

## Transfert d'énergie, après un départ canon, à bord d'un train ... Ferrari

**Doc 1 :** Un airtime est la sensation d'impesanteur, donnant l'impression de tomber dans le vide, de perdre l'équilibre, d'être allégé. Sur des montagnes russes, l'accélération, ressentie lors d'une descente brutale par exemple, donne l'impression de la réduction de la gravité par rapport à celle de la terre. Les air-times sont, en effet, causés par l'inertie du train et de ses passagers. Quand le train a passé une bosse et descend, la force qui tire le véhicule vers le bas, fait décoller les passagers de leurs sièges un bref instant. L'importance d'un airtime dépend de la vitesse du train et du rayon de l'arc décrit par la voie.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Airtime>

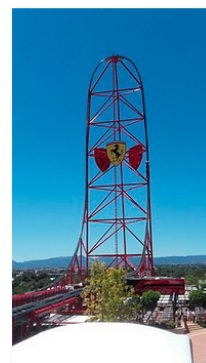
**Doc 2 :** Red Force est un parcours de montagnes russes, qui avec une vitesse maximale atteinte de 180 km/h après catapultage magnétique, est le plus rapide et le plus haut d'Europe, culminant à 112 mètres de haut par rapport à la piste de lancement.

Le parcours fait 880 mètres de long. Les trains sont composés de 3 wagons de 4 places, accueillant 12 personnes chacun. Ces montagnes russes ont été inaugurées le 7 avril 2017, en même temps que le parc Ferrari Land.



L'accélération dure 5 secondes puis le train franchit la tour principale de 112 m de haut.

Juste avant d'atteindre le sommet, le train amorce une rotation de 90° (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre).



Une fois arrivé en haut, que l'on appelle aussi "Top hat", le train atteint sa vitesse minimale (30 km/h) et enchaîne par une nouvelle rotation de 90° puis une descente, offrant un airtime aux passagers.

Une fois en bas de la tour, à la même altitude que la piste de lancement, le train atteint la vitesse de 172 km/h, avant de subir un freinage et enchaîner avec une petite bosse, puis ralentit définitivement en douceur.

Le train enchaîne alors un petit virage en "U" et revient dans la station.

L'attraction dure au total 30 s.

Dans de rares occasions, ou s'il est question de météo ou de poids, le train peut subir un phénomène appelé rollback, c'est-à-dire qu'il n'a pas assez de vitesse pour franchir le sommet de la tour principale.

Dans ce cas-là, le train revient en arrière !

Mais il a été prévu, sur la zone de lancement, un système de freinage, ralentissant le train avant de le faire revenir en station puis de le faire repartir.

Le parc avertit ses visiteurs sur ce phénomène extrême, provoquant des sensations uniques.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Red\\_Force](https://fr.wikipedia.org/wiki/Red_Force)



**Doc 3 :** Le Silver Star est un parcours de montagnes russes en métal du parc Europa Park, situé à Rust en Allemagne. inauguré le 23 mars 2002. La vitesse théorique, atteinte pour le train du Silver Star, après un dénivelé de 67 mètres, atteindrait en bas de la première descente 126 km/h. En pratique les frottements réduisent la vitesse d'environ 9 %, la perte d'énergie lors de cette descente est de l'ordre de 17%.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Silver\\_Star\\_\(Europa\\_Park\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Silver_Star_(Europa_Park))

**Problème :** Déterminez, à partir de la fin du catapultage, la perte  $p$  d'énergie mécanique minimale du train (exprimée en pourcentage %) générée par les frottements (avec les rails et l'air) pour qu'un rollback ait lieu.

Compétences	S'APP	ANA	REA	VAL	COM
Coeff	1	2	1	1	2

**EN 1 : Problème :** Déterminez, à partir de la fin du catapultage, la perte  $p$  d'énergie mécanique minimale du train (exprimée en pourcentage %) générée par les frottements (avec les rails et l'air) pour qu'un rollback ait lieu.

Fiche 3 - Eléments de réponses (de notation) **12,5 mn prof** soit **25 mn élèves**

**s'APPropier :** Identifier les grandeurs physiques pertinentes leur attribuer un symbole. **3 critères ici à retenir :**

**0 critère D, 1 critère C, 2 critères B, 3 critère A,**

1/ Vitesse fin catapultage  $V_0$  donne  $E_{m\text{ ini }0}$  disponible à la fin de la piste de lancement

2/  $V_0 = V_{\text{catapult}} = 180 \text{ km/h} = 180/3,6 = 50 \text{ m/s}$

3/ But : calculer rapport  $E_{m\text{ fin }0}$  avec frottement /  $E_{m\text{ fin }0}$  sans frottement

**Analyser :** Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées. Evaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues précisées. **1 critère D, 2 à 3 critères C, 4 critères B, 5 critères A,**

1/ Il s'agit d'écrire la conservation de l'énergie mécanique (voir REA 3) en l'absence de frottement :

$E_m(\text{ini}) = E_m(\text{fin})$  (conservation de l'énergie mécanique du train, en absence de frottement)

2/ L'énergie mécanique initiale du train est  $E_m(\text{ini})_0 = E_c(\text{ini})_0 + E_{pp}(\text{ini})_0 = E_c(\text{ini})_0$

3/ Car l'énergie potentielle de pesanteur du train est, en un point S (par exemple pour le sommet) :

$E_{pp}(\text{ini})_S = mgz_S$  si  $z_{\text{bas/piste lancement}} = z_0 = 0 \text{ m}$  alors  $E_{pp}(\text{ini})_0 = mgz_0 = 0 \text{ J}$

4/ Le champ de pesanteur (ou intensité de pesanteur) est  $g = 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N/kg}$ .

5/ En présence de frottement, une partie de l'énergie emmagasinée est transférée (perdue) par frottement, on calculera l'énergie mécanique restante à partir des données de l'état final réel.

**Réaliser :** Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée.

Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. **6 critères ici à retenir :**

**0 critère D, 1 critère C, 2 critères B, 3 critères A,**

1/ Etat initial : le train est en bas (altitude nulle), il a une énergie mécanique  $E_m(\text{ini})_{\text{cata}} = \frac{1}{2} m V_{\text{catapult}}^2 + 0$

2/ Etat final sans frottement : le train est en haut, il a une énergie mécanique

si on considère qu'il n'a pas de vitesse au « Top hat » :  $E_m(\text{fin})_{\text{SF}} = 0 + mgz_{\text{SF}}$

**Solution acceptée bien que fausse :**

si on considère qu'il a une vitesse au « Top hat » :  $E_m(\text{fin})_{\text{SF}} = \frac{1}{2} m V_{\text{top}}^2 + mgz_{\text{SF}}$

Etat final avec frottement : le train est en haut, il a une énergie mécanique

si on considère qu'il n'a pas de vitesse au « Top hat » :  $E_m(\text{fin})_{\text{AF}} = 0 + mgz_{\text{AF}}$

si on considère qu'il a une vitesse au « Top hat » :  $E_m(\text{fin})_{\text{AF}} = \frac{1}{2} m V_{\text{top}}^2 + mgz_{\text{AF}}$

3/ La pourcentage d'énergie restant  $r$  (exprimée en pourcentage %) après frottements (avec les rails et l'air) pour qu'un rollback ait lieu est :

si on considère qu'il n'a pas de vitesse au « Top hat » :  $r = mgz_{\text{AF}} / (\frac{1}{2} m V_{\text{catapult}}^2) = 2gz_{\text{AF}} / V_{\text{catapult}}^2$

si on considère qu'il a une vitesse au « Top hat » :  $r = (\frac{1}{2} m V_{\text{top}}^2 + mgz_{\text{AF}}) / (\frac{1}{2} m V_{\text{catapult}}^2)$   
 $= V_{\text{top}}^2 / V_{\text{catapult}}^2 + 2gz_{\text{AF}} / V_{\text{catapult}}^2$

On remarque que  $V_{\text{top}}^2 / V_{\text{catapult}}^2 = (30/180)^2 = 0,030 = 3\%$  de valeur faible et négligeable

La valeur de la perte d'énergie minimale du train  $p$  est donc :

$p = 1 - r = 1 - ((2 \times 9,81 \times 112) / (50^2)) = 1 - (2197 / 2500) = 1 - 0,88 = 0,12 = 12\%$

si on considère qu'il a une vitesse au « Top hat » :  $p = 1 - r = 1 - (0,03 + 0,88) = 9 \text{ à } 10\%$

**Valider :** Discuter de la pertinence du résultat trouvé (identification des sources d'erreurs, choix des modèles, formulation des hypothèses...) Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue. Proposer d'éventuelles pistes d'amélioration de la démarche de résolution.

**2 critères ici à retenir :** Version 1 : : **0 critère D, 1 critère B, 2 critère A,**

1/ La valeur trouvée est un peu plus faible que celle obtenue pour le Silver star (voir doc 3),

Pour le Silver star, après un dénivelé de 67 mètres (énergie mécanique, ici potentielle de pesanteur plus basse, la valeur de la perte par frottements, plus forte peut s'expliquer soit par :

2/ Une longueur de piste plus grande à frottement identique ?

3/ Moins de frottement avec les roues du train (progrès techniques entre 2002 et 2017)

Toute autre raison scientifique cohérente sera acceptée

**Communiquer :** **4 critères ici à retenir :** **0 critère D, 1 à 2 critère C, 3 critère B, 4 critère A,**

1/ La communication est claire, 2/ La com est cohérente 3/ avec un vocabulaire scientifique précis.

4/ Les calculs sont effectués à partir de formules littérales, dans un langage mathématique correct.