

Chapitre 14 : Aspects énergétiques du mouvement d'un point matériel

Jusqu'à présent, nous sommes restreints à l'étude des mouvements à l'aide d'outils dynamiques (force, quantité de mouvement). L'introduction d'outils énergétiques est toutefois intéressante sur deux niveaux :

- Dans certains cas, un problème est plus simple à résoudre du point de vue énergétique. La première approche est celle de la simplicité.
- L'énergie est un concept qu'on retrouve dans tous les domaines de la Physique et de la Chimie. La deuxième approche est donc transverse.

La formation en sciences expérimentales ne peut se penser sans le concept d'énergie, ce sera notamment l'objet d'une série de chapitres de Thermodynamique abordés en fin d'année.

QUESTION

I - Puissance et travail d'une force

A Puissance d'une force

DÉFINITION

Puissance d'une force : Soit un point matériel M se déplaçant à une vitesse \vec{v} et soumis à une force \vec{f} .


Remarque :

SIGNE DE LA PUISSANCE

Exemples :

B Travail élémentaire d'une force**DÉFINITION**

Travail élémentaire d'une force :

 Remarque importante :

AUTRE EXPRESSION DU TRAVAIL ÉLÉMENTAIRE**C** Travail d'une force au cours d'un déplacement

Considérons le mouvement d'un point M entre deux points A et B . Le travail de la force \vec{f} sur ce déplacement est obtenu en sommant tous les travaux infinitésimaux sur tous les déplacements élémentaires constituant le chemin emprunté par M .

TRAVAIL D'UNE FORCE AU COURS D'UN DÉPLACEMENT FINI

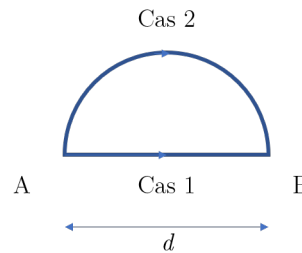
Remarque :

CAS D'UNE FORCE CONSTANTE

APPLICATION DIRECTE N°1

1/ Calculer le travail du poids sur un cycliste de $m = 80$ kg lors de l'ascension d'un col de dénivelé $h = 700$ m.

2/ Une voiture va de A à B à vitesse constante et est soumise à une force de frottement de la forme $\vec{f} = -\lambda\vec{v}$. Pour chacune des trajectoires, quelle est l'expression du travail de la force de frottement ?



II - Théorème de l'énergie cinétique

A Énergie cinétique

DÉFINITION

Énergie cinétique : L'énergie cinétique d'un point M de masse m et de vitesse \vec{v} mobile dans un référentiel \mathcal{R} est définie par :

Remarque :

B Théorème de l'énergie cinétique

THÉORÈME DE LA PUISSANCE CINÉTIQUE

Dans un référentiel galiléen \mathcal{R}_G , un point M d'énergie cinétique $\mathcal{E}_c(M/\mathcal{R}_G)$ et soumis à un ensemble de forces extérieures vérifie :

Ce théorème est aussi appelé

THÉORÈME DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

Soit un point M allant d'un point A à un point B étudié dans un référentiel galiléen \mathcal{R}_G .
Sa variation d'énergie cinétique sur ce chemin est donnée par :

C Utilisations du théorème de l'énergie cinétique

MÉTHODE : PFD OU TEC??

Le théorème de l'énergie/puissance cinétique sera à privilégier quand :

Remarque :

MÉTHODE : INTÉGRALE OU DIFFÉRENTIELLE??

Remarque :

APPLICATION DIRECTE N°2

On considère un pendule simple.

- 1/ Déterminer l'expression de la norme de la vitesse en fonction de θ . On donne $\theta(0) = \theta_0$ et $\dot{\theta}(0) = 0$.
- 2/ Déterminer l'équation différentielle satisfaite par θ .

III - Forces conservatives et énergie potentielle

A Définitions

DÉFINITION

Force conservative :

Exemples :

Remarque :

ÉNERGIE POTentielle ET FORCES CONSERVATIVES

Remarque :

MÉTHODE : COMMENT VÉRIFIER QU'UNE FORCE EST CONSERVATIVE ?

APPLICATION DIRECTE N°3

Une force de frottement d'expression $-\lambda\vec{v}$ est-elle conservative ?

B Exemples d'énergies potentielles

① Énergie potentielle de pesanteur

ÉNERGIE POTentielle DE PESANTEUR

Le poids est une force **conservative** qui dérive de l'énergie potentielle

Remarque :

② Énergie potentielle élastique

ÉNERGIE POTentielle ÉLASTIQUE

La force de rappel d'un ressort est **conservative** et dérive de l'énergie potentielle

Remarque :

③ Énergie potentielle électrostatique

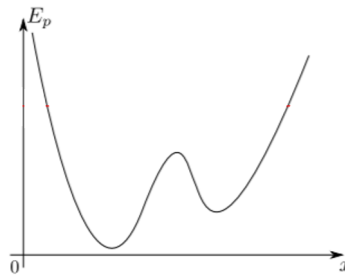
ÉNERGIE POTentielle ÉLECTROSTATIQUE

La force électrostatique est **conservative** et dérive de l'énergie potentielle

C Obtention de l'expression d'une force à partir de \mathcal{E}_p

APPLICATION DIRECTE N°4

Sur le profil suivant d'énergie potentielle, indiquer la direction de la force associée à l'énergie et indiquer qualitativement son intensité.



IV - Théorème de l'énergie mécanique

A Énergie mécanique

DÉFINITION

Énergie mécanique : L'énergie mécanique d'un point M est la somme de son énergie cinétique et des énergies potentielles de toutes les forces auxquelles il est soumis :

THÉORÈME DE LA PUISSANCE MÉCANIQUE

Dans un **référentiel galiléen** \mathcal{R}_G , un point M d'énergie mécanique $\mathcal{E}_m(M/\mathcal{R}_G)$ et soumis à un ensemble de forces extérieures vérifie :

Remarque :

THÉORÈME DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

Soit un point M allant d'un point A à un point B étudié dans un référentiel galiléen \mathcal{R}_G .
Sa variation d'énergie mécanique sur ce chemin est donnée par :

Remarque :

MÉTHODE : TEC VS TEM?

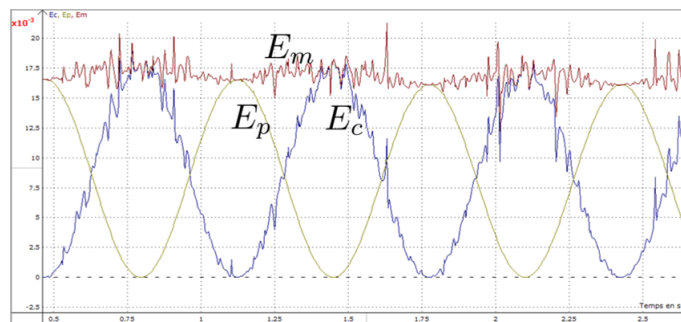
DÉFINITION

Système conservatif :

Remarque :

APPLICATION DIRECTE N°5

Retrouver les résultats de l'application directe n°2 à l'aide du TEM.



Conservation de l'énergie mécanique d'un pendule simple

V - Étude de mouvements conservatifs à un degré de liberté

Dans toute cette partie, on considère :

A Types de trajectoires et positions de vitesse nulle

① Détermination du type de trajectoire

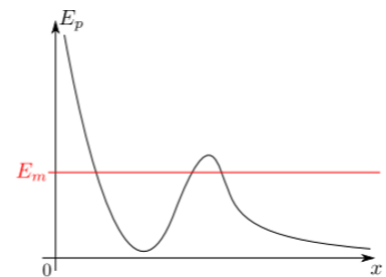
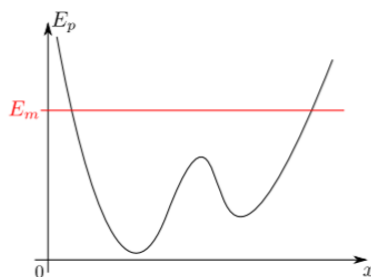
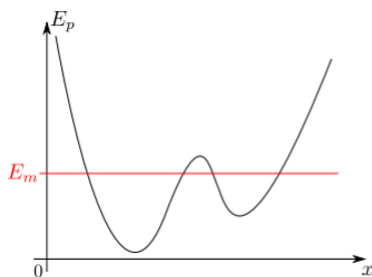
MÉTHODE : ANALYSE D'UN GRAPHE D'ÉNERGIE POTENTIELLE

Remarque :

APPLICATION DIRECTE N°6

Indiquer, pour chaque graphe :

- Le type de mouvement possible dans chaque zone.
- Les points de vitesse nulle.



2 Passage d'une barrière de potentiel

DÉFINITION

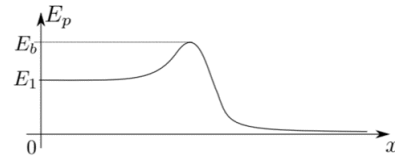
Barrière de potentiel :

Puits de potentiel :

APPLICATION DIRECTE N°7

On considère l'énergie potentielle ci-contre, qui peut correspondre à une bille glissant sans frottements sur un sol dont la topographie est celle du graphique : altitude h_1 en $x = 0$, franchissement d'un col d'altitude h_b , puis altitude nulle lorsque $x \rightarrow +\infty$. La bille est lancée en $x = 0$ avec une vitesse v_0 en direction des x croissants.

- 1/ Justifier que l'énergie mécanique de la bille reste constante au cours du temps.
- 2/ Montrer que la bille atteint tout juste le haut du col pour une valeur particulière de sa vitesse initiale v_0 , que l'on exprimera en fonction de m , E_1 et E_b .
- 3/ Que se passe-t-il si v_0 est inférieure à cette valeur limite ? Et supérieure ?
- 4/ Exprimer enfin v_0 en fonction de m , g , h_1 et h_b .



B Positions d'équilibre stables ou instables

DÉFINITION

Position d'équilibre : Un système atteint sa position d'équilibre si et seulement si les trois conditions suivantes sont vérifiées :

- 1/ $v = 0$
- 2/ $a = 0$
- 3/ $\sum \vec{F} = \vec{0}$

DÉFINITION

Position d'équilibre stable :

Position d'équilibre instable : Si le point est légèrement écarté de cette position, alors il s'en éloigne.

Exemples :

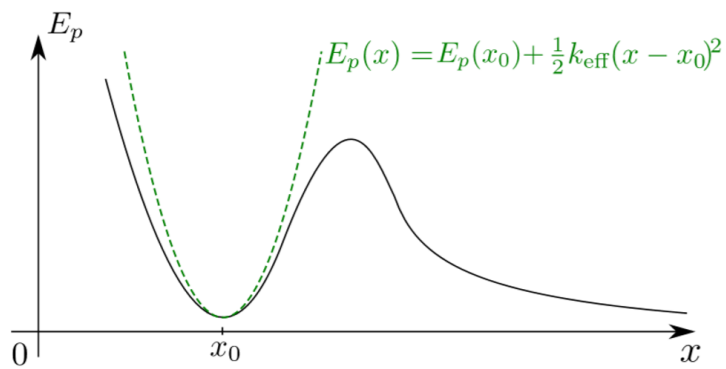
POSITION D'ÉQUILIBRE ET STABILITÉ

Remarque :

C Petits mouvements au voisinage d'une position d'équilibre stable

PUITS DE POTENTIEL HARMONIQUE

Exemple :



Approximation harmonique d'une position d'équilibre stable

APPLICATION DIRECTE N°8

Voir Exercice 6 TD