Devoir surveillé n°5 – Février 2016 / 50 pts

EXERCICE 1 : LE DOMINO-CASCADE. /13 PTS

On souhaite préparer le départ d'une bille pour un « dominos-cascade ».
La bille lancée doit aller percuter le premier domino pour déclencher les chutes en cascade. Les dominos étant déjà tous installés, on ne peut pas faire d'essais.
Nous avons déterminé par calcul que la bille doit arriver en O avec une vitesse horizontale de 2,0 m/s.
Le schéma ci-contre (figure 1) décrit la situation.
Attention, les échelles ne sont pas respectées.
On suppose dans l'ensemble de l'exercice que:
- le référentiel terrestre est galiléen le temps de l'expérience ;
- la bille est assimilée à un point matériel ;
- les frottements solides et fluides sont négligeables.

On prendra g = 9,8 N.kg^{-1}.
La masse de la bille est m = 60 g.

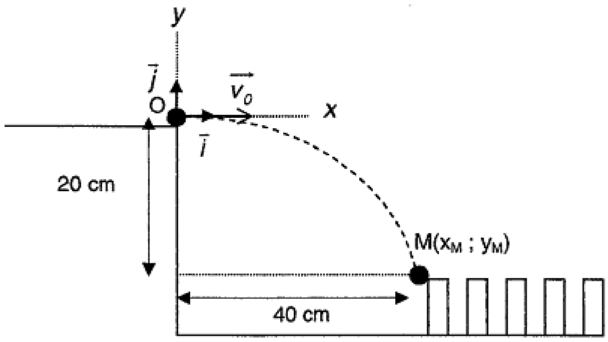


Figure 1

1. Solutions techniques pour que la bille arrive en O avec la vitesse $\vec{v_0}$.

1. Utilisation d'un plan incliné :

Dans cette situation (illustrée par la figure 2 ci après), la bille est lâchée sans vitesse initiale d'un point A (de coordonnées x_A et y_A) situé en haut d'un plan incliné réglable très lisse sur lequel la bille glisse sans frottement.

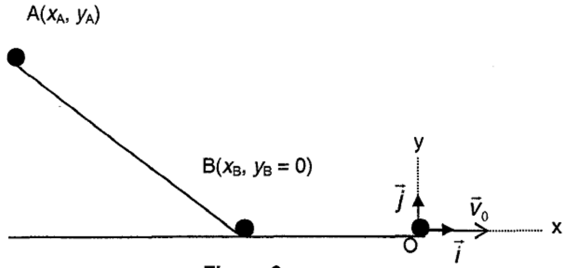


Figure 2

Ensuite, la bille roule entre les points B et O : sur cette portion on considérera que la valeur de la vitesse du centre d'inertie de la bille reste constante ; ainsi on aura $v_B = v_0$.

Sur la portion AB, on peut considérer que la bille est soumise à deux forces constantes : le poids $\vec{P}$ et la réaction du plan incliné $\vec{R}$. En un point quelconque du trajet AB, ces vecteurs forces sont représentés sur la figure 3 ci après (représentation sans considération d'échelle).

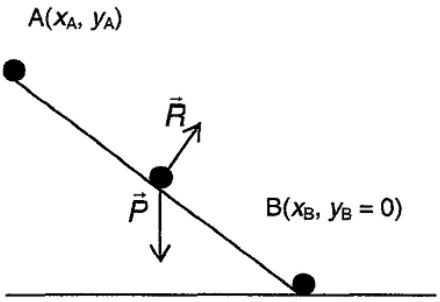


Figure 3

La force $\vec{R}$ dont la direction est constamment perpendiculaire au trajet AB n'effectue aucun travail. Ainsi, la seule force qui effectue un travail sur le trajet AB est le poids $\vec{P}$ qui est une force conservative : on peut donc affirmer que l'énergie mécanique du système {bille-Terre} se conserve entre A et B.

L'origine des énergies potentielles de pesanteur est prise au point O d'altitude y_0 = 0. On a donc E_p(O) = 0.

1.1. Établir l'expression de l'énergie mécanique E_M(A) de la bille en A en fonction de y_A.
1.2. Établir l'expression de l'énergie mécanique E_M(B) de la bille en B en fonction de v_B.
1.3. En déduire l'expression de y_A en fonction de $v_0 = v_B$.
1.4. Calculer y_A pour que v_0 ait la valeur de 2,0 m.s^{-1}.

2. Utilisation d'un canon à bille :

Si on ne dispose pas de la place nécessaire à l'installation du plan incliné précédent, on peut utiliser un petit canon à ressort de raideur k = 50 N.m^{-1} (voir figure 4 ci après).
Le ressort au repos a son extrémité en O de coordonnées (0, 0).
L'opérateur le comprime en exerçant une force notée $\overrightarrow{F_{op}}$ jusqu'à ce que son extrémité soit en C de coordonnées (x_C, 0).
On pose alors la bille au contact du ressort. On admet que l'abscisse de la bille (assimilée à un point matériel) est confondue avec l'abscisse de l'extrémité du ressort est repérée par x. Lorsqu'on lâche le tout, la bille acquiert de la vitesse. Un système de blocage limite la détente complète en arrêtant le ressort au point O (de coordonnées 0 ; 0).

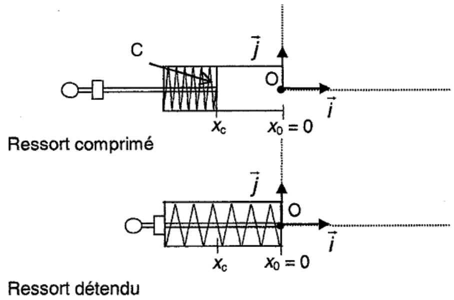


Figure 4

2.1. Au cours de la compression du ressort, la force exercée par l'opérateur et notée $\overrightarrow{F_{op}}$ est à chaque instant opposée à la force de rappel du ressort $\vec{F}$. Le travail de la force $\overrightarrow{F_{op}}$ entre les points O et C a pour expression : $W_{OC}(\overrightarrow{F_{op}}) = \frac{1}{2}.k.x_C^2$

Le travail de $\overrightarrow{F_{op}}$ a uniquement contribué à augmenter l'énergie potentielle élastique du ressort. Si on considère que, après avoir été relâché, celui-ci la restitue entièrement à la bille sous forme d'énergie cinétique, exprimer x_C en fonction de v_0, m et k.

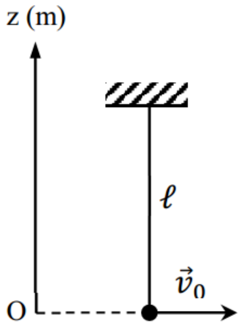
2.2. Application numérique : calculer la coordonnée x_C dans le repère pour que v_0 ait la valeur 2,0 m.s^{-1}.

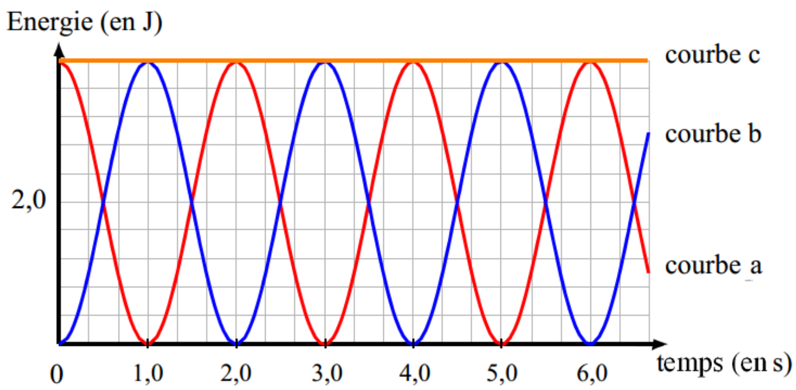
EXERCICE 2 : OSCILLATIONS / 8 PTS

Un exercice comporte 4 affirmations repérées par les lettres a, b, c, d. Vous devez indiquer pour chacune d'elles si elle est vraie (V) ou fausse (F) et justifier votre réponse.

Un pendule simple de longueur ℓ est lancé, à partir de sa position d'équilibre stable, avec une vitesse horizontale V0 = 2,0 m.s-1. La période du pendule est $T_0 = 2\pi.\sqrt{\frac{L}{g}}$.

Quand la vitesse du pendule devient nulle, l'angle α que fait le pendule avec la verticale a pour valeur 18°. Les trois courbes ci-dessous représentent les énergies mécanique, cinétique et potentielle. L'origine de l'énergie potentielle est prise au niveau de la position d'équilibre stable.





a) La masse de ce pendule est de 0,20 kg.
b) La période des oscillations du pendule est de 2,0 s.
c) La longueur de ce pendule est ℓ= 4,0 m.
d) La hauteur maximale atteinte par le pendule au dessus de sa position d'équilibre est z = 20 cm.

EXERCICE 3 : LA CORROSION DES GOUTTIÈRES / 15 PTS

Les précipitations sont naturellement acides en raison du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. Par ailleurs, la combustion des matières fossiles (charbon, pétrole et gaz) produit du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote qui s'associent à l'humidité de l'air pour libérer de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique. Ces acides sont ensuite transportés loin de leur source avant d'être précipités par les pluies, le brouillard, la neige ou sous forme de dépôts secs.
Très souvent, les pluies s'écoulant des toits sont recueillies par des gouttières métalliques, constituées de zinc.

Données :
Masse molaire atomique du zinc : $M(Zn) = 65{,}4\ g.mol^{-1}$
Loi des gaz parfaits : $PV = nRT$

Couples acide / base : $H_3O^+ / H_2O(\ell)$
$H_2O(\ell) / HO^-(aq)$
$CO_2, H_2O(\ell) / HCO_3^-(aq)$

Le zinc est un métal qui réagit en milieu acide selon la réaction d'équation :

$$Zn(s) + 2\ H_3O^+ = Zn^{2+}(aq) + H_2(g) + 2\ H_2O(\ell)$$

1. Suivi cinétique de la transformation
Pour étudier cette transformation, considérée comme totale, on réalise l'expérience dont le schéma simplifié est représenté sur la figure 1.

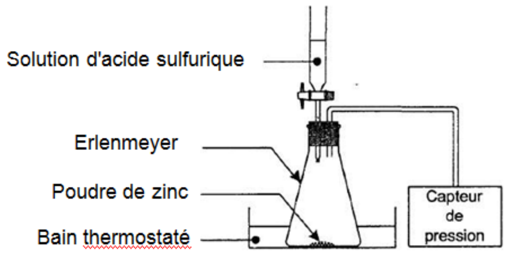


Figure 1

À l'instant de date t = 0 s, on verse rapidement, sur 0,50 g de poudre de zinc, 75,0 mL de solution d'acide sulfurique de concentration en ions oxonium H_3O^+ égale à $0{,}40\ mol.L^{-1}$.

La pression mesurée à cet instant par le capteur est $P_i = 1020$ hPa.

La formation de dihydrogène crée une surpression qui s'additionne à la pression de l'air initialement présent. Les valeurs de la pression, mesurée à différentes dates par le capteur de pression, sont reportées dans le tableau :

t (min)	0	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0
P (hPa)	1020	1030	1060	1082	1101	1120	1138	1172	1215	1259	1296	1335

t (min)	45,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	110,0	140,0	160,0	190,0	240,0	300,0
P (hPa)	1413	1452	1513	1565	1608	1641	1697	1744	1749	1757	1757	1757

1.1. Compléter le tableau d'évolution du système en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

1.2. En déduire la valeur de l'avancement maximal x_{max}. Quel est le réactif limitant ?

1.3. *On considère que le dihydrogène libéré par la réaction est un gaz parfait. À chaque instant la surpression* $(P - P_i)$ *est proportionnelle à la quantité* $n(H_2)$ *de dihydrogène formé et inversement proportionnelle au volume* V_{gaz} *de gaz contenu dans l'erlenmeyer :* $(P - P_i)V_{gaz} = n(H_2)RT$ *, où* P_i *représente la pression mesurée à la date t = 0 s , P la pression mesurée par le capteur et T la température du milieu (maintenue constante pendant l'expérience).*

1.3.1. Quelle est la relation donnant l'avancement x de la réaction en fonction de *$(P - P_i)$, V_{gaz}, R et T ?*

On note P_{max} la pression mesurée à l'état final. La relation donnant l'avancement x est :

$$x = x_{max}\left(\frac{P - P_i}{P_{max} - P_i}\right)$$

La courbe donnant l'évolution de l'avancement x en fonction du temps est représentée sur la figure 2 en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

1.3.2. Vérifier à l'aide de la courbe la valeur de x_{max} trouvée au 1.2.

1.3.4. À l'aide du tableau des résultats, déterminer la valeur de l'avancement à la date *t* = 50,0 min. Vérifier cette valeur sur la courbe.

2. Facteurs cinétiques

2.1. Influence de la concentration en ions oxonium

On reprend le montage précédent (figure 1) et on réalise les trois expériences suivantes :

	Expérience 1	*Expérience 2*	*Expérience 3*
Température	*25 °C*	*25 °C*	*25 °C*
Masse initiale de zinc	*0,50 g*	*0,50g*	*0,50 g*
Forme du zinc	*poudre*	*poudre*	*poudre*
Volume de la solution d'acide sulfurique versée	*75 mL*	*75 mL*	*75 mL*
Concentration initiale en ions oxonium	*0,50mol.L^{-1}*	*0,25 mol.L^{-1}*	*0,40 mol.L^{-1}*

Pour chacune des expériences 1, 2 et 3, on a tracé sur la figure 3 ci-dessous les trois courbes (a), (b) et (c) représentant l'avancement de la réaction lors des 50 premières minutes.

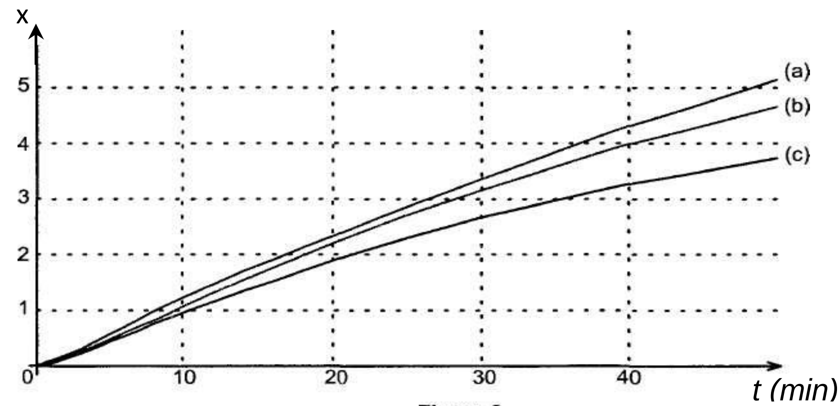


Figure 3

Associer à chacune des courbes de la figure 3 le numéro de l'expérience 1, 2 ou 3 correspondante. Justifier.

2.2. Influence de la forme du zinc (division et état de surface)

On reprend le montage de la figure 1 et on réalise trois nouvelles expériences :

- avec de la poudre de zinc ;

- avec de la grenaille de zinc récemment fabriquée ;

- avec de la grenaille de zinc de fabrication ancienne.

	Expérience 4	Expérience 5	Expérience 6
Température	25 °C	25 °C	25 °C
Masse initiale de zinc	0,50 g	0,50 g	0,50 g
Forme du zinc	poudre	grenaille	grenaille de zinc de fabrication ancienne recouverte d'une couche de carbonate de zinc
Volume de la solution d'acide sulfurique versé	75 mL	75 mL	75 mL
Concentration initiale en ions oxonium	0,50mol.L^{-1}	0,50 mol.L^{-1}	0,50 mol.L^{-1}

On trace les courbes x = f(t) pour les trois expériences et on obtient la figure 4:

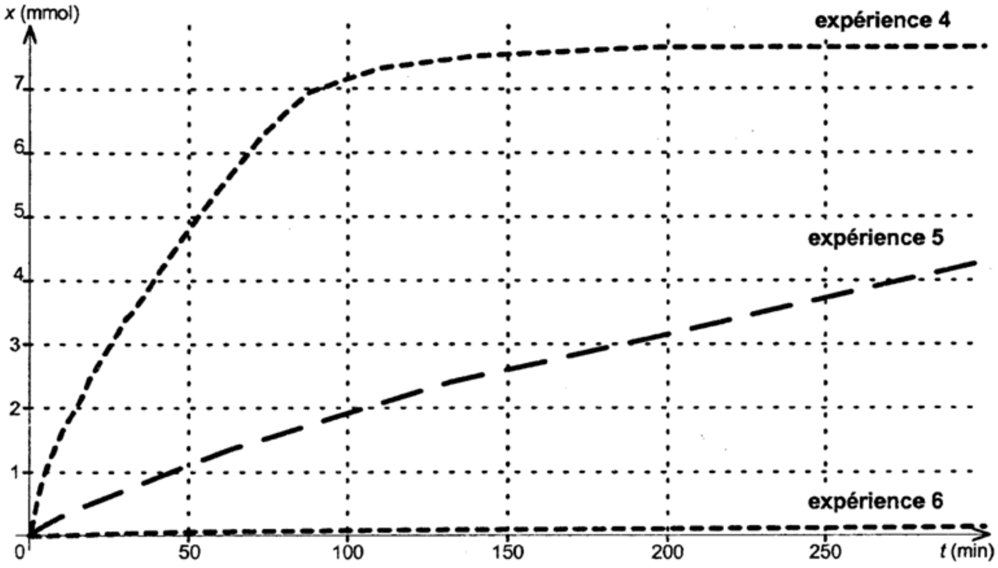


Figure 4

2.2.1. À partir des courbes obtenues lors des expériences 4 et 5, indiquer quelle est l'influence de la surface du zinc en contact avec la solution sur la vitesse de réaction.
2.2.2. *En milieu humide, le zinc se couvre d'une mince couche de carbonate de zinc qui lui donne un aspect patiné.*
À partir des courbes obtenues, indiquer quelle est l'influence de cette couche de carbonate de zinc sur la vitesse de réaction.

3. Pluies acides et gouttières

Les précipitations naturelles et non polluées ont un pH acide. Leur acidité est due au dioxyde de carbone qui se dissout dans l'eau.
L'équation entre l'eau et le dioxyde de carbone s'écrit : $CO_2\,(aq) + 2\,H_2O\,(\ell) = HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+$
En France le pH moyen annuel des eaux de pluie est de l'ordre de 5.
3.1. À partir de la valeur du pH citée ci-dessus, déterminer la valeur moyenne de la concentration en ions oxonium H_3O^+ rencontrés dans les eaux de pluie.
3.2. Les trois facteurs cinétiques étudiés dans la question 2. permettent-ils d'expliquer la longévité des gouttières en zinc dans les habitations ?

ANNEXE À RENDRE Exercice 3

Question 1.1.

Tableau d'évolution du système

Equation chimique		$Zn_{(s)}$	+ $2\ H_3O^+$	= $Zn^{2+}_{(aq)}$	+ $H_{2(g)}$	+ $2\ H_2O_{(\ell)}$
Etat du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)				
Etat initial	0	$n(Zn)_i$	$n(H_3O^+)_i$	0	0	en excès
Etat en cours de transformation	X					en excès
Etat final	X_{max}					en excès

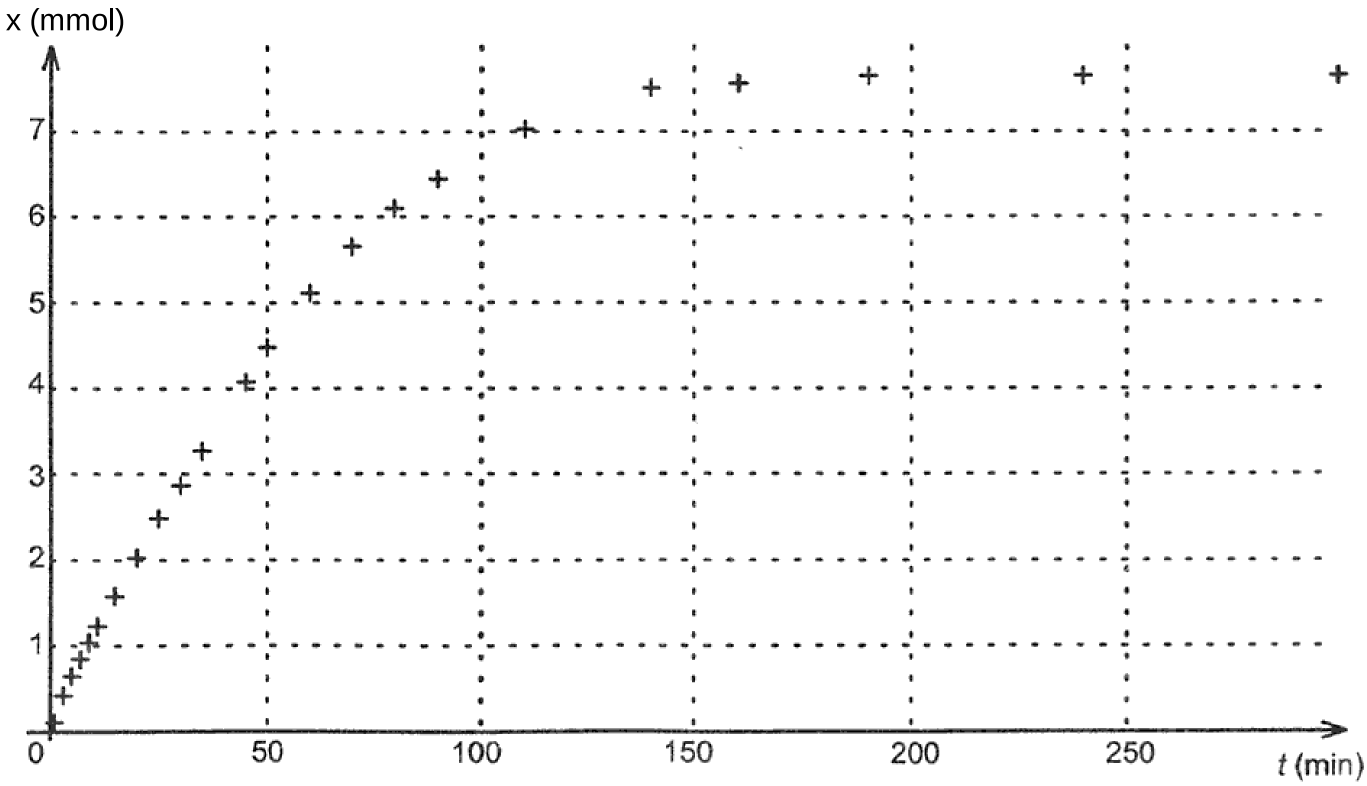


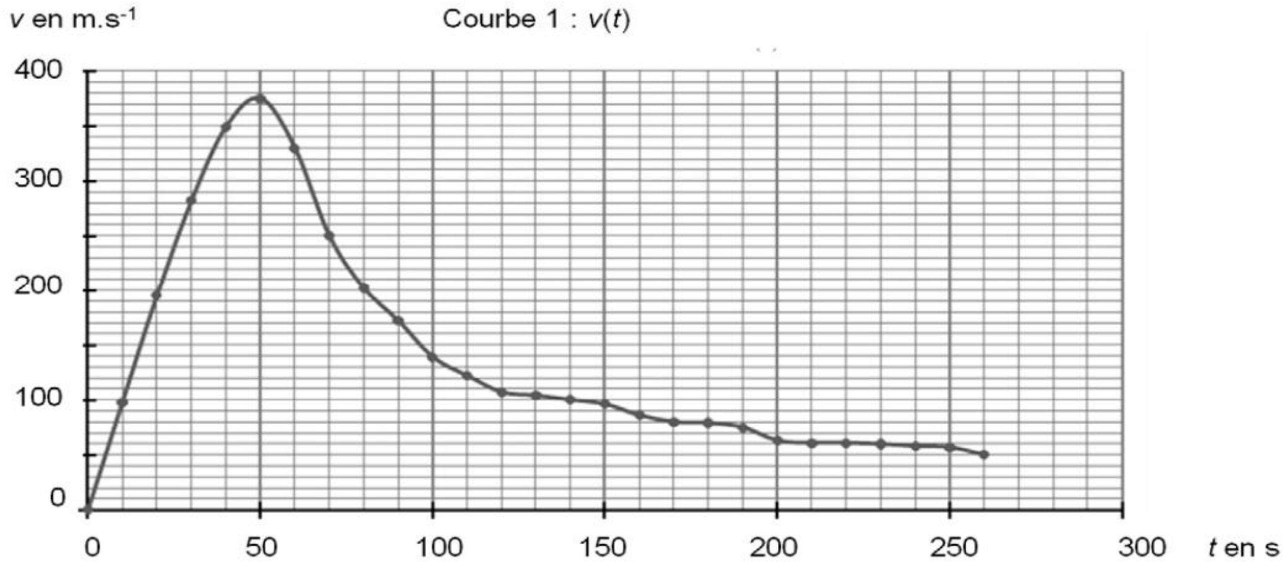
Figure 2

EXERCICE 4 : LE SAUT DE BAUMGARTNER. / 14 PTS

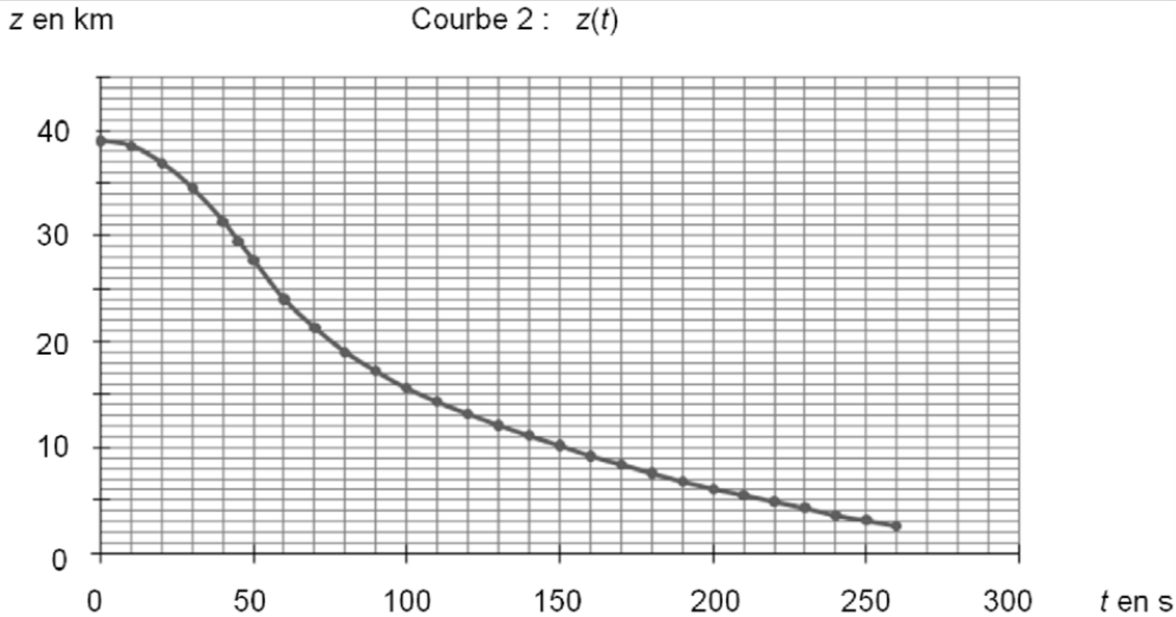
Document 1 :

L'autrichien Félix Baumgartner est devenu le premier homme à franchir le mur du son en chute libre après s'être élancée d'une capsule attachée à un ballon géant à 39000 m d'altitude, dans le ciel du Nouveau-Mexique. Baumgartner, 43 ans, 120 kg, a officiellement atteint 1,24 fois la vitesse du son lors de sa chute, soit 1341,9 km/h, selon Brian Utley, qui a procédé à l'enregistrement du record. Il s'est trouvé en chute libre pendant 4 min 20s avant l'ouverture de son parachute. Le saut dans son ensemble a duré un peu plus de 9 min […] Arrivé à l'altitude programmée, après une longue check-list, il s'est élancé dans le vide et a atteint sa vitesse maximale assez rapidement, après quelques dizaines de secondes. Il a atterri sain et sauf, avant d'être rejoint par les membres de sa mission et de sa famille. *Article : Le Monde.fr avec AFP | 4.10.2012*

Document 2 : graphe 1 donnant l'évolution de la vitesse en chute réelle en fonction du temps.

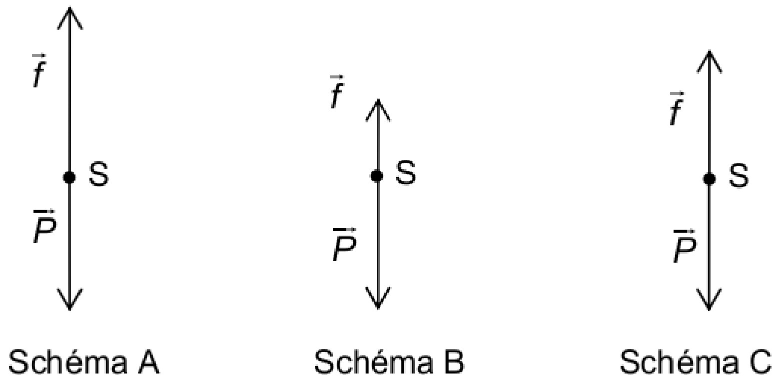


Document 3 : graphe 2 donnant l'évolution temporel de l'altitude par rapport au sol jusqu'à l'ouverture du parachute.



On étudie le système {Félix Baumgartner et son équipement} en chute verticale dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen. On choisit un axe (Oz) vertical vers le haut dont l'origine O est prise au niveau du sol. Le système étudié, noté S, a une vitesse initiale nulle.
On négligera la poussée d'Archimède.

1. Utiliser l'étude du saut de Félix Baumgartner (courbe 1) afin de déterminer la valeur de son accélération si t< 20 s. Commenter le résultat obtenu.
2. Calculer la variation d'énergie mécanique ΔEm entre le moment où Félix Baumgartner saute et le moment où il atteint sa vitesse maximale. Interpréter le résultat.
3. Les schémas ci-dessous représentent à trois instants les forces appliquées au système S lors du saut : le poids P et la force f modélisant les frottements.
Affecter un schéma à chacune des dates : t1 = 40 s, t2= 50 s et t3= 60 s.



4. Déterminer à l'aide des documents 1 et 3 l'altitude à laquelle Félix Baumgartner ouvre son parachute.
5. En supposant que le système a un mouvement rectiligne et uniforme après l'ouverture du parachute et jusqu'à l'arrivée au sol, déterminer la valeur de la vitesse moyenne du système durant cette phase du mouvement. On rappelle que le saut a duré en totalité 9 min et 3 s.
6. Pour acquérir la même vitesse à l'arrivée au sol, de quel étage d'un immeuble Félix Baumgartner aurait-il dû sauter ? Commenter.

Correction du devoir surveillé n°5 / 50 pts

Exercice 1 : le domino-cascade. 13 pts

1. Solutions techniques pour que la bille arrive en O avec la vitesse $\overrightarrow{V_0}$

1. Utilisation d'un plan incliné

1.1. L'énergie mécanique E_M est la somme de l'énergie cinétique $E_C = ½.m.v^2$ et de l'énergie potentielle de pesanteur $E_P = m.g.y$ (compte tenu de l'orientation de l'axe Oy et de l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur $Ep(y=0) = 0$ J). Ainsi : $E_M = ½.m.v^2 + m.g.y$

Energie mécanique en A : $E_M(A) = ½.m.v^2_A + m.g.y_A$

Or $v_A = 0$ m.s^{-1} car la bille est lâchée du point A sans vitesse initiale donc : $E_M(A) = m.g.y_A$

1.2. Energie mécanique en B : $E_M(B) = ½.m.v^2_B + m.g.y_B$

Or $y_B = 0$ m donc $E_M(B) = ½.m.v^2_B$.

1.3. Le système {bille-Terre} étant conservatif, l'énergie mécanique se conserve au cours du mouvement, ainsi : $E_M(A) = E_M(B)$ ⇔ $m.g.y_A = ½.m.v^2_B$

finalement avec $v_0 = v_B$: $\boxed{y_A = \dfrac{v_0^2}{2.g}}$

2.1.4. $y_A = \dfrac{(2,0)^2}{2 \times 9,8} = 0,20$ m

2. Utilisation d'un canon à bille

2.1. L'énergie potentielle élastique du ressort est entièrement convertie en énergie cinétique pour la bille (énoncé). On peut alors écrire : $\dfrac{1}{2}.k.x_C^2 = \dfrac{1}{2}.m.v_0^2$

⇔ $\boxed{x_C = -\sqrt{\dfrac{m.v_0^2}{k}}}$ *en ne gardant ici que la solution négative car $x_C < 0$!*

2.2.5. $x_C = -\sqrt{\dfrac{60 \times 10^{-3} \times 2,0^2}{50}} = -6,9 \times 10^{-2}$ m $= -6,9$ cm.

EXERCICE 2 : OSCILLATIONS 8 PTS

a) La masse de ce pendule est de 0,20 kg.

D'après la courbe : $Ec = 4,0 \text{ J} = ½ . m . V^2$ avec $V = 2,0$ m/s donc $4 = ½ . m . 2^2$ soit $m = 2,0$ kg

donc l'énoncé a) est faux.

b) La période des oscillations du pendule est de 2,0 s.

La période des oscillations correspond à un aller et retour donc $T = 5,0 – 1,0 = 4,0$ s

donc l'énoncé b) est faux.

c) La longueur de ce pendule est $\ell = 4,0$ m.

L'énergie potentielle de pesanteur est : $Epp = m.g. h$ avec $h = l\text{-}l\cos\alpha$ donc $l = Epp / (mg(1\text{-}\cos 18))= 4,0/ (4.9,8.\cos 18) = 4,0$ m

Ou $\ell = T^2 . g / (4.\pi^2) = 4^2.9,8/ (4.\pi^2) = 4,0$ m

donc l'énoncé c) est juste.

d) La hauteur maximale atteinte par le pendule au dessus de sa position d'équilibre est z = 20 cm.

L'énergie potentielle de pesanteur est : $Epp = m.g. h$ donc $h = Epp / (mg)= 4,0/(2,0.*9,8) = 0,20$ m.

donc l'énoncé cd est juste.

Exercice 3 : CORROSION DES GOUTTIÈRES. 15 pts

1. Suivi cinétique de la transformation

1.1. **Équation chimique**		$Zn\ (s)\ +\ 2\ H_3O^+\ =\ Zn^{2+}\ (aq)\ +\ H_2\ (g)\ +\ 2\ H_2O\ (\ell)$				
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)				
État initial	0	$n(Zn)_i$	$n(H_3O^+)_i$	0	0	en excès
État en cours de transformation	x	$n(Zn)_i - x$	$n(H_3O^+)_i - 2x$	x	x	en excès
État final	x_{max}	$n(Zn)_i - x_{max}$	$n(H_3O^+)_i - 2x_{max}$	x_{max}	x_{max}	en excès

1.2. Si le zinc est le réactif limitant, alors il est totalement consommé donc $n(Zn)_i - x_{max} = 0$

alors $x_{max} = n(Zn)_i = \frac{m(Zn)_i}{M(Zn)}$ soit $x_{max} = \frac{0,50}{65,4} = 7,6\times10^{-3}$ mol = 7,6 mmol

Si l'ion oxonium est le réactif limitant alors $n(H_3O^+)_i - 2x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \frac{n(H_3O^+)_i}{2} = \frac{[H_3O^+]_i.V}{2}$

$x_{max} = \frac{0,40\times75,0\times10^{-3}}{2} = 15\times10^{-3}$ mol.

Le **réactif limitant est le zinc : $x_{max} = 7,6\times10^{-3}$ mol = 7,6 mmol**

1.3.1. D'après le tableau d'avancement, $n(H_2) = x$ et d'après le texte $(P - P_i).V_{gaz} = n(H_2).R.T$ donc

$x = \frac{(P-P_i).V_{gaz}}{R.T}$

1.3.2. Voir figure ci-après. L'échelle verticale de la figure est 1 cm → 1 mmol.

Pour t > 200 min, x = cte = x_{max} ; on mesure pour x_{max} → 7,6 cm soit **x_{max} = 7,6 mmol**.

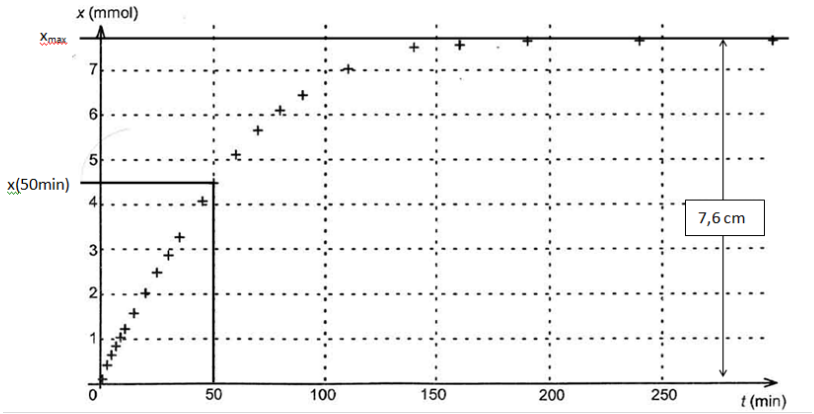
Cette valeur est égale à celle calculée en 1.2.

1.3.3. Pour t = 50,0 min, P = 1452 hPa. D'autre part P_i = 1020hPa et on lit P_{max} = 1757 hPa.

On utilise l'expression obtenue en 1.3.2. $x = 7,6\times10^{-3} \times \left(\frac{1452-1020}{1757-1020}\right)$

$x = 4,5\times10^{-3}$ mol = 4,5 mmol *calcul effectué avec la valeur non arrondie de x_{max}*

Vérification sur la courbe voir ci-après.



2. Facteurs cinétiques

2.1. Influence de la concentration en ion oxonium

La concentration initiale en ions oxonium est un facteur cinétique, plus elle est élevée et plus la vitesse initiale de réaction est élevée.

$[H_3O^+]_{exp\ 1} > [H_3O^+]_{exp\ 3} > [H_3O^+]_{exp\ 2}$

donc $v_1 > v_3 > v_2$ ou $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=0}$ expé.1 > $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=0}$ expé.3 > $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t=0}$ expé.2

Observons les tangentes aux courbes (a), (b) et (c) en t = 0 min. Problème : il est difficile de voir quelle tangente possède le plus grand coefficient directeur.

Raisonnons autrement

pour la courbe (a) x = 3 mmol pour t = 26 min

pour la courbe (b) x = 3 mmol pour t = 28 min

pour la courbe (c) x = 3 mmol pour t = 35 min

Donc on peut dire que v(a) > v (b) > v(c).

On associe la courbe (a) à l'expérience 1, la courbe (b) à l'expérience 3 et la courbe (c) à l'expérience 2.

2.2. Influence de la forme du zinc (division et état de surface)

2.2.1. Pour l'expérience 4, la vitesse de réaction est plus élevée que pour l'expérience 5. La poudre de zinc réagit plus rapidement avec l'acide que la grenaille de zinc.

La poudre de zinc offre une plus grande surface de contact avec la solution. Plus la surface de contact est grande et plus la réaction est rapide.

2.2.2 Pour l'expérience 6, l'avancement croît de façon très lente. Il n'y a presque pas de réaction entre le zinc et la solution d'acide. La couche de carbonate de zinc protège le métal de l'attaque acide.

3. Pluies acides et gouttières

3.1. $pH = -\log[H_3O^+]$ soit $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ $[H_3O^+] = 10^{-5}$ mol.L^{-1}

3.2. Facteurs cinétiques :

- concentration en ions H_3O^+ : les eaux de pluies sont peu concentrées en ions H_3O^+, la vitesse de réaction est donc lente;
- surface du zinc en contact : une gouttière offre une faible surface de contact par rapport à la poudre de zinc, là encore la vitesse de réaction sera lente;
- couche de carbonate de zinc : cette couche réduit fortement la surface de contact entre le zinc et les pluies acides, elle diminue fortement la vitesse de réaction;

Tous ces facteurs expliquent la longévité des gouttières en zinc.

EXERCICE 4 : LE SAUT DE BAUMGARTNER. / 14 PTS

1. L'accélération est $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$. On peut déterminer sa composante a_z suivant l'axe vertical ascendant en calculant le coefficient directeur de la tangente à la courbe représentative de $v = f(t)$ à la date t = 0 s.

Soient les points appartenant à la tangente O(0 ;0) et M(20 s ; 195 m.s^{-1}).

$a_z = \frac{195-0}{20-0} =$ 9,75 m.s^{-2} = 9,8 m.s^{-2} avec deux chiffres significatifs.

2. $E_m = E_C + E_{PP} = \frac{1}{2}.m.v^2 + m.g.z$

État initial : Félix saute sans vitesse initiale $v_i = 0$, il est situé à l'altitude z_i = 39 045 m

État final : Félix atteint sa vitesse maximale v_f = 372,75 m.s^{-1}. La courbe 1 montre que cet événement a lieu à la date t = 50 s. La courbe 2 indique alors l'altitude z_f = 28 km = 28×10^3 m.

$\Delta E_m = E_{mf} - E_{mi} = \frac{1}{2}.m.v_f^{\,2} + m.g.z_f - m.g.z_i$

$\Delta E_m = \frac{1}{2}\times 120\times 372{,}75^2 + 120\times 9{,}8\times 28\times 10^3 - 120\times 9{,}8\times 39\,045$ **= – 4,7×10^6 J**

ΔE_m < 0, le système perd de l'énergie au cours de sa chute. En effet de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur en raison des frottements subis.

3. On regarde la courbe représentative de la vitesse en fonction du temps (courbe 1).
À la date **t_1 = 40 s**, la vitesse augmente donc la force poids (orientée vers le bas) prédomine sur la force de frottement de l'air (orientée vers le haut) : **Schéma B**.
À la date **t_2 = 50 s**, la vitesse ne varie plus donc les forces se compensent : **schéma C**.
À la date **t_3 = 60 s**, la vitesse diminue donc la force de frottement de l'air prédomine sur la force poids : **Schéma A**.
Remarque : Félix n'évolue pas dans un milieu homogène. Lorsqu'il se rapproche du sol, l'atmosphère devient plus dense et même s'il est moins rapide, il subit plus de frottements.
4. Le texte introductif indique que Félix ouvre son parachute au bout de 4 min et 20 s, soit au bout de 4×60 + 20 = 260 s.
À l'aide de la courbe 2, on lit **$z(t$ = 260 s) = 2,5 km**.

5. Entre t = 260 s (ouverture du parachute) et t = 9 min 3 s = 543 s, Félix parcourt 2,5 km.

$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2{,}5\times 10^3}{543-260}$ = 8,8 m.s^{-1} = **9 m.s^{-1}** On ne conserve qu'un seul chiffre significatif car la lecture graphique de l'altitude $z(t$ = 260 s) est très approximative.

6. État initial : vitesse nulle, altitude inconnue z
$E_{m\,ini} = E_{PP} = m.g.z$
État final : vitesse de 9 m.s^{-1}, altitude nulle.
On choisit l'altitude zéro comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur.

$E_{m\,fin} = E_C = \frac{1}{2}.m.v^2$

On néglige les frottements de l'air, alors l'énergie mécanique se conserve :

$E_{m\,ini} = E_{m\,fin}$. $m.g.z = \frac{1}{2}.m.v^2$ soit $z = \frac{v^2}{2.g} = \frac{8{,}8^2}{2\times 9{,}8}$ = 3,98 m, soit environ 4 m.

Félix aurait pu atteindre cette vitesse en sautant approximativement du deuxième étage.
Le saut en parachute nécessite un apprentissage pour bien gérer l'atterrissage et apprendre à réaliser un mouvement particulier qui permet de réduire au dernier moment la vitesse.