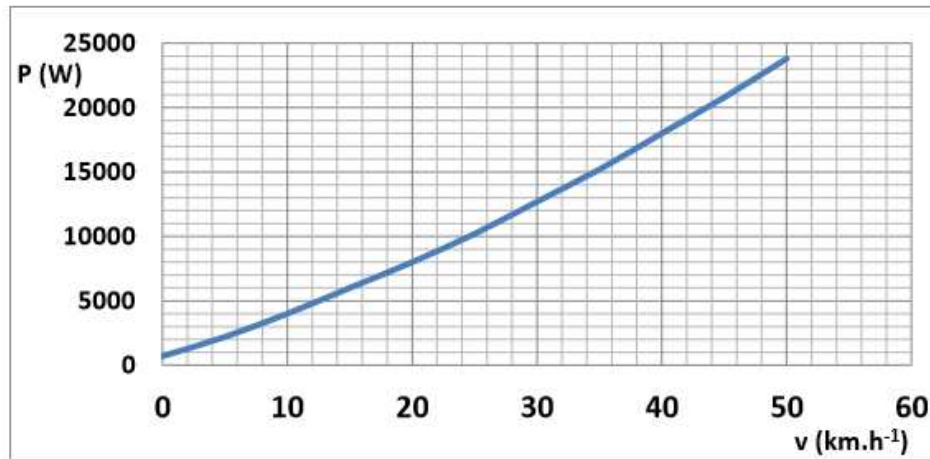
Cycle urbain élémentaire

Phase n°	Type de Phase	Accélération (m.s ⁻²)	Vitesse (km.h ⁻¹)	Durée de la phase (s)	Temps total (s)
5	Arrêt		0	21	49
6			0-32	12	61
7			32	24	85
8			32-0	11	96
9	Arrêt		0	21	117

Caractéristiques du véhicule

Véhicule 	Type	Mild-hybrid
	Masse totale	1073 kg
Moteur thermique 	Type	1.3 essence
	Puissance max	54 kW
	Couple max (régime)	120 Nm (à 3300 tr/min)
Machine électrique 	Puissance max	15 kW
	Couple max (min)	84 N.m (70 N.m)
batterie	Type	NiMH
	Tension/capacité nominale	42V/36 A.h
	Courant max (min)	500 A (350 A)
	masse	33 kg

Puissance motrice en fonction de la vitesse pour la phase 6



Extrait du bulletin officiel de la république française

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) donne le dégagement maximal théorique de la chaleur lors de la combustion, y compris la chaleur de condensation de la vapeur d'eau produite lors de la combustion.

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des combustibles exclut de la chaleur dégagée la chaleur de condensation de l'eau supposée restée à l'état de vapeur à l'issue de la combustion.

Source : bulletin officiel de la république française du 28 septembre 2006

EXERCICE III : STATION SPATIALE ISS (6,5 points)

La station spatiale internationale ISS (International Space Station) est à ce jour le plus grand des objets artificiels placé en orbite terrestre à une altitude de 400 km.

Elle est occupée en permanence par un équipage international qui se consacre à la recherche scientifique dans l'environnement spatial. Jusqu'à présent, trois vaisseaux cargos ATV ont permis de ravitailler la station ISS.



Les parties A et B de cet exercice sont indépendantes.

PARTIE A : Étude du mouvement de la station spatiale ISS

La station spatiale internationale, supposée ponctuelle et notée S, évolue sur une orbite qu'on admettra circulaire, dont le plan est incliné de $51,6^\circ$ par rapport au plan de l'équateur. Son altitude est environ égale à 400 km.

Données :

- rayon de la Terre : $R = 6380$ km
- masse de la station : $m = 435$ tonnes
- masse de la Terre, supposée ponctuelle : $M = 5,98 \times 10^{24}$ kg
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- altitude de la station ISS : h
- expression de la valeur de la force d'interaction gravitationnelle F entre deux corps A et B ponctuels de masses respectives m_A et m_B , distants de $d = AB$:

$$F = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

1. Représenter sur un schéma :

- la Terre et la station S, supposée ponctuelle ;
- un vecteur unitaire \hat{u} orienté de la station S vers la Terre (T) ;
- la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la station S.

Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction du vecteur unitaire \hat{u} .

2. En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération \hat{a}_S de la station dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de G , M , h , R et du vecteur unitaire \hat{u} .

3. Vitesse du satellite.

3.1. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse du satellite

de la station a pour expression : $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$.

3.2. Calculer la valeur de la vitesse de la station en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

4. Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station spatiale internationale fait-il en 24h ?

PARTIE B : Ravitaillement de la station ISS

Le 23 mars 2012, un lanceur Ariane 5 a décollé du port spatial de l'Europe à Kourou (Guyane), emportant à son bord le véhicule de transfert automatique (ATV) qui permet de ravitailler la station spatiale internationale (ISS).

Au moment du décollage, la masse de la fusée est égale à $7,8 \times 10^2$ tonnes, dont environ 3,5 tonnes de cargaison : ergols, oxygène, air, eau potable, équipements scientifiques, vivres et vêtements pour l'équipage à bord de l'ATV.

D'après

http://www.esa.int/esaCP/Pr_10_2012_p_FR.html



On se propose dans cette partie d'étudier le décollage de la fusée.

Pour ce faire, on se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À la date $t = 0$ s, le système est immobile.

À $t = 1$ s, la fusée a éjecté une masse de gaz notée m_g , à la vitesse \vec{v}_g . Sa masse est alors notée m_f et sa vitesse \vec{v}_f .

Données :

- Intensité de la pesanteur à Kourou : $g = 9,78 \text{ N.kg}^{-1}$
- Débit d'éjection des gaz au décollage : $D = 2,9 \times 10^3 \text{ kg.s}^{-1}$
- Vitesse d'éjection des gaz au décollage : $v_g = 4,0 \text{ km.s}^{-1}$

1. Modèle simplifié du décollage

Dans ce modèle simplifié, on suppose que le système {fusée + gaz} est isolé.

- 1.1. En comparant la quantité de mouvement du système considéré aux dates $t = 0$ s et $t = 1$ s, montrer que :

$$\vec{v}_f = -\frac{m_g}{m_f} \vec{v}_g$$

Quelle est la conséquence de l'éjection de ces gaz sur le mouvement de la fusée ?

- 1.2. Après avoir montré numériquement que la variation de la masse de la fusée est négligeable au bout d'une seconde après le décollage, calculer la valeur de la vitesse de la fusée à cet instant.

2. Étude plus réaliste du décollage

- 2.1. En réalité la vitesse v_f est très inférieure à celle calculée à la question 1.2.. En supposant que le système {fusée + gaz} est isolé, quelle force n'aurait-on pas dû négliger ?

- 2.2. On considère désormais le système {fusée}. Il est soumis à son poids \vec{P} et à la force de poussée \vec{F} définie par $\vec{F} = -D \vec{v}_g$ où D est la masse de gaz éjecté par seconde.

2.2.1. Montrer que le produit $(D.v_g)$ est homogène à une force.

2.2.2. Vérifier par une application numérique que la fusée peut effectivement décoller.

EXERCICE IV : (6,5 points)

Dans les domaines de la science des matériaux, on a souvent recouru à un microscope haute résolution pour étudier leur microstructure. L'augmentation de la résolution passant par une diminution de la longueur d'onde, on utilise un faisceau d'électrons à la place d'un faisceau de photons visibles. Dans un microscope électronique à balayage, les électrons sont accélérés grâce à un champ électrique produit par une différence de potentiel entre la source et une anode, puis focalisés sur l'échantillon par des lentilles magnétiques ou électrostatiques. Après interaction avec l'échantillon, le faisceau d'électrons est mesuré par un détecteur permettant de former une image du cristal. On se propose d'étudier ici le canon à électrons qui accélère les électrons d'une plaque A vers une plaque B.

Le champ électrique \vec{E} est uniforme et horizontal entre les plaques A et B verticales. Sa norme vaut :

$$\|\vec{E}\| = E = 300\,000 \text{ V.m}^{-1}.$$

On étudie le mouvement d'un électron de masse m et de charge $-e$ entre ces deux plaques.

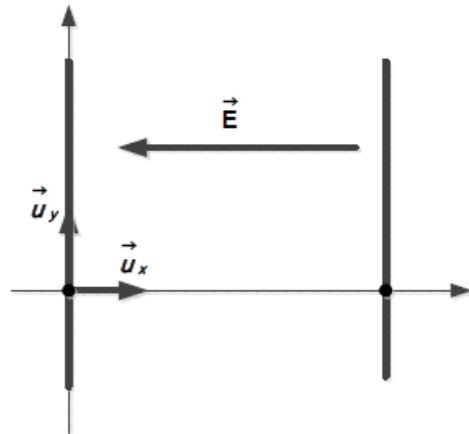
Au temps $t = 0$, l'électron se trouve en O, origine du repère cartésien.

La vitesse de l'électron en O est nulle.

L'électron atteint la plaque B en un point M.

La distance entre les plaques vaut $OM = L = 10 \text{ cm}$.

On rappelle qu'une charge q placée dans un champ électrique \vec{E} subit une force $\vec{F} = q \vec{E}$.



On précise qu'on ne fera pas de corrections relativistes dans tout l'exercice.

Données :

- charge élémentaire $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
- masse de l'électron : $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

Calcul de la vitesse de l'électron par la deuxième loi de Newton

III-1- Donner l'expression vectorielle de la force électrostatique subie par l'électron en fonction de E et e. Calculer la norme de cette force.

III-2- Donner l'expression vectorielle du poids de l'électron. Calculer la norme de cette force.

Dans la suite de l'exercice, on décide de négliger le poids de l'électron par rapport à la force électrostatique.

III-3- Appliquer la 2^e loi de Newton à l'électron et donner les composantes de l'accélération suivant x et y. En déduire l'expression des composantes de la vitesse de l'électron en fonction du temps puis les expressions des composantes de la position de l'électron en fonction du temps

III-4- En déduire l'expression du temps t_M au bout duquel l'électron parviendra à la plaque B. Faire le calcul.

