

2 Mouvement et interactions

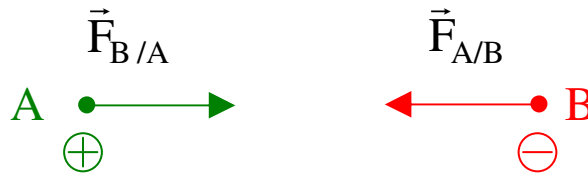
2.1 Interactions fondamentales

2.1.1 La charge électrique

Une paille en plastique frottée attire des morceaux de papier. Après contact avec la paille, les papiers peuvent être violemment repoussés. On distingue ainsi deux types de charge : de même type, elles se repoussent ; de types différents, elles s'attirent.

Les expériences sur les charges obéissent aux mêmes lois que l'addition sur les réels. On fait donc correspondre un signe (+ ou -) à chaque type de charge (notée « q »).

signe (q_A) \neq signe (q_B), les charges s'attirent :



signe (q_A) = signe (q_B), les charges se repoussent :



2.1.2 Loi de Coulomb

La loi de Coulomb quantifie l'interaction entre deux particules chargées électriquement.

Deux charges ponctuelles q_A et q_B , placées dans le vide ou dans l'air, séparées d'une distance d , exercent l'une sur l'autre des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$, de même direction, de sens opposés et de même valeur :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = k * \frac{q_A * q_B}{d^2} * \vec{u}_{AB}$$

q : charge électrique; en C (Coulomb)

$\vec{F}_{B/A}$: force exercée par B sur A ; norme de $F_{B/A}$ en N

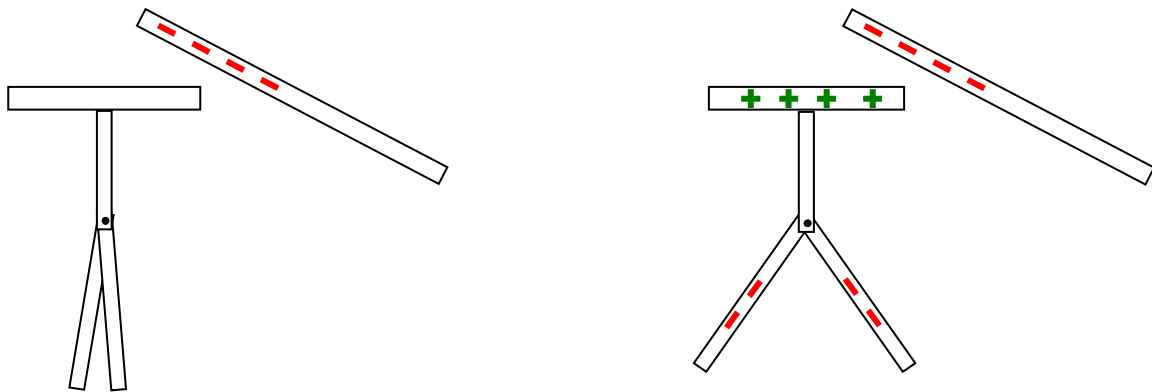
k : constante de Coulomb ; $k = 8,99.10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$

d : distance entre A et B ; en m

\vec{u}_{AB} : vecteur unitaire ($u_{AB} = 1$) orienté de A vers B ; sans unité

2.1.3 Charge par influence

On approche une paille frottée du plateau de l'électroscope métallique. Les électrons peuvent se déplacer dans le métal mais pas dans le plastique.



La paille négative repousse les charges négatives vers les branches et le plateau devient positif.

2.1.4 Loi d'interaction gravitationnelle

L'interaction gravitationnelle entre deux systèmes ① et ② a pour expression vectorielle :

$$\vec{F}_{1/2} = G * \frac{m_1 * m_2}{d^2} * \vec{u}_{21}$$

$\vec{F}_{1/2}$: force gravitationnelle exercée par ① sur ② ; valeur de F en N

G : constante de gravitation ; $G = 6,67.10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$

d : distance entre les centres (d'inertie) des systèmes ① et ② ; en m

m : masse ; en kg

\vec{u}_{21} : vecteur unitaire (valeur $u_{21} = 1$) orienté de ② vers ① ; sans unité

On peut écrire cette formule d'une autre façon :

$$\vec{F}_1 = m_1 * \left(\frac{G * m_2}{d^2} * \vec{u}_{21} \right) = m_1 * \vec{\zeta}$$

... et l'interpréter de la manière suivante : le système ① de masse m_1 est soumis à une force \vec{F}_1 quand il est plongé dans $\vec{\zeta}$.

Dans cette représentation, $\vec{\zeta}$ apparaît comme une propriété de l'espace due à la présence de la masse du système ②.

On appellera **champ de gravitation** la propriété de l'espace créée par une masse.

2.1.5 Analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle

Les deux lois ont la même forme mathématique :

les forces sont proportionnelles aux grandeurs qui les créent


$$\vec{F}_{1/2} = G * \frac{m_1 * m_2}{d^2} * \vec{u}_{21} \qquad \vec{F}_{A/B} = k * \frac{q_A * q_B}{d^2} * \vec{u}_{AB}$$

les forces sont inversement proportionnelles au carré de la distance

2.1.6 Champ électrostatique

On peut écrire la loi de Coulomb d'une autre façon :

$$\vec{F}_A = q_A * \left(\frac{k * q_B}{d^2} * \vec{u}_{AB} \right) = q_A * \vec{E}$$

Dans cette représentation, \vec{E} apparaît comme une propriété de l'espace due à la présence de la charge de la particule B.

On appellera **champ électrostatique** la propriété de l'espace créée par une charge.

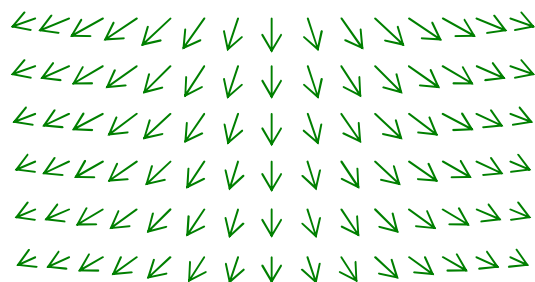
2.1.7 Ligne de champ

Le champ électrostatique et le champ de gravitation sont des champs de vecteurs.

Remarque la mesure de la température du laboratoire ne dépend pas de la direction du thermomètre. Le champ de température est un champ de scalaires.

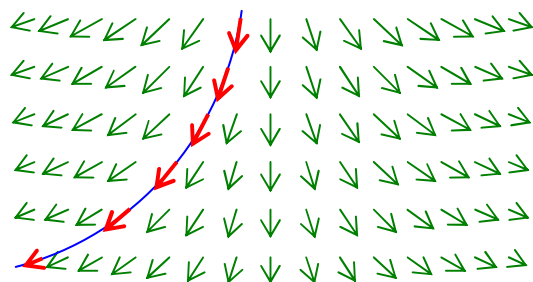
Un vecteur est défini en tout point de l'espace où s'exerce le champ.

Exemple



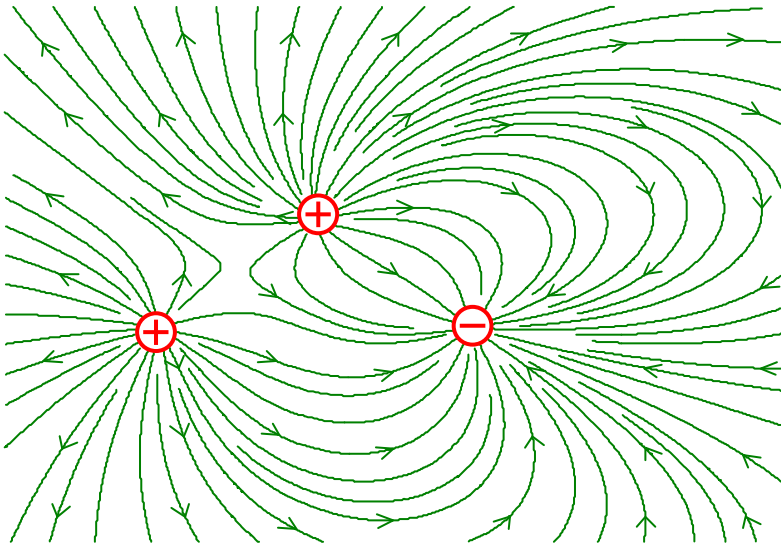
Un vecteur du champ est tangent à sa ligne de champ.

Exemple

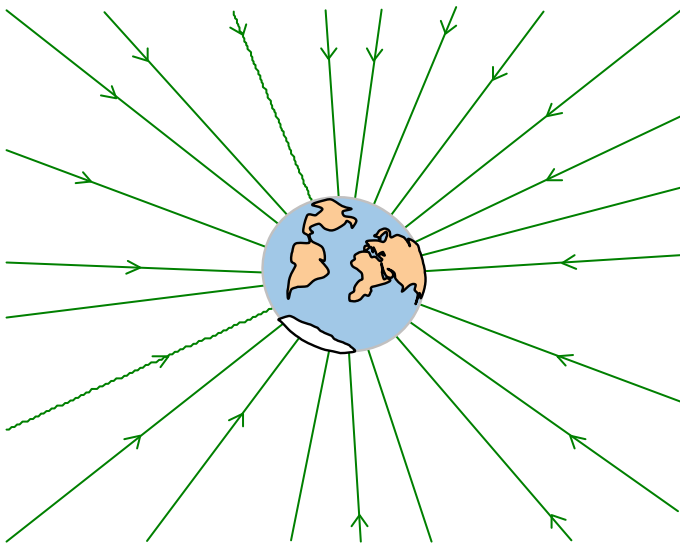


Les lignes de champ donnent une représentation du champ électrique dans une région de l'espace.

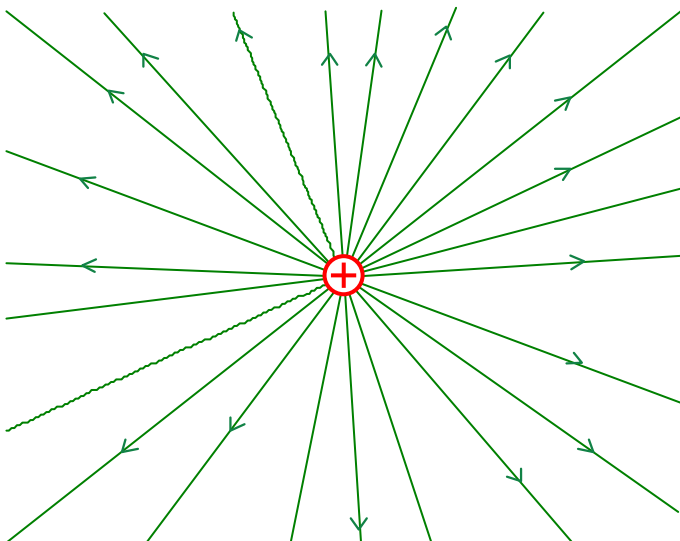
Exemples



lignes de champ
électrostatique engendré
par 3 charges électriques



lignes de champ
gravitationnel engendré
par la Terre



lignes de champ
électrostatique engendré
par une charge électrique
positive

2.2 Description d'un fluide au repos

2.2.1 Description microscopique d'un gaz au repos

- 1) Les gaz sont constitués de particules (molécules ou atomes) très éloignées les unes des autres.

Exemple dans les conditions du laboratoire, deux atomes d'hélium sont éloignés d'une distance égale à environ 100 fois leur diamètre.

- 2) Ces particules se déplacent rectilignement à très grande vitesse.

Exemple dans les conditions du laboratoire, les molécules de l'air ont une vitesse d'environ 500 m.s^{-1}

- 3) Des chocs avec d'autres particules ou avec une paroi se produisent fréquemment.

Exemple dans les conditions du laboratoire, le nombre de chocs subis par une molécule d'air en une seconde est de l'ordre de 10^9 .

2.2.2 Description macroscopique d'un gaz au repos

Pour décrire un gaz à l'échelle macroscopique, on utilise les grandeurs :

ρ : masse volumique du fluide ; en kg.m^{-3}

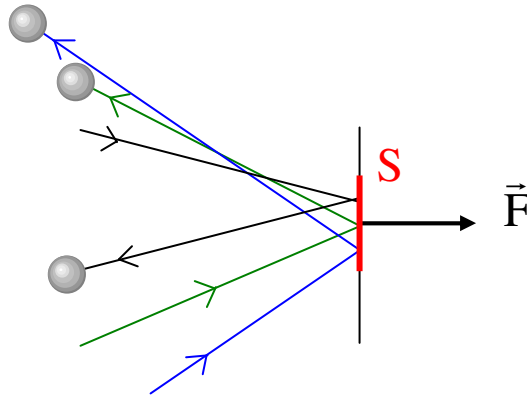
T : température absolue du fluide ; en K

P : pression du fluide ; en Pa

On peut lier ces grandeurs macroscopiques au comportement microscopique des particules qui le constituent :

- 1) Plus le nombre de particules par unité de volume est grand plus la **masse volumique** est grande.

- 2) Plus le gaz a une **température** élevée, plus la vitesse des particules est grande.
- 3) Les chocs des particules sur une paroi de surface S se traduisent à l'échelle macroscopique par une force \vec{F} normale.



La **pression** est égale à la force divisée par la surface : $P = F / S$.

2.2.3 Loi de Mariotte

On montre expérimentalement que la pression et le volume d'un gaz sont liées par la loi de Boyle-Mariotte :

$$P * V = \text{const}$$

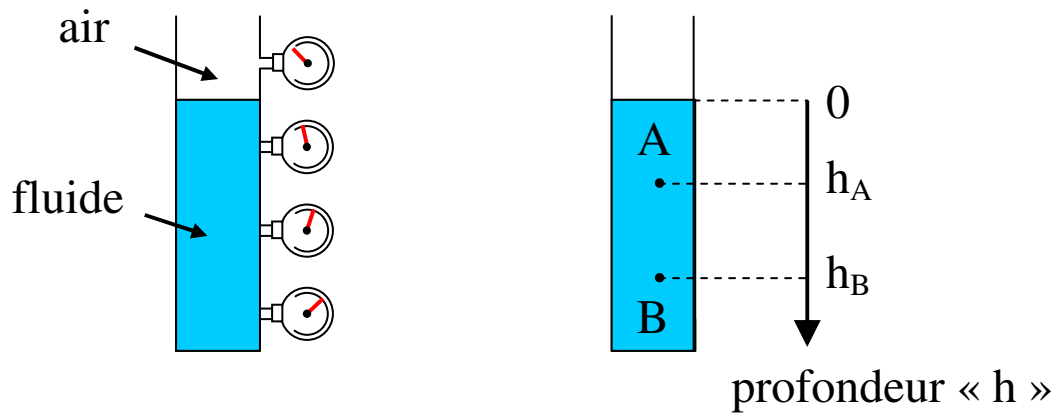
P : pression du gaz ; en Pa

V : volume du gaz ; en m^3

Remarque on ne peut pas donner une valeur définitive à la constante car elle dépend de la quantité et de la température du gaz sur lequel on mène l'expérience.

2.2.4 Pression dans un liquide au repos

La pression augmente avec la profondeur dans un liquide au repos.



A et B sont deux points quelconques dans la colonne de liquide au repos. La loi fondamentale de la statique des fluides est :

$$P_A - P_B = \rho * g * (h_A - h_B)$$

P : pression ; en Pa

ρ : masse volumique ; en kg.m^{-3}

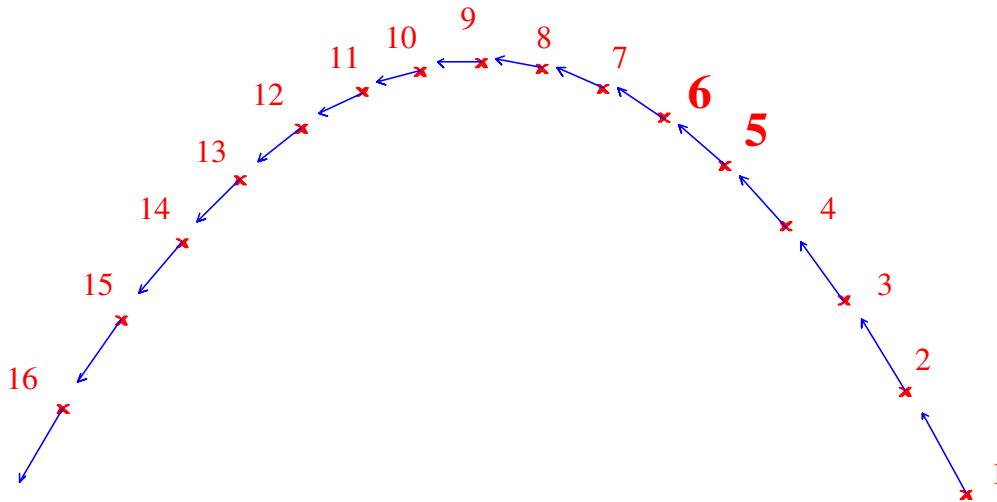
g : pesanteur sur Terre ; $g = 9,80 \text{ N.kg}^{-1}$ (ou m.s^{-2})

h : profondeur dans le liquide ; en m

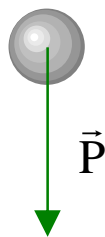
2.3 Mouvement d'un système

2.3.1 La chute libre

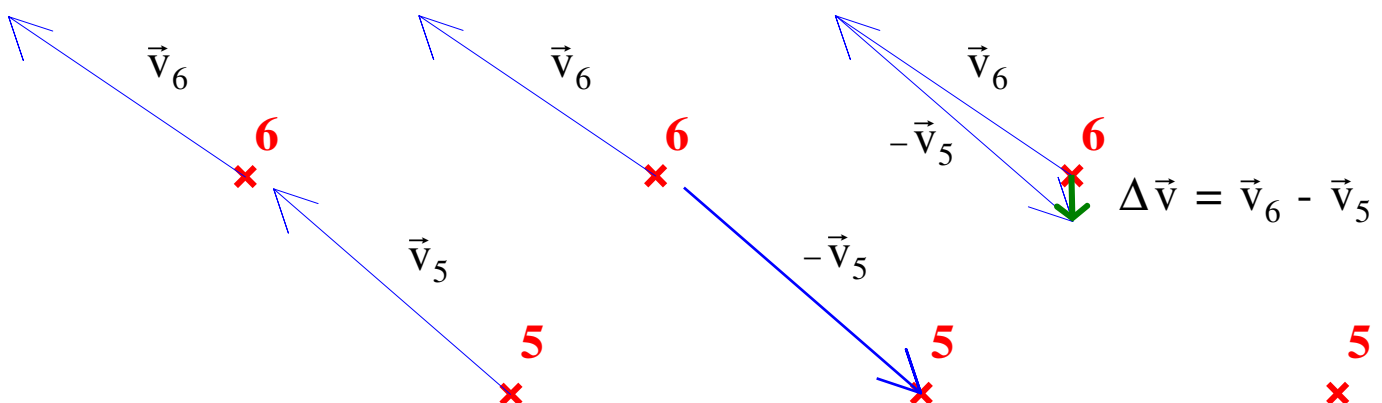
On filme le lancer d'une bille. La caméra est immobile par rapport au sol. Deux images successives de la vidéo sont séparées de 40 ms. A l'aide d'un logiciel, on pointe sur chaque image la position de la bille. Le logiciel calcule et dessine les vecteurs vitesse :

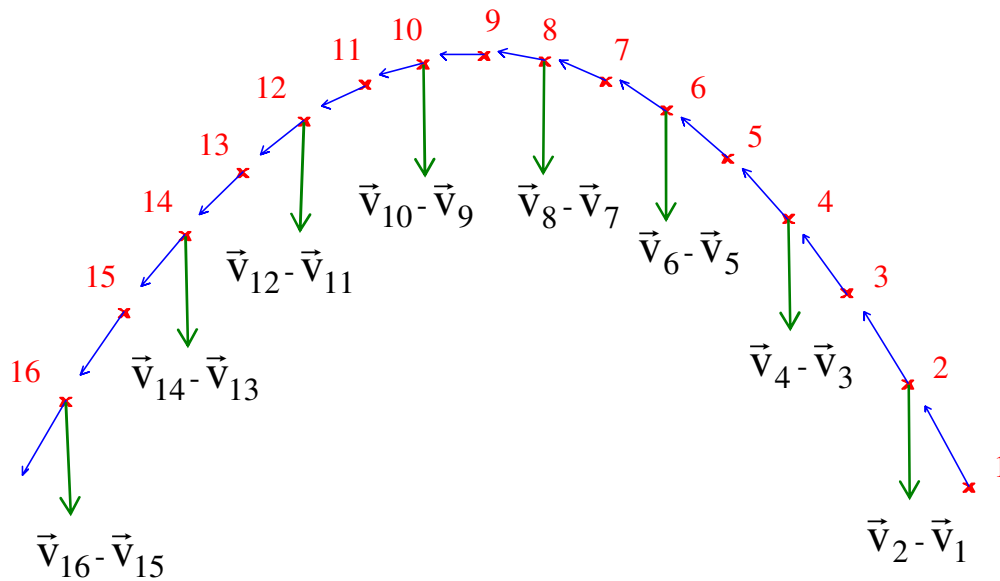


La bille n'est soumise qu'à l'action de son poids (on dit qu'elle est en chute libre).



On dessine le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_i$





La construction graphique ci-dessus montre que le vecteur variation de vitesse est proportionnel au vecteur poids de la bille.

2.3.2 Deuxième loi de Newton

Relation approchée de la 2ème loi de Newton :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m * \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$\Delta \vec{v}$: variation du vecteur vitesse ; $\Delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_i$; en m.s^{-1}

$\sum \vec{F}_{\text{ext}}$: somme des forces extérieures appliquées au système ; en N

m : masse du système ; en kg

Δt : intervalle de temps entre deux instants voisins ; en s