PACES Tut' rentrée 2013-2014

Bases élémentaires de Physique générale

I. Généralités

A. La mécanique classique :

La mécanique classique a pour but de comprendre et prédire les mouvements d'un corps matériel.

Avant toute étude, il faudra définir un référentiel. Un référentiel est composé d'un point d'origine, de plusieurs axes (en générale 3 axes perpendiculaires entre eux) et d'un repère de temps. Afin de faciliter cette étude, on s'intéresse le plus souvent au centre d'inertie de l'objet.

II. Dynamique et cinématique

A. La Cinématique :

La cinématique étudie les systèmes en mouvement, sans prendre en compte les forces extérieures s'exerçant sur le système. La cinématique s'intéresse à 3 choses :

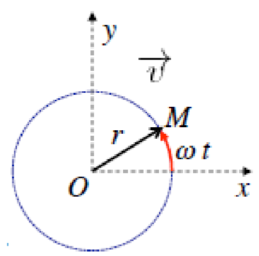
Trajectoire	Vitesse	Accélération
La trajectoire d'un point M est l'ensemble des positions successives occupées par M au cours du temps.	La vitesse est définie comme la dérivée de la position en fonction du temps. Elle renseigne sur la distance parcourue par unité de temps. Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire.	L'accélération est définie comme la dérivée de la vitesse en fonction du temps. Elle possède deux composantes : - une composante tangentielle - une composante normale

✧ La composante tangentielle de l'accélération est colinéaire à la vitesse, elle influx sur la vitesse de l'objet
✧ La composante normale de l'accélération est perpendiculaire à la vitesse, elle influx sur la direction de 'objet

Cas particuliers :

- ✓ L'accélération normale (a_n) est nulle, il s'agit d'un mouvement rectiligne
- ✓ L'accélération tangentielle (a_T) est nulle, il s'agit d'un mouvement uniforme (= vitesse constante)

Etude de cas particuliers : le mouvement circulaire uniforme :



Dans un mouvement circulaire uniforme, la vitesse est constante et la trajectoire circulaire. Ce mouvement est caractérisé par l'angle entre la masse et l'axe de référence, on le nomme ω(t) car il varie en fonction du temps. ω représente la vitesse angulaire (angle parcouru par unité de temps) ou pulsation, exprimée en rad.s^{-1}.

Le rayon r de la trajectoire est donné par la norme du vecteur position $\overrightarrow{OM}$: (cf. démo. 1)

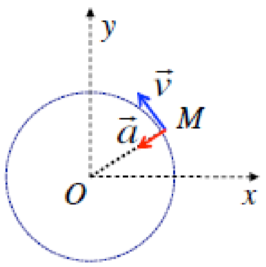
$$||OM|| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = r$$

Les coordonnées du vecteur position permettent de définir les vecteurs vitesse et accélération, et sont telles que :

$$OM(t)\left| \begin{array}{c} x = rcos(\omega t) \\ y = rsin(\omega t) \\ z = 0 \end{array} \right| \quad \vec{v}(t)\left| \begin{array}{c} x = -\omega r sin(\omega t) \\ y = \omega r cos(\omega t) \\ z = 0 \end{array} \right| \quad \vec{a}(t)\left| \begin{array}{c} x = -\omega^2 r cos(\omega t) \\ y = -\omega^2 r sin(\omega t) \\ z = 0 \end{array} \right|$$

Mémo : Pour la position : cos pour axe des x car c'est l'axe horizontale

Pour ce mouvement, on définit la vitesse angulaire qui peut être exprimé en fonction de la vitesse : $\omega = \frac{v}{r}$ (cf. démo. 2)



Dans le cas du mouvement circulaire uniforme, on ne retrouve qu'une seule composante de l'accélération : la composante normale.

De plus, l'accélération est dirigée vers le centre du cercle décrit par la trajectoire : on parle alors d'accélération purement centripète.

L'accélération du mouvement circulaire uniforme peut s'exprimer en fonction de la vitesse ou de la vitesse angulaire : $a_n = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$

B. La dynamique

La dynamique étudie les systèmes en mouvement en prenant en compte les forces extérieures qui s'exercent sur ce système. Il existe 3 lois de base de la dynamique : ce sont les lois de Newton.

1. La première loi de Newton, ou principe d'inertie.

Dans un référentiel galiléen, le vecteur vitesse du centre d'inertie est constant si et seulement si la somme des forces extérieures est nulle.

$$\vec{a} = 0 \Leftrightarrow \sum \vec{F}_{ext} = 0$$

Vocabulaire : Un référentiel est dit galiléen lorsque la première loi de Newton est vérifiée

La première loi de Newton est un cas particulier de 2ème loi de Newton

2. La deuxième loi de Newton, ou principe fondamental de la dynamique.

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un objet est égale au produit de la masse de l'objet par le vecteur accélération de son centre d'inertie.

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$$

3. La troisième loi de Newton, ou principe d'action-réaction.

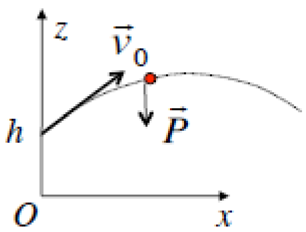
Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B.

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

On distingue deux types de forces :

- ✓ Les forces à distance (ex. force de pesanteur)
- ✓ Les forces de contact (ex. force de frottement)

Etude de cas particulier : le tir balistique :



On considère une masse m, qui à t = 0 se situe à une hauteur h dans un référentiel (x,z), la coordonnée y n'est pas prise en compte. On part avec une vitesse initiale représentée par $\vec{v}_0$.

On considère qu'une seule force extérieure s'exerce sur le projectile : celle du poids, dirigée dans le sens opposé à z.

En reprenant la 2ème loi de Newton on a donc : $m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext}$

Or, le poids est la seule force extérieure s'exerçant : $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} = m.\vec{g}$

On retrouve ainsi : $m\vec{a} = m\vec{g}$ d'où $\vec{a} = \vec{g}$

On peut ainsi en déduire les coordonnées de l'accélération : $a_t \begin{vmatrix} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{vmatrix}$

Vocabulaire : $\vec{g}$ correspond à l'accélération de la pesanteur, exprimée en $m.s^{-2}$

L'accélération étant la dérivée de la vitesse, il suffit d'intégrer pour obtenir les coordonnées de la vitesse $\vec{v}_0$ puis d'intégrer une nouvelle fois pour avoir l'équation de la position du projectile :

$$v_t \begin{vmatrix} v_x = v_{0x} \\ v_y = 0 \\ v_z = -gt + v_{0z} \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{cases} x_t = v_{0x}t \\ y_t = 0 \\ z_t = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0z}t + h \end{cases}$$

Pour avoir une idée plus globale de la trajectoire, on peut éliminer la variable t :

$$\begin{cases} t = \frac{x}{v_{0x}} \\ z = -g.\frac{x^2}{2v_{0x}^2} + \frac{v_{0z}}{v_{0x}}x + h \end{cases}$$

On peut également exprimer v_{0x} et v_{0z} en fonction de la vitesse initiale et de l'angle avec lequel on a lancé l'objet. On obtient alors : $v_{0z} = v_0.sin(\Theta)$
$v_{0x} = v_0.cos(\Theta)$

En réinjectant dans l'équation on a : $$z = -g.\frac{x^2}{2v_0{}^2cos^2(\Theta)} + \frac{sin(\Theta)}{cos(\Theta)}.x + h$$

En prenant z et h comme nuls, on peut exprimer x tel que : $$x = \frac{v_0^2 sin(2\Theta)}{g}$$

III. Les conditions d'équilibre d'un solide

A. Bilan et moment des forces

Un corps solide est en équilibre statique lorsque tous ses points sont au repos. Pour cela, il faut remplir deux conditions :

- ✓ La vitesse du centre d'inertie doit être nulle, on parle d'équilibre de translation. Cet équilibre impose que le bilan des forces extérieures soit nul.
- ✓ Le moment des forces doit être nul, on parle d'équilibre de rotation.

Le moment d'une force F appliquée au point M par rapport au point O est donné par le produit vectoriel $\vec{OM} \wedge \vec{F}$

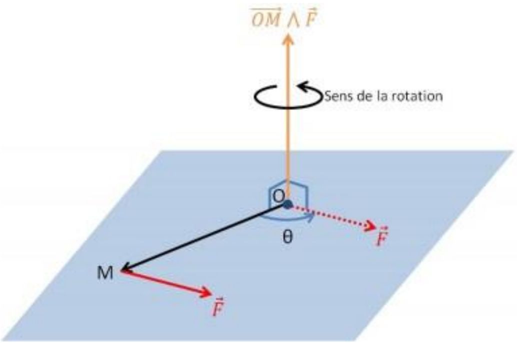
Le vecteur issu de ce produit vectoriel est tel que :

- ✓ sa direction est perpendiculaire au plan (OMF)
- ✓ son sens est donné par la règle du vissage droit (expliqué plus loin)
- ✓ sa norme vaut : $||OM|| . ||F|| \, sin(\Theta)$, avec ϴ l'angle entre $\vec{OM}$ et $\vec{F}$

Rappel : Un produit vectoriel est le produit de deux vecteurs qui s'exprime sous la forme d'un vecteur

Le vecteur issu de ce produit vectoriel est donc l'axe de la rotation.

La règle du vissage droit :



Pour visser quelque chose, on tourne dans le sens des aiguilles d'une montre.

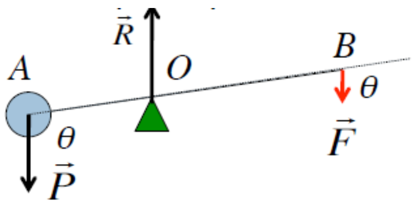
Il faut tout d'abord projeter le vecteur F pour que les deux vecteurs aient la même origine (étape importante pour avoir ϴ)

On place ensuite sa main dans la direction de $\vec{OM}$ (le plan formé par les doigts doit correspondre à la direction de $\vec{OM}$) puis on la fait tourner jusqu'au vecteur $\vec{F}$ en prenant le chemin le plus court.

Il y a alors deux possibilités :

- ✓ Soit la main tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, le moment « rentre » dans le feuille : on lui donnera un signe positif
- ✓ Soit la main tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, le moment « sort » de la feuille : on lui donnera un signe négatif

Etude de cas particulier : le levier



Quelle force F appliquer au point B pour obtenir l'équilibre du levier ?

Pour obtenir l'équilibre du levier, il faut que le bilan des forces et le moment des forces soient nuls.

On retrouve ici 3 forces : le poids ($\overrightarrow{P}$), la réaction ($\overrightarrow{R}$) et les frottements ($\overrightarrow{F}$).

Bilan des forces	Moment des forces
$\overrightarrow{P} + \overrightarrow{R} + \overrightarrow{F} = 0$	$\overrightarrow{OA} \wedge \overrightarrow{P} + \overrightarrow{OB} \wedge \overrightarrow{F} = 0$ $-OA.P.sin(\Theta) + OB.F.sin(\Theta) = 0 \Rightarrow P = \frac{OB.F}{OA}$ Le signe des moments des forces est donné par la règle du vissage droit. Le moment de force de la réaction ($\overrightarrow{R}$) est nul car l'origine de cette force se situe au niveau du point de référence O.

IV. Les charges électriques au repos

A. Force électrostatique

L'électrostatique est l'étude des charges électriques au repos. La loi de base de l'électrostatique est la loi de Coulomb, elle définit les interactions entre 2 charges telles que :

$$\overrightarrow{F}_{a/b} = k\frac{q_a.q_b}{r^2}.\widehat{r}$$

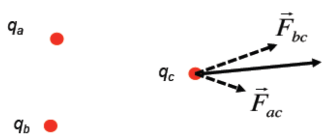
Avec :
k : la constante de la force de coulomb ($Nm^2.C^{-2}$)
q : la charge (C)
r : la distance entre les deux charges (m)

On distingue deux types de forces :

- ✓ Les forces attractives, lorsque les deux charges sont de signes opposés
- ✓ Les forces répulsives, lorsque les deux charges sont de même signes

Une propriété importante de la force de Coulomb : elle est additive. C'est-à-dire que si deux particules chargées Q_a et Q_b interagissent avec une charge Q_c, il est possible de calculer chacune des forces séparément puis de tout additionner.

Exemple :



$$\overrightarrow{F} = \overrightarrow{F}_{a/c} + \overrightarrow{F}_{b/c}$$

$$\overrightarrow{F} = k.\frac{q_a.q_c}{r^2}.\widehat{r} + k.\frac{q_b.q_c}{r^2}.\widehat{r}$$

B. Notion de champs électrique

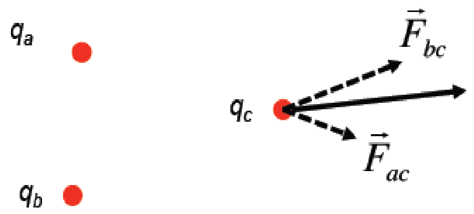
Un champ électrique est un champ de force créé par l'attraction et la répulsion de plusieurs charges électriques. On cherche à évaluer la force de Coulomb sur une charge placée à un endroit donné, tandis que les autres restent fixes.

On définit donc le champ électrique au point (x,y,z) comme la force électrique qui s'exercerait sur une charge unité placée en ce point. L'expression de la force de Coulomb s'écrit alors :

$$\overrightarrow{F} = q.\overrightarrow{E}(x,y,z) \qquad \overrightarrow{E} = \sum k.\frac{q_i}{r_i^2}.\widehat{r_i}$$

Avec :
F : la force de Coulomb (N)
q : la charge (C)
E : le champ électrique ($N.C^{-1}$ ou $V.m^{-1}$)

Exemple :



En reprenant l'exemple vu plus haut, le champ électrique s'exerçant sur la charge Q_c vaut :

$$\vec{E} = k.\frac{q_a}{r_{ac}^2}.\hat{r}_{ac} + k.\frac{q_b}{r_{bc}^2}.\hat{r}_{bc}$$

En utilisant la formule liant la force de Coulomb au champ électrique, on retrouve bien le même résultat que précédemment :

$$\vec{F} = q_c\vec{E} \qquad \vec{F} = k.\frac{q_a.q_c}{r^2}.\hat{r} + k.\frac{q_b.q_c}{r^2}.\hat{r}$$

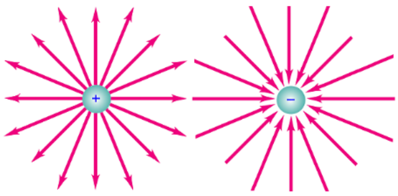
C. Exemple élémentaire de schématisation du champ électrique

On représente un champ électrique au moyen de ligne de champ, les tangentes à ces lignes vont donner la direction du champ électrique.

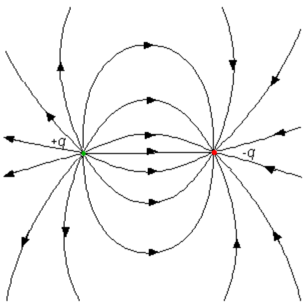
Cas 1 : champ électrique d'une charge ponctuelle

On distingue deux types de charges ponctuelles :

- ✓ Les charges positives : les lignes de champs sont radiales et dirigées vers l'extérieur (répulsif)
- ✓ Les charges négatives : les lignes de champs sont radiales et dirigées vers l'intérieur (attractif)



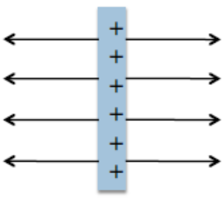
Cas 2 : le dipôle électrique



Il s'agit de la distribution de charges correspondant à deux charges ponctuelles identiques, mais de signes opposés.

Si on s'intéresse au sens du champ électrique, on remarque qu'il provient de la charge positive et va vers la charge négative.

Cas 3 : champ crée par une distribution plane des charges



Soit une distribution de charges superficielles dans un plan s'étendant à l'infini, selon une densité σ, le champ électrique créé possède deux propriétés :

- ✓ Il est perpendiculaire au plan
- ✓ Il est constant, peu importe la distance

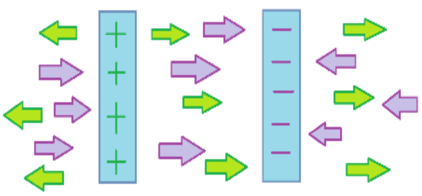
Vocabulaire :
σ (densité de charge) correspond au nombre de charge par unité de surface (C.m^{-2})

Explication : plus on s'éloigne, plus on voit de charges, ce qui va compenser la distance

La norme du champ électrique crée par cette distribution plane des charges est donnée par : $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

Cas 4 : champ électrique entre deux plans chargés

On s'intéresse à deux plans chargés : un plan chargé positivement avec une densité σ et l'autre négativement avec une densité –σ. Le sens du champ électrique va du plan positif vers le plan négatif.

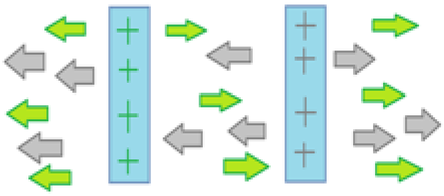


En appliquant le principe de superposition, on se rend compte que le champ créé par ces deux plaques chargées est constant entre les plaques, et s'annule à l'extérieur de celle-ci.

Entre les deux plaques, la somme totale des champs vaut : $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

Le lien entre la différence de potentiel et le champ est : $V = E.d$
Il s'agit d'un exemple lié à la notion de condensateur.

On s'intéresse cette fois-ci à deux plans chargés positivement avec une densité σ.



En appliquant le principe de superposition, on se rend compte que le champ électrique créé par ces deux plaques chargées s'annule entre les plaques, et reste constant à l'extérieur de celle-ci.

A l'extérieur des deux plaques, la somme totale des champs vaut : $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

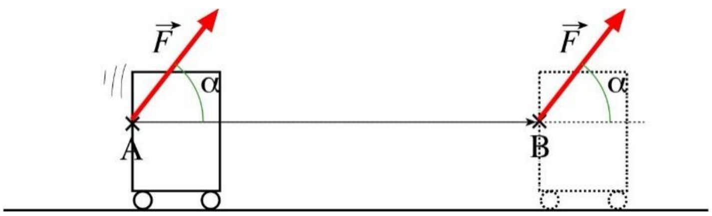
V. Le formalisme du potentiel

A. Le travail d'une force

Le travail d'une force est l'énergie fournie par cette force lorsque son point d'application se déplace. Pour une force constante $\vec{F}$, lors d'un déplacement rectiligne de son point d'application du point A vers le point B, le travail de cette force est défini par le produit scalaire de $\vec{F}$ par $\vec{AB}$ et se note W_{AB}.

Rappel : Un produit scalaire est le produit de deux vecteurs qui s'exprime sous la forme d'un nombre

Exemple :



$$W_{AB} = \vec{F}.\vec{AB}$$

$$W_{AB} = F.AB.cos(\alpha)$$

Après le calcul du travail de la force, on a plusieurs possibilités :

$W_{AB} < 0$	$W_{AB} = 0$	$W_{AB} > 0$
Dans ce cas, la force s'oppose au mouvement du système de A vers B, on parle de travail résistant.	Dans ce cas, le travail de la force est nul et n'influe pas sur le mouvement du système.	Dans ce cas, la force favorise le mouvement du système de A vers B, on parle de travail moteur.

B. Les forces conservatrices

Une force est dite conservatrice si le travail pour aller de A vers B ne dépend que des positions de A et B, autrement dit, s'il ne dépend pas du chemin suivi. On s'intéressera principalement à trois forces conservatrices :

- La force de pesanteur
- La force d'élasticité
- La force de Coulomb

C. Notion d'énergie potentielle

Pour commencer, la notion d'énergie potentielle ne s'applique qu'aux forces conservatrices. L'énergie potentielle correspond à une énergie liée à une interaction, qui a la capacité de se transformer en énergie cinétique.

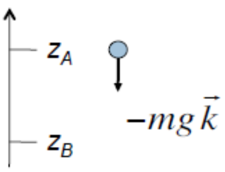
On définit la variation d'énergie potentielle entre A et B comme le travail de la force depuis A jusqu'à B.

$$W_{AB} = U_f(A) - U_f(B)$$

Avec :
U_f : la fonction définissant l'énergie potentielle

A cette fonction s'ajoute normalement une constante, mais elle est en général choisie comme nulle

Cas 1 : La force de pesanteur



Soit un objet de masse m soumis à la force de pesanteur, celle-ci s'écrit : $F_p = -mg$

Les énergies potentielles aux points A et B seront respectivement :

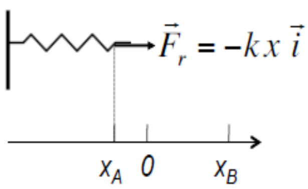
$$U_A = mgz_A \qquad U_B = mgz_B$$

On en déduit ensuite l'expression du travail de la force de pesanteur :

> **Attention :**
> Il faut adapter le signe en fonction de l'axe et du sens de la force !

$$W_{AB} = mgz_A - mgz_B = mg.(z_A - z_B)$$

Cas 2 : La force d'élasticité du ressort



Soit un ressort soumis à la force d'élasticité du ressort, celle-ci s'écrit : $F_k = -kx$

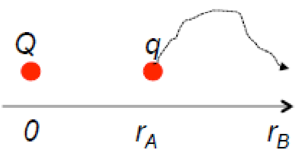
Les énergies potentielles aux points A et B seront respectivement :

$$U_A = \frac{1}{2}kx_A^2 \qquad U_B = \frac{1}{2}kx_B^2$$

On en déduit ensuite l'expression du travail de la force d'élasticité :

$$W_{AB} = \frac{1}{2}kx_A^2 - \frac{1}{2}kx_B^2 = \frac{1}{2}k.(x_A^2 - x_B^2)$$

Cas 3 : La force de coulomb



Soit une charge soumise à la force de coulomb, celle-ci s'écrit : $F = k.\frac{Q.q}{r^2}$

Les énergies potentielles aux points A et B seront respectivement :

$$U_A = k.\frac{Q.q}{r_A} \qquad U_B = k.\frac{Q.q}{r_B}$$

On en déduit ensuite l'expression du travail de la force de coulomb :

$$W_{AB} = k.\frac{Q.q}{r_A} - k.\frac{Q.q}{r_B} = kQq.(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B})$$

Petit tableau récapitulatif :

	Force	Energie potentielle	Travail
Poids	$P = mg$	$U_P = mgz$	$W_{AB} = mg\Delta z$
Ressort	$R = kx$	$U_R = \frac{1}{2}kx^2$	$W_{AB} = \frac{1}{2}k\Delta x^2$
Electrostatique	$F = k.\frac{Q.q}{r^2}$	$U_F = k\frac{Q.q}{r}$	$W_{AB} = k.\frac{Q.q}{\Delta r}$

D. Energie potentielle associée à une distribution de charges

On s'intéresse cette fois-ci à l'énergie potentielle d'une distribution de charges, qui peut être interprétée comme l'énergie nécessaire pour former cette distribution.

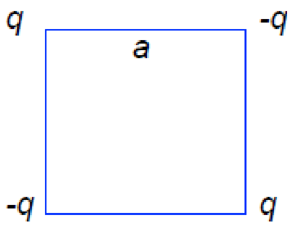
Attention :
un système lié n'est pas forcément stable !

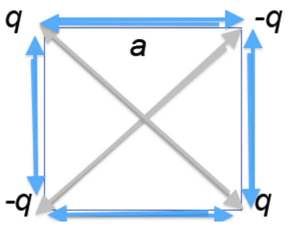
On en distingue alors deux types :

✧ Les systèmes dits liés : l'énergie potentielle U est négative, il faudra dépenser de l'énergie pour éloigner les différentes particules et les remettre à l'infini.

✧ Les systèmes dits non liés : l'énergie potentielle U est positive, le système est instable et prêt à se dissocier en libérant de l'énergie.

Exemple :





<u>Quelle est l'énergie de ce système ?</u>

On peut calculer l'énergie de ce système en utilisant la propriété additive de la force électrostatique.

Il y a ici 6 interactions au total : 4 interactions au niveau de chaque côté, mais aussi 2 interactions diagonales.

En additionnant les énergies : $U = -4k\frac{q^2}{a} + 2k\frac{q^2}{a\sqrt{2}} = 2k\frac{q^2}{a}.(\frac{1-2\sqrt{2}}{\sqrt{2}})$

On remarque que le terme $(\frac{1-2\sqrt{2}}{\sqrt{2}})$ est négatif, l'énergie potentielle sera négative : il s'agit d'un système lié.

Astuce :
Pour savoir combien d'interaction il y a dans un système (et donc de termes dans l'équation), on peut le calculer de la manière suivante : $\frac{n(n-1)}{2}$

Avec n : le nombre de charge

Application :

Il y a 4 charges, donc : $\frac{4*3}{2} = 6$

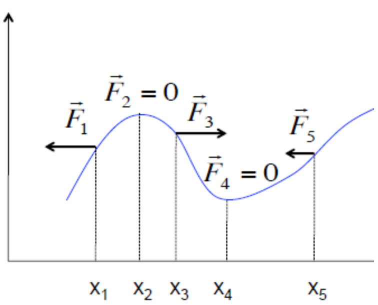
On retrouve bien 6 interactions.

E. Relation force-énergie ponctuelle

Lorsqu'on veut relier l'énergie potentielle en fonction de la force, on remarque que la force se définit comme l'opposée de la dérivée de l'énergie potentielle.

Cette définition est très pratique en physique expérimentale car elle permet l'étude d'un système, sans forcément connaitre les fonctions d'énergies potentielles. On a donc : $F = -\frac{dU_F}{dx}$

Exemple :



Voici une courbe représentant les variations d'énergie d'un système selon une direction donnée.

Prenons la point d'abscisse x_1 : on voit que l'énergie est positive (car la courbe « monte »), on en déduit que la force est négative (c'est-à-dire qu'elle va dans le sens opposé au mouvement)

Prenons le point d'abscisse x_3 : on voit que l'énergie est négative, on en déduit que la force est positive.

On remarque également 2 points d'équilibre au niveau des extrema (x_2 et x_4) :

✓ Un point d'équilibre <u>instable</u> (x_2), c'est-à-dire que si on déplace le système, il ne sera plus en équilibre et ne retournera plus dans sa position initiale (à moins que l'on dépense de l'énergie)

✓ Un point d'équilibre <u>stable</u> (x_4) : si on déplace le système, il retournera dans sa position initiale sans qu'on ait besoin de dépenser de l'énergie, grâce à une force de rappel.

F. Energie cinétique et énergie totale

L'énergie cinétique d'un système de masse m est donnée par la formule : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$

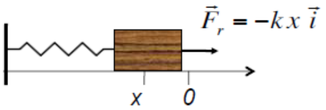
L'énergie totale se définit comme la somme de l'énergie cinétique et des énergies potentielles : $E_t = E_c + U_r$

On peut également relier la variation d'énergie cinétique au travail des forces extérieures : c'est le théorème de l'énergie cinétique : $W_{AB} = E_c(B) - E_c(A)$

Si les forces extérieures sont conservatrices, on a également : $W_{AB} = U_{ext}(A) - U_{ext}(B)$

On en déduit ainsi la loi de conservation de l'énergie totale : $E_c(B) + U_{ext}(B) = E_c(A) + U_{ext}(A)$

Exemple 1 : Energie totale d'une masse liée à un ressort :



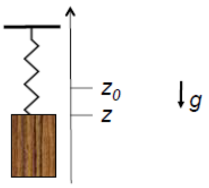
La force s'exerçant ici est la force d'élasticité du ressort, l'énergie potentielle vaut donc :

$$U = \frac{1}{2}kx^2$$

On en déduit l'expression de l'énergie totale :

$$E_t = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

Exemple 2 : Energie totale d'une masse soumise à la pesanteur et liée à un ressort



Les forces s'exerçant ici sont la force de pesanteur et la force d'élasticité du ressort. Les énergies potentielles sont alors :

$$U_F = \frac{1}{2}k(z - z_0)^2 \qquad U_P = mgz$$

On en déduit l'expression de l'énergie totale :

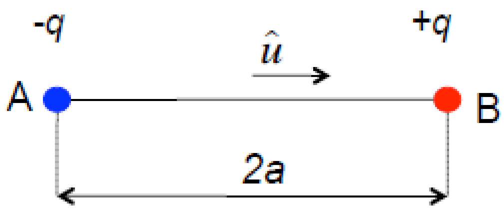
$$E_t = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k(z - z_0)^2 + mgz$$

Attention :
Une fois de plus, il faut adapter le signe en fonction de l'axe et du sens de la force !

VI. Les dipôles électriques

A. Définition

Un dipôle électrique correspond à une disposition de deux charges de même valeur absolue mais de signe opposé, séparées par une distance nommée 2a par convention.



On associe au dipôle un moment dipolaire : $\vec{p} = 2a.q.\hat{u}$

Avec :
2a : la distance entre les charges (et non deux fois la distance, attention piège !)
q : la charge (q > 0)
$\hat{u}$: le vecteur unité

Le moment dipolaire est caractérisé par un vecteur :

- ✓ aligné sur la droite joignant les deux charges
- ✓ dont le sens va de la charge – vers la charge +
- ✓ dont on notera la norme p

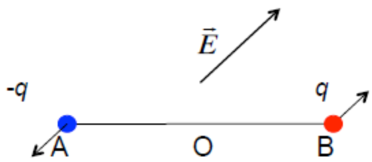
Le moment dipolaire s'exprime en Coulomb-mètre [C.m]. L'ordre de grandeur du moment dipolaire « p » est très petit : 10^{-29} C.m

Le potentiel électrique d'un dipôle en un point M décroit avec le <u>carré de la distance</u> et s'exprime : $V(M) = k.\frac{\vec{p}.\vec{r}}{r^2}$

Le champ électrique créé par un dipôle en un point M décroit quant à lui avec le <u>cube de la distance</u>.

B. Dipôle électrique et champ électrique

Lorsque l'on place un dipôle dans un champ électrique, la charge positive tendra à se mettre dans le même sens que le champ, tandis que la charge négative ira dans le sens opposé.



Les forces électrostatiques associées aux deux charges sont égales, mais de signe opposé : $\vec{F}_A = -q\vec{E}$ $\quad \vec{F}_B = q\vec{E}$

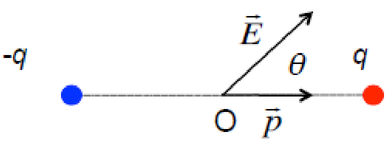
La somme des forces est donc nulle : $\vec{F}_A + \vec{F}_B = 0$

On retrouve tout de même un mouvement de <u>rotation</u> : les charges de ce dipôle s'alignent avec le champ électrique, il existe donc un <u>moment des forces</u> non nul tel que :

$$\begin{aligned}\vec{\Gamma} = \vec{OA} \wedge \vec{F_A} + \vec{OB} \wedge \vec{F_B} &= q.(-\vec{OA} \wedge \vec{E} + \vec{OB} \wedge \vec{E}) \\ &= q.(\vec{AO} + \vec{OB}) \wedge \vec{E} \\ &= \vec{p} \wedge \vec{E}\end{aligned}$$

La norme du moment des forces vaut : $\Gamma = p.E.sin(\Theta)$

Mémo :
Il y a 2 mémo possible :
- on se rappelle qu'il s'agit de moment des forces, donc c'est sin(ϴ)
- On cherche l'al<u>i</u>gnement, donc c'est s<u>i</u>n



L'énergie potentielle du dipôle associé au champ électrique est définie à la fois par le champ électrique, le moment dipolaire et l'angle définit par les deux vecteurs.

Cette énergie potentielle est donnée par le produit scalaire entre le moment dipolaire et le champ électrique :

Mémo :
Pour l'énergie p<u>o</u>tentielle, on utilise le c<u>o</u>s

$$U(\Theta) = -\vec{p}.\vec{E} = -p.E.cos(\Theta)$$

L'énergie potentielle de ce système varie en fonction de l'angle entre le champ électrique et le moment dipolaire :

- ✓ L'énergie est au minimum lorsque le moment dipolaire et le champ électrique sont alignés
- ✓ L'énergie est au maximum lorsque le moment dipolaire et le champ électrique sont dans le sens opposé.

C. Dipôle électrique dans la matière

Autour de nous, la matière apparait globalement neutre, mais la présence de charges positives et négatives conduit à la formation de dipôles électriques.

On décrit de façon générale un moment dipolaire, mais il existe en réalité 2 moments dipolaires :

Le moment dipolaire induit :

Les molécules diatomiques ou symétriques, c'est-à-dire non polaire, sont concernées car elles sont caractérisées par une distribution de charge symétrique.

Ce type de molécules ou atomes ne possèdent de moment dipolaire au repos, mais il peut être induit par un champ électrique, sa valeur est alors :

$$\vec{p} = \alpha \vec{E}$$

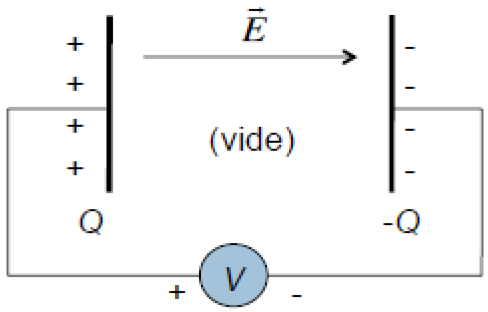
α correspond au coefficient de polarisabilité, il représente la capacité d'une molécule ou d'un atome à se déformer sous un champ électrique.

Le moment dipolaire permanent :

Il existe des molécules qui ont naturellement un comportement dipolaire car les barycentres de charges positives et négatives ne coïncident pas. Ces molécules sont dites polaires.

Attention :
Des molécules ayant un moment dipolaire permanent peuvent aussi avoir un moment dipolaire induit lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique !

D. Les condensateurs



Un condensateur est un dipôle constitué de deux plaques chargées, de signes opposés, espacées d'une distance d.

Pour un condensateur, on peut évaluer la densité de charge σ car on a la charge totale Q et la surface des plaques S : $\sigma = \frac{Q}{S}$

D'autre part on sait que : $Q = C.V$

On en déduit ainsi que la capacité du condensateur vaut : $C = S\frac{\varepsilon_0}{d}$

L'énergie emmagasinée par un condensateur dépend de sa capacité et de la différence de potentiel entre les deux plaques :

$$W = \frac{1}{2}C.V^2$$

Dans un condensateur, on peut moduler le champ électrique entre les deux plaques à l'aide d'un matériel diélectrique (= constitué de molécules polarisable)

Les molécules du matériau vont se polariser, et créés un moment dipolaire dans le condensateur qui va s'opposer au champ électrique. Les conséquences de ce phénomène sont :

- ✓ Diminution du champ électrique (E' < E)
- ✓ Diminution de la différence de potentiel (V' < V)
- ✓ Augmentation de la capacité du condensateur (C' > C)

Avec :
La capacité C en Farad
L'énergie emmagasinée W en joules
Le champ électrique en $V.m^{-1}$ ou $N.C^{-1}$

La constante diélectrique, ou permittivité relative du matériau est définie par :

$$\varepsilon_r = \frac{C'}{C}$$

THE END