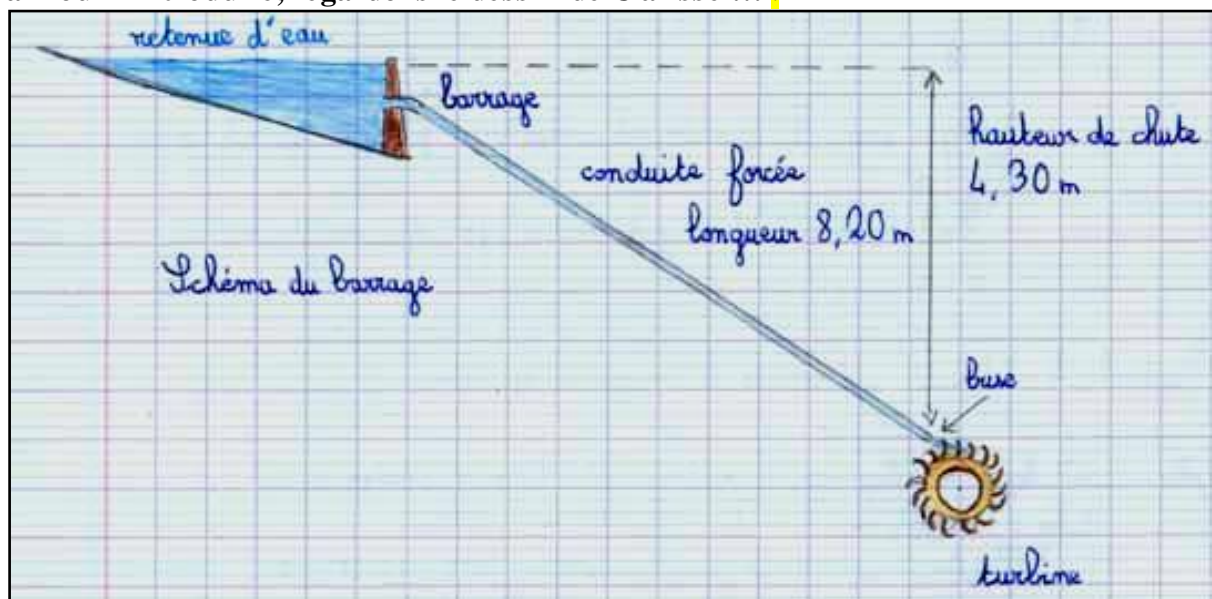


## L'ENERGIE POTENTIELLE.

### 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 la Terre.

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).

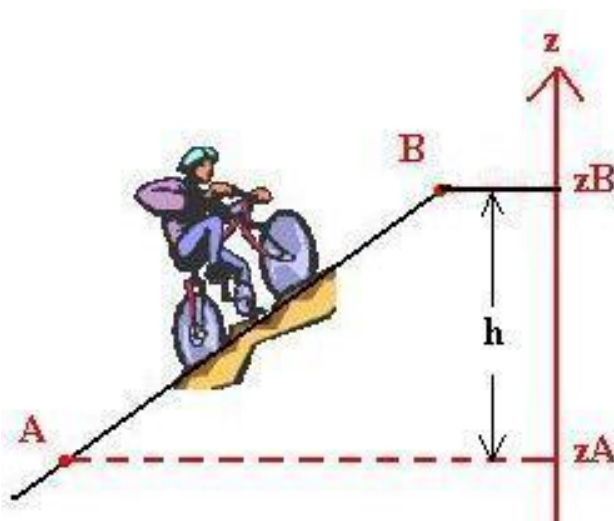
L'ingénieur responsable de l'édification du barrage cherchera à augmenter la **masse d'eau m** retenue. L'énergie ne pourra être transformée que s'il existe une **dénivellation h** entre le niveau du lac et la turbine.

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

$$W(\vec{P})_{(A \rightarrow B)} < 0$$

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 :

$$E_{p(B)}=m.g.z_B \quad \text{et} \quad E_{p(A)}=m.g.z_A \quad \text{plus g\u00e9n\u00e9ralement : } E_p(z)=m.g.z + cte$$

$$[\text{unit\u00e9s SI : m(kg) g(N.kg}^{-1}) \quad E_p(\text{J})]$$

La valeur de la constante d\u00e9pend de *l'\u00e9tat de r\u00e9f\u00e9rence* choisi.

Les hauteurs  $z_A$  et  $z_B$  sont mesur\u00e9es par rapport \u00e0 un niveau origine (niveau de la mer par exemple). L'\u00e9nergie potentielle d\u00e9pend donc aussi de cette origine.

On appelle « \u00e9tat de r\u00e9f\u00e9rence » l'\u00e9tat du syst\u00e8me « cycliste / Terre » pour lequel l'\u00e9nergie potentielle du syst\u00e8me est nulle.

Son choix est totalement arbitraire.

Il est possible de choisir l'\u00e9tat de r\u00e9f\u00e9rence du syst\u00e8me 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'\u00e9nergie potentielle sera toujours n\u00e9gative entre A et B (c'est moins judicieux).

**Par contre la variation de l'\u00e9nergie potentielle :  $E_p(\text{finale})-E_p(\text{initiale})$  est ind\u00e9pendante de l'\u00e9tat de r\u00e9f\u00e9rence choisi.**

### c- Expression g\u00e9n\u00e9rale de la variation de l'\u00e9nergie potentielle de pesanteur :

Soit un syst\u00e8me d\u00e9formable (c'est le cas du syst\u00e8me [cycliste, Terre]). Quelle que soit la phase du mouvement (\u00e9loignement du niveau de la mer ou rapprochement)

**La variation de l'\u00e9nergie potentielle du syst\u00e8me entre les deux \u00e9tats 1 et 2 est \u00e9gale \u00e0 l'oppos\u00e9 du travail du poids du cycliste entre l'\u00e9tat 1 et l'\u00e9tat 2.**

Sans trop insister, car cela d\u00e9passe le cadre du programme de 1<sup>ere</sup>, on peut savoir que l'\u00e9nergie potentielle n'est d\u00e9finie que si le travail de la force ne d\u00e9pend pas du chemin suivi, on parle alors de force « **conservative** ». C'est le cas du poids, de la force \u00e9lectrique, de la force de rappel d'un ressort .

Cet \u00e9nonc\u00e9 est coh\u00e9rent avec les observations . Ainsi, notre cycliste en descendant la montagne, son poids effectue cette fois **un travail moteur** (le poids tend \u00e0 favoriser le d\u00e9placement) de signe positif . La variation d'\u00e9nergie potentielle (entre le point bas et le point haut du relief) est l'oppos\u00e9e du travail ... Cette variation est donc n\u00e9gative, ce qui signifie que l'\u00e9nergie potentielle diminue au cours de la descente. C'est logique !

## 2-L'\u00e9nergie potentielle \u00e9lastique (1\u00e8re C et D seulement):

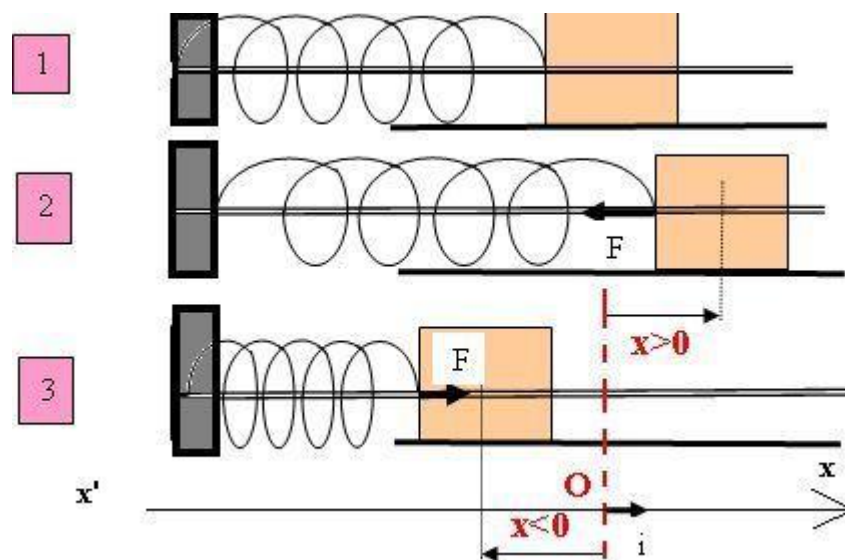
### a-Un jeu d'enfant qui peut \u00eatre dangereux !

Pour qu'un pistolet \u00e0 fl\u00e8che fonctionne, il faut enfoncer la fl\u00e8che dans le canon et comprimer un ressort qui se trouve \u00e0 l'int\u00e9rieur. Un verrouillage permet en principe de maintenir le ressort comprim\u00e9. Si tout se passe bien, le ressort se d\u00e9tend brutalement lors d'un d\u00e9verrouillage volontaire par action sur une g\u00e2chette ce qui propulse la fl\u00e8che. Le syst\u00e8me d\u00e9formable {ressort comprim\u00e9/fl\u00e8che} poss\u00e8de de l'\u00e9nergie potentielle dite « \u00e9lastique » qui peut se lib\u00e9rer tr\u00e8s rapidement ! Le mot « \u00e9lastique » caract\u00e9rise la force de rappel du ressort. Cela signifie que l'intensit\u00e9 de la force est proportionnelle \u00e0 l'allongement ou au raccourcissement du ressort. Il va nous falloir \u00e9valuer le travail de cette force.

### b-travail de la force de rappel d'un syst\u00e8me 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  $O \vec{i}$  ,(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):

$$\vec{F} = -k \cdot x \cdot \vec{i}$$

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

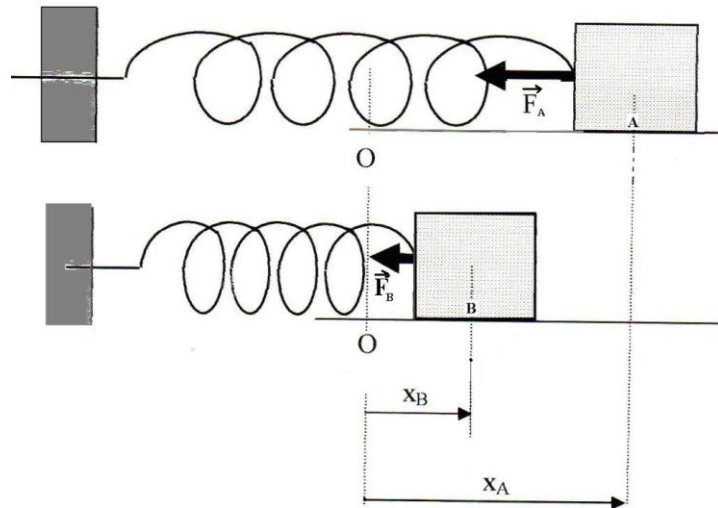
En effet, si l'objet est écarté à droite,  $x > 0$  et alors le sens de  $\vec{F}$  est le sens contraire du vecteur unitaire  $\vec{i}$  (fig2) .

Si l'objet est à gauche de O,  $x < 0$  et le sens de  $\vec{F}$  est le sens du vecteur  $\vec{i}$  .(fig3)

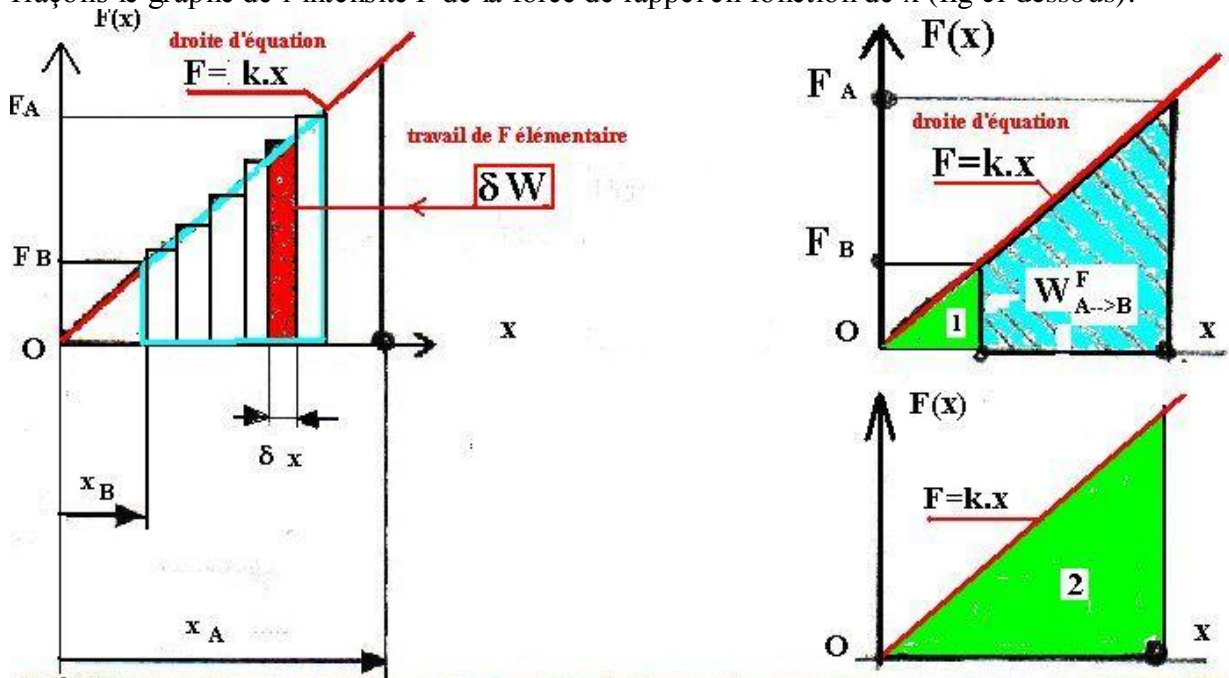
Suivant le signe de  $x$ , nous constatons que la force ayant cette expression tend à ramener l'objet vers la position d'équilibre.

**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  $\delta x$  à partir de A qui dure  $\delta t$ , 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  $t + \delta t$  est alors :  $\delta W = F \cdot \delta x = k \cdot x \cdot \delta x$ .

$\delta W$  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 :

$W_{(F)} = \sum \delta W = \text{aire du trapèze} = \text{aire triangle (2)} - \text{aire triangle (1)}$  (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).

$$W(\vec{F})_{A \rightarrow B} = \frac{1}{2} \cdot F_B \cdot x_A - \frac{1}{2} F_A \cdot x_B = \frac{1}{2} \cdot (k \cdot x_A) \cdot x_A - \frac{1}{2} \cdot (k \cdot x_B) \cdot x_B = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_A^2 - \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_B^2$$

### 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.**

$$Ep_{(B)} - Ep_{(A)} = -[W(\vec{F})_{(A \rightarrow B)}] = -\left[\frac{1}{2} k \cdot (x_A)^2 - \frac{1}{2} k \cdot (x_B)^2\right]$$

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 :

$$\Delta Ep = Ep_{(B)} - Ep_{(A)} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (x_B)^2 - \frac{1}{2} \cdot k \cdot (x_A)^2$$

Il est facile de constater que l'expression de  $\Delta Ep$  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 :

$$Ep_{(B)} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_B^2$$

$$Ep_{(A)} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_A^2$$

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

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

$$Ep(t) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot [x(t)]^2 + cte$$

**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 :  $x_{\text{cte}}=0$  . 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  $\Delta E_p$  !

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

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