

Solutions aqueuses et mécanique du point

Extrait de l'entête des sujets de la banque PT :

« La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la **clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs. »

Problème 1: Dosage du peroxyde d'hydrogène (Extrait CCP, MP 2011)**C. DOSAGE D'UNE SOLUTION AQUEUSE DE PEROXYDE D'HYDROGÈNE**Données spécifiques à la partie C

- L'activité des espèces en solution aqueuse sera assimilée au rapport entre leur concentration exprimée en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et la concentration de référence $C_0 = 1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Activité du solvant : $a_{\text{H}_2\text{O}} = 1$.
- Les équations bilan des réactions d'oxydoréduction en phase aqueuse seront écrites en faisant intervenir exclusivement H_2O et H_3O^+ (elles ne feront apparaître ni H^+ ni HO^-).
- Potentiels standards des couples rédox par rapport à l'électrode standard à hydrogène :
 - $E^\circ(\text{H}_2\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}) = 1,77 \text{ V}$
 - $E^\circ(\text{S}_4\text{O}_6^{2-} / \text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,09 \text{ V}$
 - $E^\circ(\text{I}_2 / \text{I}^-) = 0,62 \text{ V}$
- $\ln(10) R T / F = 0,060 \text{ V}$ à 25°C .
- La température est égale à 25°C .
- Masse molaire de l'iodure de potassium : $M(\text{KI}) = 166,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Concentration molaire de la solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène : $C_B = 0,040 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Pour réaliser ce dosage, le mode opératoire suivant est utilisé :

- Introduire successivement dans un erlenmeyer : $V_A = 5,00 \text{ mL}$ de solution aqueuse d'acide sulfurique de concentration molaire $C_A = 2,00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $m_1 = 0,500 \text{ g}$ d'iodure de potassium ; $V_B = 10,00 \text{ mL}$ de solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène de concentration molaire égale à C_B .
- Attendre 10 minutes puis doser le diiode formé au moyen d'une solution aqueuse de thiosulfate de sodium ($2 \text{ Na}^+ ; \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) de concentration molaire $C_T = 0,0500 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

C-1. Écrire la demi-équation électronique du couple $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$ dans le sens de la réduction.

C-2. Potentiel du couple peroxyde d'hydrogène / eau

C-2-1. Exprimer ce potentiel pour une solution aqueuse contenant du peroxyde d'hydrogène à la concentration molaire C_B .

C-2-2. Calculer pour $C_B = 0,040 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ la valeur numérique de ce potentiel :

C-2-2-1. Quand le pH de la solution est égal à 2,0.

C-2-2-2. Quand le pH de la solution est égal à 8,0.

C-2-2-3. Pour réaliser la réduction du peroxyde d'hydrogène, vaut-il mieux se placer en milieu acide ou en milieu basique ? Justifier votre réponse.

C-3. Potentiel du couple diiode / iodure

C-3-1. Écrire la demi-équation électronique du couple I_2 / I^- dans le sens de l'oxydation.

C-3-2. Calculer le potentiel de ce couple pour une solution aqueuse ayant pour concentrations molaires $[\text{I}^-] = 0,030 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $[\text{I}_2] = 0,0010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

C-4. Complexation du diiode par les ions iodures

L'équation bilan traduisant cette réaction de complexation est : $\text{I}_2 + \text{I}^- = \text{I}_3^-$. Sa constante d'équilibre à 25°C est $K^\circ = 750$. Le diiode étant peu soluble dans l'eau (solubilité égale à $1,34\cdot 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ à 25°C) alors que I_3^- l'est, cette réaction de complexation permet, en présence d'ions I^- , d'éviter la formation de diiode solide lors de l'oxydation de I^- .

- C-4-1. Calculer la concentration molaire $[I_3^-]$ de la solution aqueuse de la question C-3-2 caractérisée à l'équilibre par $[I^-] = 0,030 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $[I_2] = 0,0010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- C-4-2. Écrire la demi-équation électronique du couple I_3^- / I^- dans le sens de l'oxydation.
- C-4-3. Calculer le potentiel standard du couple I_3^- / I^- .
- C-4-4. Écrire l'équation bilan traduisant l'oxydation des ions I^- en I_3^- par le peroxyde d'hydrogène en milieu acide.
- C-4-5. Exprimer, en fonction des potentiels standard des couples redox mis en jeu, la constante d'équilibre de cette réaction et calculer sa valeur numérique.

C-5. Dosage par le thiosulfate de sodium

- C-5-1. Écrire la demi-équation électronique du couple $S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}$ dans le sens de l'oxydation.
- C-5-2. Écrire l'équation bilan traduisant la réduction des ions I_3^- , formés lors de la réaction entre le peroxyde d'hydrogène et les ions iodures, par le thiosulfate.
- C-5-3. Calculer le volume de solution de thiosulfate (V_T) qu'il faut verser pour réduire tous les ions I_3^- en I^- .

Problème 2: L'énergie (Extrait CAPES 2013)

Certaines lois de la physique ont un caractère universel, parmi celles-ci, la loi de conservation de l'énergie, vérifiée aussi bien à l'échelle microscopique, qu'à l'échelle humaine ou astronomique, a un statut tout particulier. Elle est un principe, jamais remis en cause par l'expérience, qui amène à se questionner sur la nature de l'énergie.

L'énergie est une grandeur difficile à définir. On peut lire dans le premier tome de mécanique de R. Feynmann : "La loi est appelée conservation de l'énergie. Elle affirme qu'il y a une certaine quantité que nous appelons énergie, qui ne change pas dans les multiples modifications que peut subir la nature".

Nous pouvons tenter de donner une définition de l'énergie : "un système possède de l'énergie dès lors qu'il est susceptible de fournir du travail ou de la chaleur". Définition problématique, car il reste à définir ce que sont chaleur et travail, dont on dit souvent qu'ils sont des énergies échangées entre deux systèmes...

Une fois admise l'existence de l'énergie d'un système physique, le physicien sait établir son expression en fonction des paramètres propres au système, l'argument énergétique est alors présent dans presque tout raisonnement physique qualitatif ou quantitatif.

Le développement de notre civilisation et de la qualité de vie s'est traduit par un accroissement exponentiel et récent des besoins en énergie. La facilité du stockage et du transport des énergies fossiles expliquent l'importance de leur consommation actuelle. La conséquence en est l'épuisement du stock d'énergies fossiles à court ou moyen terme, et la détérioration de notre environnement.

Désormais, il nous faut penser à l'utilisation rationnelle du stock disponible, et exploiter les ressources énergétiques renouvelables que sont les énergies de flux : hydraulique, éolien, solaire. Cela passe notamment par un stockage de l'énergie lorsqu'elle est produite de façon intermittente.

L'objet de ce problème est d'aborder quelques unes des multiples facettes de ce très vaste sujet qu'est l'énergie.

I- En mécanique classique du point : énergie potentielle, énergie cinétique

Soit un objet de masse m , assimilé à un point matériel, soumis à un ensemble de forces dont la résultante est notée $\vec{F}$. On étudie l'évolution de ce point dans un référentiel galiléen $\mathcal{R}_0$, et on note $\vec{v}$ sa vitesse dans le référentiel d'étude.

5 - Commençons par établir l'expression de l'énergie cinétique, dans le cadre de la mécanique classique.

5- a-Définir la notion de référentiel galiléen. Donner un exemple de référentiel galiléen et un exemple de référentiel non galiléen, dans chaque cas, préciser le nom du référentiel, sa définition et préciser son caractère galiléen.

5- b-Galilée a formulé le principe de relativité galiléenne. À quelle époque Galilée a-t-il vécu ? Énoncer une formulation actuelle de ce principe.

5- c-Établir et énoncer le théorème de l'énergie cinétique.

6 - Le point matériel est ici considéré dans le champ de pesanteur uniforme $\vec{g} = -g \vec{e}_z$, avec $\vec{e}_z$ le vecteur unitaire de l'axe Oz vertical ascendant.

6- a-Établir l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur du point matériel.

6- b-Pourquoi dit-on du poids qu'il est une force conservative ?

7 - Proposer une solution succincte de l'exercice de mécanique ci-dessous.

Exercice : looping dans un parc d'attraction

En 2009, un parc d'attraction s'est doté d'un nouveau grand huit à fortes sensations. On peut lire sur le descriptif :

"Top départ, c'est parti... de 0 à 100 km/h en 2,5 secondes chrono !

Un démarrage par catapulte qui propulse le visiteur à 40 mètres de haut, un instant de pure adrénaline ! S'enchaîne un looping à une hauteur de 40 mètres, sensation nouvelle pour le visiteur [...] qui se retrouve avec la tête à l'envers !"

Q1 : Estimer la valeur numérique de l'accélération du wagon pendant la phase de catapultage. Comparer à g avec $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Commenter.

Le looping simplifié que nous étudions, qui est représenté sur la figure 1, est constitué d'une gouttière de lancement dont le point le plus haut est situé à une hauteur h au dessus du sol, et permet de guider un chariot vers un rail circulaire de rayon R .

Il ne comporte donc pas de phase de catapultage, mais cela est compensé par un point de départ plus élevé du chariot.

De plus, dans notre modélisation la liaison entre le chariot et le rail est unilatérale (on rappelle qu'une liaison unilatérale interdit le rapprochement de deux corps au delà du contact, mais n'empêche pas leur éloignement).

Le chariot et ses occupants totalisent une masse $m = 10$ tonnes, l'ensemble formé du chariot et de ses occupants est assimilé à un point matériel C . Le champ de pesanteur est uniforme, vertical et orienté vers le bas, de module g .

L'étude du mouvement sera toujours menée dans le référentiel terrestre $\mathcal{R}_0$ qui sera considéré galiléen.

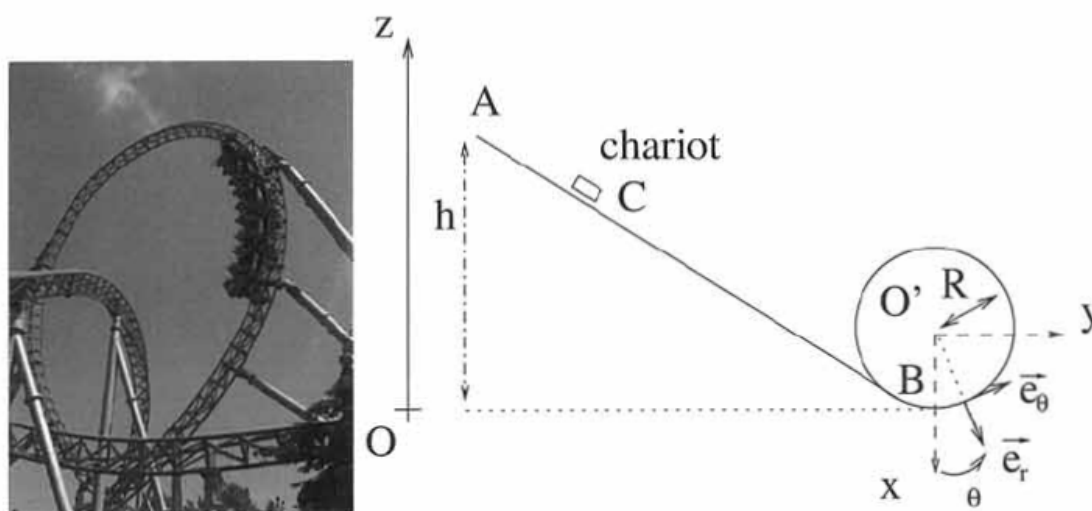


FIGURE 1 – Photo du looping et schéma du looping modélisé

Dans un premier temps, le modèle adopté pour la liaison entre le rail et les roues du chariot est celui de la liaison parfaite, c'est à dire qu'elle ne dissipe pas d'énergie. De plus les frottements de l'air sur les passagers et sur le wagon sont négligés. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est choisie au point B .

Q2 : À l'origine, le chariot est placé en A , il est immobile. Quelle forme d'énergie possède-t-il ?

Q3 : Le chariot est abandonné sans vitesse initiale au point A , exprimer sa vitesse lorsqu'il arrive en B , en fonction de h et g .

Q4 : Pour la deuxième partie du mouvement du chariot, à partir du point B , le chariot est repéré par ses coordonnées polaires R et θ .

Justifier le fait que la force que le rail circulaire exerce sur le chariot puisse s'écrire :

$$\vec{N} = -N\vec{e}_r$$

et représenter sur un dessin les différentes forces qui agissent sur le chariot.

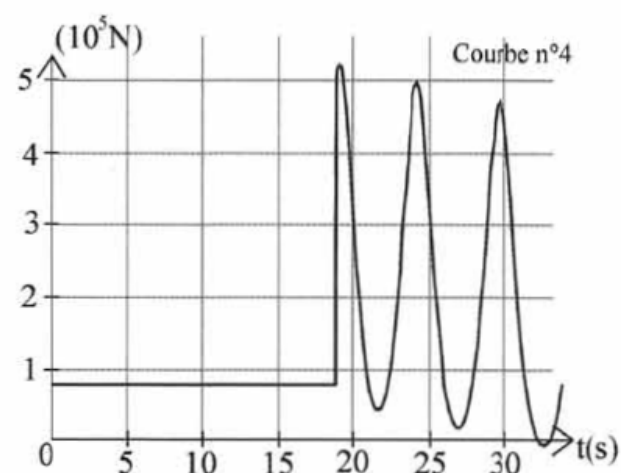
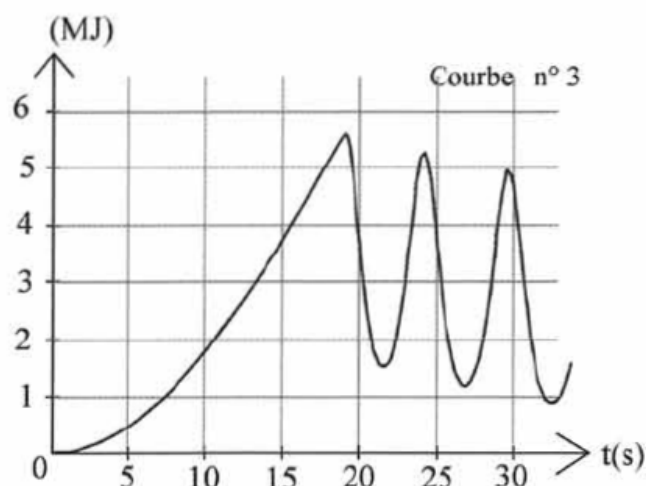
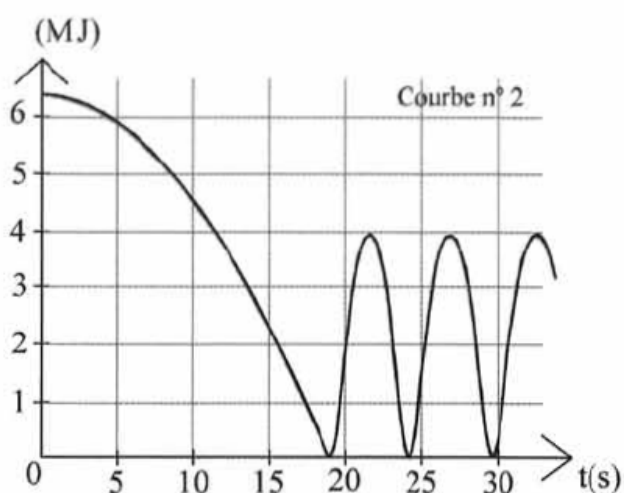
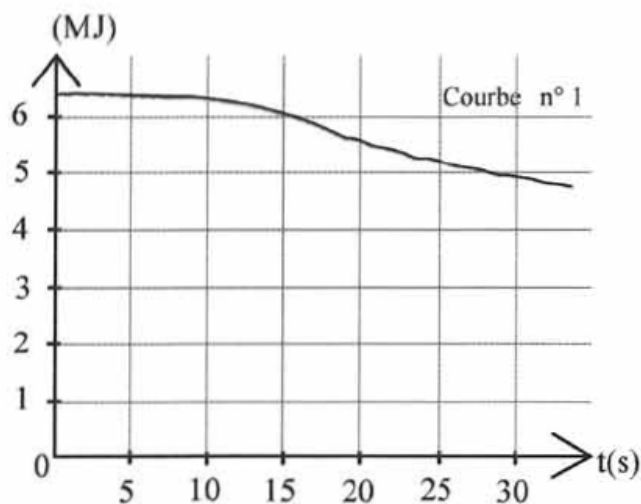
Q5 : En utilisant le théorème de l'énergie cinétique et la deuxième loi de Newton, établir l'expression de N en fonction de θ :

L

Q6 : Établir une condition sur $\frac{h}{R}$ pour que le looping soit effectué.

Désormais les hypothèses d'absence de frottement de l'air et de liaison parfaite sont abandonnées. La mise en équation est plus difficile.

Une simulation numérique de l'étude du mouvement utilisant la méthode d'Euler permet d'obtenir les courbes suivantes. Sont représentées : l'évolution au cours du temps de l'énergie cinétique $\mathcal{E}_c$, de l'énergie potentielle $\mathcal{E}_p$, de l'énergie totale $\mathcal{E}_m$ et l'évolution de la réaction normale de la gouttière sur le mobile N , pour la même simulation. L'origine de l'énergie potentielle est prise nulle au point le plus bas du looping. À l'instant $t = 0$, on abandonne le chariot au point A sans vitesse initiale.



Q7 : Pour quels travaux relevant du domaine de la physique connaissez vous Euler ? À quelle époque a-t-il vécu ?

Q8 : Associer à chaque courbe la grandeur représentée, en justifiant chacune des réponses.

Q9 : Estimer la hauteur initiale et la vitesse maximale atteinte. Vérifier que la condition trouvée à la question **Q6** est bien vérifiée.

Q10 : À quelle date le mobile quittera-t-il la gouttière ?

Q11 : Combien de tours complets a effectué le chariot dans cette simulation avant de décrocher ?

Q12 : Que se passe-t-il au moment où le mobile passe de la rampe de lancement au rail du looping ? Que faudrait-il faire pour améliorer la simulation ?