D.S. DE PHYSIQUE N°1

Durée 2h00

De nombreuses questions sont indépendantes ou proches du cours !

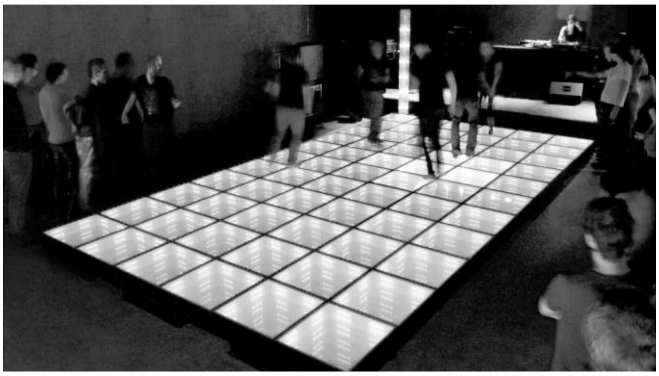
Lire tout l'énoncé avant de commencer, **numéroter** les feuilles et les questions, utiliser les **notations de l'énoncé**, apporter des **justifications** brèves mais précises et complètes, fournir des résultats **homogènes et** **encadrés** et des applications numériques **soulignées** et accompagnées d'une **unité.**

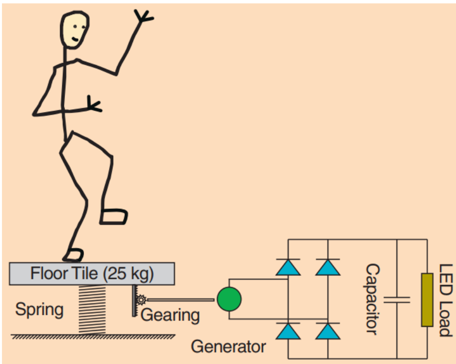
Calculatrice INTERDITE

PROBLEME N°1 : AUTOUR DE LA PRODUCTION D'ENERGIE

Ce sujet propose d'étudier différentes techniques de production ou de stockage d'énergie. Il est constitué de deux parties indépendantes. Les différentes sous-parties sont souvent également indépendantes

Les vibrations du sol, provoquées par les piétons, les véhicules ou le vent, peuvent fournir une énergie récupérable au moyen de dispositifs qui font l'objet de recherches récentes. Il existe par exemple des systèmes de dalles pour piétons qui produisent de l'énergie électrique, dalles qui sont disposées sur la chaussée ou, comme ici, sur une piste de danse (document 1).





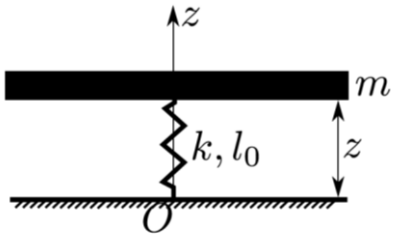
Document 1 : exemple de dispositif de récupération d'énergie des vibrations du sol.
D'après le fabricant, chaque dalle peut générer 35 W.

Source pour ce document et pour les valeurs exploitées dans l'énoncé : article "Power from the people" de DOI `10.1109/MIAS.2010.939649.`

Nous n'étudions ici que la réponse mécanique de ce système.

En première approximation, le système est modélisé comme une masse m (qui comprend le danseur et la dalle support) posée sur un ressort et astreinte à se déplacer verticalement. C'est donc le système du document 2 qui nous intéresse.

On note k la raideur du ressort, l_0 sa longueur à vide. Le champ de pesanteur de norme g est dirigé vers le bas de la figure.

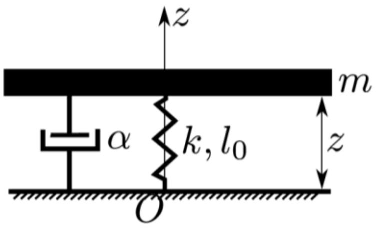


Document 2 : modèle simplifié du système réel.

1. En raisonnant sur le système du document 2, établir le bilan des forces extérieures (BAME), les représenter sur un schéma sans souci d'échelle, et donner leur expression mathématique, en fonction du vecteur unitaire $\vec{u}_z$ notamment.
2. Donner les expressions des énergies potentielles liées aux forces extérieures identifiées précédemment.
3. Etablir l'expression de la position d'équilibre $z_{éq}$ de la masse, en fonction de k, l_0, m et g.
4. Établir ensuite, à l'aide du Principe Fondamental de la Dynamique, l'équation différentielle suivie par la variable $z(t)$ lorsque le système est mis en mouvement.

On constate expérimentalement que les oscillations sont amorties. Pour rendre compte de ceci, il est nécessaire d'ajouter au modèle du document 2 un amortissement. On obtient alors le modèle du document 3.

L'amortisseur exerce sur la masse une force $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$ avec $\vec{v}$ le vecteur vitesse de la masse et α une constante positive.



Document 3 : modèle simplifié du système réel qui prend en compte l'amortissement.

5. En raisonnant sur le système du document 3, établir l'équation différentielle suivie par la variable $z(t)$.
6. Mettre l'équation sous la forme :

$$\ddot{z} + \frac{\omega_0}{Q}\dot{z} + \omega_0^2\, z = -\omega_0^2\, z_e \qquad (1)$$

avec ω_0, Q et z_e des constantes dont on donnera les expressions en fonction de $m.$ k, l_0, g et α.

PROBLEME N°2 : SUR LA ROUTE

Les différentes parties de ce problème traitent différentes questions liées à des **déplacements sur la route ; elles peuvent être abordées de façon totalement indépendante !**

Les différentes grandeurs demandées seront d'abord données sous **forme littérale.**

A) CYCLISTE

Un cycliste effectue la première partie d'une randonnée à une vitesse constante de $32\,km.h^{-1}$. Il roule pendant 45 minutes. Fatigué de tenir ce rythme, il réduit sa vitesse et parcourt la deuxième partie en $1h30$ à une vitesse constante de $22\,km.h^{-1}$. La masse du cycliste sur son vélo est de $75\,kg$.

Attention : document-réponse en annexe à rendre avec la copie

1. Définir le système et le référentiel d'étude.
2. Tracer le graphe donnant la vitesse v en fonction du temps sur le document-réponse, à rendre avec la copie.
3. Que représente l'aire sous la courbe pour chaque période ? Que représente l'aire de l'ensemble ? Quelle distance a parcouru le cycliste ?
4. Quelle est sa vitesse moyenne ?
5. Tracer la distance parcourue en fonction du temps $s(t)$ sur le document-réponse (à rendre).
6. Donnez l'équation horaire $s(t)$ du cycliste.

B) UN ARBRE SUR LA ROUTE

Un conducteur se trouve au volant de son véhicule assimilé à un point matériel M, et roule à la vitesse réglementaire $V_1 = 80$ km.h^{-1} sur une portion de route horizontale et rectiligne lorsqu'il voit un arbre abattu sur la chaussée situé à une distance de $D = 50$ m.

Un peu somnolent, il a un temps de réaction $\tau_r = 2$ secondes, et freine alors selon une accélération constante $a_2 = -5$ m.s^{-2}.

7. Evaluer un ordre de grandeur de l'énergie cinétique initiale de la voiture.
8. On choisit comme instant initial $t = 0$ l'instant où le conducteur voit l'arbre. On repère la position de la voiture grâce à la variable $x(t)$ et on suppose que l'origine de ce repère spatial se trouve au point où se situe la voiture à l'instant initial ; on a donc $x(t = 0) = 0$.

   Etablir l'expression de la distance D_r qu'il parcourt avant de commencer à freiner et effectuer l'application numérique.

9. On choisit comme nouvel instant initial le moment où le conducteur se met à freiner. Etablir l'expression de la vitesse $v(t)$ de la vitesse pendant la phase de freinage.

10. Etablir l'équation horaire $x(t)$ de la position de la voiture lors de la phase de freinage.

11. Etablir l'expression littérale (sans A.N.) du temps nécessaire à la voiture pour s'arrêter.

12. Déterminer si la voiture arrive à s'arrêter à temps pour éviter l'arbre.

C) Course de voitures telecommandees

Anas et Bérénice comparent les performances de leurs voitures télécommandées. Pour cela, il font la course dans l'allée du jardin, longue de 15 m.

La voiture d'Anas a une accélération $a_A = 2$ m·s^{-2} tandis que celle de Bérénice accélère à $a_B = 3$ m·s^{-2}, mais la voiture d'Anas peut atteindre $V_A = 12$ km·h^{-1} alors que celle de Bérénice plafonne à $V_B = 10$ km·h^{-1}. Leur mouvement se décompose donc en deux phases : il s'agit dans un premier temps d'un mouvement uniformément accéléré, puis d'un mouvement uniforme lorsque la vitesse maximale est atteinte.

La position des voitures est décrite par leur abscisse x le long d'un axe dont l'origine $x = 0$ correspond à la ligne de départ de la course.

13. Déterminer la loi horaire $v_A(t)$ de la voiture d'Anas lors de la première phase.

14. Etablir l'expression de l'instant τ_A au bout duquel cette phase se termine pour la voiture d'Anas. Effectuer l'application numérique.

15. En déduire sans calcul l'expression littérale de l'instant τ_B au bout duquel cette phase se termine pour la voiture de Bérénice. Effectuer l'application numérique.

16. Montrer qu'à ces instants aucune des deux voitures n'a franchi la ligne d'arrivée.

17. Déterminer les lois horaires x_A et x_B lors de la deuxième phase du mouvement.

18. Qui gagne la course ?

19. Grand prince, le gagnant accorde une revanche à son malheureux adversaire et lui laisse même choisir la distance de la course. Quelle distance le perdant doit-il proposer pour être sûr de gagner ?

Probleme N°3 : Etude du mouvement d'un palet sur la glace

Aides au calcul	$\sin(20°) \cong 0{,}34$	$\cos(20°) \cong 0{,}94$

Le hockey sur glace est un sport d'équipe se jouant sur une patinoire. L'objectif de chaque équipe est de marquer des buts en envoyant un disque de caoutchouc, appelé palet, à l'intérieur du but adverse situé à une extrémité de la patinoire. Les joueurs se déplacent en patins à glace et dirigent le palet à l'aide d'un bâton de hockey également appelé crosse. Cette dernière est composée de deux parties : le manche qui permet au joueur de tenir la crosse et la palette qui permet de taper dans le palet. Le terrain de jeu, la patinoire, mesure 60 mètres de long sur 30 mètres de large.

Le palet est fabriqué en caoutchouc avec une masse moyenne de 160 grammes. Sur la glace, le palet peut atteindre des vitesses exceptionnelles du fait de la puissance des joueurs.
En Russie, lors des épreuves d'habileté de la Ligue continentale de hockey, le défenseur Aleksandr Riazantsev a établi un nouveau record du monde en janvier 2017 avec une frappe à 183,67 $km.h^{-1}$ soit environ 50 $m.s^{-1}$.
Au cours d'une séance d'entraînement à ces épreuves d'habileté, un joueur de hockey propulse le palet, à l'aide de sa crosse, sur un plan recouvert de glace et incliné d'un angle $\alpha = 20°$ par rapport à l'horizontale.
La position du centre d'inertie du palet est repérée sur un axe (Ox) de même direction que la ligne de plus grande pente et orienté vers le haut. On note (Oy) l'axe perpendiculaire au plan incliné et orienté vers le haut. Les vecteurs $\overrightarrow{u_x}$ et $\overrightarrow{u_y}$ sont des vecteurs unitaires dirigés respectivement selon les axes (Ox) et (Oy).
Le centre d'inertie du palet est noté G (**figure 3**). À l'instant initial, le palet se trouve à l'origine du repère. L'intensité du champ de pesanteur terrestre g est estimée à 10 $m.s^{-2}$.

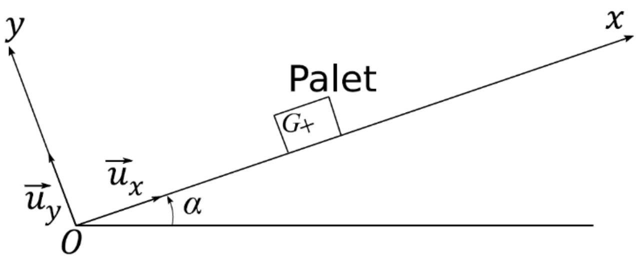


Fig.3 : Schéma du palet sur le plan incliné

Document 1 - Lois de Coulomb
On appelle action de contact l'action mécanique qu'exercent l'un sur l'autre deux solides dont les surfaces sont en contact. Lorsque les deux solides en contact ne glissent pas l'un sur l'autre, on a : $$\left\|\overrightarrow{R_T}\right\| \leq f_s \left\|\overrightarrow{R_N}\right\|$$ où $\overrightarrow{R_T}$ est la composante tangentielle et $\overrightarrow{R_N}$ la composante normale de la réaction exercée par un solide sur l'autre. f_s est le coefficient d'adhérence (également appelé coefficient de frottement statique) qui dépend de la nature et de l'état des surfaces en contact. Lorsque les deux solides en contact glissent l'un sur l'autre, on a : $$\left\|\overrightarrow{R_T}\right\| = f_D \left\|\overrightarrow{R_N}\right\|$$ où f_D est le coefficient de frottement dynamique qui dépend de la nature et de l'état des surfaces en contact avec $f_D < f_s$. Valeurs usuelles : f_D (bois sur bois) = 0,40 ; f_D (caoutchouc sur glace) = 0,050 ; f_D (acier sur glace) = 0,020.

Dans une première phase (propulsion du palet par la crosse sur le plan incliné), on considère les frottements comme négligeables. La palette de la crosse est en contact avec le palet.

1. Établir un bilan des forces qui s'exercent sur le palet durant la propulsion et les représenter sur un schéma cohérent sans souci d'échelle.
2. En appliquant le PFD et en projetant sur l'axe x, exprimer l'intensité de la force de propulsion F exercée par le joueur sur le palet en fonction de l'accélération a du palet, de l'angle d'inclinaison α du plan, de la masse m du palet et de l'intensité du champ de pesanteur g.
3. Sachant que la propulsion due au joueur de hockey dure 0,5 seconde et que le mouvement est uniformément accéléré, quelle doit être l'intensité de la force de propulsion pour que le joueur égale le record du monde de vitesse sur ce plan incliné ? Une valeur approchée suffira pour l'application numérique.

Dans une deuxième phase, le palet n'est plus en contact avec la crosse et est en mouvement de translation rectiligne vers le haut du plan incliné. On considère les frottements comme négligeables.

4. Sur un schéma, représenter les forces qui s'exercent sur le palet. Ces forces ont-elles un caractère moteur, résistant ou sont-elles sans effet lors du mouvement du palet vers le haut du plan incliné ?
5. Déterminer l'expression de $x(t)$, déplacement du palet selon l'axe (Ox).
6. Montrer que la distance d parcourue par le palet avant de s'arrêter est donnée par la relation :

$$d = \frac{v_0^2}{2g\sin\alpha}$$

où v_0 est la vitesse initiale selon l'axe (Ox) au début de la deuxième phase.

On cherche à établir la distance qui a été nécessaire pour que le palet s'arrête lors de l'établissement du record du monde sur une patinoire de surface horizontale. Il faut tenir compte des frottements.

7. Les forces de frottements sont-elles conservatives ? Justifier la réponse.
8. Calculer le travail élémentaire de la composante tangentielle $\overrightarrow{R_T}$ de l'action de la glace sur le palet en fonction de x, m, g et f_D. On commencera par établir que $\left\|\overrightarrow{R_N}\right\| = mg$.
9. Quelle distance faut-il au palet pour s'arrêter ? Combien de longueurs de patinoires le palet pourrait-il parcourir avant de s'arrêter ?

FIN DE L'ENONCE

DOCUMENT REPONSE DU PROBLEME N° 2 – PARTIE A

A rendre avec la copie

NOM ____