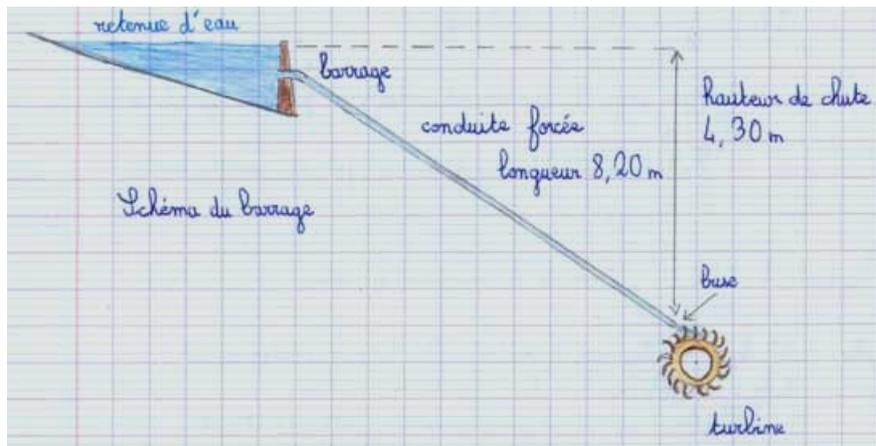


Energie potentielle

1-L'énergie potentielle de pesanteur (toutes premières)

a- Pour l'introduire, regardons le dessin de Clarisse ... :



(dessin de Clarisse)

Ce dessin illustre bien l'idée d'énergie potentielle.

La retenue d'eau constitue de l'énergie « en réserve » parce qu'elle est attirée par .

Pour récupérer une partie de cette énergie, il faut placer la turbine à un niveau inférieur et ouvrir une vanne dans le barrage. En descendant la conduite forcée, le poids de l'eau effectue un «travail». L'énergie utilisable au niveau de la turbine est égale au travail du poids de l'eau (si l'on néglige les pertes inévitables dues à l'écoulement).

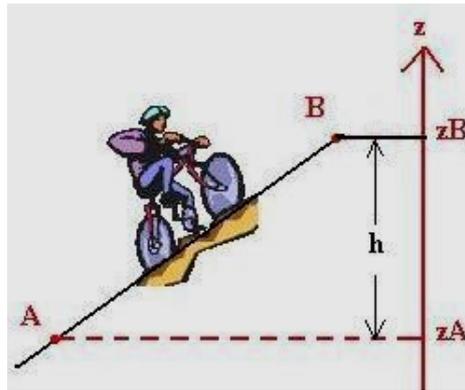
L'ingénieur responsable de l'édification du barrage cherchera à augmenter la **masse d'eau m** retenue. L'énergie ne pourra être transformée que s'il existe une **dénivellation h** entre le niveau du lac et la turbine.

L'énergie potentielle **E_p** du **système** déformable {retenue d'eau/ Terre} dépend sans aucun doute de **m**, de **h** mais aussi de **g** qui caractérise le champ de pesanteur terrestre.

b- Histoire de cycliste:

Si vous posez la question suivante à un cycliste: «vous fatiguez-vous davantage lors d'une étape de plaine ou lors d'une étape de montagne?». «Cela dépend du sens du vent risque-t-il de répondre!». En effet, la force du vent, si elle est contraire au déplacement, va demander une dépense d'énergie considérable et surtout **en pure perte**. Au contraire, un circuit de montagne peut avoir des avantages!...

Un cycliste partant de A (état initial) décide de rejoindre le sommet d'un col en B (état final)



Le cycliste doit fournir un travail pour se déplacer de A en B car il doit vaincre la pesanteur pendant toute la durée de la montée!

Ce travail est ici résistant car le poids tend à s'opposer à son mouvement. Le travail est donc, dans ce cas, évalué par un nombre négatif

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi entre A et B, il ne dépend que de la différence d'altitude h égale à $(z_B - z_A)$. Avec le repère choisi ci-dessus.

$$W(P)_{A \rightarrow B} = -m \cdot g \cdot h = -m \cdot g \cdot (z_B - z_A) \quad (1)$$

En principe, le cycliste ne se décourage pas devant l'effort à accomplir car il sait que la descente sur l'autre versant sera plus sereine pour lui! Il peine dans la montée, certes, mais en même temps son travail est récompensé car **il gagne de l'énergie potentielle de pesanteur!** Et le temps «perdu» à la montée sera sans doute récupéré. La vitesse moyenne de l'étape ne sera pas trop ridicule si la montée est suivie d'une descente.

Contrairement à la force du vent, le poids est une force conservative de l'énergie!

Le bilan se résume ainsi pour le cycliste (dans le cas idéal d'absence de tout frottement):

TRAVAIL FOURNI=ENERGIE POTENTIELLE GAGNEE

Avec les notations usuelles:

$$-W(P)_{A \rightarrow B} = E_{p(B)} - E_{p(A)} \quad (2)$$

Attention, ici le travail étant négatif, le signe moins est indispensable devant W pour que la variation d'énergie potentielle (variation=état final – état initial) soit **une augmentation** dans la phase de montée du cycliste!

En reprenant l'expression (1) du travail, la relation (2) s'écrit:

$$m \cdot g \cdot (z_B - z_A) = E_{p(B)} - E_{p(A)}$$

soit:

$$m \cdot g \cdot z_B - m \cdot g \cdot z_A = E_{p(B)} - E_{p(A)}$$

En isolant les termes d'indice A et d'indice B:

$$E_{p(B)} = m \cdot g \cdot z_B \quad \text{et} \quad E_{p(A)} = m \cdot g \cdot z_A$$

plus généralement:

$$E_p(z) = m \cdot g \cdot z + \text{cte}$$

$$[\text{unités SI : } m(\text{kg}); g(\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}); E_p(\text{J})]$$

La valeur de la constante dépend de **l'état de référence** choisi.

Les hauteurs z_A et z_B sont mesurées par rapport à un niveau origine (niveau de la mer par exemple). L'énergie potentielle dépend donc aussi de cette origine.

On appelle «**état de référence**» l'état du système «cycliste / Terre» pour lequel l'énergie potentielle du système est nulle.

Son choix est totalement arbitraire.

Il est possible de choisir l'état de référence du système lorsque le cycliste est en A ($E_{p(A)}=0$) **alors la constante a une valeur nulle**, c'est le choix le plus simple... ou bien lorsqu'il est en B; dans ce dernier cas l'énergie potentielle sera toujours négative entre A et B (c'est moins judicieux).

Par contre la variation de l'énergie potentielle: $E_p(\text{finale}) - E_p(\text{initiale})$ est indépendante de l'état de référence choisi.

c- Expression générale de la variation de l'énergie potentielle de pesanteur :

Soit un système déformable (c'est le cas du système [cycliste, Terre]). Quelle que soit la phase du mouvement (éloignement du niveau de la mer ou rapprochement)

La variation de l'énergie potentielle du système entre les deux états 1 et 2 est égale à l'opposé du travail du poids du cycliste entre l'état 1 et l'état 2.

Sans trop insister, car cela dépasse le cadre du programme de 1^{ère}, on peut savoir que l'énergie potentielle n'est définie que si le travail de la force ne dépend pas du chemin suivi, on parle alors de force «**conservative**». C'est le cas du poids, de la force électrique, de la force de rappel d'un ressort .

Cet énoncé est cohérent avec les observations .Ainsi, notre cycliste en descendant la montagne, son poids effectue cette fois **un travail moteur** (le poids tend à favoriser le déplacement) de signe positif .La variation d'énergie potentielle (entre le point bas et le point haut du relief) est l'opposée du travail ... Cette variation est donc négative, ce qui signifie que l'énergie potentielle diminue au cours de la descente. C'est logique!

2- L'énergie potentielle élastique (1ère C et D seulement):

a-Un jeu d'enfant qui peut être dangereux!

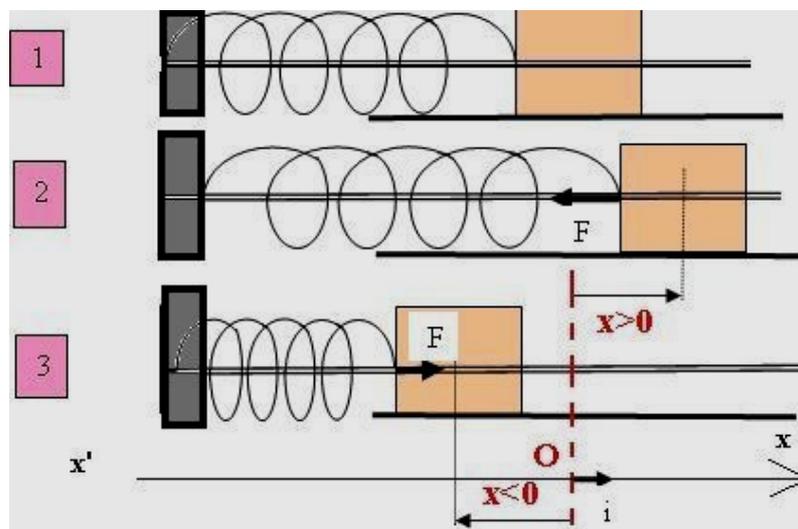
Pour qu'un pistolet à flèche fonctionne, il faut enfoncer la flèche dans le canon et comprimer un ressort qui se trouve à l'intérieur. Un verrouillage permet en principe de maintenir le ressort comprimé. Si tout se passe bien, le ressort se détend brutalement lors d'un déverrouillage volontaire par action sur une gâchette ce qui propulse la flèche. Le système déformable {ressort comprimé/flèche} possède de l'énergie potentielle dite «élastique» qui peut se libérer très rapidement! Le mot «élastique» caractérise la force de rappel du ressort.

Cela signifie que l'intensité de la force est proportionnelle à l'allongement ou au raccourcissement du ressort. Il va nous falloir évaluer le travail de cette force.

b-Travail de la force de rappel d'un système masse/ressort horizontal:

Un objet coulisse horizontalement sans frottement sur une tige .Relié par un ressort à l'extrémité de la tige il est écarté de sa position d'équilibre puis abandonné; celui-ci tend constamment à revenir vers sa position de repos 1 sous l'effet d'une force de rappel (voir les figures 1,2,3 ci-dessous).

Comment évaluer le travail de cette force de rappel $F(x)$ qui n'est pas constante?



Donnons d'abord l'expression de cette force de rappel:

L'intensité est proportionnelle à l'écart .Mais cet écart peut être vers la gauche ou vers la droite.

Soit x l'écart repéré sur un axe orienté O ,(le point O , origine des espaces correspond à l'équilibre du mobile au repos).

L'expression vectorielle de cette force variable en valeur est, en fonction de x (grandeur algébrique):

$$F = -k \cdot x.$$

k est le coefficient de raideur du ressort [unité : $N \cdot m^{-1}$]

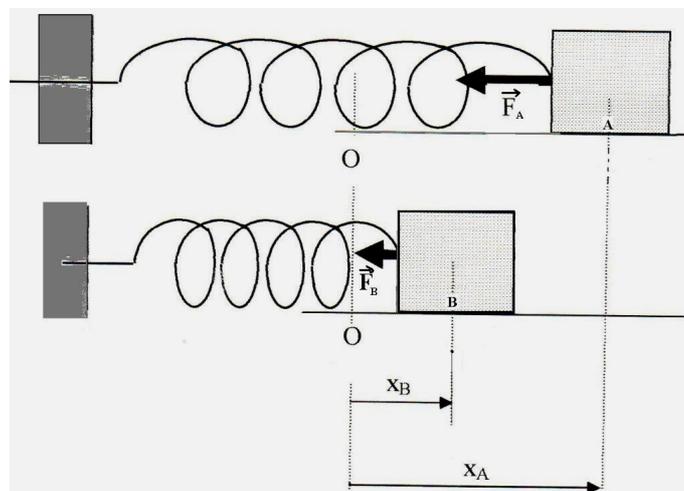
En effet, si l'objet est écarté à droite, $x > 0$ et alors le sens de est le sens contraire du vecteur unitaire (fig2).

Si l'objet est à gauche de O, $x < 0$ et le sens de est le sens du vecteur.(fig3)

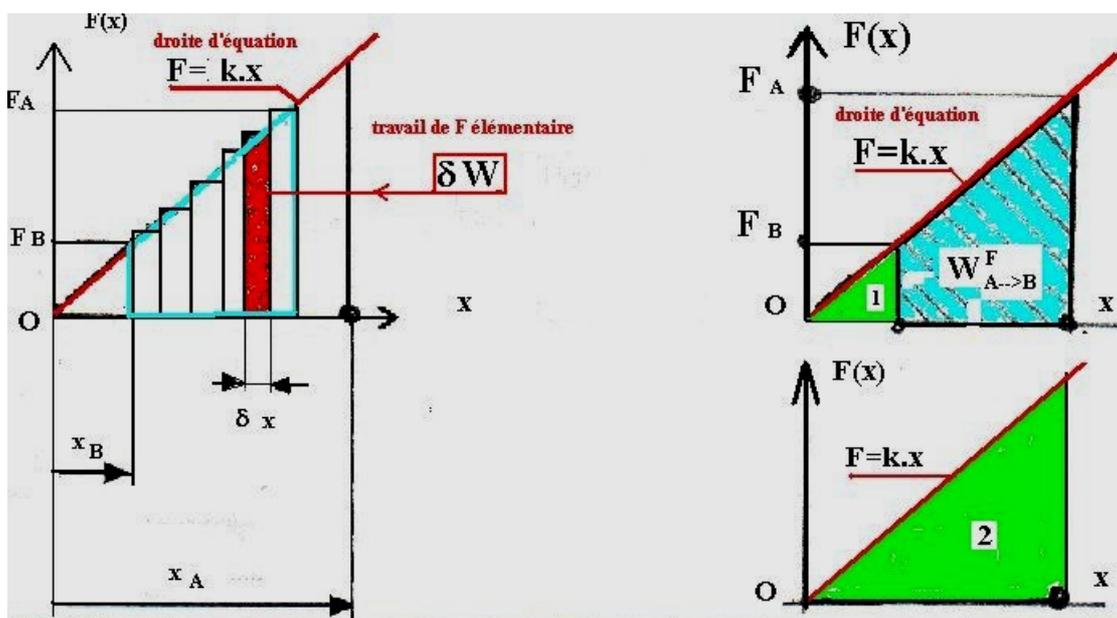
Suivant le signe de x , nous constatons que la force ayant cette expression tend à ramener l'objet vers la position d'équilibre.

Calculons le travail de cette force variable:

Supposons que l'objet se déplace par exemple de A(x_A) vers B(x_B). Au cours de ce déplacement l'objet se rapproche de la position d'équilibre.



Traçons le graphe de l'intensité F de la force de rappel en fonction de x (fig ci-dessous):



Envisageons un petit déplacement Δx à partir de A qui dure Δt , déplacement si petit que l'on puisse considérer la force constante!

Nous pouvons alors appliquer l'expression du travail pour une force constante.

Le travail élémentaire entre les 2 instant t et t + Δt est alors : $\Delta W = F.\Delta x = k.x.\Delta x$.

ΔW est représenté par le petit rectangle rouge hachuré sur le graphique.

Le travail de la force de rappel entre les deux positions A et B de l'objet est égale à la somme des travaux élémentaires effectués de A vers B et donc à l'aire du trapèze hachuré, soit:

$W(F)=\sum\Delta W=$ aire du trapèze= **aire triangle(2) –aire triangle(1)** (représentés en vert sur fig ci-dessus)

-L'expression ci-dessus est la valeur absolue du travail Ici ,le signe de ce travail est positif (travail moteur) car la force et le déplacement ont même sens (il faudra adapter le signe de l'expression, lors d'un calcul suivant la phase du mouvement considéré).

c-Energie potentielle élastique:

Considérons toujours le déplacement du mobile du point A vers le point B (voir fig. ci-dessus); dans ce cas le signe du travail est positif

Nous reprenons l'expression générale de la variation d'énergie potentielle vue pour la pesanteur que nous appliquons à la force élastique: **la variation d'énergie potentielle du système {ressort/objet} au cours d'un déplacement de A vers B est égale à l'opposé du travail de la force de rappel entre ces deux points.**

Le terme entre crochet, dans le cas présent, doit être positif car le travail est moteur lors du déplacement de A vers B (comme $x_B < x_A$, c'est bien le cas) .

Le signe «moins» placé devant le crochet signifie que l'énergie potentielle diminue au cours du déplacement de A vers B. Ce qui est cohérent. En se rapprochant de O, le ressort se détend.

L'expression de la variation de l'énergie potentielle en fonction du travail de la force s'applique encore, elle est générale.

En plaçant les termes en A et B dans le même ordre dans l'égalité, il vient:

Il est facile de constater que l'expression de ΔE_p prend toujours cette forme quelle que soit la phase du mouvement considéré.

Attention: la variation d'une grandeur est toujours la grandeur à l'état final moins la grandeur à l'état initial.

En isolant les termes en A et B, on obtient:

comme l'énergie cinétique, l'énergie potentielle s'exprime en joules(J).

L'expression de l'énergie potentielle à une date quelconque:

La constante dépend de l'état de référence c'est-à-dire l'état du système correspondant à une énergie potentielle nulle.

L'usage est de prendre: $x_E=0$ et l'état de référence est celui qui correspond au passage de l'objet par l'équilibre.

Comme dans le cas de la pesanteur, la variation d'énergie potentielle élastique entre 2 états du système est indépendante de l'état de référence.

Remarque : attention à l'erreur fréquente de calcul de ΔE_p !

$$\Delta E_p = \frac{1}{2} k (x_A - x_B)^2$$

Formule généralement fautive (sauf si $x_B=0$)