TD08- BASES DE LA DYNAMIQUE NEWTONIENNE

Exercice 1 : Questions de cours (à savoir faire sans le cours sous les yeux)

1 Qu'est-ce qu'un référentiel galiléen ?
2 Énoncer les trois lois de Newton.
3 Définir la quantité de mouvement d'un point matériel M de masse m et de vitesse $\vec{v}$ dans un référentiel $\mathcal{R}$.
4 Etablir l'expression de la quantité de mouvement d'un système constitué de deux points matériels M_1 et M_2 de masses respectives m_1 et m_2 en fonction de m_1, m_2 et de $\vec{v_G}$ où G est le centre de gravité du système.
5 On lâche sans vitesse initiale une masse m d'une hauteur h dans le champ de pesanteur terrestre. On néglige les frottements devant les autres forces.
   a Etablir l'expression de $\vec{v}(t)$ et z(t).
   b Déterminer l'expression littérale du temps de chute.
   c Déterminer l'expression littérale de la vitesse au moment de l'impact au sol.
6 On lâche sans vitesse initiale une masse m d'une hauteur h dans le champ de pesanteur terrestre. On considère que les frottements sont de la forme $\vec{F}=-k\vec{v}$.
   a Etablir l'équation différentielle vérifiée par v(t).
   b En déduire l'expression de v(t). Commenter.
7 On lâche sans vitesse initiale une masse m d'une hauteur h dans le champ de pesanteur terrestre. On considère que les frottements sont de la forme $\vec{F}=-\lambda v\vec{v}$. Etablir l'équation différentielle vérifiée par v(t). Commenter.
8 On considère un pendule simple de longueur l au bout duquel est attachée une masse m.
   a Etablir l'équation du mouvement.
   b Résoudre l'équation du mouvement dans l'approximation des petits angles.
9 Enoncer les lois de Coulomb pour les frottements solides.
10 On considère un solide de masse m sur un plan incliné d'un angle α avec l'horizontale.
   a Etablir l'expression de α_{LIM}, angle à partir duquel le solide commence à glisser.
   b Etablir l'expression de l'accélération$\vec{a}$ dans le cas où $\alpha > \alpha_{LIM}$. En déduire la nature du mouvement.

Exercice 2 : Tir d'un projectile dans le champ de pesanteur (important) ★ ★ ★

On étudie le mouvement d'un point matériel M de masse m dans le champ de pesanteur $\vec{g}$. On s'intéresse au vol balistique pour lequel le point matériel est initialement lancé avec une vitesse $\vec{v_0}$ faisant un angle α avec l'horizontale. On considère comme nulle la résistance de l'air. On choisit l'origine du repère au niveau de la position initiale de M.

1 Montrer que le vecteur accélération $\vec{a}$ est constant.
2 Etablir les équations horaires du mouvement. En déduire que le mouvement est plan.
3 Donner l'expression de la hauteur maximale atteinte en fonction de g, v_0 et α.
4 Donner l'expression de la portée du tir, qui correspond à l'endroit où le point matériel retombe sur le sol. On donnera le résultat en fonction de g, v_0 et α. Pour quel angle la portée est-elle maximale ?
5 On cherche à déterminer l'ensemble des points (x_0, y_0) qu'il est possible d'atteindre pour une vitesse v_0 donnée.
   a Montrer que x_0 et y_0 vérifient l'équation d'inconnue α suivante :

$$\frac{g\,{x_0}^2}{2\,{v_0}^2}\tan^2(\alpha)-x_0\tan(\alpha)+\frac{g\,x_0^2}{2\,v_0^2}+y_0=0$$

   b En déduire qu'un point M de coordonnées (x_0, y_0) ne peut être atteint que s'il se trouve sous la parabole d'équation $y=\frac{-g}{2v_0^2}x^2+\frac{{v_0}^2}{2g}$. Cette parabole est appelée « parabole de sûreté ».

Exercice 3 : résolution de problème – l'igloo et l'inuit ★ ★ ★

Un inuit médite sur le réchauffement climatique du haut de son igloo en forme de demi-sphère. En pleine réflexion, il se met à glisser ! L'inuit décolle-t-il de l'igloo ou bien glisse-t-il jusqu'au sol ?

Exercice 4 : analyse dimensionnelle ★

On considère une masse m assimilée à un point matériel. On lâche la masse m sans vitesse initiale dans le champ de pesanteur terrestre. On considère que m est soumise à son poids et à une force de frottements $\vec{F}=-\lambda v\,\vec{v}$.

1 Quelle est la dimension de λ ?

2 Etablir l'équation différentielle vérifiée par v.

3 La solution de cette équation est $v(t)=\sqrt{\frac{mg}{\lambda}}th(\sqrt{\frac{\lambda g}{m}}t)$.

   a Vérifier que la dimenstion de $\sqrt{\frac{mg}{\lambda}}$ est LT^{-1}. Quelle est la signification physique de cette grandeur ?

   b Vérifier que la dimension de $\sqrt{\frac{m}{\lambda g}}$ est T. Quelle est la signification physique de cette grandeur ?

4 Quelle aurait été l'expression de v(t) si on avait eu $\vec{F}=-k\,\vec{v}$? Vérifier l'homogénéité de l'expression trouvée.

Exercice 5 : Jeu télévisé ★ ★ ★

Une personne participant à un jeu télévisé doit laisser glisser un paquet sur un toboggan à partir du point A, de manière à ce qu'il soit réceptionné au point B par un chariot se déplaçant le long de l'axe (Ox). On néglige les frottements de l'air devant les autres forces. Le toboggan exerce sur le paquet non seulement une réaction normale $\vec{R_N}$mais aussi une réaction tangentielle $\vec{R_T}$(frottements solides) telle que $\|\vec{R_T}\|=f\|\vec{R_N}\|$ avec f=0,5.

Le chariot part du point C_0 à l'instant t=0 vers la gauche (voir figure) avec une vitesse $v_C=0{,}5\,m.s^{-1}$. Arrivé en C_B, il s'arrête pendant un intervalle de temps Δt=1s. La hauteur du toboggan est h=4m, la distance d est égale à h et C_0C_B = 2m. La masse du paquet est de m=10kg, et $g=9{,}8\,m.s^{-2}$.

1 On pose X=AP où P est la position du paquet à l'instant t. Déterminer X(t). En déduire le temps mis par le paquet pour arriver en B.

2 A quel instant le joueur doit-il lâcher le paquet sans vitesse initiale pour qu'il tombe dans le chariot ?

Exercice 6 : Lois de Coulomb – frottements solides ★ ★ ★

N.B. Il est nécessaire d'avoir fait et compris l'exercice précédent pour faire cet exercice.

Un chariot de masse m se déplace sans frottements sur le sol. Sur ce chariot se trouve un bloc de masse M, le coefficient de frottements statique entre le bloc et le chariot est f. La constante de raideur du ressort est k et le point A est immobile dans le référentiel terrestre. Initialement x=0 et le ressort est détendu, sa longueur étant sa longueur à vide. On déplace très lentement le chariot vers la droite. Pour quelles valeurs de x le bloc glisse-t-il sur le chariot ?

Exercice 7*: Le lancer de poids ★ ★

Deux personnes, de même taille mais de force physique différente, jouent au lancer de poids. Ils veulent déterminer lequel des deux peut lancer le poids le plus loin. La personne qui a le moins de force, mais qui est aussi la plus intelligente, a bien appris son cours de physique et décide de lancer le poids avec l'angle qui favorisera la portée maximale. Elle donne toute sa force et lance avec une vitesse initiale de $26\,m.s^{-1}$. L'autre, ayant fait de la musculation à la place d'apprendre son cours de dynamique, se lance « au talent », sans réfléchir, et lance avec un angle de 35° mais plus fort que son camarade, avec une vitesse initiale de $29\,m.s^{-1}$. Lequel des deux va gagner ?

Exercice 8 : résolution de problème - extrait Centrale Supélec MP 2017 ★ ★

Document 1 : le saut supersonique de Felix Baumgartner

D'après J.M. Colino et al., étude dynamique d'un mémorable plongeon en chute libre, Physics Today*, Avril 2014.*

Le saut de tous les records

Le 14 octobre 2012, Felix Baumgartner effectue, dans l'atmosphère terrestre, un plongeon hors-norme : les records de tous ses prédécesseurs sont battus. Baumgartner fut tout d'abord hissé jusqu'à une altitude voisine de 39 km grâce à un ballon d'hélium. Un appareil GPS, fixé sur sa poitrine, permit de suivre précisément sa position au cours du saut.

En février 2013, les organisateurs de cette mission rendirent publiques ces données. Confirmées par la fédération internationale des sports aériens, elles montrent que Baumgartner a établi trois records. Premièrement, il a atteint une vitesse maximale de 1357,6 km·h^{-1}, supérieure de 11% à la vitesse du son dans l'air (prise égale à 340 m·s^{-1}). Il s'agit de la plus grande vitesse verticale jamais atteinte sans dispositif de stabilisation. Deuxièmement, Baumgartner a sauté d'une altitude record de 38,9694 km. Enfin, il est resté en chute libre sur une hauteur record de 36,4026 km.

Figure 2 Felix Baumgartner au départ de son saut

Une affaire de trainée

Les corps qui chutent vers la surface terrestre ne le font pas sous la seule action de la pesanteur. Ils sont aussi soumis à une force dirigée dans le sens opposé à la vitesse, exercée par l'air atmosphérique. Cette force, appelée *force de trainée*, est proportionnelle au carré de la vitesse. Elle est donnée par la relation $F_D = KA\rho v^2$, où A est l'aire de l'objet projeté sur un plan orthogonal à la direction du mouvement, ρ la masse volumique de l'air et K une constante.

Quelques détails sur le saut de Baumgartner

Les données enregistrées pendant le saut montrent qu'initialement, la composante de la vitesse de Baumgartner parallèle au sol est nulle. Comme l'air est raréfié en haute altitude, la force de traînée joue peu au début du saut et l'accélération de Baumgartner s'identifie quasiment à l'intensité du champ de pesanteur. Ensuite, au fur et à mesure que la vitesse augmente et que l'altitude diminue, l'action de l'air devient de plus en plus importante et la force de trainée équilibre le poids. La vitesse terminale de Baumgartner atteint 79,4 m·s^{-1}.

Document 2 : le modèle de l'atmosphère isotherme

Sous l'effet de la pesanteur, les molécules constitutives de l'air ont tendance à tomber vers le sol. L'agitation thermique a un effet antagoniste et tend à uniformiser la distribution des molécules dans l'atmosphère. Lorsqu'on assimile l'air à un gaz parfait et que l'on considère la température et la pesanteur uniformes dans l'atmosphère, il en résulte une distribution d'équilibre, caractérisée par le champ de masse volumique suivant, qui ne dépend que de l'altitude z comptée depuis le sol : $\rho(z) = \rho_0 \exp\left(-\dfrac{M_a g z}{RT}\right)$ où ρ_0 désigne la masse volumique au niveau du sol en $z = 0$, R la constante des gaz parfaits, T la température de l'atmosphère, M_a la masse molaire de l'air et g l'intensité du champ de pesanteur.

Il est légitime de se demander pourquoi il est nécessaire de hisser le sauteur à une altitude aussi élevée afin d'atteindre la vitesse du son.

I.B.1) Quelle devrait être l'altitude minimale de départ si le sauteur, voulant atteindre la vitesse du son, n'était soumis qu'à la force de pesanteur ?

I.B.2) En exploitant les documents 1 et 2, donner une estimation de la hauteur minimale de saut qui permet d'atteindre la vitesse du son au cours de la chute. Le choix de certaines valeurs numériques relève de votre initiative. Comparer l'estimation obtenue à l'altitude de départ de Felix Baumgartner et discuter les hypothèses que vous aurez retenues.

Exercice 9 résolution de problème : distance de Freinage (TSI 2019) ★ ★ ★

Les causes d'accidents sont nombreuses et variées. Afin d'incriminer ou non un éventuel excès de vitesse lors de la sortie de route liée à un dépassement incontrôlé et décrite sur la photographie (figure 6), on vous demande de déterminer l'expression littérale, puis numérique de la vitesse du véhicule en début de la phase de freinage. Toutes données pertinentes et nécessaires à la résolution de cette question pourront être introduites par le candidat.

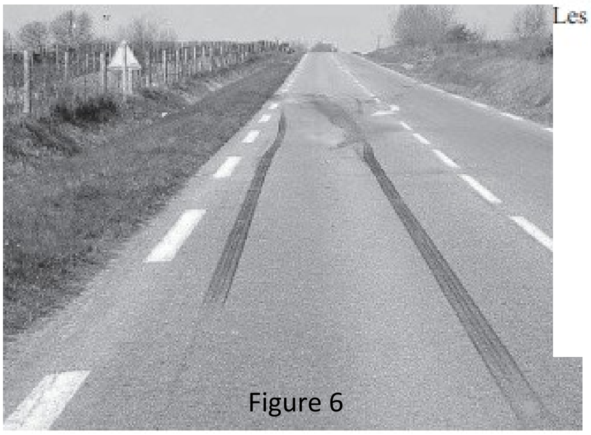

Figure 6

Les éléments légaux de marquage au sol sont représentés sur la **figure 7**.

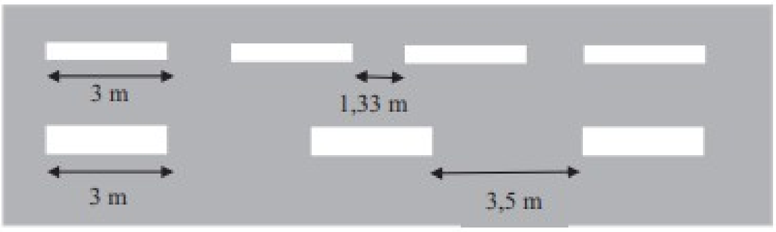

Figure 7 – Législation de marquage au sol

le coefficient de frottement solide f entre les pneumatiques et le revêtement de la chaussée a pour valeur f = 0,8.

→ Un exemple de tableau d'évaluation pour les résolutions de problème (exercices 3, 6, 7,8,9) :

S'approprier le problème	
Faire un schéma modèle clair et lisible	
Identifier les grandeurs physiques pertinentes et leur attribuer un symbole	
Relier le problème à une situation modèle connue	
Etablir une stratégie de résolution (analyser)	
Expliciter la modélisation choisie (définition du système, d'un repère, de son origine, etc.)	
Déterminer et énoncer les lois de la physique qui seront utilisées	
Mettre en œuvre la stratégie (réaliser)	
Savoir mener les calculs analytiques efficacement	
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider)	
S'assurer que l'on a répondu explicitement à la question posée (l'objectif est-il atteint ?)	
Utiliser l'analyse dimensionnelle pour vérifier l'homogénéité des résultats trouvés	
Expliciter la signification physique des résultats trouvés afin d'en vérifier la cohérence	
Proposer des valeurs numériques cohérentes pour les grandeurs introduites si nécessaire	
Discuter le modèle choisi et en proposer une éventuelle amélioration	
Etudier ou comparer le résultat trouvé à des cas limites plus simples dont la solution est déjà connue ou est plus facilement vérifiable	
Communiquer	
Rédiger la solution en expliquant le raisonnement et les résultats	
Utiliser un vocabulaire scientifique adapté	