Physique – Chimie DS n°

Nom et prénom : .... Classe :

Note	Observations :
/	

S'approprier (APP)	Analyser (ANA)	Réaliser (REA)	Valider (VAL)	Communiquer COM)
A : Acquis ; B : en cours d'acquisition ; C : difficultés d'acquisition ; D : non acquis				

Le curling est un sport de précision apparu au XVI^{e} siècle en Écosse et pratiqué sur la glace avec de lourdes pierres en granite poli. Il se joue sur une piste de glace horizontale sur laquelle est dessinée une cible, appelée la « maison » (figure 1). Le but est de placer les pierres le plus près possible du centre de la cible.

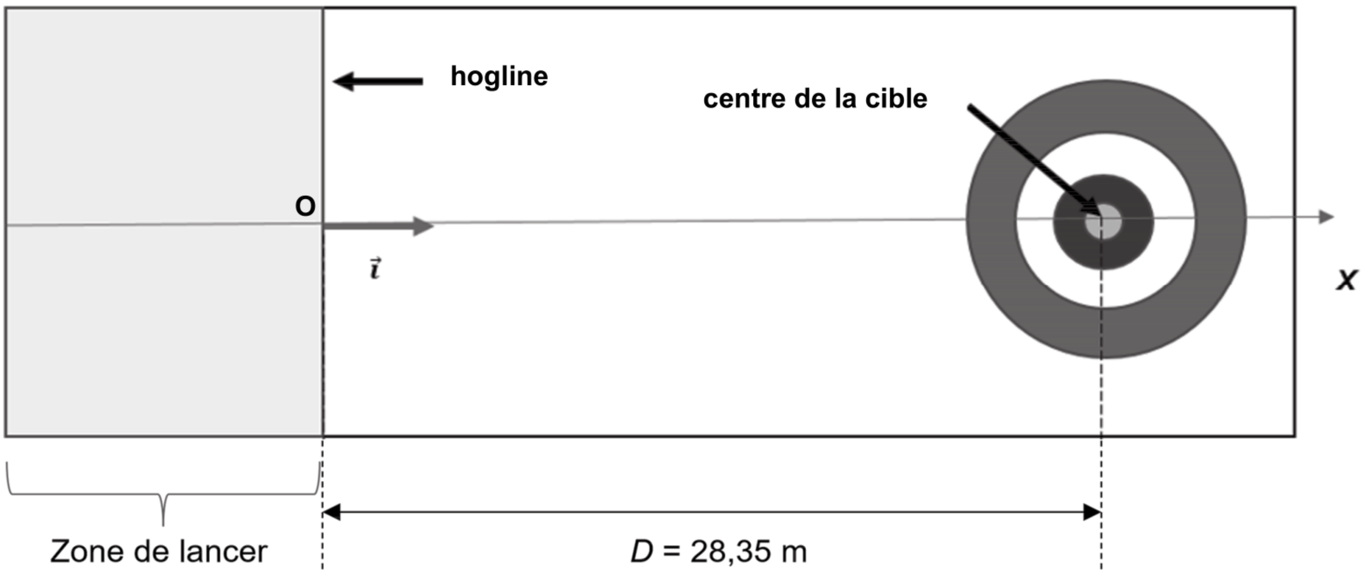

Figure 1. Le schéma de la piste en vue de dessus (échelle non respectée)

La pierre est poussée par un joueur (figure 2) dans la zone de lancer et doit être lâchée avant la « hogline » (au point O) pour ne plus être touchée ensuite, sinon elle est immédiatement retirée du jeu. Une fois la pierre lâchée, les joueurs peuvent balayer la piste devant la pierre (figure 3) ce qui a pour conséquence de réduire les frottements.

Figure 2. Phase de lancer. (F. Seguin/L'Équipe)

Figure 3. Deux joueurs balaient la glace devant la pierre qui glisse.© KARL-JOSEF HILDENBRAND / DPA / dpa Picture-Alliance/AFP

Données :

- masse d'une pierre : m = 20 kg ;
- on note μ = 0,020 le coefficient de frottement entre la glace et la pierre. La force de frottement $\vec{f}$ a pour norme $f = \mu \cdot R_n$, $\vec{R_n}$ étant la réaction verticale de la piste sur la pierre et R_n sa norme ;
- intensité du champ de pesanteur : g = 9,8 m·s^{-2}.

Dans tout l'exercice, on néglige les frottements de l'air et on suppose que la trajectoire de la pierre est rectiligne suivant l'axe (Ox).

La pierre est initialement immobile. Le joueur pousse la pierre jusqu'à la date t_1 = 2,0 s en exerçant une force horizontale dans le sens des x croissants ; la norme de cette force est supposée constante, sa valeur est estimée à F = 35 N. Après cette phase de lancer, la pierre est lâchée au point O de la hogline, origine du repère d'espace.

Q1. **<u>Pendant la phase de lancer</u>**, effectuer le bilan des quatre forces appliquées au système {pierre}. Calculer la valeur de la norme de <u>chacune d'elles</u> sachant que les deux forces verticales se compensent.

- $\vec{P}$ poids $P = m \times g = 20 \times 9{,}8 = 196$ N
- $\vec{F}$ force du lanceur $F = 35$ N
- $\vec{R_N}$ Réaction normale de la piste $R_N = P = 196$ N
- $\vec{f}$ frottements avec la glace $f = \mu R_N = 0{,}020 \times 196 = 3{,}92$ N

Q2. Compléter le schéma ci-dessous de la pierre sur la piste horizontale et y représenter ces forces sans souci d'échelle.

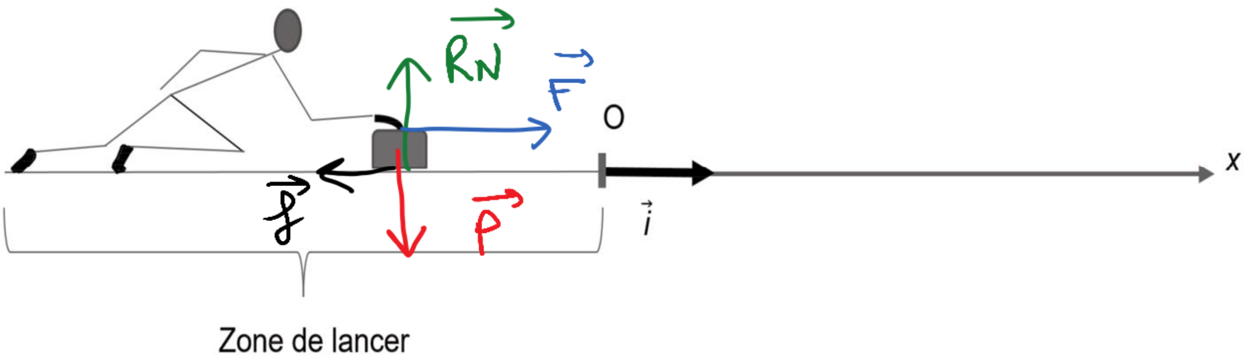

Figure 4. Phase de lancer

Q3 En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que l'expression vectorielle de l'accélération de la pierre est : $\vec{a} = \frac{F-f}{m}\vec{i}$. En déduire la nature du mouvement de la pierre durant cette phase de lancer.

Système : la Pierre   Référentiel : terrestre supposé galiléen

2e loi de Newton $m\vec{a} = \underbrace{\vec{P} + \vec{R_N}} + \vec{f} + \vec{F}$

$m\vec{a} = \vec{0} + \vec{f} + \vec{F}$

$m\vec{a} = -f\vec{i} + F\vec{i} = (F-f)\vec{i}$

$\vec{a} = \frac{F-f}{m}\vec{i}$ $\|\vec{a}\| = cte$

$\Rightarrow$ mvt Rectiligne uniformément accéléré

Q4 En déduire que la valeur de la vitesse de la pierre en O est $V_0 = \frac{F-\mu mg}{m} \times t_1$ et calculer sa valeur.

$\begin{cases} a_x = \frac{F-f}{m} = \frac{dV_x}{dt} \\ a_y = 0 = \frac{dV_y}{dt} \end{cases}$ $\xRightarrow{\text{PRIMITIVE}}$ $V_x(t) = \frac{F-f}{m}t + cte_1$

$V_y(t) = cte_2$

A $t=0$, $V_x(0) = 0 \Rightarrow 0 = \frac{F-f}{m} \times 0 + cte_1 \Rightarrow cte_1 = 0$

$V_y(0) = 0 \Rightarrow 0 = cte_2$

Donc $V_x(t) = \frac{F-f}{m}t$ Or $f = \mu R_N = \mu P = \mu mg$

$V_x(t) = \frac{F-\mu mg}{m}t$

$V_0 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{V_x(t_1)^2 + V_y(t_1)^2} = \frac{F-\mu mg}{m}t_1$

$V_0 = \frac{35 - 0{,}020 \times 20 \times 9{,}8}{20} \times 2 = 3{,}1$ m/S

Dans les questions **Q5**, **Q6 et Q7**, on considère que les joueurs ne balaient pas la glace et que le frottement ne change pas. La vitesse initiale V_0 est celle calculée en **Q4**.

Q5 Après le **point O** (origine du repère), quelles sont les forces encore présentes lors du mouvement de la pierre qui glisse sur la glace ?

Il reste le poids $\vec{P}$, les frottements $\vec{f}$ et la Reaction normale du sol $\vec{R_N}$.

Q6 Etablir les équations horaires de la **vitesse** et de la **position** après le lancer.

2e loi Newton $m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R_N} + \vec{f}$

$$\begin{cases} m a_x = -f \\ m a_y = -P + R_N = 0 \end{cases}$$ car mouvement selon Ox

$$\begin{cases} a_x = -\frac{f}{m} = \frac{dV_x}{dt} \xrightarrow{\text{PRIMITIVE}} V_x(t) = -\frac{f}{m}t + cte_1 \\ a_y = 0 = \frac{dV_y}{dt} \Longrightarrow V_y(t) = cte_2 \end{cases}$$

A $t=0$: $V_x(0) = V_0 \Rightarrow -\frac{f}{m}\times 0 + cte_1 = V_0 \Rightarrow \boxed{cte_1 = V_0}$

$V_y(0) = 0 \Rightarrow 0 = cte_2$

Donc $$\begin{cases} V_x(t) = -\frac{f}{m}t + V_0 = \frac{dx}{dt} \xRightarrow{\text{PRIMITIVE}} x(t) = -\frac{f}{m}\frac{t^2}{2} + V_0 t + cte_3 \\ V_y(t) = 0 = \frac{dy}{dt} \Rightarrow y(t) = cte_4 \end{cases}$$

A $t=0$ $x(0) = 0 = -\frac{f}{m}\times\frac{0^2}{2} + V_0\times 0 + cte_3 \Rightarrow cte_3 = 0$

$y(0) = 0 = cte_4$

Donc $$\begin{cases} x(t) = -\frac{f}{m}\frac{t^2}{2} + V_0 t \\ y(t) = 0 \end{cases}$$

Q7 Montrer avec la question **Q6** que $d = \frac{v_0^2}{2\mu g}$ avec *d*, la distance par rapport à l'origine O du repère à laquelle **s'immobilise la pierre**. Déterminer la valeur numérique de *d*.

Quand $x = d$ la pierre s'arrête $\Rightarrow V_x(t_a) = 0$

$\Rightarrow -\frac{f}{m}t_a + V_0 = 0 \Rightarrow \boxed{t_a = \frac{V_0 m}{f}}$

que l'on injecte dans $x(t_a) = d$

$$d = -\frac{f}{2m}\left(\frac{V_0 m}{f}\right)^2 + V_0\times\left(\frac{V_0 m}{f}\right)$$

$$d = -\frac{\cancel{f}V_0^2 m^{\cancel{2}}}{2\cancel{m}f^{\cancel{2}}} + \frac{V_0^2 m}{f} = -\frac{V_0^2 m}{2f} + \frac{2\times V_0^2 m}{2\times f}$$

$$d = \frac{V_0^2 m}{2f} \quad \text{Or } f = \mu R_N = \mu m g$$

$$d = \frac{V_0^2 \cancel{m}}{2\mu \cancel{m} g} = \frac{V_0^2}{2\mu g} = \frac{3{,}1^2}{2\times 0{,}020\times 9{,}8} = 24{,}6 \text{ m}$$

Dans le cadre de ce modèle, on simule l'évolution de la valeur de la vitesse v de la pierre en fonction de sa position x (sans balayage de la piste). On obtient le graphe suivant, les mesures se faisant à intervalles de temps constants :

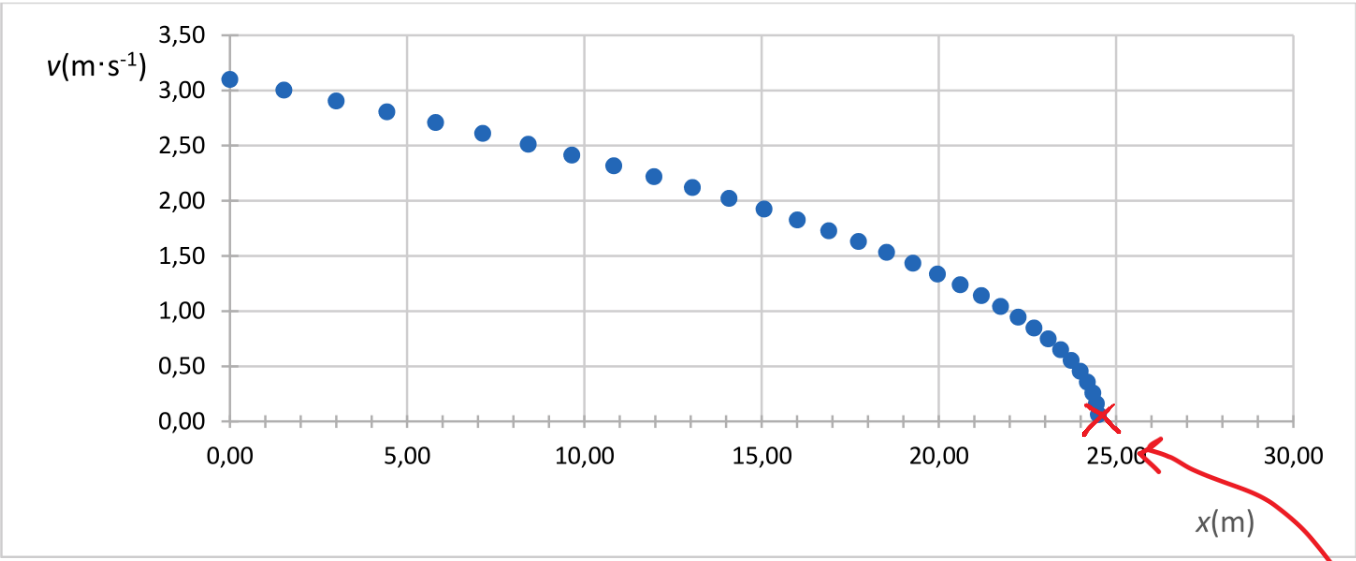

Figure 5. Simulation de l'évolution de la valeur de la vitesse v de la pierre en fonction de sa position x (sans balayage)

Q8 Montrer que le résultat obtenu à la question **Q7** est cohérent avec la courbe de la figure 5. Justifier la nécessité de balayer devant la pierre.

La courbe montre que la pierre s'arrête en $x = 24,5$ m

C'est cohérent avec Q7.

Si on veut atteindre le centre de la cible à 28,35m il faut diminuer les frottements donc balayer pour aller plus loin.

En pratique, les joueurs balaient certaines parties de la piste. Pour rendre compte de cela, on adapte le modèle et on obtient le graphe ci-dessous.

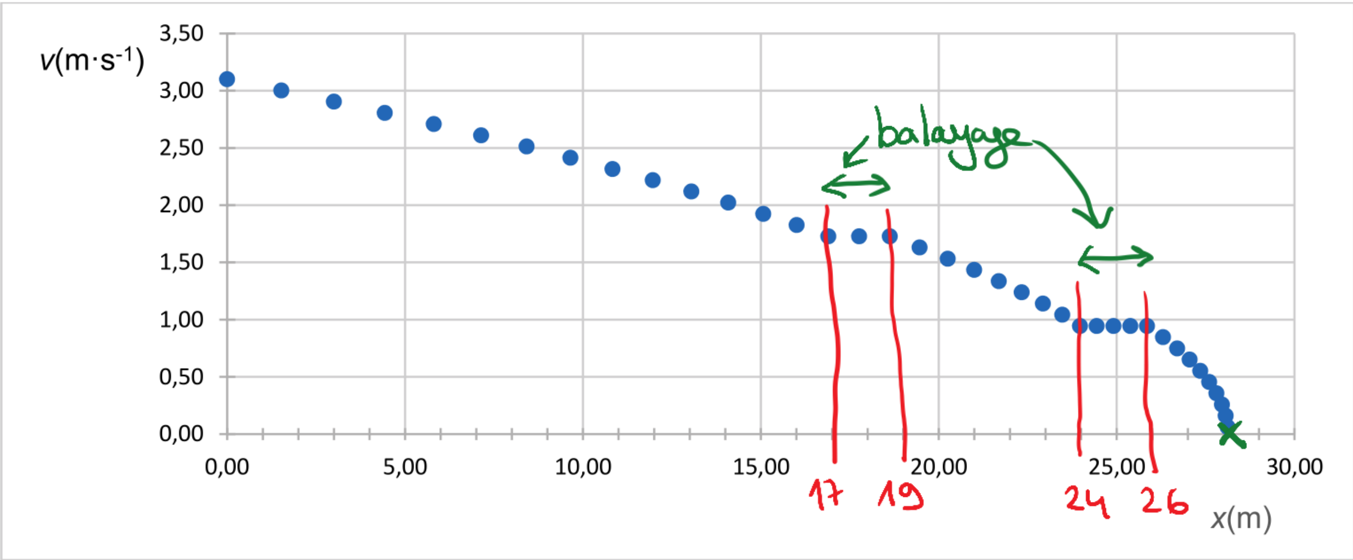

Figure 6. Simulation de l'évolution de la valeur de la vitesse *v* de la pierre en fonction de sa position *x* (avec balayage)

Q9. Estimer les positions des zones de la piste où les joueurs ont balayé devant la pierre. En déduire si le balayage a ou non permis aux joueurs d'atteindre leur objectif.

Entre 17m et 19 m et entre 24m et 26 m
la vitesse est quasi constante car il y a moins de frottements
donc ce sont des zones de balayage.
D'après la courbe, la pierre s'arrête à 28,1m
soit très proche du centre de la cible.