Vendredi 07 Novembre 2014

DEVOIR COMMUN

PHYSIQUE-CHIMIE (SPECIALITE + obligatoire)

DUREE DE L'EPREUVE : **3h 30min**

L'usage de la calculatrice EST autorisé.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 8 pages numérotées de 1 à 8.

LA PAGE ANNEXE COMPLETEE
EST À RENDRE AVEC LA COPIE .

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

Le candidat doit obligatoirement composer jusqu'à 17 h. Aucune sortie définitive ne sera autorisée avant.

Exercice I-Suivez la flèche…….

Exercice II- Autour de l'énergie mécanique.

Exercice III- L'Airbus A380 au décollage.

EXERCICE I : SUIVEZ LA FLÈCHE…

1. Trajectoire de la flèche :

Sur les cibles de tir à l'arc se trouve un disque central de 10 cm de diamètre. À 70 m, l'archer le voit sous un angle de moins d'un dixième de degré, et doit ajuster la position de la corde et de ses mains au millimètre près […]. Dans quelle direction la flèche doit-elle partir pour parvenir au centre de la cible ? La résistance de l'air a ici relativement peu d'effet. La trajectoire de la flèche est à peu près balistique, c'est-à-dire de forme parabolique.

On étudie dans le référentiel terrestre supposé galiléen le mouvement de la flèche assimilée à un point matériel de masse notée m.
La situation est représentée sur la ***figure 1 de l'annexe de l'exercice I***, sans souci d'échelle.
Le champ de pesanteur $\vec{g}$ est parallèle à l'axe (Oz), On prendra g = 9,8 m.s^{-2}.

1.1. Quelle force peut-on négliger d'après le texte introductif ? **0,25 pt**

La résistance de l'air ayant relativement peu d'effet, on peut négliger la force de frottement de l'air face aux autres forces subies par la flèche.

1.2. La poussée d'Archimède étant elle aussi ici négligeable, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de la flèche à partir du bilan des forces s'exerçant sur celle-ci. **1 pt**

Système : flèche de masse m **Référentiel : terrestre supposé galiléen**

D'après la deuxième loi de Newton :

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

1.3. On note α l'angle que fait le vecteur vitesse initiale $\vec{v_0}$ de la flèche avec l'axe horizontal (Ox).

1.3.1 Démontrer que les équations horaires paramétriques du mouvement du centre d'inertie de la flèche sont :

$$x(t) = (v_0.\cos\alpha).t \qquad (1)$$

$$z(t) = -\frac{1}{2}.g.t^2 + (v_0 \sin\alpha).t \qquad (2)$$ **1,5 pt**

D'après la réponse 1.2 et selon le repère choisi, les coordonnées de l'accélération sont :

$a_x = 0$
$a_z = -g$

Les coordonnées de la vitesse sont :

$v_x = v_0\cos\alpha$
$v_z = -gt + v_0\sin\alpha$

Les coordonnées du vecteur position sont :

$x = (v_0\cos\alpha)\, t$
$z = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0\sin\alpha)\, t$

1.3.2 Montrer que l'équation de la trajectoire de la flèche est la suivante :

$$z = -\frac{1}{2}.g.\frac{x^2}{v_0^2.\cos^2\alpha} + x.\tan\alpha$$ **1 pt**

D'après (1) $x(t) = (v_0\cos\alpha)\, t$ donc $t = \frac{x(t)}{v_0\cos\alpha}$

Ainsi, en remplaçant dans l'expression (2) :

$$z(x) = -\frac{1}{2}g\left(\frac{x(t)}{v_0\cos\alpha}\right)^2 + (v_0\sin\alpha)\times\left(\frac{x(t)}{v_0\cos\alpha}\right) = -\frac{1}{2}g \times \left(\frac{x(t)}{v_0\cos\alpha}\right)^2 + \tan\alpha \times x(t)$$

1.3.3 Justifier la forme de la trajectoire indiquée à la fin du premier texte. **0,25 pt**

L'expression de la trajectoire est du type z(x) = ax² + bx, la courbe représentative de cette fonction est une parabole comme l'indique le premier texte.

2. « Chute » de la flèche :

Pour une vitesse initiale typique de 70 m/s (250 km/h), le vol dure environ une seconde. Au moment de toucher la cible, la flèche a chuté d'une certaine distance par rapport au point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale (***voir figure 1 de l'annexe de l'exercice I*** *).*

Cette distance de chute, notée h sur la figure, est égale à la moitié du produit de l'accélération de la pesanteur par le carré de la durée du vol ($gt^2/2$). Dans notre exemple, la « chute » est d'environ cinq mètres, d'où l'on déduit que la vitesse initiale de la flèche doit faire un angle de quatre degrés avec la droite joignant le tireur et le centre du blason.

On note A le point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale **(voir figure 1 de l'annexe de l'exercice I)**

2.1. *Durée du trajet de la flèche* :

Soit t_C la date à laquelle la flèche atteint la cible.Cette date est égale à la durée du vol de la flèche.

2.1.1. En utilisant l'équation paramétrique (1) ,établir l'expression littérale de la date t_C. **0,5 pt**

$x(t_C) = x_C = (v_0.\cos\alpha).t_C$ soit $t_C = \frac{x_C}{v_0 \cos\alpha}$.

2.1.2. Calculer t_C. (On prendra V_0=70 m.s^{-1} ; α = 4,0°; x_C=70 m). **0,5 pt**

Avec une vitesse initiale v_0 de 70 m/s, le vol dure une seconde (t_C = 1 s) et l'angle α vaut 4°, enfin la chute h est d'environ 5 mètres. Le premier texte nous apprend que x_C = 70 m.

Vérifions la cohérence de ces valeurs numériques, en calculant t_C :

$t_C = \frac{70}{70\cos 4°}$ = 1,0 s durée conforme à celle indiquée.

2.1.3. La valeur de t_C est-elle cohérente avec celle donnée dans le texte ? Justifier. **0,25 pt**

Le texte prévoit que le vol dure « environ une seconde», ce qui est le cas.

2.2. « *Distance de chute* » :

On considère le trajet hypothétique OA pour lequel la flèche **ne subirait plus son poids**.On peut considérer que la durée de ce trajet hypothétique de la flèche et la durée t_C du parcours parabolique OC sont identiques.

2.2.1 En utilisant une des lois de Newton que vous énoncerez, justifier que : **$OA = V_0.t_C$** **0,25 pt**

La flèche ne subit aucune force donc le système est isolé. La 1ère loi de Newton prévoit que le mouvement est rectiligne uniforme suivant (OA).

Donc $v(t)=V_0$ et $OA=V_0 \times t_C$

2.2.2 Exprimer h en fonction de OA et α puis démontrer que : **$h= V_0.\sin\alpha.t_C$** **0,25 pt**

$\sin\alpha = \frac{h}{OA}$ soit $h = OA\sin\alpha$ Soit $h=V_0.\sin\alpha \times t_C$

2.2.3 En utilisant l'équation horaire (2), démontrer que la « distance de chute » h, a pour expression

$h=\frac{1}{2}. g. t_C^2$ comme indiqué dans le texte ci-dessus. **0,25 pt**

A $t=t_C$, $z_c=0$ soit $v_0\sin\alpha \times t_C= \frac{1}{2}gt^2$ soit $h = \frac{1}{2}gt^2$

3. Influence de la valeur de la vitesse initiale sur le tir.

On suppose que l'archer vise toujours juste : l'angle α est constant et égal à 4°. On envisage une augmentation de la vitesse initiale v_0, cette dernière restant cependant suffisamment faible pour permettre à la flèche de toucher la cible.

3.1. Comment évoluent la durée du vol de la flèche et la « *distance de chute* » h ? (justifier à l'aide des différentes équations établies dans les questions précédentes). **0,5 pt**

On garde α constant, donc si v_0 augmente alors, pour x_C fixé, la durée de chute $t_C = \frac{x_C}{v_0 \cos\alpha}$ diminue. La hauteur de chute h = h = $\frac{1}{2}g{t_C}^2$ diminue car t_C diminue.

3.2. Dans ces conditions, tracer qualitativement sur **la figure 1 de l'annexe de l'exercice I** à rendre avec la copie l'allure de la trajectoire de la flèche. Où la flèche va-t-elle frapper la cible ? **0,25 pt**

Si la hauteur de chute h diminue, la flèche atteint la cible au-dessus du point C.

EXERCICE II : AUTOUR DE L'ENERGIE MECANIQUE

Donnée pour tout l'exercice : l'intensité de pesanteur terrestre est g = 9,81 m.s^{-2}

Partie 1 : Etude de la chute libre d'un corps

Il s'agit de discuter certains résultats avancés par Aristote et Galilée concernant la chute verticale d'un corps lâché sans vitesse initiale. On négligera ici toute action de l'air.

Document : deux avis différents sur la gravité.

Aristote (384 – 322 av. J.-C.) est un philosophe grec, disciple de Platon, dont il s'émancipe pour développer une œuvre singulière, qui reste une référence encore aujourd'hui dans différents domaines de la pensée.

Dans ses ouvrages consacrés à la physique, Aristote prétend que la vitesse d'un objet en chute libre dépend de sa masse (grave signifie lourd en grec) : une plume ne tombe-t-elle pas sur la Terre beaucoup plus lentement qu'une bille en acier ?

Galilée (1564-1642) aurait étudié la chute des corps en lâchant divers objets du sommet de la tour de Pise (Italie). Il y fait référence dans un ouvrage : "Discours concernant deux sciences nouvelles" dans lesquels il remet notamment en question les idées d'Aristote.

Voici un extrait de cet ouvrage :

« Cherchons à savoir combien de temps un boulet, de fer par exemple, met pour arriver sur la Terre d'une hauteur de cent coudées. Aristote dit qu'une « boule de fer de cent livres**, tombant de cent coudées, touche terre avant qu'une boule d'une livre tombant également de cent coudées, ait parcouru une seule coudée », et je vous dis, moi, qu'elles arrivent en même temps. ».*

** une coudée correspond à une distance de 57 cm ; ** une livre est une unité de masse*

1.Parmi les propositions ci-dessous, attribuer celle qui correspond à la théorie d'Aristote et celle qui correspond à la théorie de Galilée.

Lorsqu'on lâche des corps de masses différentes d'une hauteur identique :

a) *La vitesse de chute est indépendante de la masse.*
b) *Un corps moins lourd tombe avec une plus grande vitesse*
c) *Un corps plus lourd tombe avec une plus grande vitesse ;*

Aristote : proposition c ; Galilée : proposition a. 0,5 pt

2. En utilisant des considérations sur l'énergie mécanique, on se propose de départager les deux savants.

La chute verticale du corps est étudiée ici dans le référentiel terrestre supposé galiléen et associé à un axe (Oz) vertical dirigé vers le haut. Le point O est au niveau du sol et on a : z(O) = 0 m.
Le corps de masse m = 2,0 kg est lâché d'un point A sans vitesse initiale d'une altitude z(A) = 10,0 m par rapport au sol et chute verticalement avec une vitesse v.
L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} est choisie nulle au sol au point O pour z(O) = 0 m.
On rappelle que toute action de l'air est négligée.

2.1. Donner l'expression littérale de l'énergie mécanique totale E_m d'un corps de masse m situé à une altitude z et animé d'une vitesse v dans le champ de pesanteur terrestre d'intensité g.

$E_m = E_p + E_c = mgz + \frac{1}{2}mv^2$ 0,5 pt

2.2. Donner l'expression littérale de l'énergie mécanique E_m(A) du corps au point A en fonction de m, g et z(A).

La vitesse en A étant nulle, l'énergie cinétique en A l'est aussi. Nous avons donc $E_{mA} = E_{pA} = mgz_A$ 0,5 pt

2.3. Enoncer le théorème de l'énergie mécanique dans le cas où n'agissent que des forces conservatives.

Alors E_m d'un tel système est constante. 0,5 pt

2.4. Déduire des questions précédentes l'expression de la vitesse v du corps à une altitude z quelconque en fonction de g, z et z(A). Lequel des deux savants a raison ? Justifier.

Les réponses aux trois questions précédentes peuvent être maintenant réunies dans l'expression : $mgz_A = mgz + \frac{1}{2}mv^2$, ce qui mène à $v = \sqrt{2g(z_A - z)}$, indépendante de m : Galilée a raison. 0,5 + 0,5

2.5. Calculer la vitesse v(O) du corps lorsqu'il arrive au point O, en m.s^{-1} puis en km.h^{-1}.

v(O) = $\sqrt{2g(z_A - z_O)}$ = $\sqrt{2gz_A}$ = 14 m.s^{-1} = 50 km.h^{-1} 0,5 pt

Partie 2 : Etude du mouvement d'une boule de flipper.

Document 1 : Energie potentielle élastique d'un corps.

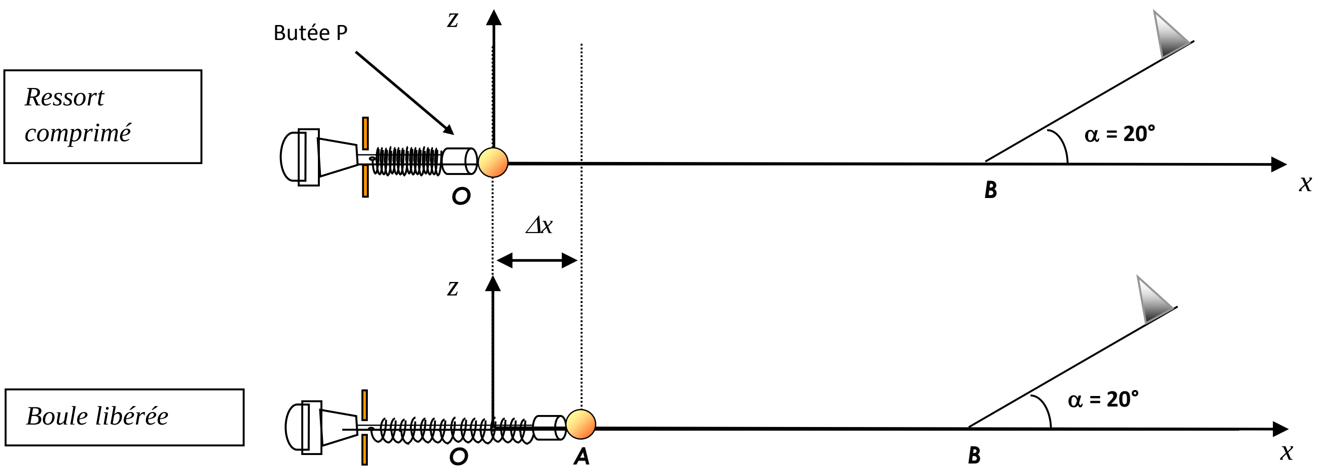
En physique, l'énergie potentielle élastique est l'énergie potentielle emmagasinée dans un corps à caractère élastique lorsque ce dernier est comprimé ou étiré par rapport à sa position naturelle.
Tout corps élastique peut être modélisé par une masse m solidaire d'un ressort.
L'énergie potentielle élastique exprimée en Joules, est définie par :

$$E_{pe} = \frac{1}{2} k \cdot \Delta x^2$$

où $\begin{cases} k \text{ est la constante de raideur du ressort en N.m}^{-1} \\ \Delta x \text{ l'allongement ou le raccourcissement du ressort par rapport à sa longueur au repos, exprimé en mètre} \end{cases}$

Document 2 : un lanceur de flipper

On étudie le mouvement d'une boule de flipper considérée comme ponctuelle dans le référentiel terrestre galiléen associé au repère Oxz (voir figure ci-dessous).
Le ressort du lanceur de flipper a une raideur k = 80 N.m^{-1}.
On comprime le ressort de Δx et on dispose la boule de masse m = 150 g contre la butée P à l'extrémité du ressort. La boule se situe alors au point O.
On libère le système : la boule quitte la butée P lorsque le ressort reprend sa longueur au repos au point A.
Elle poursuit sa course sur le plan horizontal puis sur un plan incliné pour atteindre la cible C.
La distance BC vaut 80 cm.



L'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} sera prise nulle sur l'axe Ox.
Les frottements sont négligés sur l'ensemble du parcours et l'on peut donc considérer que l'énergie mécanique E_m de la boule se conserve sur tout le trajet.

Le problème étudié ici est le suivant : il s'agit de déterminer la distance minimale Δx_{min} dont on doit comprimer le ressort du lanceur pour atteindre la cible C.

1. Exprimer E_m (O) au point O en fonction de k et Δx lorsque la boule est immobile et le ressort comprimé.
   En O, la boule est immobile donc $E_{m(O)}$ = $E_{p(O)}$ = $\frac{1}{2}k\Delta x^2$ 0,5 pt
2. Exprimer E_m (A) au point A lorsque la bille quitte le ressort en fonction de m et de la vitesse v(A) au point A.
   En A, E_p = 0, donc E_{mA} = E_{cA} = $\frac{1}{2}mv_A^2$ 0,5 pt

3. Exprimer E_m (B) au point B en fonction de m et de la vitesse v(B).Que peut-on dire de v(A) et v(B) ? Justifier . **0,5 pt + 0,5 pt**

En B pas d'énergie potentielle élastique, énergie potentielle de pesanteur nulle, donc :

$E_{mB} = E_{cB} = \frac{1}{2}mv_B^2$.

Sur ce parcours horizontal, la bille n'est soumise qu'à deux forces, son poids et la réaction du support. La première est conservative, la deuxième ne travaille pas, étant perpendiculaire au déplacement. L'énergie mécanique de notre système est donc constante. $E_{mA} = E_{mB}$, soit, d'après les expressions proposées précédemment et après simplification : $v_A = v_B$.

4. Exprimer E_m (C) au point C en fonction de m, g et z_C et v(C) la vitesse au point C.

$E_{mC} = E_{pC} + E_{cC} = mgz_c + \frac{1}{2}mv_C^2$ 0,5 pt

On considère que la cible est atteinte si la vitesse v(C) *de la boule s'annule en arrivant au point C.*

5. En déduire l'expression littérale de la compression minimale Δx_{min} du ressort pour que le mobile atteigne le point **1 pt**

La cible est atteinte si $v_C = 0$ m.s^{-1} et, depuis le début du mouvement, l'énergie mécanique reste constante (forces exercées conservatives ou non dissipatrices d'énergie). Nous exploitons donc la relation :

$E_{mO} = E_{mC}$ soit : $\frac{1}{2}k\Delta x^2 = mgz_c$, avec $z_c = BC\sin\alpha$

Cela donne : $\Delta x = \sqrt{\frac{2mgBC\sin\alpha}{k}} = 0,10$ m (attention aux unités pour l'application numérique)

EXERCICE III : L'AIRBUS A380 AU DECOLLAGE

C en fonction de k, m, g, BC et α. Calculer sa valeur numérique.

<u>Partie 1-Décollage de l'Airbus A380</u>

L'Airbus A 380 est un avion de ligne entrant dans la catégorie des très gros porteurs. Sa masse à vide sans passager ni carburant est de 369 t, mais au décollage, elle est égale à m = 576 t.

Afin de simplifier l'étude la phase de décollage de l'appareil sera considérée comme un mouvement rectiligne, horizontal et uniformément accéléré le long de la piste. Son mouvement de translation sera assimilé à celui de son centre d'inertie G. On négligera les actions de l'air.

Dans son état initial, au démarrage du mouvement, l'A 380 est immobile.

Les 4 réacteurs dont dispose l'appareil provoquent alors chacun une poussée horizontale de valeur constante F = 370 kN et l'appareil accélère.

Le décollage est possible à partir d'une vitesse $v_D = 330$ km.h^{-1}.

<u>Problème</u> : justifier que la longueur de la piste de décollage, qui est de 2749 m, est suffisante. *2 pts*

Le théorème de l'énergie cinétique, bien que non exigible est une approche possible :

Préciser que réaction et poids ne travaillent pas, exprimer le travail de la force de poussée, puis lui donner une forme exploitable :

$4\times F\times d = 1/2mv_D^2 - 0$ menant (après avoir converti v_D en m.s^{-1} et m en kg) à $d = mv_D^2/8F = 1635$ m

Inférieur à 2479 m , donc cool

Partant de la deuxième loi de Newton qu'il faut projeter selon un axe Ox sur lequel on n'aura plus que :

$ma_x = 4F_x$ (R_x et P_x sont nulles), soit $a_x = 2,57$ m.s^{-2}.

On primitive… $v_x = v = a_x t$ ce qui nous permet de connaitre la date à laquelle on atteint v_D : $t_D = v_D/a = 35,7$s

On primitive et on se place à t_D… $x = 1/2at_D^2 = 1638$ m cool encore

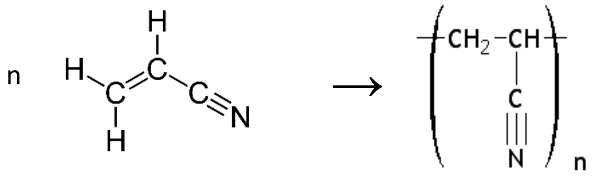
Partie 2-Des matériaux composites pour l'A380

Environ 1/4 de l'avion est réalisé en matériaux composites avancés légers : 22 % de composites à base de fibres de carbone, de verre ou de quartz et 3 % de GLARE (stratifié aluminium et fibres de verre). Les matériaux composites permettent une réduction de masse, donc une consommation de carburant et des émissions moindres.
35 t de fibre de carbone sont à considérer dans la constitution d'un A 380. La présentation qui suit explique sommairement l'obtention de fibre de carbone.

Document *: De l'acrylonitrile au PAN, du PAN à la fibre de carbone*

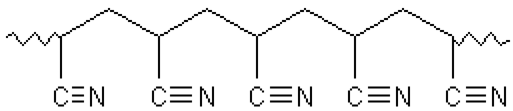
a-L'acrylonitrile est le monomère permettant d'obtenir par polyaddition le polymère de polyacrylonitrile (PAN), l'équation de la réaction de polymérisation est présentée ci-dessous. A gauche de la flèche, les n moles d'acrylonitrile, à droite la chaine de polymère formée (1 mol) présentée sous la forme d'un motif (la formule présentée entre les deux crochets) se répétant n fois.

Etape 1 :



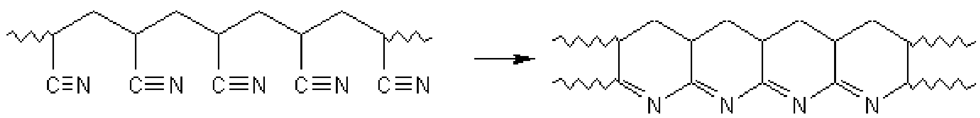
acrylonitrile PAN

Une portion de chaîne de PAN :



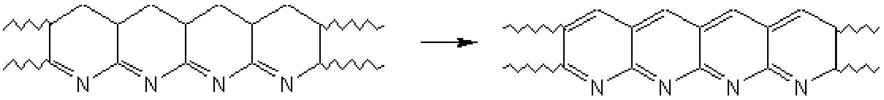
b-Une succession d'opérations réalisées à hautes températures permet ensuite de passer du PAN à la fibre de carbone.

Etape 2 :



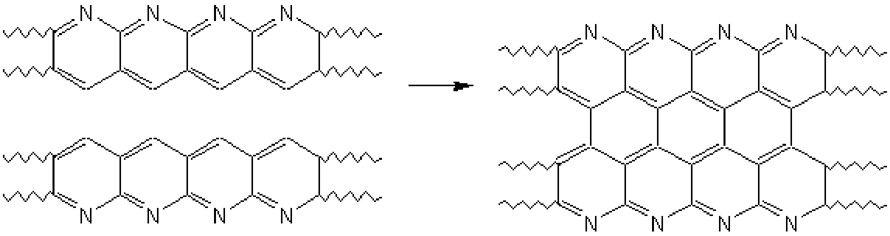
PAN

Etape 3 (condensation) :

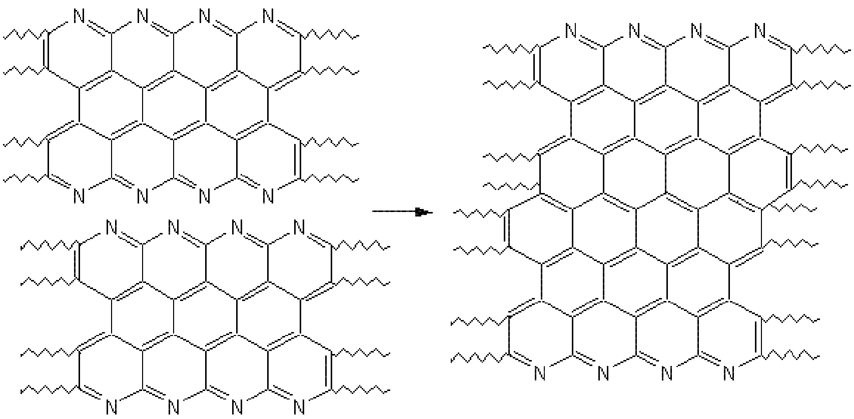


Les condensations suivantes relient entre elles les chaines de l'étape 3 par de véritables liaisons covalentes, alors que dans la structure initiale du PAN ou dans les chaînes des étapes 2 et 3, la principale interaction intermoléculaire est une interaction de type Van der Walls :

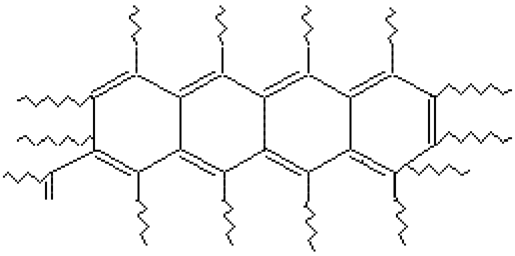
Etape 4 (condensation) :



Etape 5 (condensation):

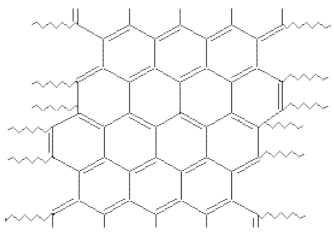


Etat final :

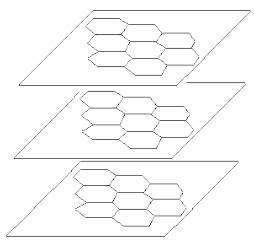


Fibre de carbone

Tous les zig-zags partant de la structure montrent une répétition possible dans deux dimensions. On obtient en fait un feuillet de fibre de carbone :



Chaque feuillet étant relié au suivant par un vaste réseau d'interactions de type Van der Walls :



Questions

1. On parle de condensation lorsque de la matière est éliminée au cours d'une réaction permettant l'accrochage de chaines entre elles.

1.1. Expliquer pourquoi les étapes 1 et 2 ne sont pas des condensations. **0,5 pt**

Parce qu'il n'y a jamais d'élimination de matière au cours de la formation des nouvelles liaisons, etc… Voir réponses raisonnables d'élèves.

1.2. Au cours des condensations des étapes 3 et 4, quel élément chimique est éliminé ? **0.5 pt**

H

1.3. Quel est le pourcentage de masse perdue au cours de l'étape 3 ? **1 pt**

Nous accepterons tout raisonnement considérant ce qui se produit au cours de la transformation d'un cycle hexagonal , mais en réalité, il ne faut considérer qu'une portion de cycle à 4 atomes, qui se répète et constitue le motif : C_3H_3N se transforme en C_3HN, soit 53 $g.mol^{-1}$ se transformant en 51 $g.mol^{-1}$, 2/53 = 4 % de perte (3,8%)

Je propose que l'on accepte (surtout quand on voit le résultat) les réponses ayant considéré un cycle hexagonal entier passant de C_5H_4N à C_5HN, c'est-à-dire de 78 à 75, perte 3/78 = 4 % (3,8 %)

1.4. Justifier que c'est au cours de l'étape 5 que l'on perd le plus de masse. **0,5 pt**

C'est au cours de cette étape que l'on perd des atomes d'azote (sous forme de N_2) alors que jusque là, c'était H_2… Soit une structure 14 fois plus lourde. Alors certes, c'est sur des chaines à 3 rangées au lieu d'une, trois fois plus massiques, donc, mais le rapport est tout de même nettement favorable : c'est bien au cours de cette étape que la proportion de masse expulsée est la plus importante.

2. Alors que l'on a manifestement éliminé de la matière (de l'azote et de l'hydrogène), la masse volumique de la fibre de carbone est supérieure à celle du PAN. Expliquer.

C'est parce que les chaines de PAN se tiennent entre elles par des liaisons van der Walls, environ trois fois plus longues que les liaisons covalentes qui tienent une couche de fibre.
La perte de matière étant somme-toute limitée (on ne l'a pas divisée par 3, loin de là…), nous avons logiquement un matériau plus dense : le rapprochement des atomes l'emporte sur la diminution du nombre total d'atomes.

3. Mais alors, pourquoi ne pas avoir fabriqué un airbus en PAN ??

C'est plus léger, certes, mais c'est moins solide ! Les liaisons VdW qui tiennent les chaines de PAN entre elles sont beaucoup plus faciles à casser (l'énergie de liaison est plus faible) que les liaisons covalentes assurant la cohésion d'un couche de fibre de carbone.

1, 5 pt global pour les questions 2 et 3

Données

1t = 1.10^3 kg
Masses volumiques en kg/m^3 :
aluminium : 2700 acier : 7800 fibre de carbone : 1800 PAN : 1150
Longueurs de liaisons chimiques :
- Liaison covalente carbone-carbone dans la fibre de carbone : 140 pm
- Liaison de Van der Walls entre chaines de PAN : environ 400 pm

Energies de liaison (énergie qu'il faut fournir pour casser une liaison) :
- Liaison covalente carbone-carbone dans la fibre de carbone : 5 eV environ.
- Liaison de Van der Walls entre chaine de PAN : 0,1 eV environ.

Masses molaires atomiques (en $g.mol^{-1}$) H : 1 C : 12 N : 14
Valences (nombres de liaisons covalentes pouvant être formées par un atome) N : 3 H : 1 C : 4

EXERCICE III : RECORD BATTU

Le 14 octobre 2012, l'Autrichien Felix Baumgartner a battu le record du monde de chute libre.

A 12 h 58 min 45 s, il s'est élancé d'une capsule attachée à un ballon gonflé à l'hélium d'une altitude de plus de 39000 m. A 12h 59 min 26s, Felix Baumgartner est le premier homme à franchir le mur du son sans moteur (soit la vitesse de 340 m/s). Après 4 min 19 secondes de chute, il a ouvert son parachute et a atterri dans le désert du Nouveau Mexique 9 minutes et 3 secondes après le saut.

Afin de décrire les grandeurs cinématiques du mouvement du chuteur (position, vitesse, accélération), on utilise un repère (O,x,z) associé au référentiel géocentrique supposé galiléen, l'origine du repère se trouvant à la position du chuteur lorsqu'il s'élance de la capsule (cet instant correspond à l'instant t=0s), l'axe (Oz) indiquant la profondeur de chute étant orienté vers le centre de la Terre, et l'axe (Ox) étant perpendiculaire à (Oz).

Durant les premières secondes de saut, l'évolution de sa vitesse est la suivante :

Heure	12h58min45s	12h58 min49s	12h58 min52s	12h58min54s	12h58min59s	12h59min02s
Altitude H	$3{,}9220\times10^4$m	$3{,}9143\times10^4$m	$3{,}8985\times10^4$m	$3{,}8831\times10^4$m	$3{,}8280\times10^4$m	$3{,}7834\times10^4$m
Vitesse v_z (m/s)	0,0	38	67	86	134	163

Donnée : valeur du champ de pesanteur sur Terre g = $\frac{G.M_T}{(R_T+H)^2}$

Avec G : constante d'interaction gravitationnelle

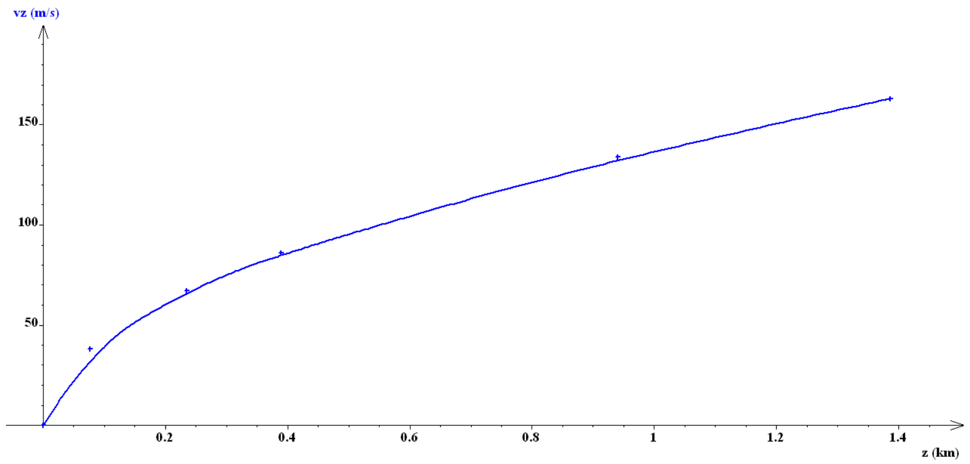
M_T : masse de la Terre en kg R_T : rayon de la Terre en m   H : altitude en m

1.1. A l'aide des données du tableau, représenter graphiquement sur la feuille de papier millimétré **de l'annexe 1 de l'exercice III** intitulée « graphique 1 » la vitesse v_z en fonction de z (profondeur de chute).
On utilisera ***l'échelle suivante*** :***1 cm pour 10 m.s^{-1} ; 1 cm pour 100 m***

A l'aide du tableau de valeurs mesurées on déduit les valeurs de z, valant (dans l'ordre et en m) :

0 77 235 389 940 1386 **(0,5 pt)**

Le tracé demandé (1 pt) :



Ce n'est pas une droite, on le note…

1.2. On donne **en annexes 2 et 3 de l'exercice III** les représentations graphiques suivantes :

- La vitesse v_z en fonction du temps de chute t ***(annexe 2, graphique 2)***
- La vitesse v_z en fonction de la racine carrée de la profondeur de chute **(*annexe 3, graphique 3*).**

A partir des graphes 1, 2 et 3, indiquer, en justifiant, s'il y a proportionnalité entre les grandeurs représentées.

Pour le graphe 1, les points ne sont pas alignés, cela suffit pour conclure qu'il n'y a pas proportionnalité entre v_z et z.

Pour les graphe 2 et 3, il y a proportionnalité (points alignés entre eux et avec l'origine du repère)

(3 fois 0,25 pt)

2. Montrer que ces graphiques permettent d'obtenir les relations suivantes :

$v_z = 9{,}6.t$

$v_z^2 = 19.z$

Graphiquement, on détermine les coefficients directeurs des droites 2 et 3.

Pour la droite 2, on trouve 9,6, ce qui traduit bien la relation demandée (v_z =9,6×t)

Pour la droite 3, on trouve 4,4, ce qui traduit une relation : $v_z = 4{,}4\times\sqrt{z}$. Une fois cette relation mise au carré, on obtient : $v_z^2 = 4{,}4^2\times z = 19\times z$, correspondant à la relation cherchée.

3. Utiliser l'une des relations du **2.** pour prévoir à quelle heure le mur du son est franchi. Ce résultat est-il en accord avec le texte ? Expliquez l'écart éventuel. **0,5 pt en tout**

Partant de la relation v_z =9,6×t et considérant que v_z = v, on se place à v = 340 $m.s^{-1}$ et on en déduit t = 340/9,6
t = 35 s , ce qui nous amène à la date 12h59min20s.
Or le texte indique que le mur du son est franchi 6 s plus tard.
Et 6s pour une mesure de durée de 35s, cela représente 6/35 = 17%.
Il y a des frottements avec l'air qui ne peuvent donc plus être négligés.

4. Donner la relation entre le vecteur vitesse $\vec{v}$ et le vecteur position $\overrightarrow{OM}$, puis entre le vecteur accélération $\vec{a}$ et le vecteur vitesse. **0,25 pt**

Ce sont des définitions du cours (M étant considéré comme le centre d'inertie) :

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} \quad \text{et} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

5. On étudie la phase du mouvement correspondant aux données du tableau : sachant que la coordonnée a_x du vecteur accélération est nulle, déterminer à l'aide d'une équation du **2.**, l'expression de la coordonnée a_z du vecteur accélération. En déduire que le vecteur accélération ne varie pas au cours de cette phase du mouvement. Comment peut-on alors qualifier le mouvement pendant cette phase de saut ? **0,5 pt**

$a_z = \frac{dv_z}{dt}$ et nous reconnaissons en $\frac{dv_z}{dt}$ le coefficient directeur de la droite v_z = f(t) (graphe 2), soit 9,6 $m.s^{-2}$.

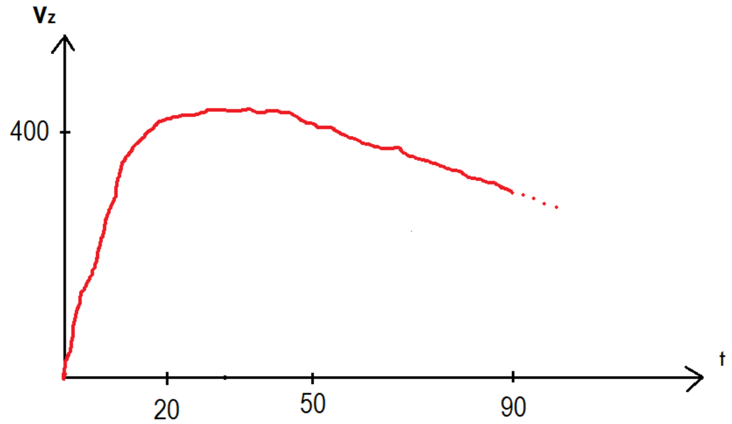
On peut s'étonner du résultat : le vecteur accélération est donc constant au cours de cette phase du mouvement ? Cela serait acceptable si nous pouvions considérer les frottements soit comme négligeables (mais nous avons vu plus haut qu'ils ne l'étaient pas), soit comme constants, or les frottements avec un milieu fluide (en l'occurrence l'air) augmentent si la vitesse du système augmente. Nous avons donc considéré comme négligeable <u>la variation</u> de la valeur des forces de frottement au cours de cette phase du mouvement.

Donc nous acceptons de qualifier le mouvement de « uniformément accéléré » (<u>valeur</u> constante de l'accélération).

6. En général, les parachutistes en début de chute libre sont soumis à une valeur d'accélération légèrement plus importante que celle déterminée précédemment. Expliquez pourquoi. **0,5 pt**

Il fallait exploiter qualitativement la formule $g = \frac{G.M_T}{(R_T+H)^2}$ et dire tout simplement que si l'altitude H de saut est plus faible (parachutistes), alors g est plus forte, donc l'accélération initiale le sera aussi.

7. 19 secondes après avoir franchi le mur du son, la vitesse de Felix Baumgartner s'est stabilisée à 422 m/s pendant 30 secondes. Elle a ensuite baissée régulièrement pour atteindre la valeur de 105 m/s juste avant l'ouverture du parachute. Tracer l'allure de la représentation graphique $v_z=f(t)$ pendant les 90 premières secondes du saut.



8. Pourquoi Felix Baumgartner a-t-il du sauter d'une altitude si importante pour franchir le mur du son ?

A 35000 m d'altitude, l'air est moins dense et on devine que les forces de frottements seront en conséquences moins fortes, on doit alors avoir l'intuition que cela permettra d'atteindre une vitesse maximale plus élevée que si on sautait d'une altitude moindre.

Tout cela mérite une discussion rigoureuse (plutôt que des intuitions successives) qui aura lieu en classe…

ANNEXE DE L'EXERCICE I : A RENDRE AVEC LA COPIE

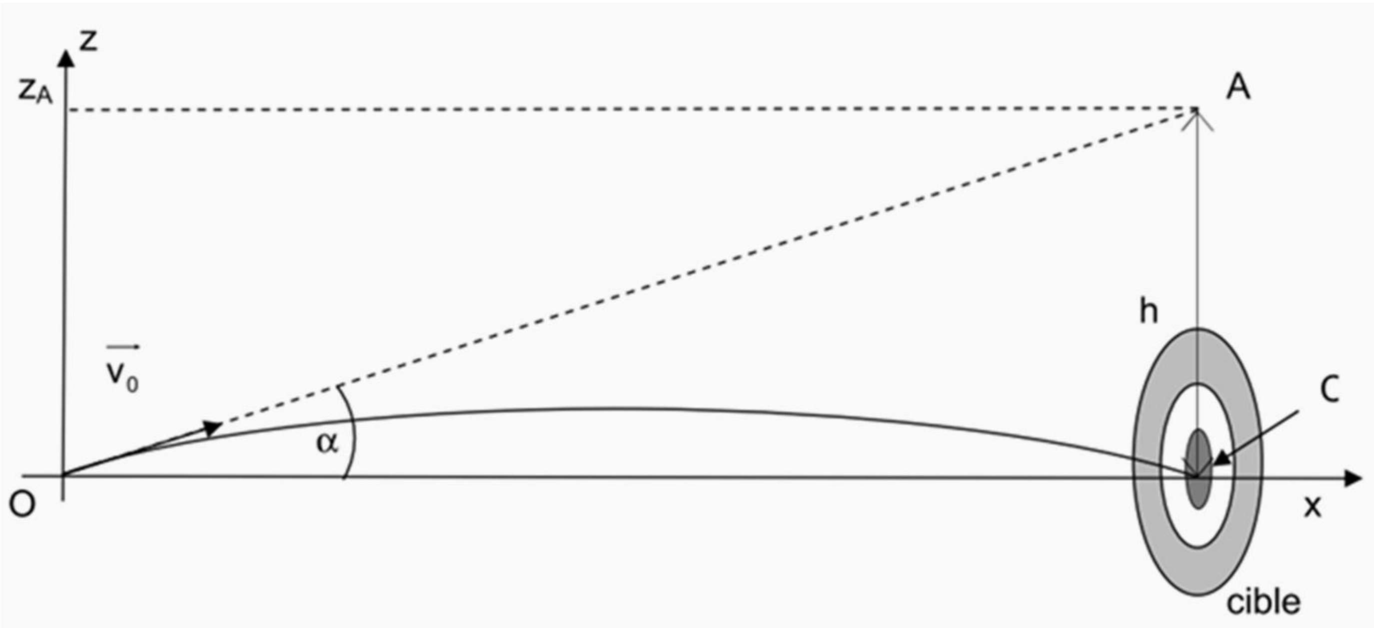
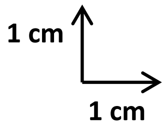


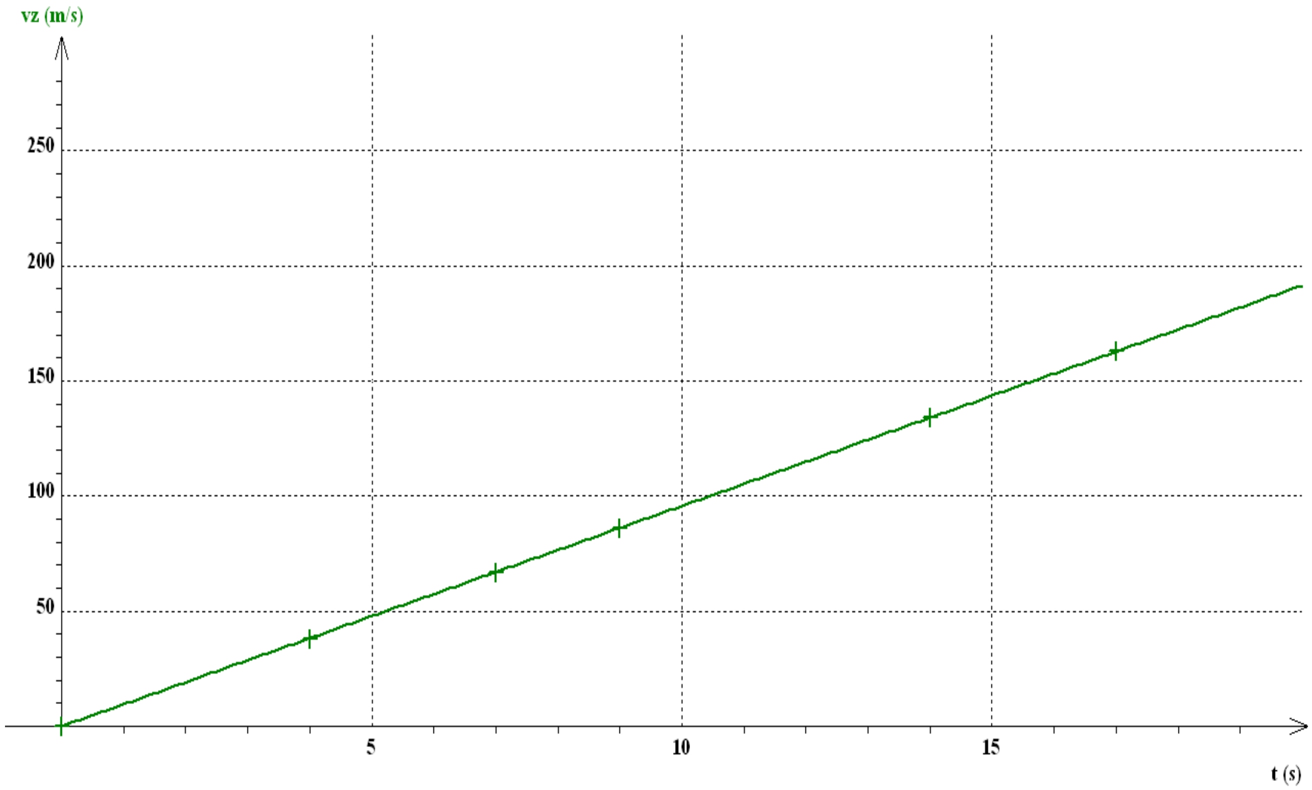
Figure 1

Nom : **Prénom :** **Classe :**

ANNEXE 1 DE L'EXERCICE III : graphique 1 (A RENDRE AVEC LA COPIE)



ANNEXE 2 DE L'EXERCICE III : graphique 2



ANNEXE 3 DE L'EXERCICE III : graphique 3