

ÉPREUVE COMMUNE DE CONTRÔLE CONTINU 2024

CLASSE : Première Générale

ENSEIGNEMENT : physique-chimie

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2 h

CALCULATRICE AUTORISÉE : Oui Non

Exercice I CHIMIE Allantoïne (10 points)

L'allantoïne est un composé chimique azoté, de formule brute $C_4H_6N_4O_3$, découvert par Louis-Nicolas Vauquelin. On le trouve en particulier dans l'urine de veau ou la bave d'escargot, cependant aujourd'hui, il est synthétisé à grande échelle à partir de l'acide glyoxylique $C_2H_2O_3$ et de l'urée CH_4N_2O pour l'utiliser dans l'industrie cosmétique, car ce composé possède des propriétés adoucissantes et apaisantes. On le trouve principalement dans les produits de soins de la peau et les produits de maquillage, mais aussi dans les dentifrices, shampoings, crèmes à raser, rouges à lèvres, etc.

D'après <https://fr.wikipedia.org/wiki/Allantoïne>

L'objectif de l'exercice est d'étudier l'acide glyoxylique et l'urée, puis un protocole de synthèse de l'allantoïne au laboratoire.

Données

Données physiques de quelques espèces chimiques

Espèce chimique	Masse molaire (g/mol)	Température de fusion (°C)	Solubilité dans l'eau
Urée	60,0	134	Très soluble : 1360 g/L à 20°C
Acide glyoxylique	74,0	98	Très soluble
Allantoïne	158,1	238	Peu soluble, 150 g/L si eau bouillante 5 g/L si eau très froide
Acide sulfurique	98,1	734	Très soluble

Données de spectroscopie infrarouge

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
Liaison C – NH_2	3100 - 3500	Bande double forte
Liaison C - NH	3100 - 3500	Bande simple forte
Liaison O – H acide carboxylique	2500-3200	Bande forte à moyenne, large
Liaison C – H	2800-3000	Bande forte
Liaison C = O avec N voisin	1660 - 1685	Bande forte et fine
Liaison C = O aldéhyde et cétone	1650-1730	Bande forte et fine
Liaison C = O acide carboxylique	1680-1710	Bande forte et fine
Liaison C = C	1640-1680	Bande moyenne

Masse volumique de la solution d'acide glyoxylique à 50 % en masse : $\rho = 1,3 \text{ g.mL}^{-1}$

Valeurs d'électronégativité de quelques atomes :

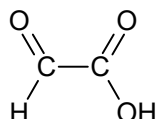
$$\chi(H) = 2,20 \quad \chi(C) = 2,55 \quad \chi(N) = 3,04 \quad \chi(O) = 3,44$$

Numéros atomiques de quelques éléments :

$$Z(H) = 1 \quad Z(C) = 6 \quad Z(N) = 7 \quad Z(O) = 8$$

À propos de l'acide glyoxylique.

L'acide glyoxylique est un solide, très utilisé dans l'industrie, de formule semi-développée :



- 1.1. Recopier sur la copie la formule semi-développée de la molécule d'acide glyoxylique et identifier les groupes caractéristiques qui la composent.
- 1.2. Représenter le schéma de Lewis de la molécule.
- 1.3. Donner, en justifiant, la géométrie de cette molécule autour de l'un ou l'autre des atomes de carbone.

2. A propos de l'ammoniac et urée

L'urée est un composé organique de formule chimique semi-développée : $\text{H}_2\text{N} - \text{CO} - \text{NH}_2$

L'urée naturelle fut découverte en 1773 par le pharmacien Hilaire Rouelle. Formée dans le foie, à partir de l'ammoniac, NH_3 , provenant de la dégradation d'acides aminés, l'urée naturelle est éliminée au niveau des reins par l'urine.

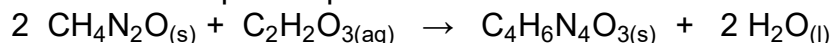
En 1828, le chimiste allemand Friedrich Wöhler réussit à synthétiser en laboratoire l'urée, molécule dite « organique » à l'époque, à partir d'ammoniac. On considérait avant cette synthèse que les molécules « organiques » ne pouvaient provenir que de constituants ou de dérivés d'organismes vivants habités par la « force vitale » (*vis vitalis*). Cette date, gravée dans l'histoire, est retenue comme étant celle fondatrice de la chimie organique.

D'après <http://www.societechimiquedefrance.fr/uree.html>

- 2.1. Donner la configuration électronique de l'azote N et de l'hydrogène H. En déduire la géométrie de la molécule d'ammoniac. Représenter la molécule d'ammoniac.
- 2.2. Justifier le caractère polaire de la molécule d'ammoniac.

3. Synthèse de l'allantoïne

Une voie de synthèse de l'allantoïne s'effectue à partir d'urée et d'acide glyoxylique et peut être modélisée par une réaction chimique d'équation suivante :



Le protocole expérimental d'une synthèse de l'allantoïne, réalisée au laboratoire, est décrit ci-après :

- a. Placer un barreau aimanté dans un erlenmeyer de 100 mL puis, à l'aide d'un entonnoir à solide, verser 13,6 g d'urée et 10,0 mL de solution aqueuse d'acide glyoxylique à 50% en masse. Agiter jusqu'à l'obtention d'une solution limpide. Introduire lentement 1,5 mL d'acide sulfurique concentré, sous agitation magnétique. L'acide sulfurique a pour rôle d'accélérer la réaction. Adapter un réfrigérant ascendant.
- b. Placer l'erlenmeyer dans un bain-marie. Maintenir l'agitation, le chauffage et l'ébullition de l'eau du bain-marie pendant 45 minutes. Le milieu réactionnel se trouble au bout de 15 à 20 minutes avec l'apparition d'un précipité blanchâtre.
- c. Plonger ensuite le bécher dans de la glace pendant quelques minutes. Récupérer le solide à l'aide d'un dispositif de filtration sous vide de type Büchner.
- d. Laver avec suffisamment d'eau glacée. Sécher à l'étuve le temps nécessaire.
- e. Peser le solide obtenu.

3.1. Associer aux différentes étapes (a, b, c, d, e) mises en oeuvre les différentes étapes d'un protocole de synthèse : transformation ; séparation, purification, analyse.

3.2. Préciser Expliquer l'apparition progressive du précipité blanchâtre.

3.3. Justifier l'utilisation de la glace dans l'étape c.

3.4. Justifier l'intérêt de laver à l'étape d du protocole, le solide obtenu avec suffisamment d'eau glacée.

3.5. Déterminer le rendement de la synthèse ainsi effectuée, sachant que la masse d'allantoïne sèche obtenue vaut $m = 8,60$ g.

Exercice II PHYSIQUE Etude d'une montagne russe (10 points)

Le Blue FireMegacoaster est une attraction de type montagnes russes située dans un parc d'attraction. Elle détient le record du plus haut looping d'Europe sur des montagnes russes lancées.

Dans cette attraction le train est lancé, c'est-à-dire qu'un moteur linéaire lui procure l'énergie cinétique nécessaire pour parcourir l'ensemble de l'attraction avant la première bosse.



Source : d'après <https://www.europapark.de/fr>

L'objectif de cet exercice est de vérifier la cohérence de certaines informations fournies par le constructeur de l'attraction et notamment d'apporter un regard critique sur la précision des données fournies.

Quelques informations :

La trajectoire que parcourt le train jusqu'au sommet de la première montée est la suivante :
Le schéma est représenté sans souci d'échelle.



Le train est initialement immobilisé au point A avec la vitesse initiale $v_0 = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Grâce à un moteur linéaire électrique il est accéléré, sur une piste horizontale, par une force constante entre les points A et B pendant une durée $\Delta t = 2,5 \text{ s}$ pour atteindre sa vitesse maximale v_{\max} au point B. À partir du point C, il parcourt la première montée pour atteindre son sommet au point D à une hauteur $h = 38 \text{ m}$ au-dessus de la piste de lancement.

On considère, en première approximation, que les frottements sont négligeables.

- Quelques caractéristiques de l'attraction :

Masse du train	$m = 10 \text{ t}$
Puissance du moteur linéaire	$P = 1,5 \text{ MW}$
Durée de lancement	$\Delta t = 2,5 \text{ s}$
Vitesse maximale	$v_{\max} = 100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
Hauteur maximale de l'attraction (par rapport à la piste de lancement)	$h_{\max} = 38 \text{ m}$

Sources : d'après <https://www.europapark.de/fr/attractions/blue-fire-megacoaster-powered-gazprom>
<http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fwww.europapark.de%2Flang-fr%2Fc51%2Fm242%2Fd459%2Fdefault.html>

Données :

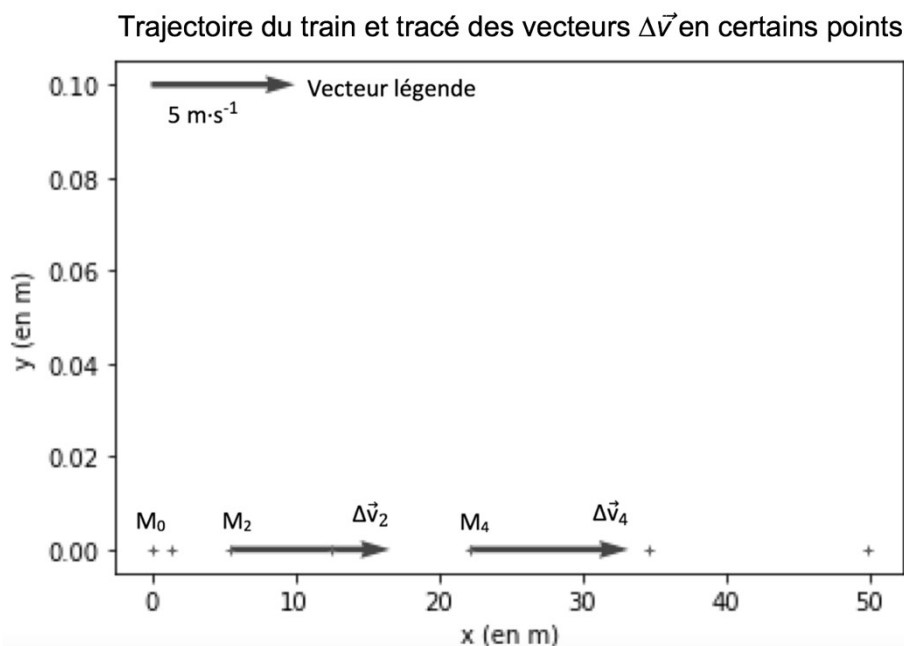
- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- le niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur est choisi pour l'altitude $y = 0$: $E_{pp}(A) = 0 \text{ J}$.

1.Simulation de la propulsion du train

Afin d'illustrer la phase de lancement, le programme suivant écrit en langage Python permet de simuler la trajectoire du train ainsi que de tracer les vecteurs variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ en quelques points de cette trajectoire sur une durée Δt . Le modèle utilisé formule l'hypothèse d'un mouvement à accélération constante.

```
1 # Modélisation de la trajectoire d'un train de parc d'attraction
2 # lors de son lancement
3
4 # Importation de librairie
5 import matplotlib.pyplot as plt
6
7 # Déclaration des listes de coordonnées
8 x,v_x,Dv_x = [],[],[]
9 y = [0,0,0,0,0,0,0]
10
11 # Durée entre chaque point de la trajectoire
12 Dt = 0.5
13
14 # Calcul des coordonnées des points par modélisation
15 for k in range(0,7):
16     t = k*Dt
17     x.extend([5.54*t**2])
18
19 # Représentation des points de la trajectoire
20 plt.plot(x, y, '+', markersize=4)
21
22 # Calcul des coordonnées des vecteurs vitesse et vecteurs variation de vitesse en chaque point
23 for k in range(0,6):
24     v_x.extend([...])
25 for k in range(0,5):
26     Dv_x.extend([(v_x[k+1]-v_x[k])])
27
28 # Tracé des vecteurs variation de vitesse aux points M2 et M4
29 facteur = 2 # Facteur d'échelle des vecteurs
30 plt.quiver(x[2],y[2], Dv_x[2]*facteur, 0, color="blue", scale=1, scale_units='xy')
31 plt.quiver(x[4],y[4], Dv_x[4]*facteur, 0, color="blue", scale=1, scale_units='xy')
32 # Tracé d'un vecteur légende pour les vecteurs variation de vitesse
33 plt.quiver(0,0.1, 5*facteur, 0, color="blue", scale=1, scale_units='xy')
34
35 #Configurer l'aspect du graphique
36 plt.xlabel("x (en m)")
37 plt.ylabel("y (en m)")
38 plt.title("Trajectoire du train et vecteurs  $\Delta v$  en certains points")
39
```

La fenêtre suivante présente le résultat obtenu :



1.1. Compléter la ligne 24 du programme de simulation en modifiant la partie entre les crochets [...] afin de calculer les coordonnées $v_x[k]$ des vecteurs vitesses aux différents points de la trajectoire.

1.2. Déterminer graphiquement les valeurs Δv_2 et Δv_4 des normes des vecteurs $\Delta \vec{V}$ aux points M_2 et M_4 .

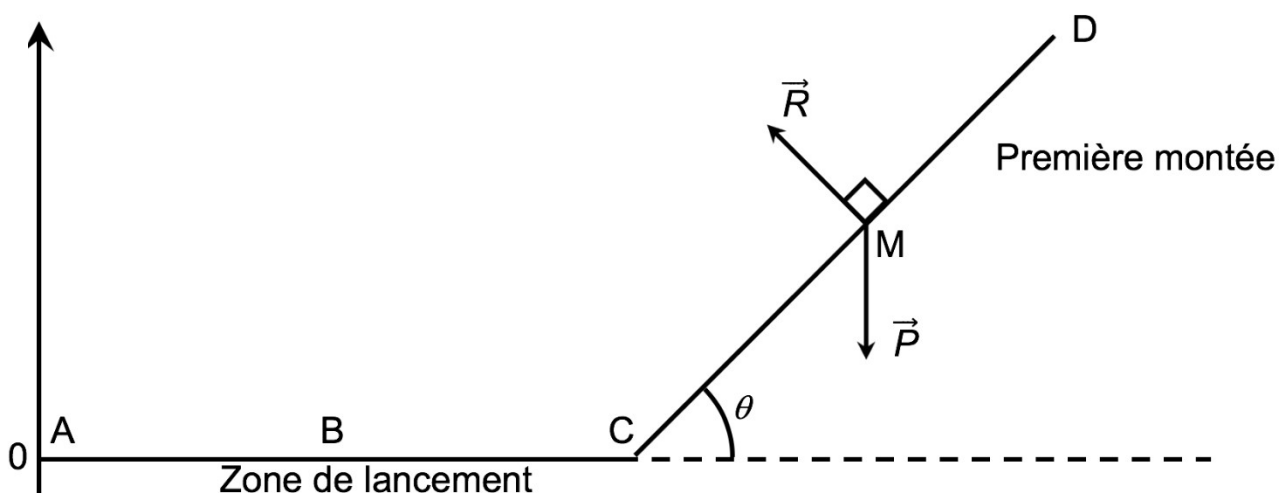
1.3. Expliquer comment semble évoluer le vecteur $\Delta \vec{V}$ au cours de la phase de lancement du train.

1.4. Donner la relation entre le vecteur accélération du train et la somme des forces extérieures $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ qui s'appliquent sur celui-ci.

1.5. En déduire les caractéristiques du vecteur $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$.

2. Étude du train lors de la première ascension

Une modélisation simplifiée de la trajectoire du train, considéré comme un point matériel M, entre les points A et D peut être donnée par le schéma suivant, représenté sans souci d'échelle.



On considère la première montée CD comme rectiligne et faisant un angle $\theta = 45^\circ$ avec l'horizontale.

Le poids est une force conservative.

2.1. Exprimer le travail $W_{CD}(\vec{P})$ du poids sur le trajet CD en fonction de \overline{CD} et de \vec{P} puis montrer que $W_{CD}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (y_C - y_D)$.

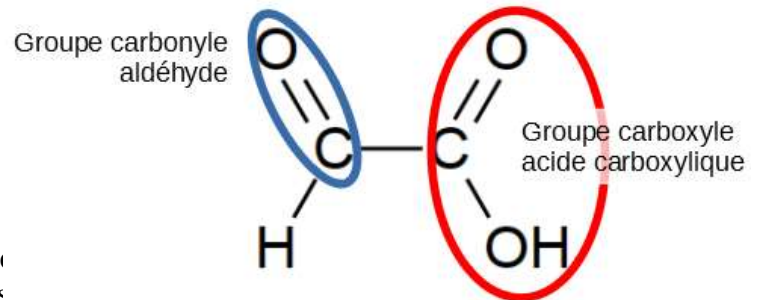
2.2. Donner la valeur du travail $W_{CD}(\vec{R})$ de la force de réaction des rails lors de la première montée. Justifier.

2.3. Établir l'expression de l'altitude maximale h_{max} que pourrait atteindre le train en l'absence de frottements puis calculer sa valeur. Commenter.

Exercice I CHIMIE Allantoïne (10 points)

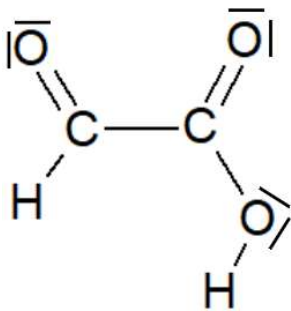
1. À propos de l'acide glyoxylique.

1.1. Recopier sur la copie la formule semi-développée de la molécule d'acide glyoxylique et identifier les groupes caractéristiques qui la composent.



1.2. Représenter le schéma de Lewis de la molécule

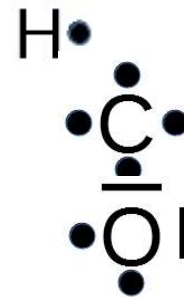
On commence par réaliser la représentation de Lewis



Hydrogène : $Z=1 \rightarrow 1s^1 \rightarrow$

Carbone : $Z=6 \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^2 \rightarrow$

Oxygène : $Z=8 \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^4 \rightarrow$



1.3. Donner, en justifiant, la géométrie de cette molécule autour de l'un ou l'autre des atomes de carbone.

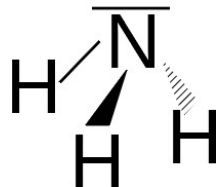
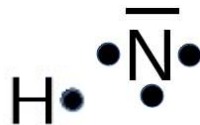
Chacun des deux atomes est lié de la même façon avec 2 liaisons covalentes simples et une liaison double, cela aboutit à une géométrie triangulaire plane.

2. À propos de l'ammoniac et urée

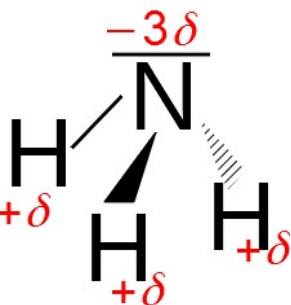
2.1. Donner la configuration électronique de l'azote N et de l'hydrogène H. En déduire la géométrie de la molécule d'ammoniac

Azote : $Z=7 \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^3 \rightarrow$

Hydrogène : $Z=1 \rightarrow 1s^1 \rightarrow$



La géométrie de la molécule d'ammoniac est donc pyramidale, le doublet non liant de l'azote repoussant ses 3 liaisons covalentes simples vers le bas.



2.2. Justifier le caractère polaire de la molécule d'ammoniac

Les atomes d'azote et d'hydrogène ont des électronégativités différentes : $\chi(N) > \chi(H)$, de fait chacune des liaisons covalentes est polarisée, des charges partielles $+\delta$ sont présentes sur les atomes d'hydrogène et une charge partielle -3δ se trouve sur l'atome d'azote.

Du fait de sa géométrie pyramidale, le centre géométrique des charges positives n'est pas confondu avec le centre géométrique des charges négatives, ce qui implique que la molécule d'ammoniac est polaire.

3. Synthèse de l'allantoïne

3.1.

La transformation correspond aux étapes pendant laquelle le produit se forme, ce sont les étapes a et b.

La séparation est l'étape durant laquelle le produit est séparé des autres substances : c'est l'étape c.

La purification correspond à l'étape d (on lave le produit des impuretés).

L'analyse correspond à l'étude des produits obtenus, c'est l'étape e.

3.2.

Le précipité blanchâtre correspond à l'allantoïne. Il n'apparaît pas tout de suite car il est relativement soluble dans l'eau chaude ($150 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), ce qui fait que l'allantoïne produite au début reste en solution. Une fois la concentration en allantoïne suffisamment élevée, la solution devient saturée, l'allantoïne commence à précipiter.

3.3. L'allantoïne est soluble dans l'eau bouillante, si on ne refroidit pas le mélange, une grande partie du produit restera dissoute en solution et sera perdue. En refroidissant le mélange (dans la glace) la fraction restée en solution précipite à son tour, permettant de la récupérer.

3.4. Justifier l'intérêt de laver à l'étape d du protocole, le solide obtenu avec suffisamment d'eau glacée.

Dans la solution, l'allantoïne est mélangée à de l'acide sulfurique et au réactif en excès.

Il convient donc de l'en séparer. Ces produits sont tous solubles dans l'eau glacée, contrairement à l'allantoïne. En rinçant à l'eau glacée on retire les substances indésirables en minimisant les pertes en allantoïne.

3.5. Déterminer le rendement de la synthèse ainsi effectuée, sachant que la masse d'allantoïne sèche obtenue vaut $m = 8,60 \text{ g}$.

Pour calculer le rendement η de la synthèse, il faut d'abord déterminer la quantité théorique de matière d'allantoïne que l'on pourrait récupérer.

Quantités initiales de matière en réactifs :

$$\text{Urée} : n_{\text{urée}} = \frac{m_{\text{urée}}}{M_{\text{urée}}} \quad n_{\text{urée}} = \frac{13,6}{60,0} = 0,227 \text{ mol}$$

Acide glyoxylique :

La masse totale de la solution d'acide glyoxylique a pour expression $m_{\text{Sol}} = \rho \cdot V$
avec $V = 10,0 \text{ mL}$ et $\rho = 1,3 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

La solution est indiquée à 50% en masse, donc seulement 50% de la masse de la solution est de l'acide glyoxylique.

$$m_{\text{gly}} = \frac{50}{100} \cdot m_{\text{Sol}}$$

Enfin la relation entre quantité de matière et masse est $n_{\text{gly}} = \frac{m_{\text{gly}}}{M_{\text{gly}}}$.

$$n_{\text{gly}} = \frac{50}{100} \times \frac{m_{\text{sol}}}{M_{\text{gly}}} = \frac{0,50 \times \rho \cdot V}{M_{\text{gly}}} \quad n_{\text{gly}} = \frac{0,50 \times 1,3 \times 10,0}{74,0} = 8,8 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

On détermine le réactif limitant de la synthèse.

L'équation $2 \text{ CH}_4\text{N}_2\text{O}_{(s)} + \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_{3(aq)} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_{3(s)} + 2 \text{ H}_2\text{O}_{(l)}$ nous indique qu'il faut 2 fois plus d'urée que d'acide glyoxylique, or $n_{\text{urée}} > 2 \cdot n_{\text{gly}}$. L'acide glyoxylique est donc le réactif limitant et il se formera en théorie autant d'allantoïne qu'il y a d'acide glyoxylique initialement.

On peut donc dire que $n_{\text{allantoïne}}(\text{th}) = n_{\text{gly}} = 8,78 \times 10^{-2} \text{ mol}$

On détermine la quantité réelle $n_{\text{allantoïne}}(\text{réel}) = \frac{m}{M_{\text{allantoïne}}} \quad n_{\text{allantoïne}}(\text{réel}) = \frac{8,60}{158,1} = 5,44 \times 10^{-2} \text{ mol}$

Finalement on obtient le rendement $\eta = \frac{n_{\text{allantoïne}}(\text{réel})}{n_{\text{allantoïne}}(\text{th})} \quad \eta = \frac{5,44 \times 10^{-2}}{8,8 \times 10^{-2}} = 0,62 = 62 \%$

Exercice II PHYSIQUE Etude d'une montagne russe (10 points)

1.1. Compléter la ligne 24 du programme de simulation en modifiant la partie entre les crochets [...] afin de calculer les coordonnées $v_x[k]$ des vecteurs vitesses aux différents points de la trajectoire.

Il s'agit de faire calculer la vitesse qui est le rapport d'une distance sur une durée :

Soit $v_x.extend([(x[k+1]-x[k])/(t[k+1]-t[k])])$

1.2. Déterminer graphiquement les valeurs Δv_2 et Δv_4 des normes des vecteurs $\Delta \vec{v}$ aux points M_2 et M_4 .

$\Delta \vec{v}_2$ correspond à une flèche de 1,9 cm, or on a une échelle de 5 m.s^{-1} pour 1,8 cm

$$\text{Soit } \|\Delta \vec{v}_2\| = \frac{1,9 \times 5}{1,8} = 5,3 \text{ m.s}^{-1}.$$

$\Delta \vec{v}_4$ correspond à 1,9 cm, or on a une échelle de 5 m.s^{-1} pour 1,8 cm

$$\text{Soit } \|\Delta \vec{v}_4\| = \frac{1,9 \times 5}{1,8} = 5,3 \text{ m.s}^{-1}.$$

1.3. Expliquer comment semble évoluer le vecteur $\Delta \vec{v}$ au cours de la phase de lancement du train.

Le vecteur variation de vitesse semble avoir une valeur (norme) constante : la vitesse augmente de façon régulière. Le mouvement semble uniformément accéléré.

1.4. Donner la relation approchée entre le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ du train et la somme des forces extérieures $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ qui s'appliquent sur celui-ci.

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

1.5. En déduire les caractéristiques du vecteur $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$.

La somme des forces extérieures $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ est modélisée par un vecteur de **direction** colinéaire au vecteur $\Delta \vec{v}$, et de même sens que $\Delta \vec{v}$.

$\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ est donc orientée dans le **sens** du mouvement.

Sa **valeur** est $\|\sum \vec{F}\| = m \cdot \frac{\|\Delta \vec{v}\|}{\Delta t}$ avec $m = 10 \text{ t} = 10 \times 10^3 \text{ kg}$ $\|\Delta \vec{v}\| = 5,3 \text{ m.s}^{-1}$ $\Delta t = 0,5 \text{ s}$

$$\|\sum \vec{F}\| = 10 \times 10^3 \times \frac{5,3}{0,5} = 1,1 \times 10^5 \text{ N}$$

2. Étude du train lors de la première ascension

2.1. Exprimer le travail $W_{CD}(\vec{P})$ du poids sur le trajet CD en fonction de \overline{CD} et de \vec{P} puis montrer que $W_{CD}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (y_C - y_D)$.

$$W_{CD}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overline{CD}$$

On définit un repère (Oxy) avec Ox horizontal orienté vers la droite et Oy vertical orienté vers le haut. Dans ce repère, on a $\vec{P} \begin{pmatrix} 0 \\ -m \cdot g \end{pmatrix}$ et $\overline{CD} \begin{pmatrix} x_D - x_C \\ y_D - y_C \end{pmatrix}$

$$W_{CD}(\vec{P}) = 0 \cdot (x_D - x_C) + (-m \cdot g) \cdot (y_D - y_C) = -m \cdot g \cdot (y_D - y_C) = m \cdot g \cdot (y_C - y_D).$$

2.2. Donner la valeur du travail $W_{CD}(\vec{R})$ de la force de réaction des rails lors de la première montée. Justifier.

$$W_{CD}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \overline{CD} = \|\vec{R}\| \cdot \|\overline{CD}\| \cdot \cos(\vec{R}, \overline{CD})$$

La force de réaction des rails \vec{R} est perpendiculaire au déplacement \overline{CD} .

$$W_{CD}(\vec{R}) = \|\vec{R}\| \cdot \|\overline{CD}\| \cdot \cos 90^\circ = 0 \text{ J}$$

2.3. Établir l'expression de l'altitude maximale h_{max} que pourrait atteindre le train en l'absence de frottements puis calculer sa valeur. Commenter.

Entre C et D on néglige les frottements, l'énergie mécanique du train se conserve :

$$E_m(C) = E_m(D)$$

$$E_c(C) + E_{pp}(C) = E_c(D) + E_{pp}(D)$$

Le niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur est choisi pour l'altitude $y = 0$ donc $E_{pp}(C) = 0 \text{ J}$.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_C^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_D^2 + m \cdot g \cdot h_{max}$$

$$v_C = v_{max} = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \text{ et } v_D = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{max}^2 = m \cdot g \cdot h_{max}$$

$$\frac{1}{2} \cdot v_{max}^2 = g \cdot h_{max}$$

$$h_{max} = \frac{v_{max}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{max} = \frac{\left(\frac{100}{3,6}\right)^2}{2 \times 9,81} = 39,3 \text{ m}$$

On retrouve une valeur voisine de celle donnée par le fabricant (38 m), il existe quelques frottements que nous avons négligé ici.