Chapitre 7: travail et énergie

Animation

1. déterminer les coordonnées d'un vecteur position
2. trajectoire d'une particule chargée dans un champ électrostatique (université de Nantes),
3. déplacement d'ions entre 2 plaques chargées
4. mouvement parabolique (Walter Fendt)
5. pendule simple sur différentes planètes, étude énergétique
6. 'pendule amorti'

Table des matières

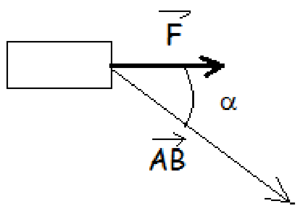
I) travail d'une force constante

1) définition

Soit une force $\vec{F}$ constante appliquée entre les points A et B. **Le travail de cette force** entre le point A et B, notée W_{AB} ($\vec{F}$) est égal au **produit scalaire** du vecteur **déplacement** par le vecteur **force**:

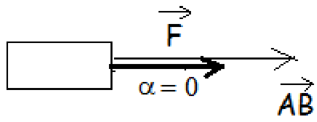
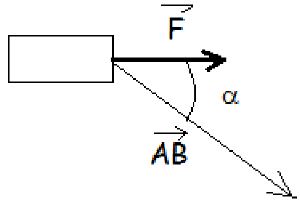
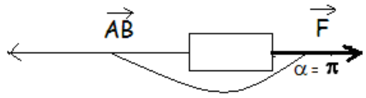
$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = F.AB.\cos(\vec{F},\vec{AB})$ =F.AB.cos(α)

W_{AB} ($\vec{F}$) en joule (J), F en Newton(N), AB en mètre (m).



2) Travail moteur, travail résistant

Lorsque le système reçoit du travail d'une force extérieure, alors ce travail est positif, il s'agit d'un travail moteur. Lorsque le système fournit du travail au milieu extérieur alors le travail est négatif, il s'agit d'un travail résistant.

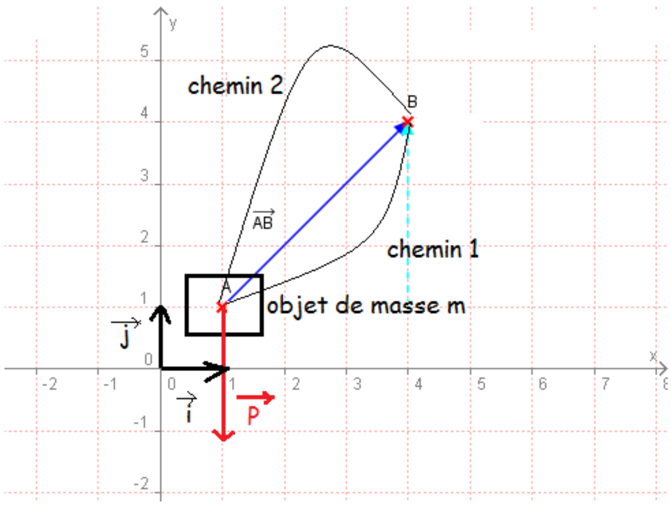
α	valeur du travail	travail moteur ou résistant?
α =0	$W_{AB} = F.AB.\cos(\alpha) = F.AB > 0$ 	travail moteur
$0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$	$W_{AB} = F.AB.\cos(\alpha) > 0$ 	travail moteur
$\alpha = \frac{\pi}{2}$	$W_{AB} = F.AB.\cos(\alpha) = 0$	travail nul
$\frac{\pi}{2} < \alpha \le \pi$	$W_{AB} = F.AB.\cos(\alpha) < 0$ 	travail résistant

3) travail du poids

Soit un objet de masse m se déplaçant d'un point A à un point B dans un référentiel galiléen. Le champ de pesanteur a pour intensité g. Le vecteur déplacement à pour expression dans le repère cartésien orthonormé:

$\vec{AB} = (x_B - x_A).\vec{i} + (y_B - y_A).\vec{j}$

(**animation. déterminer les coordonnées d'un vecteur position**)



Calcul du travail du poids (force constante) le long du chemin AB:

Les coordonnées du vecteur poids sont:

$\vec{P} = m.\vec{g} = mg.\vec{j}$

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB} = (-mg.\vec{j}).[(x_B - x_A).\vec{i} + (y_B - y_A).\vec{j}]$$
$$W_{AB}(\vec{P}) = (-mg.\vec{j}).(x_B - x_A).\vec{i} + (mg.\vec{j}).(y_B - y_A).\vec{j}$$
$$\text{or } \ \vec{j}.\vec{i} = 1x1.\cos.(\vec{j},\vec{i}) = 1x\cos(\frac{\pi}{2}) = 0$$
$$\text{et } \vec{j}.\vec{j} = 1x1x\cos(\vec{j},\vec{j}) = 1.\cos(0) = 1$$
$$W_{AB}(\vec{P}) = -mg.(x_B - x_A).\vec{j}.\vec{i} - (mg.).(y_B - y_A).\vec{j}.\vec{j}$$
$$W_{AB}(\vec{P}) = mg.(y_A - y_B)$$

Soit un objet de masse m se déplaçant d'un point A d'altitude y_A à un point B d'altitude y_B dans un référentiel galiléen. **Le travail du poids est égal à:**

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB} = mg.(y_A - y_B)$$

Unité: $W_{AB}(\vec{P})$ en joule (J), m (kg), g ($N.kg^{-1}$), y_A et y_B en mètre (m)

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi (voir figure ci dessus) mais uniquement de l'altitude initiale et de l'altitude finale: on dit que le poids est **une force conservative.**

Remarque : le travail des forces de frottements dépend du chemin suivi, une force de frottement n'est pas conservative.

4) travail d'une force électrostatique conservative

a) relation entre le vecteur champ et le vecteur déplacement

La tension U_{AB} est égale à la différence de potentiel électrique entre les points A et B:

$U_{AB} = V_A - V_B$

avec V_A et V_B respectivement potentiel électrique au point A et B. Unité: potentiel et tension en volt (V).

Entre 2 plaques chargées règne un champ électrique $\vec{E}$ orienté de la plaque positive vers la plaque négative. La valeur du champ électrostatique entre 2 plaques P (plus) et N (négative) est égale à la tension U_{PN} divisée par la distance d entre les plaques:

$$E = \frac{U_{PN}}{d}$$

Unité: U_{PN}(V) > 0, d(m), E ($V.m^{-1}$) > 0 (c'est une norme!).

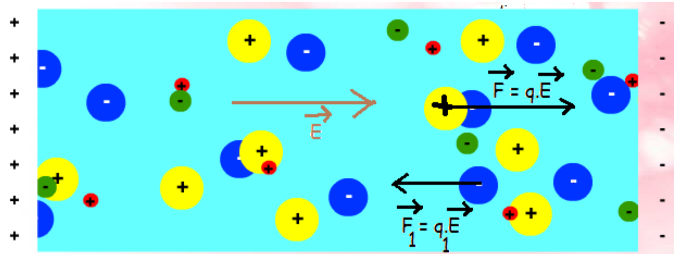
Plus généralement le produit scalaire du vecteur champ par le vecteur déplacement entre A et B vaut:

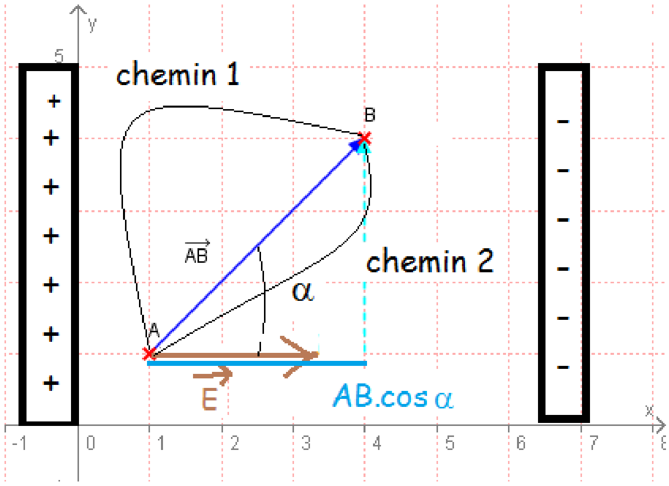
$$\vec{E}.\overrightarrow{AB} = U_{AB}$$

avec $U_{AB} = V_A - V_B$ tension entre le point A et le point B

Animation représentant la trajectoire d'une particule chargée dans un champ électrostatique (université de Nantes).

Animation: déplacement d'ions entre 2 plaques chargées





b) travail de la force électrique conservative

Une particule de masse M, supposée ponctuelle, de charge électrique q et de masse m, est placée dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$. Elle est soumise à une force électrostatique $\vec{F} = q.\vec{E}$. Elle se déplace d'un point A à un point B. Le travail de la force électrostatique le long de n'importe quel chemin AB est:

$$W_{AB}(\vec{F}) = q.\vec{E}.\overrightarrow{AB} = q.E.AB..\cos(\vec{F},\overrightarrow{AB}) = q.E.AB.\cos\alpha$$

$AB.\cos\alpha = L$. D'après l'expression $\vec{E}.\overrightarrow{AB} = U_{AB}$

on peut en déduire que

$$W_{AB}(\vec{F}) = q.\vec{E}.\overrightarrow{AB} = q.U_{AB} = q.E.AB.\cos\alpha$$

Une particule chargée, de charge q, placée dans un champ électrique $\vec{E}$ uniforme est soumise à une force électrostatique $\vec{F} = q.\vec{E}$. Le travail de cette force $W_{AB}(\vec{F})$ le long du chemin AB vaut:

$$W_{AB}(\vec{F}) = q.\vec{E}.\overrightarrow{AB} = q.E.AB.\cos\alpha$$
$$W_{AB}(\vec{F}) = q.U_{AB}$$

Le travail ne dépend pas du chemin suivi, mais uniquement de la tension électrique entre les points A et B. La force électrostatique et une force conservative car le travail de cette force ne dépend pas du chemin suivi (même travail pour le chemin 1 ou 2, voir figure ci dessous).

Unité : $W_{AB}(\vec{F})$ en joule (J); q en coulomb(C); U_{AB} en volt (V)

Remarque: quand est-ce que le travail de la force électrostatique est moteur? Résistant?

Sur le schéma ci dessus $U_{AB} > 0$.

- si $q > 0$, $W_{AB}(\vec{F}) > 0$ travail moteur, la force est dans le sens du mouvement
- si $q < 0$, $W_{AB}(\vec{F}) < 0$, travail résistant, la force est opposée au mouvement.

5) force de frottement non conservative

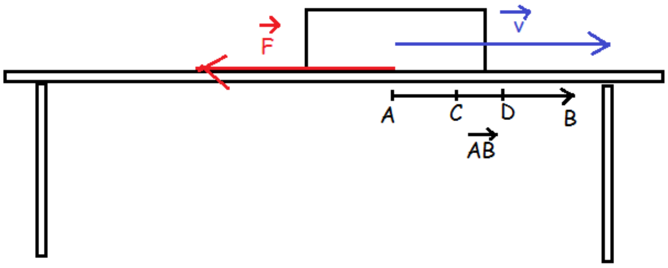
Considérons le cas ou un solide est en mouvement rectiligne sur une table. Le solide est soumis à une force de frottement $\vec{f}$.

Soit une force de frottement $\vec{f}$ constante appliquée entre les points A et B. **Le travail de cette force entre le point A et B, notée W_{AB} ($\vec{f}$) est égal au produit scalaire du vecteur déplacement par le vecteur force**:

$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f}.\overrightarrow{AB} = f.AB.\cos(\vec{f},\overrightarrow{AB})$ =f.AB.cos(α)

si α = π , $W_{AB}(\vec{f}) = f.AB.\cos(\pi)$=-f.AB

W_{AB} ($\vec{f}$) en joule (J), f en Newton(N), AB en mètre (m). En règle générale le travail de la force de frottement est < 0, il est résistant car la force de frottement est généralement opposée au mouvement.



Ce travail dépend du chemin suivi. Considérons un chemin 1,
A-> B, puis un chemin 2, A ->D->C->B. Le travail W_1 de la force de frottement le long du chemin 1 et W_2 le long du chemin 2 sont différent. En valeur absolue $W_1 < W_2$.

Le travail d'une force de frottement dépend du chemin suivi: la force de frottement est une **force non conservative.**

II) énergies et travaux des forces conservatives

1) variation d'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} et travail du poids

Considérons une altitude de référence z_o = 0 m. Un solide de masse 'm' placé dans le champ de pesanteur terrestre 'g' à une altitude 'z' possède une énergie potentielle de pesanteur:

$Epp = m.g.(z - z_0) = m.g.z$

Unité: E_{pp}(J), m (kg), z(m).

La variation d'énergie potentielle d'un objet de masse m se déplaçant d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B est:

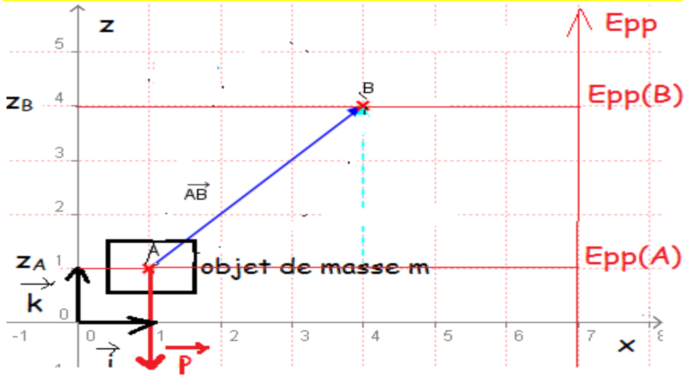
$\Delta Epp = Epp(B) - Epp(A) = m.g.z_B - mgz_A = m.g.(z_B - z_A)$

On a vu que le travail du poids d'un objet de masse m se déplaçant d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B dans un référentiel galiléen était:

$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB} = mg.(z_A - z_B)$

Le travail du poids, force conservative, est égale à l'opposée de la variation d'énergie potentielle:

$W_{AB}(\vec{P}) = mg.(z_A - z_B) = -\Delta Epp = m.g.(z_B - z_A)$



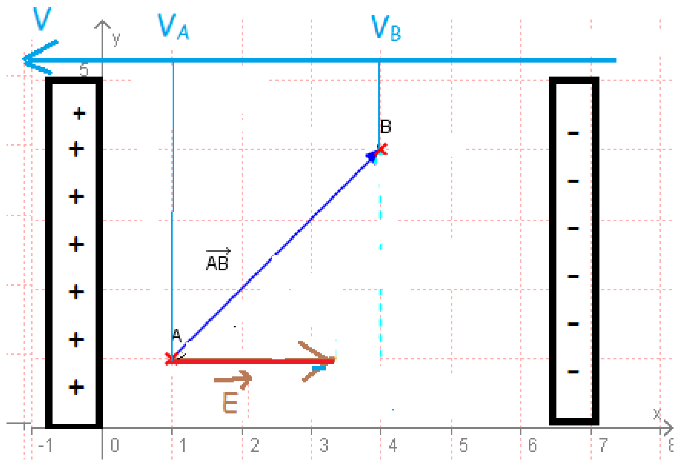
2) variation d'énergie potentielle électrique et travail de la force électrostatique

a) énergie potentielle électrique Epe

L'énergie potentielle électrique d'une charge q dont le potentiel électrique est V est:

E_{pe} = q.V

Unité: E_{pe} (J), q(C), V(V)



b) variation d'énergie potentielle électrique et travail de la force électrique

La variation d'énergie potentielle électrique entre le point A de potentiel V_A et le point B, de potentiel V_B est:

$\Delta Epp = Epe(B) - Epe(A) = qV_B - qV_A = q(V_B - V_A)$

Or le travail de la force conservative électrostatique entre le point A et le point B est:

$W_{AB}(\vec{F}) = q.\vec{E}.\overrightarrow{AB} = q.U_{AB} = q.(V_A - V_B)$

Par conséquent le travail de la force conservative électrique est égale à l'opposé à la variation de l'énergie potentielle électrique:

$W_{AB}(\vec{F}) = q..U_{AB} = q.(V_A - V_B)$

$\Delta Epe = q(V_B - V_A)$

$W_{AB}(\vec{F}) = -\Delta Epe$

Généralisation: la variation d'énergie potentielle d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est égale à l'opposé de la somme des travaux effectués par les forces conservatives entre le point A et le point B:

$$\Delta Ep = -\sum W_{AB}(\vec{F_c})$$

3) l'énergie mécanique: cas du mouvement dans frottement

a) théorème de l'énergie cinétique

Cliquer sur l'animation suivante et observer comment évolue Ec E_{pp} et E_m au cours du temps: **mouvement parabolique (Walter Fendt)**

Le théorème de l'énergie cinétique nous dit que la variation de l'énergie cinétique d'un système de masse m entre un point A et un point B est égale à la somme du travail des forces non conservatives (F_{nc}) et du travail des forces conservatives (F_c):

$$\Delta Ec_{A->B} = W_{AB}(\vec{F_{nc}}) + W_{AB}(\vec{F_c})$$

b) conservation de l'énergie mécanique

Rappel:

- l'énergie mécanique d'un système de masse m, se déplaçant à une vitesse v dans un champ de pesanteur uniforme g est:

$$Em = Ec + Epp = \frac{1}{2}.m.v^2 + mg(z - z_0)$$

si $z_0 = 0$ alors

$$Em = Ec + Epp = \frac{1}{2}.m.v^2 + mg(z)$$

- la variation d'énergie potentielle de pesanteur entre les points A et B est: $\Delta Epp = -W_{AB}(\vec{F_c})$

Lorsqu'un système en mouvement n'est soumis à aucune force de frottement (force non conservative) **la variation d'énergie mécanique est nulle** au cours du temps. L'énergie mécanique se conserve. En effet:

$$\Delta Em = Em_B - Em_A = \Delta Ec + \Delta Epp$$

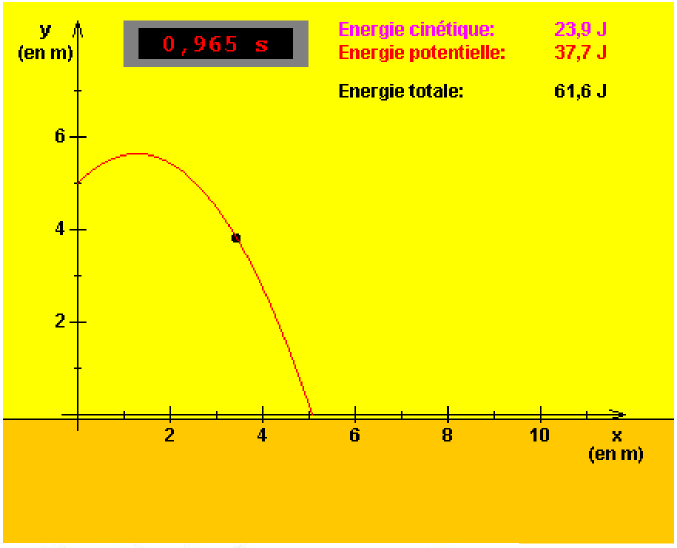
$$\Delta Em = W_{AB}(\vec{F_{nc}}) + W_{AB}(\vec{F_c}) - W_{AB}(\vec{F_c}) = 0$$

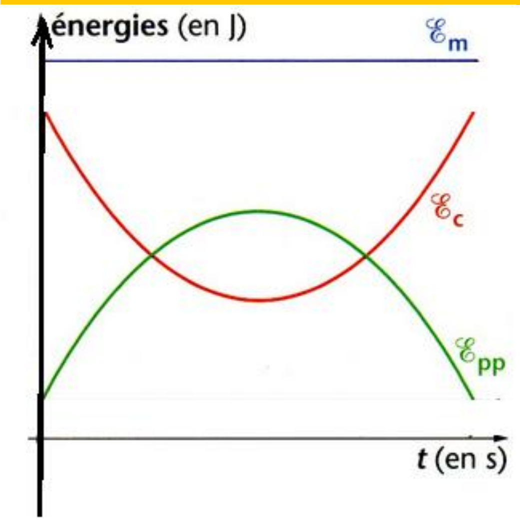
$$\Delta Em = 0 = \Delta Ec + \Delta Epp$$

$$\Delta Ec = -\Delta Epp$$

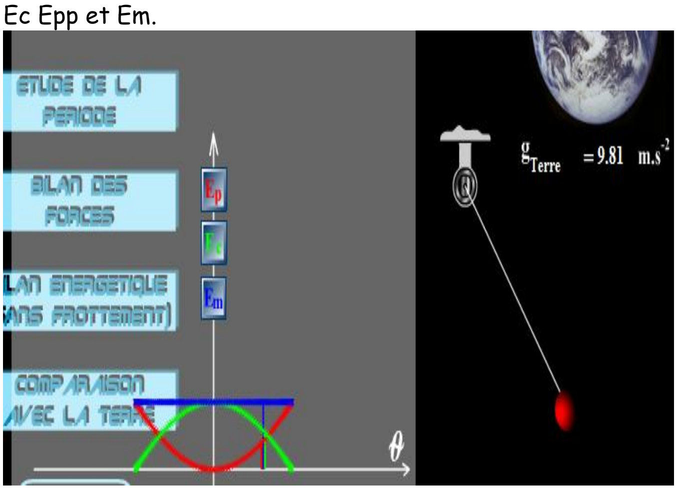
L'énergie cinétique se transforme en énergie potentielle de pesanteur et inversement au cours du mouvement.

Cas du mouvement parabolique





Cas du pendule simple; cliquer sur l'animation étude énergétique du pendule(Wontu). Observer comment évolue Ec Epp et Em.



4) l'énergie mécanique: cas du mouvement avec frottement

Cliquer sur l'animation suivante 'pendule amorti' et observer l'animation. Comment évolue l'énergie mécanique au cours du temps?

Considérons un système évoluant d'un point A à un point B soumis à des forces de frottements. La variation d'énergie mécanique entre le point A et le point B est:

$\Delta Em = Em_B - Em_A = \Delta Ec + \Delta Epp$

$\Delta Em = W_{AB}(\vec{F}_{nc}) + W_{AB}(\vec{F}_c) - W_{AB}(\vec{F}_c)$

$\Delta Em = W_{AB}(\vec{F}_{nc}) < 0$

Lorsqu'un système en mouvement est soumis à des forces non conservatives (forces de frottement) **la variation d'énergie mécanique** est égale au **travail** des **forces non conservatives**. L'énergie mécanique ne se conserve plus.

$$\Delta Em = W_{AB}(\vec{F}_{nc}) < 0$$

Programme officiel

Comprendre: Lois et modèles

Comment exploite-t-on des phénomènes périodiques pour accéder à la mesure du temps ? En quoi le concept de temps joue-t-il un rôle essentiel dans la relativité ? Quels paramètres influencent l'évolution chimique ? Comment la structure des molécules permet-elle d'interpréter leurs propriétés ? Comment les réactions en chimie organique et celles par échange de proton participent-elles de la transformation de la matière ? Comment s'effectuent les transferts d'énergie à différentes échelles ? Comment se manifeste la réalité quantique, notamment pour la lumière ?

Temps, mouvement et évolution

Notions et contenus	Compétences exigibles
Travail d'une force.	Établir et exploiter les expressions du travail d'une force constante (force de pesanteur, force électrique dans le cas d'un champ uniforme).
Force conservative ;	Établir l'expression du travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
énergie potentielle. Forces non conservatives : exemple des frottements. Énergie mécanique.	Analyser les transferts énergétiques au cours d'un mouvement d'un point matériel. *Pratiquer une démarche expérimentale pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un oscillateur.*
Étude énergétique des oscillations libres d'un système mécanique. Dissipation d'énergie.	Extraire et exploiter des informations sur l'influence des phénomènes dissipatifs sur la problématique de la mesure du temps et la définition de la seconde.