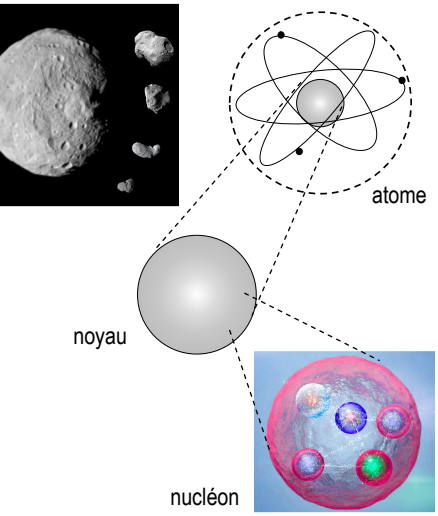
- Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique.
- Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.
- Utiliser les expressions vectorielles des force de gravitation, électrostatique et des champs de gravitation et électrostatique.
- Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation.
- Illustrer l'interaction électrostatique
- Cartographier un champ électrostatique.

Chapitre 8
Interactions et champs

I. Les interactions fondamentales



Les quatre interactions fondamentales connues ont pour but d'expliquer l'origine de toutes les forces qui gouvernent notre Univers.
Ces quatre interactions s'expriment à chaque instant sur la matière avec une intensité qui dépend de l'échelle considérée.

A l'échelle des galaxies, des étoiles ou des planètes, c'est l'interaction gravitationnelle qui explique la forme et le mouvement des astres. Cette interaction gravitationnelle est toujours attractive et de portée infinie.

A l'échelle de l'homme, des bactéries et des atomes (10^{-10} m), c'est l'interaction électromagnétique qui domine les trois autres et qui permet notamment aux objets solides d'avoir des formes diverses et variées. Elle est de portée infinie.

A l'échelle du noyau des atomes (10^{-15} m), c'est l'interaction nucléaire forte qui maintient collés entre eux les nucléons d'un même noyau malgré la répulsion entre protons.

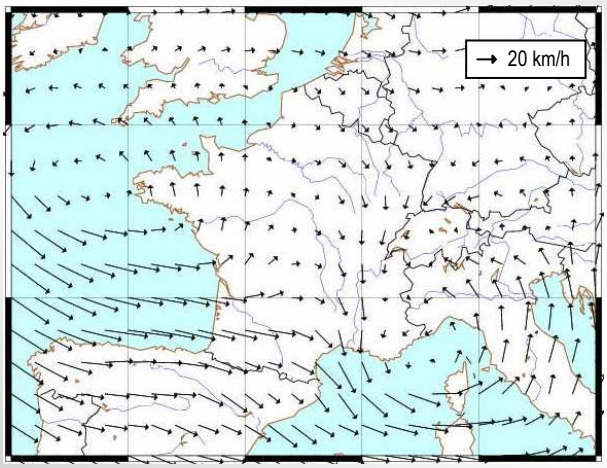
A l'échelle la plus petite (10^{-17} m), c'est l'interaction nucléaire faible qui reste la seule à s'exprimer et qui permet à certaines particules supposées élémentaires (quarks, électrons, neutrinos,…) de changer de nature. Son effet le plus connu est la radioactivité β (béta).

II. Notions de champs

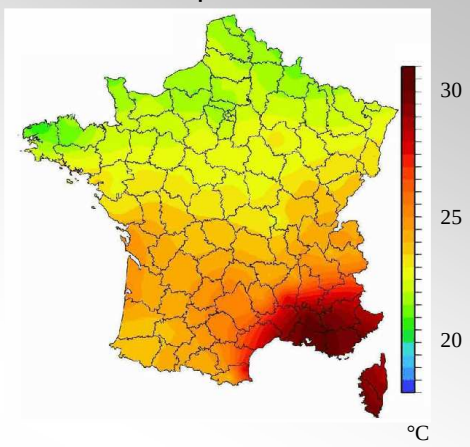
En physique, un champ est la donnée, pour chaque point de l'espace-temps, de la valeur d'une grandeur physique.

Exercice 1 :

Vitesse du vent



Températures



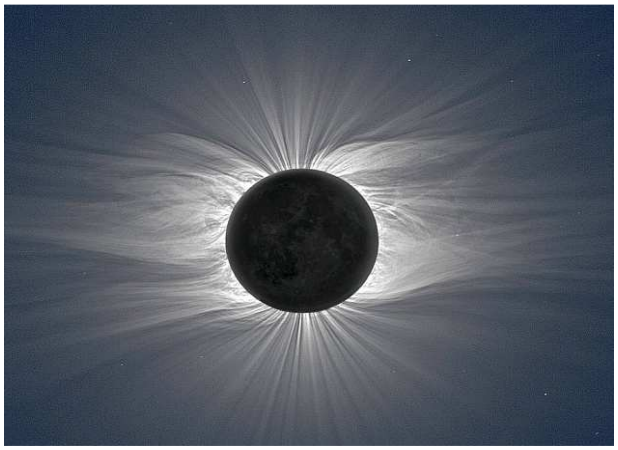
1. A l'aide de quel outil mathématique représente-t-on la vitesse du vent sur la figure 1 ?
2. Rappeler les trois caractéristiques de cet outil.
3. Quelle est approximativement la vitesse du vent en Corse.
4. A quoi doit-on associer les couleurs en chaque point sur la figure 2 ?
5. Pourquoi n'utilise-t-on pas le même outil mathématique de la figure 1 sur la figure 2 ?
6. La pression atmosphérique est-elle un champ scalaire ou un champ vectoriel ?

© 2008 Milloslav Druckmuller

Un champ est une grandeur physique présente en chaque point de l'espace considéré.

- Si cette grandeur se limite à une valeur, on parle de champ scalaire.
- Si cette grandeur possède les caractéristiques d'un vecteur, on parle de champ vectoriel.

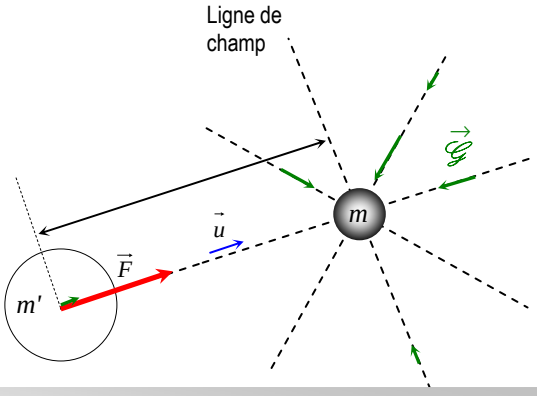
Lors d'une éclipse de Soleil par la Lune, on peut voir l'effet du champ (vectoriel) magnétique créé par le Soleil autour de lui sur les particules de matière qu'il émet dans le vide interstellaire (vent solaire).



III. Force de gravitation

Tout objet, du fait de sa masse m, engendre autour de lui un champ de gravité noté $\mathcal{G}$.
Un autre objet de masse m' placé à une distance d de m subira alors une force toujours attractive, impossible à écranter, dirigée vers m et d'intensité :

$$\boxed{\vec{F} = G \cdot \frac{m \times m'}{d^2} \cdot \vec{u}} \quad \text{ou encore} \quad \boxed{\vec{F} = \vec{\mathcal{G}} \times m'}$$

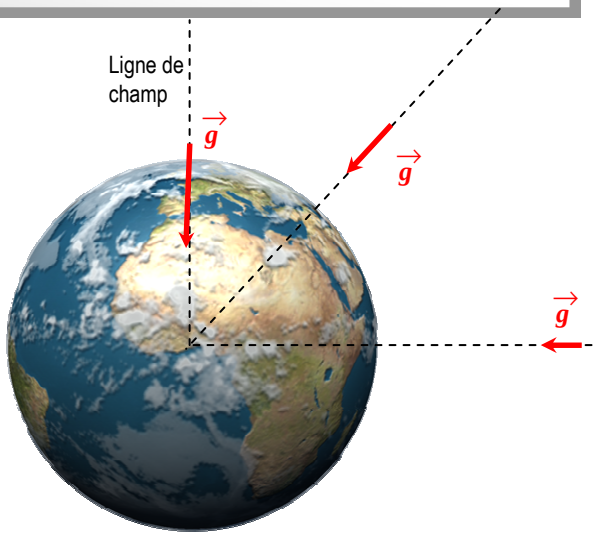


Exercice 2 :

1. Nommer la grandeur G.
2. Déterminer l'expression vectorielle du champ de pesanteur $\vec{\mathcal{G}}$ en fonction de $\vec{F}$ et de m'.
3. Donner l'expression du vecteur champ de gravité en fonction de m, G, d et du vecteur unitaire.
4. Calculer la valeur du champ de pesanteur créé à 10 m par une personne de masse 62 kg (G = 6,67·10^{-11} $S.I.$).
5. Calculer la valeur du champ de pesanteur créé par la Terre à sa surface.
6. Donner l'expression vectorielle de la force exercée par la masse m' sur la masse m.

Données : • M_{Terre} = 6·10^{24} kg • R_{Terre} = 6380 km

- Le champ de pesanteur g de la Terre s'identifie a son champ de gravité $\mathcal{G}$ ($g = \mathcal{G}$) si l'on néglige l'effet de la rotation de la Terre autour de l'axe de ses pôles.
- A la surface de la Terre g = 9,8 N/kg
- A l'échelle de la Terre, le champ g n'est pas uniforme.
- A l'échelle de l'homme, le champ g de la Terre peut largement être considéré comme uniforme.
- G est appelé constante de gravitation universelle.

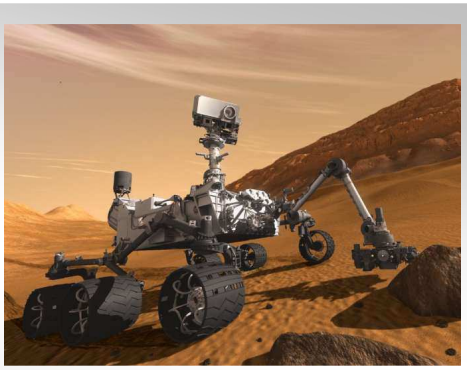


Exercice 3 :

En 2012, la NASA envoyait sur Mars le robot *Curiosity* de masse 900 kg. Son poids sur cette planète est de 3340 N.

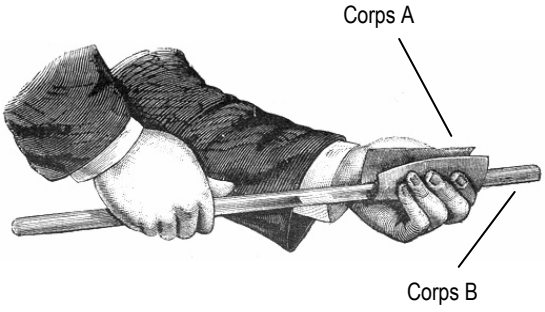
1. Déterminer l'expression vectorielle du champ de pesanteur de Mars en fonction de la masse et du poids de *Curiosity*.
2. Calculer la valeur de ce champ.
3. En déduire le rayon R de la planète.
4. Déterminer l'altitude h à laquelle le champ de gravité martien atteint 3,0 N/kg.

Données : M_{Mars} = 6,42·10^{23} kg



IV. Force électrostatique

IV.1. Electrisation de la matière



On peut, par frottement, transférer des électrons d'un corps A électriquement neutre vers un autre corps B électriquement neutre.

Les deux corps se chargent alors en électricité statique de telle manière que :

$$Q_A = - Q_B$$

On peut aussi électriser un objet non conducteur par contact avec un corps déjà chargé.
Lors du contact, la charge électrique se répartit entre les deux corps qui se touchent.

IV.2. Origine de la force

L'interaction électromagnétique agit entre tous les objets possédant une charge électrique. Elle explique la force électrique qui s'exerce entre deux objets de charges électriques q et Q et distant de d :

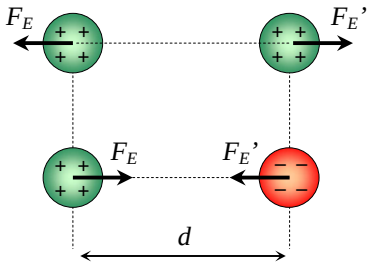
Loi de Coulomb

$$F_E = k \times \frac{|q| \times |Q|}{d^2}$$

F_E en N
q et Q en C
d en m

avec k une constante de valeur $9 \cdot 10^9$ $S.I.$ dans l'air

Forces subies par deux corps chargés



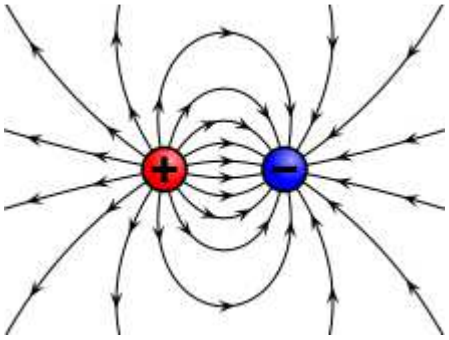
Dans les deux cas : $\begin{cases} \vec{F_E} = - \vec{F_E}' \\ F_E = F_E' \end{cases}$

L'interaction électromagnétique est :

- attractive (si charges de signe contraire) ou répulsive (si charges de même signe)
- de portée infinie mais pouvant être écrantée.

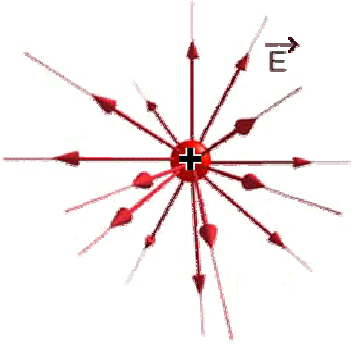
IV.3. Champ et force electrostatique

Toute particule chargée, du fait de sa charge q, engendre autour d'elle un champ électrostatique noté E et exprimé en V/m.



A noter :

Les lignes de champ partent des charges positives et vont vers les charges négatives dans toutes les directions de l'espace.



Une particule de charge q' placée à une distante d de la charge q subira une force attractive ou répulsive d'intensité :

$$F = k \cdot \frac{|q| \times |q'|}{d^2}$$

ou encore

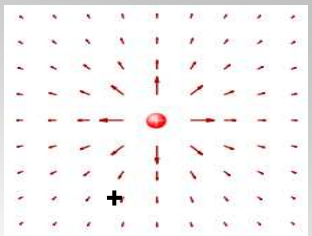
$$\vec{F} = \vec{E} \times q'$$

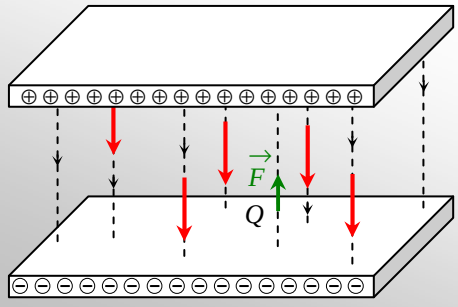
Remarque: Une **ligne de champ vectoriel** est une ligne tangente en chacun de ses points au vecteur champ. Elle est orientée par une flèche dans le même sens que celui du champ.

Exercice 4 :

Un condensateur plan est réalisé lorsqu'on place face à face deux plaques métalliques de charges électriques opposées. Le champ électrostatique E qui apparaît alors est uniforme entre les deux plaques.

Si l'on place une particule de charge Q dans le condensateur elle subira une force d'intensité : $F = Q \times E$





1. Retrouver le signe de la charge Q sur la figure de gauche.
2. Déterminer une autre unité possible du champ E dans le $S.I.$
3. Tracer quelques lignes de champ sur la figure de droite.
4. Déterminer la valeur du champ électrostatique créé par un proton à 200 fm. (k = 9,0·10 ^{9} $S.I.$)
5. Calculer la force que subirait une particule α placée à cette distance.

Tableau récapitulatif

Interaction gravitationnelle	Interaction électromagnétique
Force créée par M sur m : $F = G \times \frac{m \times M}{d^2}$ (loi de Newton)	Force créée par Q sur q : $F_E = k \times \frac{\lvert q \times Q \rvert}{d^2}$ (loi de Coulomb)
Champ exercé par M à la distance d : $g = G \times \frac{M}{d^2}$ (g en m/s^2 ou N/kg)	Champ exercé par Q à la distance d : $E = k \times \frac{\lvert Q \rvert}{d^2}$ (E en V/m ou N/C)
Relation entre force exercée sur m et champ : $F = m \times g$	Relation entre force exercée sur q et champ : $F_E = \lvert q \rvert \times E$
Interaction toujours attractive	Interaction attractive ou répulsive
Interaction non écrantable	Interaction écrantable