

1. Généralité : Forces et champs

1.1. La notion de force

On appelle force, la modélisation d'une interaction mécanique entre un système étudié soigneusement défini (le receveur) noté entre accolades, et un objet extérieur au système (l'acteur).

Rappel : Le système est souvent modélisé par un point unique pour simplifier l'étude de son mouvement.

Cette interaction peut se manifester de différentes manières : maintien en équilibre, mise en mouvement, modification de la trajectoire ou de la vitesse, déformation du système etc...

Une interaction mécanique ou force peut être

- De contact : elle n'apparaît que lorsqu'il y a contact entre les corps en interaction
- A distance : elle existe même s'il n'y a pas contact entre les corps en interaction

L'interaction mécanique ou force peut se décrire à l'aide de caractéristiques :

- Sens et direction de l'interaction
- Intensité de la force qui se mesure en newton N

On modélise une force par un vecteur \vec{F} qui reprend les caractéristiques précédentes et qui peut être tracé sur un schéma ou manipulé comme un outil mathématique (somme de vecteurs, produit scalaire etc...)

- **Le point d'application (= origine du vecteur)** : au point de contact si force de contact ou au centre de gravité du système si force à distance
- **La direction (= trait du vecteur)**, c'est la droite reliant acteur et receveur
- **Le sens (= pointe de la flèche)** : rend compte du sens de l'interaction (attractive ou répulsive)
- **La norme (= longueur du vecteur)** : proportionnel à l'intensité de la force en N, avec une échelle si besoin

$$\vec{F}_{\text{acteur/receveur}} = \vec{F}$$

Faire un bilan de forces consiste à repérer et à représenter toutes les forces s'exerçant sur un système

Certaines forces très courantes sont rappelées dans la **fiche annexe « quelques forces »** (fiche à conserver, à utiliser, à apprendre et à compléter avec les nouvelles forces étudiées)

1.2. Notion de champ

En physique, un champ est une propriété de l'espace.

En un point M de l'espace il peut exister un "champ de pesanteur", un "champ magnétique", un "champ électrostatique". Mais aussi un "champ de pression", un "champ de température"...

Tant que ce point M de l'espace est vide, l'existence d'un champ n'y est pas perceptible.

Mais si on place en M un "objet test" sensible au champ existant, les effets du champ vont apparaître.

Par exemple, en un point de l'espace où règne un champ de gravitation, un objet test (objet possédant une masse) subira une force de gravitation.

En un point où règne un champ magnétique, un objet test en fer subira une force magnétique.

On classe les champs en deux catégories :

- Les champs vectoriels caractérisés par un vecteur, c'est-à-dire, une direction, un sens et une valeur (champ de gravitation, champ électrostatique, champ magnétique)
- Les champs scalaires caractérisés par une valeur uniquement (température, pression).

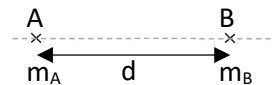
2. Force gravitationnelle et champ gravitationnel

2.1. Rappels : L'interaction gravitationnelle ou force gravitationnelle

Deux corps A et B, de masses respectives m_A et m_B , dont les centres sont distants de d , exercent l'un sur l'autre une force attractive appelée interaction gravitationnelle.

Caractéristiques de la force gravitationnelle :

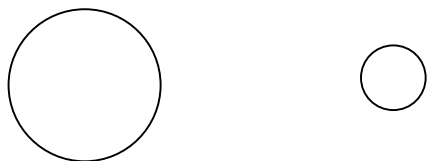
- Point d'application :
- Direction :
- Sens :
- Intensité :



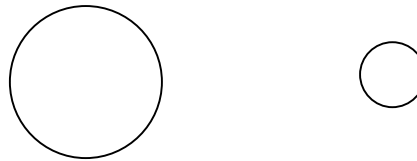
Application : Dans les deux cas suivants, calculer et tracer, avec l'échelle 1cm pour 10^{20} N, l'interaction gravitationnelle entre la Terre et la Lune

Données : $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ (SI) $m_{\text{Terre}} = 5,98 \cdot 10^{24}$ kg $m_{\text{Lune}} = 7,34 \cdot 10^{22}$ kg $d_{\text{Terre-Lune}} = 380\,000$ km

Système étudié {Lune}



Système étudié {Terre}



Notation vectorielle de l'interaction gravitationnelle :

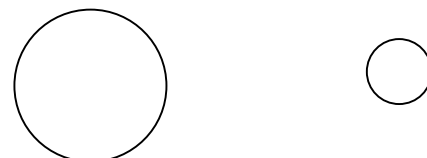
Les caractéristiques indiquées plus haut peuvent être rassemblées dans une écriture vectorielle de la force. Pour cela, il faut attribuer un vecteur unitaire \vec{u} ou \vec{u}_{AB} à la droite (AB) reliant les deux corps A et B en interaction.

Par convention le vecteur unitaire \vec{u} , est le long de la droite (AB), orienté du corps qui crée la force vers le système qui la subit, et sa valeur vaut 1 (N)

Reprenons l'application précédente : Système étudié {Lune}

Tracer sur le schéma, sans souci d'échelle

- le vecteur unitaire \vec{u} ,
- la force de gravitation \vec{F}_G , subie par le système {Lune}

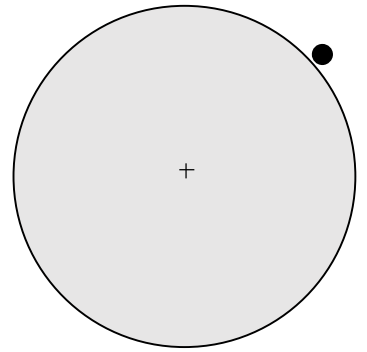


Que remarque-t-on ?

En déduire une expression vectorielle de l'interaction gravitationnelle \vec{F}_G en fonction de \vec{u}

Remarque : Poids et interaction gravitationnelle

Le poids est le nom donné à l'attraction qu'exerce un astre (une planète par exemple) sur un système très proche de sa surface.



2.2. Le champ gravitationnel ou champ de gravitation.

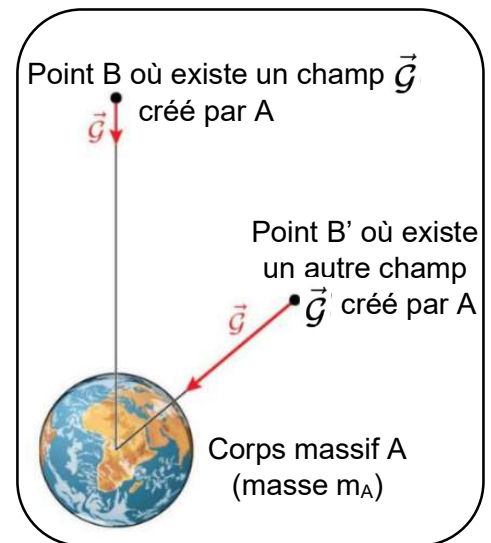
Présentation :

Un corps massif A de masse m_A crée autour de lui un champ de gravitation noté \vec{G} (en lettre cursive pour éviter la confusion avec la constante gravitationnelle G)

Par exemple la terre crée autour d'elle un champ gravitationnel.

Ça signifie qu'en un point B, distinct de A, un objet test de masse m_B subit une force gravitationnelle de la part de A.

Pour la même masse test, plus on s'éloigne de l'astre qui crée le champ, plus la valeur de la force est faible. La valeur du champ gravitationnel est plus faible quand on s'éloigne : le vecteur \vec{G} est plus petit



Lien entre champ gravitationnel et force gravitationnelle

- La valeur de la force gravitationnelle qui apparaît en B est proportionnelle à **la valeur du champ existant** : Plus le champ est intense, plus la force gravitationnelle est élevée
- La valeur de la force gravitationnelle qui apparaît en B est proportionnelle à **la masse qu'on y place** : Plus la masse de l'objet test placé en B est élevée, plus la force gravitationnelle est élevée.

Expression du champ gravitationnel :

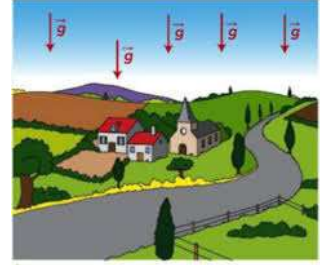
Applications : Ex 12 et 16 p 185

3.3. Le champ de pesanteur \vec{g} (hors programme)

Présentation :

Le champ de pesanteur \vec{g} est un champ de gravitation dans le cas particulier où on est à proximité de la surface d'une planète.

Le vecteur champ de pesanteur \vec{g} est vertical et considéré comme constant pour une zone peu étendue.



En ce point proche de la surface de la planète, si on place un objet test B de masse m_B ,

la force de gravitation qui apparaît se nomme le poids, il est vertical et s'exprime $\vec{P} = m_B \times \vec{g}$

Expression du champ de pesanteur \vec{g}

On s'appuie sur l'expression du champ gravitationnel mais pour une position proche de la surface d'une planète. On a alors d qui peut être assimilé au rayon de la planète

Le champ de pesanteur crée par une planète à sa surface est $\vec{g} = -G \times \frac{m_{\text{planète}}}{R_{\text{planète}}^2} \vec{u}$

Sa valeur vaut $g = \|\vec{g}\| = G \times \frac{m_{\text{planète}}}{R_{\text{planète}}^2}$ dans le cas de la Terre, le calcul donne $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$

Applications : Ex 17 p 186

3. Une nouvelle interaction, l'interaction électrostatique ou force de Coulomb

3.1. La loi de Coulomb

Voir activité "découverte de l'interaction électrostatique"

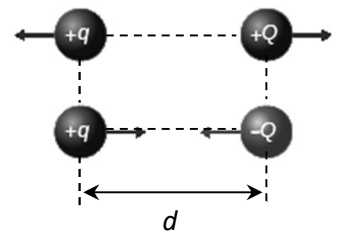
L'interaction électrostatique est une interaction à distance qui existe entre des objets ayant une charge électrique. Elle peut être attractive ou répulsive selon les signes des charges électriques.

Cette force a été étudiée par Coulomb qui a donné son nom à cette force et à l'unité des charges électriques

Caractéristiques de la force de Coulomb :

Soient deux objets de charge q et Q , distants de d , l'intensité de la force électrostatique qui existe entre ces deux systèmes se calcule avec la loi de Coulomb :

- Point d'application :
- Direction :
- Sens : **Deux charges de même signe se repoussent, Deux charges de signes opposés s'attirent**
- Intensité :



Application : Décrire la force électrostatique subie par une charge $q = -24 \text{ nC}$ placée à 20 cm d'une charge $q' = -0,64 \text{ } \mu\text{C}$

Notation vectorielle :

En attribuant un vecteur unitaire à la droite (AB) dirigé de l'objet chargé A qui crée la force vers le système B, la force de Coulomb s'écrit :



Application : Vérifier pour les quatre cas possibles que la notation vectorielle proposée est cohérente :

<p>1^{er} cas : $q_A > 0$ et $q_B > 0$</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Attractive <input type="checkbox"/> Répulsive</p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposée à \vec{u}</p>	<p style="text-align: center;"> </p> <p>Le produit $q_A \times q_B$ est ? <input type="checkbox"/> Positif <input type="checkbox"/> Négatif</p> <p>Le vecteur $(q_A \times q_B)\vec{u}$ est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposé à \vec{u}</p>	<p>2^{ème} cas : $q_A < 0$ et $q_B < 0$</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Attractive <input type="checkbox"/> Répulsive</p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposée à \vec{u}</p>	<p style="text-align: center;"> </p> <p>Le produit $q_A \times q_B$ est ? <input type="checkbox"/> Positif <input type="checkbox"/> Négatif</p> <p>Le vecteur $(q_A \times q_B)\vec{u}$ est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposé à \vec{u}</p>
<p>3^{ème} cas : $q_A > 0$ et $q_B < 0$</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Attractive <input type="checkbox"/> Répulsive</p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposée à \vec{u}</p>	<p style="text-align: center;"> </p> <p>Le produit $q_A \times q_B$ est ? <input type="checkbox"/> Positif <input type="checkbox"/> Négatif</p> <p>Le vecteur $(q_A \times q_B)\vec{u}$ est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposé à \vec{u}</p>	<p>4^{ème} cas : $q_A < 0$ et $q_B > 0$</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Attractive <input type="checkbox"/> Répulsive</p> <p>La force \vec{F}_e est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposée à \vec{u}</p>	<p style="text-align: center;"> </p> <p>Le produit $q_A \times q_B$ est ? <input type="checkbox"/> Positif <input type="checkbox"/> Négatif</p> <p>Le vecteur $(q_A \times q_B)\vec{u}$ est ? <input type="checkbox"/> Dans le sens de \vec{u} <input type="checkbox"/> Opposé à \vec{u}</p>

Dans chaque cas, \vec{F}_e et $(q_A \times q_B)\vec{u}$ sont bien deux vecteurs

Pour s'entraîner aux calculs : ex 6 et 19 pages 184 et 186

3.2. Analogies avec l'interaction gravitationnelle

Identifier points commun et différences entre la force gravitationnelle et la force électrostatique

Points communs

Différences

Applications : Ex 12 et 16 p 185

3.3. Le champ électrostatique.

De même qu'il y a des nombreuses similitudes entre force gravitationnelle et force électrostatique, il y a également de nombreuses similitudes entre champ gravitationnel et champ électrostatique.

Présentation :

Lorsqu'un objet A de charge q_A est placé en un point de l'espace, il crée autour de lui un champ électrostatique noté \vec{E} . C'est un champ vectoriel.

En effet, un second objet de charge q_B placé en un point B subit une force électrostatique dite force de Coulomb \vec{F}_E de la part de A.

Cette force électrostatique au point B est proportionnelle au champ électrostatique \vec{E} régnant en ce point et à la charge q_B qu'on y place.

Expression du champ électrostatique :

Remarque importante : à la différence de la force gravitationnelle qui est toujours attractive, la force de Coulomb peut être attractive ou répulsive.

Conséquences :

- **L'orientation du vecteur champ électrostatique \vec{E}** dépend du signe de la charge électrique q_A qui crée le champ, il peut être dans le même sens ou opposé au vecteur unitaire \vec{u} .

Si $q_A > 0$, le champ \vec{E} en B est



Si $q_A < 0$, le champ \vec{E} en B est



- **Le sens de la force \vec{F}_E** qui apparaît en B dépend du signe de la charge q_B qu'on y place et du champ \vec{E} qui existe en ce point

Si $q_B > 0$, la force \vec{F}_E en B est

Si $q_B < 0$, la force \vec{F}_E en B est

Application :

- Déterminer les caractéristiques et tracer le vecteur champ électrostatique \vec{E} qui existe au point M situé à 10 cm du point A (charge $q_A = 20 \mu\text{C}$).

Échelle du vecteur champ : 1cm pour 10^7 N.C^{-1}



- En déduire les caractéristiques de la force de Coulomb en ce point
 - si on y place une charge $q_M = 15 \text{ nC}$
 - si on y place une charge $q_M = - 15 \text{ nC}$

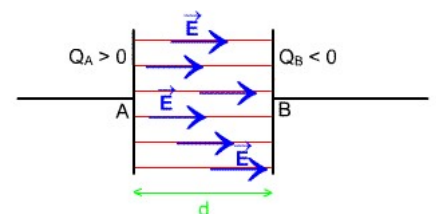
Un objet particulier : le condensateur

Un condensateur est un composant électrique constitué par deux plaques métalliques parallèles, séparées par du vide et portant deux charges électriques opposées.

Entre ces deux armatures, il règne un champ électrostatique \vec{E} uniforme (c'est-à-dire ayant les mêmes caractéristiques en tout point de la zone) orienté de la plaque + vers la plaque - .

Toute particule chargée placée entre ces plaques subira une force électrostatique identique, quelle que soit sa position entre les plaques.

Application : Exercice 20 p 187



Pour toute la partie champ : la vidéo de cours de votre manuel page 179 est très bien, la visionner !

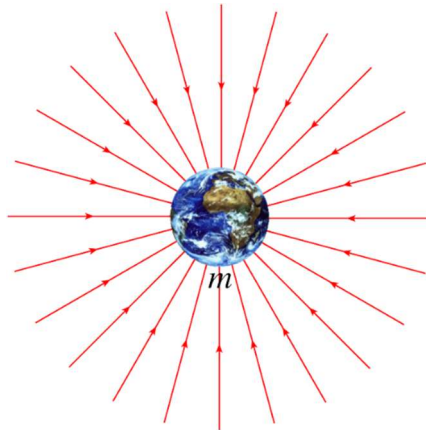
4. Les lignes de champ

Pour visualiser le champ créé par un objet, on peut tracer des lignes de champ.

Une ligne de champ est une courbe orientée, tangente, en chacun de ses points, au vecteur champ étudié.

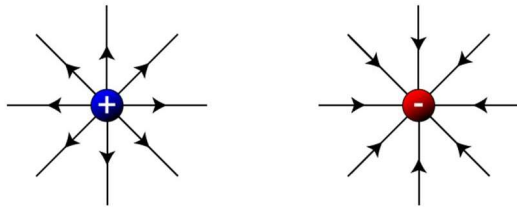
Exemples :

Champ gravitationnel :

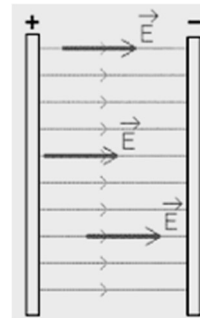


Lignes de champ gravitationnel autour de la Terre.

Champ électrostatique



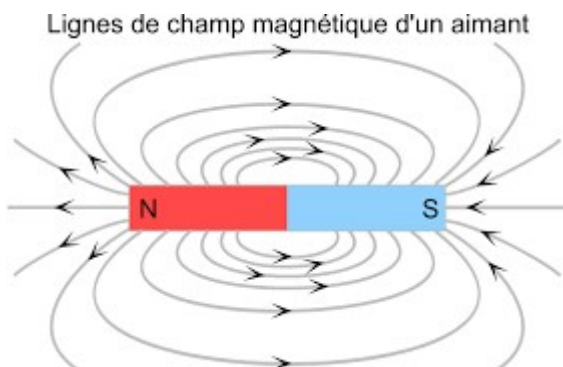
Lignes de champ électrostatiques d'une charge ponctuelle
positive ou négative



Lignes de champ électrostatique dans un condensateur plan
(deux armatures parallèles de charges opposées)

Dans une zone où règne un champ uniforme, les lignes de champ sont parallèles entre elles.

Champ magnétique



En un point proche d'un aimant, un objet test en fer ou un autre aimant, subit une force magnétique.

Autour d'un aimant, il règne donc un champ magnétique