

## **Solution aqueuse, Mécanique**

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. »

### **Exercice 1: L'énergie (Extrait CAPES)**

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.

#### 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.

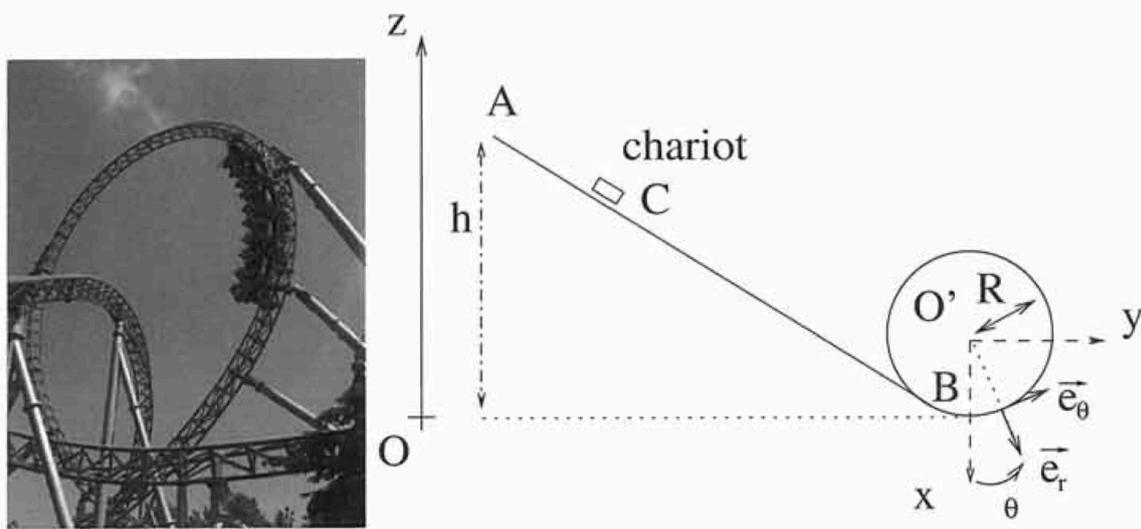


FIGURE 1 – Photo du looping et schéma du looping modélisé

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  $\theta$ .

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  $\theta$  :

**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 ?

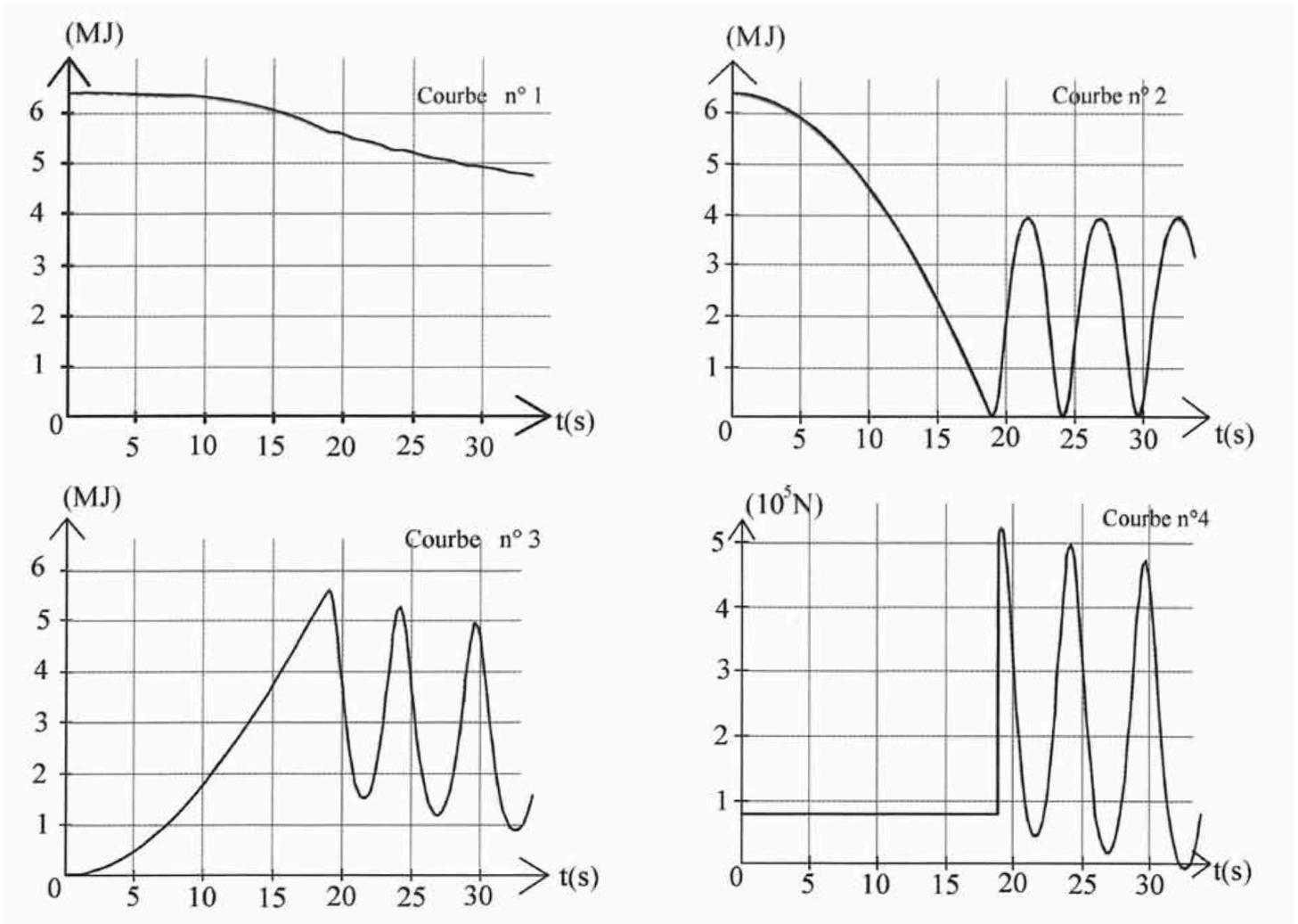
**Q8 :** Associer à chaque courbe la grandeur représentée, en justifiant chacune des réponses.

**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 ?

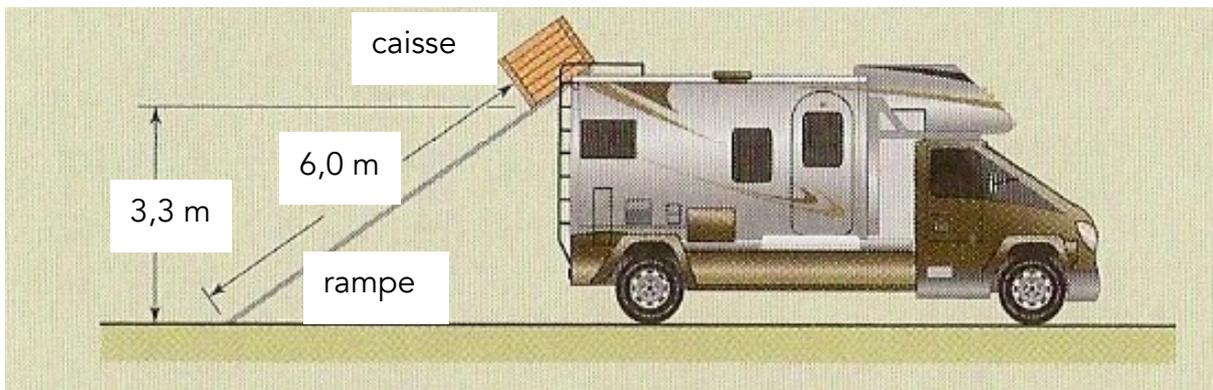


## Exercice 2 : Glissement avec et sans frottement

Une caisse glisse sur une rampe d'un camping-car. Déterminez dans les deux cas suivants, la vitesse de la caisse lorsqu'elle touche le sol si elle est lâchée sans vitesse initiale :

- a)** Il n'y a pas de frottement entre la caisse et la rampe. Discutez le résultat obtenu.
- b)** Le coefficient de frottement dynamique entre la caisse et la rampe est  $\mu = 0,32$ .

On donnera à chaque fois le résultat analytique puis l'application numérique.



### Exercice 3 : Equilibre acide-base

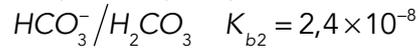
---

L'ion carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  est une dibase dans l'eau et donne l'ion hydrogencarbonate qui donne à son tour l'acide carbonique. On considère une solution de  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})}$  à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

**a)** Ecrire l'équation de réaction prépondérante mise en jeu en justifiant votre réponse.

**b)** En déduire le  $\text{pH}$  de la solution. Il faudra justifier les hypothèses éventuelles utilisées.

Données :



### Exercice 4 : Equilibre de précipitation, effet d'ion commun

---

**a)** Déterminez la solubilité en  $\text{mol.L}^{-1}$  du iodate de cuivre  $\text{Cu}(\text{IO}_3)_2(\text{s})$  dans l'eau pure. ( $K_s = 7,4 \times 10^{-8}$ )

**b)** Déterminez la solubilité en  $\text{mol.L}^{-1}$  du iodate de cuivre  $\text{Cu}(\text{IO}_3)_2(\text{s})$  dans une solution de perchlorate de cuivre  $\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2(\text{aq})$  à  $0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ . Conclusion.