

## PARTIE I : Cinématique, Dynamique et Equilibre Statique

La physique générale s'intéresse à l'étude des systèmes qui peuvent être mobiles ou fixes. Avant d'étudier tout système, il faut définir ce qu'on appelle un référentiel. Un référentiel est composé d'un point de référence (souvent le 0) et de plusieurs axes (x, y, z, le temps, etc.).

### LA CINEMATIQUE

La cinématique étudie les systèmes en mouvement sans prendre en compte les forces extérieures qui s'exercent sur ce système. En général lorsqu'on étudie la cinématique d'un système physique on s'intéresse à 3 choses : la trajectoire de l'objet, sa vitesse, son accélération.

1- La trajectoire de l'objet : C'est l'ensemble des positions qu'occupe l'objet . La trajectoire peut être rectiligne (ligne droite), circulaire , parabolique (exemple du canon qui tire) etc.

2 - La vitesse de l'objet : Une vitesse est une distance divisée par un temps. La vitesse est également définie par la formule :

$$\vec{v} = \frac{d\mathbf{OM}(t)}{dt}$$

Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire d'un objet!

3 - L'accélération de l'objet : Elle peut faire l'objet aller plus vite, moins vite, ou changer l'objet de trajectoire. L'accélération correspond à la dérivée de la vitesse au cours du temps, soit la formule :

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$$

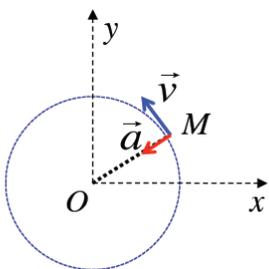
L'accélération est représenté par un vecteur, tout comme la vitesse. Cependant elle n'est pas toujours tangente à la vitesse. Souvent, l'accélération est décomposée en deux : un vecteur tangent au vecteur vitesse et un vecteur perpendiculaire au vecteur vitesse (et en ajoutant ces 2, on retrouve l'accélération totale.).

---> Le morceau d'accélération perpendiculaire à la vitesse se nomme accélération normale

---> Le morceau d'accélération tangent à la vitesse se nomme accélération tangentielle

Si l'accélération a une composante normale, alors l'objet changera de direction au cours du temps.

Si l'accélération a une composante tangentielle, alors l'objet changera de vitesse au cours du temps.



Exemple 1: Dans un mouvement circulaire uniforme, la vitesse est constante. La trajectoire est circulaire (donc l'objet change de direction sans arrêt). Par conséquent, l'accélération tangentielle sera nulle et l'accélération sera complètement perpendiculaire au vecteur vitesse! Dans le mouvement circulaire uniforme, on dit que l'accélération est centripète.

Exemple 2 : Dans un mouvement rectiligne, la direction ne change jamais (elle reste une ligne droite), par conséquent, l'accélération normale sera nulle.

FORMULES A CONNAITRE POUR L'ETUDE CINETIQUE D'UN MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME :

La vitesse angulaire : c'est l'angle parcouru (en radians) par unité de temps.

$$\omega = \frac{v}{r}$$

L'accélération du mouvement circulaire uniforme  $a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$  r étant le rayon du cercle

NB : Si la vitesse est constante en norme , ca ne veut pas forcément dire que l'accélération sera nulle. Dans le mouvement circulaire uniforme, la vitesse est constante en norme, mais pas en direction! (L'objet change sans arrêt de direction)

## LA DYNAMIQUE

La Dynamique étudie les systèmes en mouvement en prenant en compte les forces extérieures qui s'exercent sur ce système. En général, lorsqu'on étudie la dynamique d'un système physique, on s'intéresse à 3 lois : les 3 lois de Newton

$$\frac{d\vec{v}_G}{dt} = 0 \Leftrightarrow \sum \vec{F}_{ext} = 0$$

Première loi de Newton : Principe d'inertie : Dans un référentiel galiléen, la vitesse d'un objet est constante si et seulement si la somme des forces extérieures est nulle.

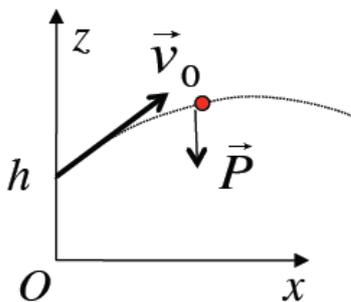
$$m \vec{a}_G = \sum \vec{F}_{ext}$$

Deuxième loi de Newton : Principe fondamental de la Dynamique : Dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures à un système correspond à la masse du système multiplié par l'accélération de son centre d'inertie.

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

Troisième loi de Newton : Principe d'action-réaction : Si A exerce une force sur B, B exercera toujours une force opposée sur A. (Si je met ma main sur la table, la table exercera une résistance à ma main)

NB : Parmi les forces extérieures, on distingue les forces à distance (comme le poids), et les forces de contact (comme les frottements).



Lorsqu'on cherche la position d'un objet à tel instant, on utilise la deuxième loi de Newton, et on fait des équations différentielles pour déduire de l'accélération, la vitesse, puis la position du point M au cours du temps. (Un peu de maths).

La figure de gauche est un exemple d'étude dynamique : le mouvement parabolique.  $v_0$  est la vitesse initiale et P le poids de l'objet tiré.

La Deuxième loi de Newton dit que :

$$m \vec{a}_G = \vec{P} \Leftrightarrow \begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ m \frac{dv_y}{dt} = 0 \\ m \frac{dv_z}{dt} = -mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_x(t) = v_{0x} \\ v_y(t) = 0 \\ v_z(t) = v_{0z} - gt \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_x(t) = \frac{dx}{dt} = v_{0x} \\ v_x(t) = \frac{dy}{dt} = 0 \\ v_z(t) = \frac{dz}{dt} = v_{0z} - gt \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x(t) = v_{0x}t \\ y(t) = 0 \\ z(t) = h + v_{0z}t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

(cas particuliers:

Mvt vertical si  $v_{0x}=0$   
chute « libre » si  $v_0 = 0$ )

Pour les QCM probables, il faudrait retenir la dernière formule. On peut vous demander à quelle distance tombera l'objet par exemple, ou quelle est la hauteur maximale à laquelle ira l'objet.

$$V_{0z} = V_0 * \sin(\text{Angle auquel on a lancé l'objet})$$

$$V_{0x} = V_0 * \cos(\text{Angle auquel on a lancé l'objet})$$

Ou, en éliminant la variable t :  $z = h + \frac{v_{0z}}{v_{0x}}x - \frac{g}{2v_{0x}^2}x^2$  (équation d'une parabole)

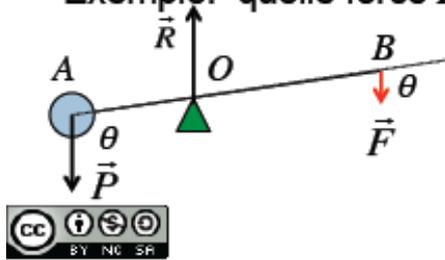
## CONDITIONS D'EQUILIBRE D'UN CORPS SOLIDE

Un corps solide est en équilibre statique si tous ses points sont au repos, ce qui implique que le bilan des forces extérieures soit nul. Mais cela ne suffit pas. Il est de plus nécessaire que la somme des moments de forces par rapport à un point quelconque O soit nulle.

Le moment de force F appliquée en un point M par rapport au point O est donnée par le produit vectoriel  $\vec{OM} \wedge \vec{F}$  qui est tel que :

- sa direction est perpendiculaire au plan défini par les vecteurs OM et F
- son sens est donné par une règle telle que celle du "vissage droit" (Le vissage droit sera expliqué dans l'exemple suivant)
- sa norme est de  $OM.F.\sin\theta$  , avec  $\theta$  l'angle entre OM et F

**Exemple: quelle force F appliquer au point B pour obtenir l'équilibre du levier ?**



$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = 0$$

$$\vec{OA} \wedge \vec{P} + \vec{OB} \wedge \vec{F} = 0$$

$$-OA.P \sin\theta + OB.F \sin\theta = 0 \Rightarrow F = P \frac{OA}{OB}$$

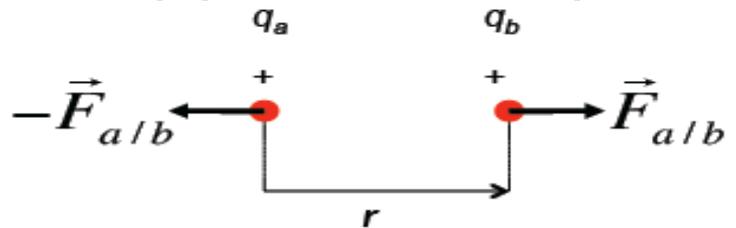
(La règle du vissage droit explique que le côté de B est compté comme positif, celui de A est du côté opposé, donc a un signe opposé dans le calcul.)

## PARTIE II : ELECTROSTATIQUE

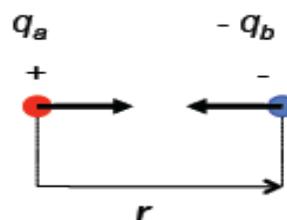
L'électrostatique est l'étude des charges électriques au repos. La loi de base de l'électrostatique est la loi de Coulomb, qui définit les interactions entre 2 charges. Les interactions entre charges peuvent être attractives ou répulsives.

$$\vec{F}_{a/b} = k \frac{q_a q_b}{r^2} \hat{r}$$

$$[q] = C \quad (\text{le coulomb})$$



(charges ponctuelles dans le vide)



Constante de la force de Coulomb :

$$k = 8.99 \cdot 10^9 \quad Nm^2/C^2$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad \epsilon_0 = \text{constante diélectrique du vide ou permittivité du vide}$$

Les charges électriques peuvent additionner leur force de Coulomb pour donner une force encore plus grande. C'est le principe de superposition des charges électriques.

NB : Charge de l'électron =  $-e = -1.6 \times 10^{-19} \text{C}$  et Charge du proton =  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$

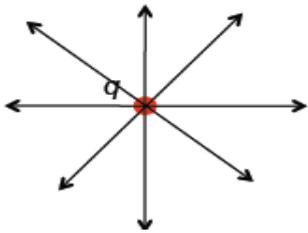
Définition du champ électrique : le champ électrique est une caractéristique du milieu entourant la charge électrique. Elle est caractérisée par charge unité et est représentée par la formule

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

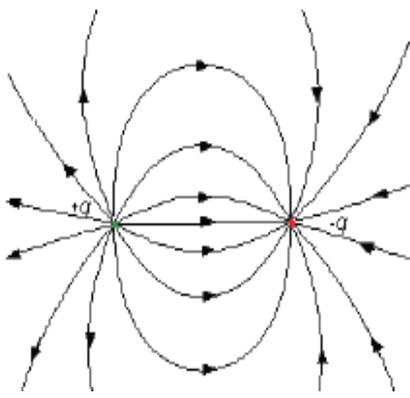
F --> Force de Coulomb (Newtons)  
 q --> Charge (Coulombs)  
 E --> Champ Magnétique de la charge (exprimé en N/C ou en V/m)

On représente le champ électrique au moyen de lignes de champ. Les directions tangentes à celles-ci donnent la direction et le sens du champ électrique.

Quelques exemples de schématisation du champ électrique :

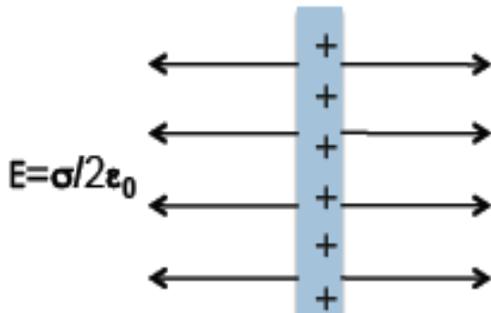


Ici il s'agit d'une charge unique dans le vide. Elle émet un champ électrique de façon à avoir une symétrie centrale par rapport à la charge.



Ici il s'agit d'un dipôle électrique (Un système physique composé d'une charge + et d'une charge -).

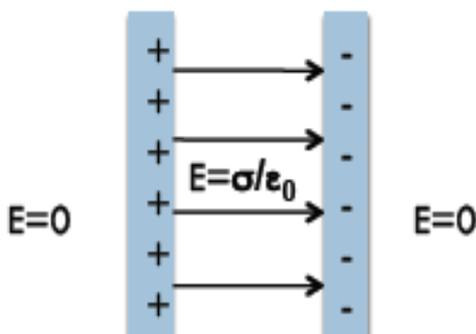
NB : Dans le dipôle électrique, le sens du champ électrique PROVIENT DE LA CHARGE + et VA VERS LA CHARGE -



Ici il s'agit d'une distribution de charges sous forme d'un plan. Le champ électrique formé est perpendiculaire au plan.

Le champ électrique vaut pour une distribution de charge :  $E = \sigma / 2\epsilon_0$

Ce champ électrique est présent de chaque côté du plan!!! (il y a donc 2 champs électriques)



Ici, il s'agit de deux distributions de charges, un plan positif, un plan négatif. Le sens du champ électrique va toujours du + vers le -

Par conséquent, les 2 champs électriques formés par la distribution de charges+ iront vers la distribution de charges-. On additionne donc les 2 champs électriques. De plus à l'extérieur de ces 2 plans on remarque qu'il n'y a pas de champ électrique!

# PARTIE III : Energies des Systèmes Physiques

## NOTIONS DE BASE SUR L'ÉNERGIE

L'énergie est une force multipliée par une distance.

Définition du Travail , noté  $W(AB)$  : Energie a fournir pour se déplacer de A vers B.

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

Si  $W(AB) > 0$ , il sera plus facile d'aller de A vers B.  
Si  $W(AB) < 0$  il sera plus facile d'aller de B vers A.

Une force est dite conservative si le travail pour aller de A vers B ne dépend que des positions de A et de B, et non pas du chemin suivi pour aller de A vers B. Les forces de pesanteur, d'élasticité et de Coulomb sont conservatives. Les forces de frottements ne sont pas conservatives.

Définition de l'énergie potentielle : L'énergie potentielle est l'énergie d'un point qui pourrait engendrait une énergie cinétique (d'où le terme potentiel). Elle est liée au travail par la formule :

$$U_F(B) - U_F(A) = W_{BA}$$

Voici un tableau récapitulatif des Travaux et Energies potentielles pour quelques forces :

	Force	Travail	Energie potentielle
Poids (pesanteur)	$-mg$	$-mg(z_B - z_A)$	$mgz$
Ressort (élasticité)	$-kx$	$-\frac{k}{2}(x_B^2 - x_A^2)$	$\frac{1}{2}kx^2$
Electrostatique (de Coulomb)	$k\frac{Qq}{r^2}$ (additive)	$-kQq\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$	$k\frac{Qq}{r}$

## ENERGIE POTENTIELLE D'UN SYSTEME

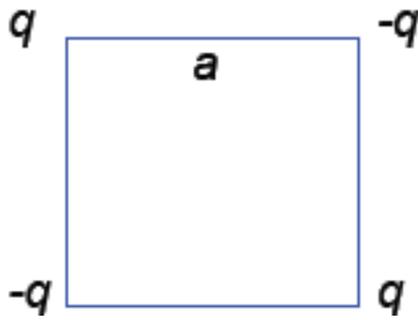
Il est possible de calculer l'énergie potentielle d'un système composé de plusieurs points qui ont chacun une énergie potentielle. Par exemple, on peut vous demander de calculer l'énergie potentielle d'un carré composé de 4 charges sur chacun de ses côtés.

Afin de calculer l'énergie potentielle de ce système à plusieurs charges :

- 1- Compter le nombre d'interactions entre les charges. (le nombre d'interactions de Coulomb)
- 2- Calculer chacune des énergies potentielles pour chaque interaction
- 3- Additionner les énergies potentielles pour obtenir le U du système.

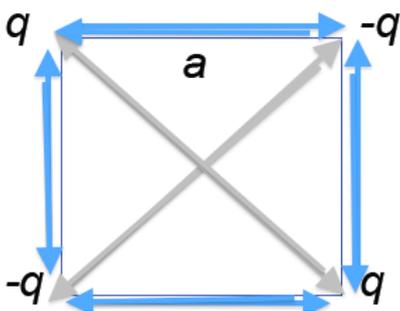
Exemple à la page suivante. --->

## ENERGIE POTENTIELLE D'UN SYSTEME (SUITE)



EXEMPLE : Soit un carré avec 4 charges sur les côtés , comme dans le schéma à gauche. On cherche à connaître l'énergie potentielle du carré entier. Comment faire?

### 1- Compter le nombre d'interactions entre les charges



On voit qu'il y a 2 interactions diagonales : 1 entre les 2 charges négatives et 1 entre les 2 charges positives (flèches en gris)

On voit qu'il y a 4 interactions sur chaque côté du carré (flèches en bleu)

### 2- Calculer chacune des énergies potentielles pour chaque interaction

---> Pour 1 interaction diagonale il faut utiliser  $U = kQq/r$  : soit  $U(\text{diagonale}) = kq^2/a\sqrt{2}$  (utiliser le théorème de Pythagore pour connaître la distance entre 2 coins opposés d'un carré)

---> Pour 1 interaction pour chaque côté :  $U(\text{côté}) = -kq^2/a$

### 3- Additionner les énergies potentielles pour obtenir le U du système

$$U = 2 \frac{q^2}{a\sqrt{2}} - 4 \frac{q^2}{a} = k \frac{q^2}{a} 2 \left( \frac{1 - 2\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \right)$$

Important : Si  $U(\text{Système}) < 0$ , alors la structure est dite liée, et il faudra fournir de l'énergie (=U) au système pour séparer les charges.

Si  $U(\text{Système}) > 0$ , alors le système sera instable et libèrera de l'énergie en séparant les charges.

Dans l'exemple précédent,  $1 - 2\sqrt{2} < 0$ , donc la structure était liée, et il fallait fournir U énergie en Joules pour séparer les charges du carré.

NB : Lorsqu'il s'agit d'une charge unité (= 1 Coulomb) on préfère parler de Potentiel électrique que d'énergie potentiel électrique. La différence de 2 potentiels électriques A et B en tant que charge unité donnent une "différence de potentiel" (qui correspond à un travail). Cette différence de potentiel s'exprime en V (Volt) = J/C (Joules/Coulomb)

Important: Lorsque vous voulez calculer l'énergie potentielle d'un point particulier dans le système , qui subit plusieurs forces de Coulomb , il faudra ajouter ces forces de Coulomb entre eux. C'est pourquoi on dit que la force de Coulomb est additive! (Pour calculer le potentiel au centre du carré il faut faire  $V = k (q-q+q-q) / 0.5 a \sqrt{2}$  qui est égal à 0 ici..

## ENERGIES POTENTIELLE, CINÉTIQUE ET TOTALE

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

L'énergie cinétique d'une particule de masse m

Le théorème de l'énergie cinétique (rappel de lycée) : La variation d'énergie cinétique entre les positions A et B égale le travail des forces extérieures entre ces deux positions

$$E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}^{(ext)}$$

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + U(\vec{r})$$

L'énergie totale d'une particule de masse m

avec U : Energies Potentielles du système

La loi de Conservation de l'énergie totale : Si les forces extérieures sont conservatives, l'énergie totale reste constante au cours du temps.

## PARTIE IV : Le Dipôle Electrique

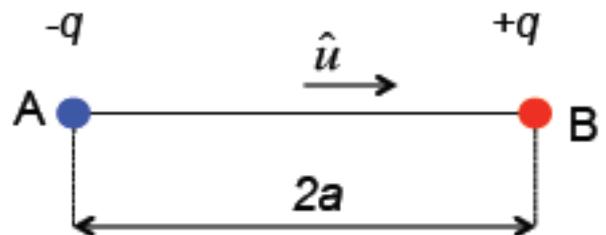
Le Dipôle électrique est une distribution de charges constituée de 2 charges +q et -q placées en deux points.

$$\vec{p} = 2aq\hat{u} \quad (q > 0)$$

On y associe un moment dipolaire :

Le moment dipolaire est un vecteur :

- Aligné sur la droite joignant les 2 charges
- Dont le sens va de la charge - à la charge +
- Dont on notera la norme par : p



Le moment dipolaire est exprimé en Coulomb-mètre (C.m)

**NB : 2a = Distance entre A et B! (et pas 2x la distance!!! C'est juste une notation!!!!)**

## INTERACTION ENTRE LE DIPÔLE ÉLECTRIQUE ET UN POINT QUELCONQUE DANS L'ESPACE :

1- Le dipôle électrique émet un champ électrique sur la particule M quelconque dans l'espace. Ce champ électrique est inversement proportionnel à la distance qui le sépare de la charge au cube (puissance 3 quoi ^^). Mathématiquement ca donne ca :

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} = k \frac{P}{r^3} (3\cos^2 \theta - 1)$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} = k \frac{P}{r^3} (3\cos \theta \sin \theta)$$

2- Le dipôle électrique émet un potentiel électrique sur la particule M quelconque dans l'espace qui est inversement proportionnel à la distance qui le sépare de la charge au carré! (puissance 2)  
Mathématiquement ça donne :  $V(M) = k p / r^2$

Interaction entre le dipôle électrique et un champ électrique :

Si on induit un champ électrique sur un dipôle électrique, il n'y a pas apparition d'une force, mais d'un moment de force! (Donné par la formule à droite). NB : Il s'agit d'un produit vectoriel :  $\Gamma = p \cdot E \cdot \sin(p, E)$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{\Gamma} = \vec{p} \wedge \vec{E}}$$

Si on induit un champ électrique sur un dipôle électrique : l'énergie potentielle qui apparaît

$$\theta = \text{Angle entre } p \text{ et } E \quad \boxed{U(\theta) = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE \cos \theta}$$

## DIPÔLES DANS LA NATURE

Il existe des dipôles électriques naturellement présents dans le monde! Le sel est un dipôle électrique par exemple, l'eau aussi!!

H<sub>2</sub>O est un dipôle car les 2 atomes d'hydrogènes se comportent comme le + et l'oxygène se comporte comme le - (même s'il ne s'agit pas de charges formelles, mais de charges partielles sur ces atomes dans la molécule d'eau... voir vos cours de chimie orga...)

HCl est un dipôle : l'hydrogène se comporte comme le pôle+ et le chlore comme le pôle -.

Il y a 2 types de dipôles électriques :

1 - Les dipôles électriques permanents : Ce sont les dipôles électriques naturellement présents sans qu'on émette un champ électrique pour faire apparaître le dipôle. Ce sont des dipôles où les barycentres des charges + et - ne coïncident pas. Les molécules en question sont dites polaires. H<sub>2</sub>O et NaCl sont des dipôles permanents.

2 - Les dipôles électriques induits : Lorsqu'on émet un champ électrique sur une molécule, on forme un dipôle par distribution de charges autour du noyau.

NB : les molécules symétriques ou diatomiques (genre H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) ne sont pas naturellement des dipôles (= ils sont apolaires), il faut émettre un champ électrique pour les rendre polaires.

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

p : moment dipolaire induit

alpha : coefficient de polarisabilité

E : champ électrique qu'on émet à la molécule

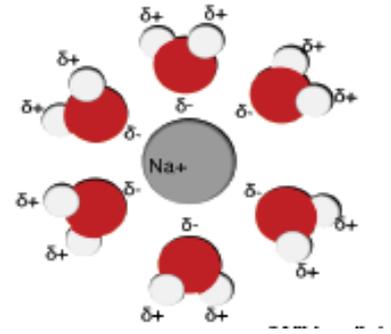
On peut très bien rajouter un champ électrique sur un dipôle permanent pour le rendre encore plus polaire! (le moment dipolaire sera encore plus puissant).

L'induction d'un champ électrique sur une molécule dépend du coefficient de polarisabilité de la molécule (= capacité de se faire polariser). Cette constante varie pour chaque molécule. De plus, si la température augmente, le coefficient de polarisabilité diminue, et il sera plus difficile de polariser une molécule en environnement chaud.

Petite Particularité : En présence d'un champ électrique, les molécules polaires sont plus facilement polarisables que les molécules non polaires car les dipôles permanents s'alignent dans la direction du champ électrique qu'on leur émet.

## INTERACTIONS DIPOLE-ION ET DIPOLE-DIPOLE

**Interaction Dipôle-Ion :** Cette interaction est à l'origine de la dissolution d'un composé chimique dans un solvant polaire (solvatation). C'est pourquoi l'eau (qui a un moment dipolaire permanent) dissout les corps ioniques et/ou polaires (ex. les sels, les alcools et les acides)



**NB :** Une espèce solvatée est entourée par une coque de molécules de solvant. La mobilité des ions s'en trouve réduite.

**Interaction Dipôle-Dipôle :** Lorsque deux dipôle sont proches, le premier est soumis au champ électrique produit par le second et vice-versa. Cette interaction résulte en une tendance à l'alignement des dipôles.

Les interactions entre 2 dipôles sont appelées forces de Van der Waals

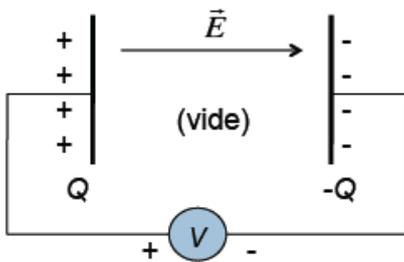
Dipôle	Dipôle	Forces de van der Waals
Induit	Induit	London
Induit	Permanent	Debye
Permanent	Permanent	Keesom

...forces à courte portée !

$$F \propto \frac{1}{r^7}$$

Les forces de Van der Waals permettent de rendre compte de changements de phase dans la matière (gaz-liquide)

## POUR FINIR : CAS PARTICULIER : LES DIPOLES CONDENSATEURS



$$Q = CV$$

$C$  : capacité du condensateur

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \quad \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} \text{ S.I.}$$

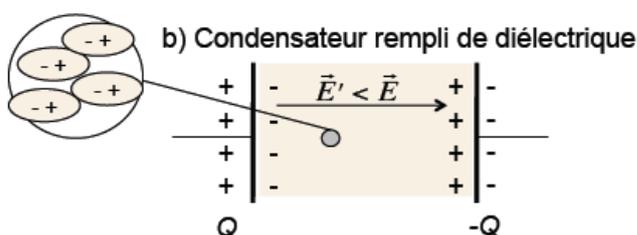
$$[C] = \text{F (farad) ou pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Énergie emmagasinée dans un condensateur :

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

Voici un dipôle condensateur (2 distributions de charges + et -, comme vu précédemment, qui fait passer un champ électrique).

On peut moduler ce champ électrique en remplissant le condensateur d'un matériel dit : diélectrique (=matériel polarisable sans charge libre)



On définit la **constante diélectrique**  $\epsilon_r$  (ou **permittivité relative**) par :

$$\frac{C'}{C} = \epsilon_r \geq 1$$