

Notion de champ

I Approche de la notion de champ

1) Premier exemple de champ scalaire

Document 1 : carte de France des températures à une date donnée

Sur internet, se rendre sur la page suivante : <http://meteo.region-nord.com/temperature.php> et choisir une des cartes (jour et heure) où la variation de température entre différents lieux est bien visible.

- Quelle grandeur est représentée sur cette carte ?
- Deux moyens permettent de connaître sa valeur en un lieu. Lesquels ?
- Parmi ces deux moyens, l'un permet d'avoir cette valeur en n'importe quel lieu, lequel et pourquoi ?
- Lorsqu'on regarde un point précis de la carte et la valeur de la température en ce point et qu'on change de carte en regardant toujours ce même point, quel paramètre de la température fait-on varier ? On dit qu'en un point précis, la température change suivant le Le paramètre fixé est alors.....
- Lorsque l'on regarde cette même grandeur mais en ne changeant pas la carte mais en se déplaçant d'un point à l'autre, quel paramètre change cette fois-ci ?..... Quel est le paramètre fixé ? (comme quand on prend une photo)
- Conclusion : on vient de mettre en évidence ici en plusieurs lieux et pour plusieurs dates la valeur d'une grandeur physique appelée température. On ressent en effet différentes impressions suivant les valeurs de cette température. C'est une propriété physique de chaque point de l'espace qui est décrit sur cette carte. On dit que c'est un champ. Ici c'est le champ des températures qui est étudié. Quelle est l'unité utilisée pour la grandeur de ce champ ?

2) Autre exemple

Document 2 : carte de France des précipitations à une date donnée

Se rendre sur la page <http://meteo.region-nord.com/precipitation.php>.

- Sur cette page, quels sont les deux champs étudiés et quelles sont les unités des grandeurs associées ?
- Expliquer l'unité des précipitations notamment sur un exemple.

3) Un exemple de champ vectoriel

Document 3 : carte de France des vents à une date donnée

Se rendre sur la page <http://meteo.region-nord.com/vent.php>. Eventuellement changer de jour.

- Ici, les couleurs représentent un champ scalaire. Quelle propriété/grandeur de l'espace correspond à ce champ (modifier le terme « force » qui ne convient pas de la légende) ? Quelle est son unité ? Est-ce l'unité dans le système international ? Si non, quelle serait l'unité à utiliser ?
- Mais il y a plus d'informations sur cette carte que des couleurs. En chaque point est représentée en plus une flèche. D'un point à un autre, chaque flèche représente un petit vecteur qui a donc trois caractéristiques. Quelles sont les trois caractéristiques d'un vecteur (rappeler-les ou demander à votre professeur de mathématiques) ?

Ici ces trois caractéristiques correspondent à trois caractéristiques du vent :

- la du vecteur représenté correspond à la du vent.
- le du vecteur représenté correspond au du vent
- la du vecteur représenté est directement reliée (par une échelle) à la de la vitesse du vent (remarque : cette troisième caractéristique est également donnée par l'échelle de couleurs)

c) Pourquoi le champ « du vent » doit-il ici être représenté par un champ vectoriel alors que le champ des températures pouvait être décrit par un champ scalaire ?

4) Conclusion

Un champ scalaire est utile pour décrire une propriété de l'espace en différents lieux si cette propriété est simplement une.....

Un champ vectoriel est utile pour décrire une propriété de l'espace en différents lieux si cette propriété doit être décrite complètement par, et

Dans les deux cas, la propriété décrite est indépendante de l'appareil qui la mesure ou qui l'observe ou qui la ressent (on ne fait pas varier la valeur de la température de l'air en ajoutant un thermomètre et on ne fait pas varier la direction ou le sens du vent par exemple en plaçant une girouette ou la valeur de la vitesse du vent en plaçant un.....).

5) Emergence historique de la notion de champ

Jusqu'à la première moitié du XIX^{ème} siècle, les phénomènes physiques ont toujours été analysés d'un point de vue mécanique, c'est à dire en termes de **forces entre corps**.

a) Rappelez l'expression de la valeur de la force gravitationnelle, décrite par Newton, exercée par un objet A de masse M sur un autre objet B de masse m, séparé par une distance d l'un de l'autre :

b) Rappelez l'expression de la valeur de la force coulombienne décrite par Coulomb, exercée par un objet A de charge Q sur un autre objet B de charge q, séparé par une distance d l'un de l'autre :

Document 4 (voir aussi livre Einstein et Infeld) : le champ comme réalité

Cependant on pourrait objecter à Newton la chose suivante : **comment l'objet A sait-il qu'il existe un objet massif B à une distance d de lui ? Pourquoi, lorsqu'il est en place, ressent-il une force de gravitation de la part de l'objet B « comme par magie » alors qu'il ne se passerait rien si A était absent de sa place ? Autrement dit comment la force gravitationnelle peut-elle agir instantanément à distance (A et B sont éloignés) dès que l'objet A est en place ?** A cette question les scientifiques de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle répondent par l'introduction d'un concept nouveau, **le champ**, qui forme une nouvelle image de la réalité. Il ne faut plus voir l'objet B, quand il est tout seul, comme n'exerçant rien autour de lui. **Dès qu'il est mis en place, il crée partout autour de lui une modification de l'espace**, « invisible » s'il est le seul objet massif présent mais bien présente : il faut donc se représenter cet objet massif B (cela est facile car on le voit) mais également se représenter en même temps autour de lui cette modification. Cette modification de l'espace se traduit mathématiquement par la présence d'un champ vectoriel de gravitation. **On ne détecte ce champ qu'en plaçant à proximité de B un autre corps massif A qui va alors le ressentir (sous la forme d'une attraction). En effet, si B était absent, A ne ressentirait rien. Il y a donc bien « quelque chose » qui existe à l'endroit où on place A quand B est présent.** On dit que la particule A se trouve alors baignée dans le champ de gravitation créé par B et y réagit proportionnellement à sa masse. Le champ gravitationnel exercé par B est bien partout présent même en l'absence de A dans tout l'espace environnant, simplement il « ne se fait sentir » en un lieu qu'à l'approche d'un autre objet massif tel que A en ce lieu.

c) Réécrire *en entier* sur feuille ce dernier paragraphe en l'adaptant à l'interaction électrostatique de Coulomb.

II Champ magnétique

1) Mise en évidence de l'interaction magnétique

Un aimant possède toujours un pôle nord (N) et un pôle sud (S).

Expérience 1 : positionner une petite aiguille aimantée sur pivot à proximité d'un aimant, puis déplacer la autour de cet aimant pas trop près pour éviter qu'elle vienne se plaquer sur l'aimant.

Observation :

Conclusion :

De façon générale, il un en un point de l'espace lorsqu'une aiguille aimantée placée y subit une action mécanique.
Le champ magnétique est un champ de direction celle de et pour sens celui de c'est-à-dire....., en chaque point de l'espace.

2) Quelles sont les sources de champ magnétique ?

a) Aimant

Certains matériaux ont la particularité de créer un champ magnétique dans leur voisinage. Ils sont souvent constitués des éléments fer et oxygène (voir 1))

b) Circuit électrique

Expérience 2 : on place au voisinage d'un fil électrique parcouru par un courant une petite aiguille aimantée.

Observation :

Conclusion :

c) Noyaux des astres

Expérience 3 : placer des boussoles ou des aiguilles suffisamment aimantées sans source apparente magnétique autour d'elle.

Observation :

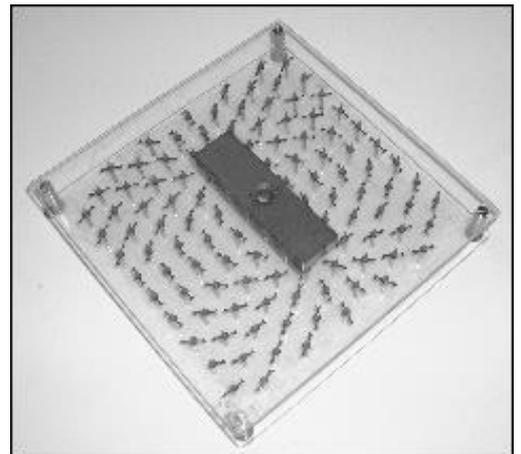
Conclusion :

La Terre, comme la plupart des astres, possède un champ magnétique. Ces champs magnétiques sont principalement d'origine interne. On suppose qu'ils sont issus d'effets de convection de la matière située dans le noyau interne de l'astre, principalement composé de fer et de nickel liquide. En particulier, des courants (bien que très faibles), parcourant le noyau induiraient ce champ magnétique, par un processus appelé effet dynamo.

3) Caractéristiques du champ magnétique de certaines sources

a) Notion de ligne de champ

Comme pour le champ des vents, on peut dessiner le champ magnétique, par exemple d'un aimant, au moyen de flèche en différents points de l'espace. C'est ce qu'on obtient avec une plaque de plexiglas enfermant de multiples petites aiguilles aimantées sur laquelle on a posé un aimant (voir ci-contre). A-t-on toutes les caractéristiques du champ par ce moyen ?



Une autre façon de représenter ces deux caractéristiques du champ magnétique est de dessiner les « » (voir aussi le site de météo pour le vent)

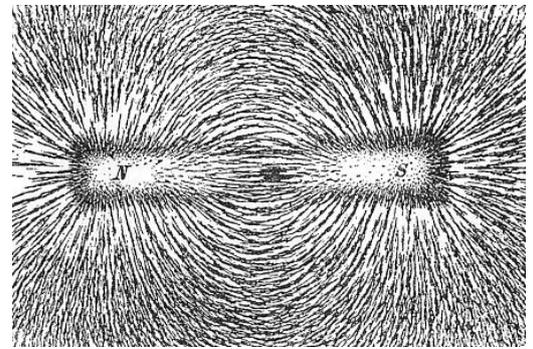
Une ligne de champ (d'un champ vectoriel) est, par définition, une ligne de l'espace **tangente** en chacun de ses points au champ magnétique. Elle est **de plus orientée (flèche)** dans le sens du champ.

Deux lignes de champ différentes ne se coupent pas. Pour un aimant, les lignes de champ sortent par le pôle et rentrent dans l'aimant par le pôle Dans l'aimant, elles se dirigent du pôle vers.....

Dessiner en rouge, sur la photo précédente, quelques lignes de champ.

Vous avez à votre disposition sur la paillasse une plaque de plexiglas avec des petites aiguilles aimantées. Sont-elles correctement aimantées ? Quelle information perdez-vous avec ce matériel de mauvaise qualité ?

Un autre moyen simple afin de visualiser les lignes de champ est l'utilisation de limaille de fer (les petits grains de fer s'orientent alors comme de toutes petites aiguilles aimantées). Dessiner en rouge à nouveau le spectre de l'aimant.



L'ensemble des lignes de champ s'appelle le spectre de la source du champ étudié.

Quelle est la dernière propriété/caractéristique du champ magnétique à connaître en chacun de ses points ?

Ordres de grandeur (faire une recherche sur internet ou dans votre livre) :

Champ magnétique terrestre :

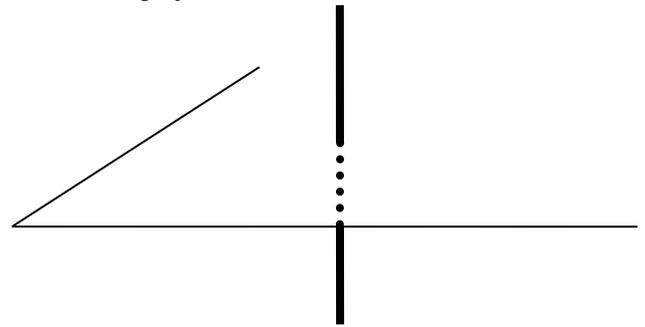
téléphone portable :

Aimant :

appareil d'imagerie médicale IRM :

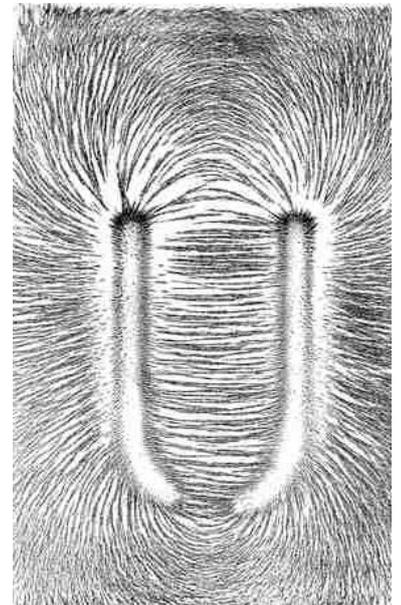
b) Spectre d'un fil parcouru par un courant

Dessiner et décrire les lignes de champ observées au rétroprojecteur.



c) Spectre d'un aimant en U

Dessiner et décrire les lignes de champ à l'intérieur de l'aimant en U (le pôle N est à gauche et le pôle S en face).



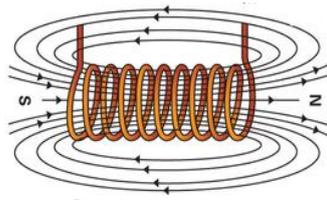
Généralisation : définition d'un champ uniforme :

Un champ scalaire est dit uniforme dans un certain espace si

Un champ vectoriel est dit uniforme dans un certain espace si

d) Etude expérimentale du spectre d'une bobine parcourue par un courant sur son axe principal

Document 1 : bobine et solénoïde



Cas 1



Cas 2

Une bobine est un enroulement d'un fil conducteur autour d'un axe. Un champ magnétique apparaît dans son voisinage dès qu'elle est parcourue par un courant. L'enroulement est la plupart du temps circulaire (cercle de diamètre D)
Si la largeur de la bobine est plus grande que son diamètre, on parle plutôt de solénoïde :
Mais il se peut que la largeur de la bobine soit très courte et très inférieure à son diamètre :
Les bobines en face de vous comportent chacune 95 spires (=tours de fil) en cuivre et leur largeur est plus
.....que leur.....

Document 2 : réglage du générateur et branchement de la bobine étudiée imposés

- Régler le générateur de courant :
voltage : « fixed 14 V »
Bouton voltage à fond à droite
Bouton intensité sur à fond à gauche pour l'instant.
- Brancher la bobine qui peut se mouvoir au générateur de courant avec deux fils : borne + du générateur (par où sort le courant positif) sur la borne noire de la bobine amovible et borne - du générateur (par où rentre le courant positif dans le générateur) sur la borne rouge de la bobine amovible.
- Allumer le générateur et régler l'intensité I à 2,00 A au départ.

Document 3 : utilisation du teslamètre

- commencer avec un calibre de 3 mT (mesure des valeurs au plus égales à 3 mT), à changer éventuellement pour améliorer la lecture

- gamme fois 1 (on mesure directement B)
- lecture + (on ne veut pas le signe opposé)
- régler avant tout le zéro en n'oubliant pas d'éteindre le circuit de la bobine pour ne pas perturber le zéro
- on ne mesurera pas B au-delà de 13 cm par rapport au centre de la bobine.

Le champ mesuré est le champ *algébrique* orienté suivant le sens croissant de graduation de la règle métallique *lorsque le petit ergo portant la sonde est positionné au dessus à 90° par rapport à la règle*. Si l'affichage est positif, cela signifie que le sens du champ magnétique est le même que celui croissant de la graduation de la règle. Si l'affichage est négatif, alors le sens du champ est celui décroissant de la graduation.

Travail demandé : démarche d'investigation

Mettre en évidence un champ magnétique, les faces S et N de la bobine et toutes les caractéristiques du champ **mais uniquement le long de l'axe de la bobine** afin de déterminer s'il est symétrique ou antisymétrique par rapport à la bobine.

On étudiera aussi l'influence de l'intensité I ...

Matériel à disposition :

- aiguille aimantée (qu'on pourra installer sur son doigt et/ou sur la règle du teslamètre)
- bobine reliée à un générateur de courant. I sera égale à 2,00 A pour la première série de mesures. On pourra la faire varier ensuite comme on le souhaite entre 1 A et 2,5 A.
- teslamètre

Les réponses devront être claires, concises et précises avec toute la démarche scientifique mise en avant. On utilisera des tableaux, des graphiques qui sont plus visuels correctement exploités (fiche graphique éventuelle à venir). On dessinera le champ sur des points de l'axe de la bobine avec des segments fléchés, comme pour la carte des vents, en utilisant une échelle qu'on indiquera clairement et qui servira à répondre à la question posée.

e) Spectre du champ magnétique terrestre

Document 1 : nord magnétique, nord géographique et déclinaison magnétique

Différence entre Nord magnétique et Nord géographique

Le magnétisme terrestre attire l'aiguille ou la pointe rouge d'une boussole vers le nord dit nord magnétique. En fait la direction indiquée correspond au pôle nord magnétique et non géographique. Il y a un écart entre ces deux directions.

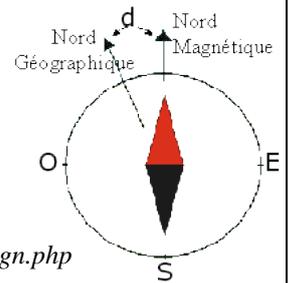
Il est important si l'on veut une détermination exacte du nord avec une boussole, de connaître cet écart afin de le retrancher ou de l'ajouter selon sa position. Cet écart s'appelle la déclinaison magnétique.

La déclinaison magnétique

La déclinaison magnétique notée d est l'écart angulaire entre le Nord magnétique et le Nord géographique. Celle-ci est positive si la déviation est vers l'est et négative vers l'ouest.

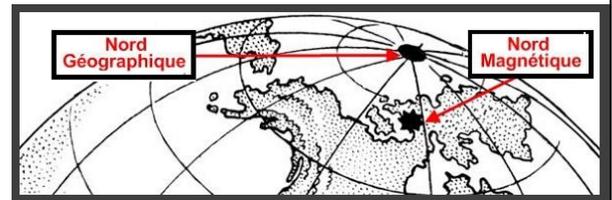
Par exemple pour la région de Beaune en 2005 la déclinaison magnétique sera de $0^\circ 22'$ Ouest soit -0.37° . Ce qui signifie que la direction du Nord géographique = Nord magnétique - 0.37°

D'après le site internet : http://f1rzv.free.fr/astrinfo/decl_magn.php



Document 2 : nord magnétique au cours du temps

Le nord magnétique n'a pas toujours la même direction. A la surface du globe terrestre, le nord magnétique se déplace d'environ 40 km par an. Actuellement le pôle Nord magnétique est situé à environ 1900 Kms du pôle Nord géographique (au Canada. La position du pôle Nord magnétique pour l'année 2004 était 82.3° Nord et 113.4° Ouest. Il y a 2.10^8 années, il se trouvait à Hawaï !

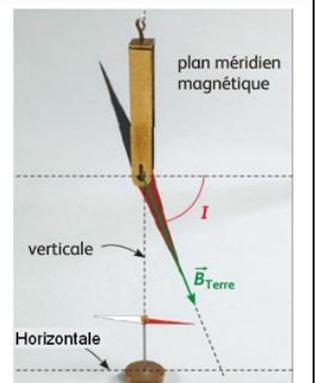


Document 3 : inclinaison magnétique

Une boussole, à plat et horizontale en un lieu donne une direction formant un angle avec le pôle géographique appelée déclinaison magnétique (voir document 1).

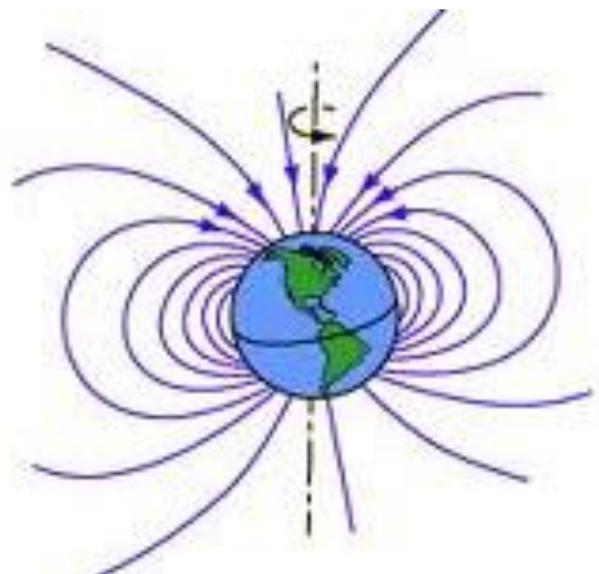
Mais si on laisse cette même aiguille aimantée non plus dans un boîtier horizontal mais libre de prendre la direction qu'elle souhaite dans l'espace, cette aiguille peut pointer vers le sol comme sur la figure ci-contre. On définit alors l'inclinaison magnétique I du lieu considéré qui est l'angle entre le plan horizontal et la direction véritable du champ magnétique en ce lieu (voir figure).

(<http://scphysiques2010.voila.net/1sqcm/1sqcm12.htm>)



On a représenté ci-contre le spectre du champ magnétique terrestre avec quelques lignes de champ. Répondre aux questions suivantes sur une page annexe en vous servant aussi des documents précédents.

- Que représente l'axe en pointillés ainsi que la flèche autour de lui ?
- Dessiner une petite aiguille aimantée avec ses deux pôles rouge et noir sur une des lignes de champ. Indiquer par N_G , S_G , N_M et S_M les pôles géographique et magnétique. Repasser en vert l'axe nord-sud géographique et en bleu l'axe nord-sud magnétique. Ce schéma est-il tout à fait conforme avec le document 2 ? Justifier.
- Si on modélisait la Terre par un gros aimant, où serait son pôle nord et où serait son pôle sud d'après le spectre fourni ? Le pôle nord magnétique correspond-il ainsi au pôle nord de cet aimant fictif ?
- En un lieu de l'Alaska, la déclinaison magnétique aujourd'hui est-elle nulle ? Positive ? Négative ? Justifier d'après le document 2.
- En utilisant la latitude correspondant à Versailles sur le document ci-contre ; la direction du champ magnétique à Versailles est-elle celle de l'horizontale ? Comment mettre ce phénomène en évidence ? Comment s'appelle l'angle entre la direction du champ et l'horizontale en un lieu ?



III Champ gravitationnel

Un champ gravitationnel existe en un lieu de si en plaçant un objet en ce lieu, celui-ci est soumis à une action mécanique.

1) Champ gravitationnel créé par un objet massique

a) Caractéristiques

Rappel : force exercée par un objet massique A de masse m_A sur un objet massique B de masse m_B distant d'une distance d de A en un point P :

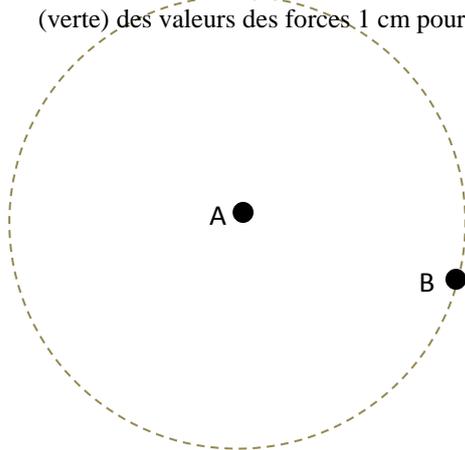
direction : celle de la droite (AB)

Sens : vers A

point d'application : centre de l'objet B

Valeur : $G \cdot m_A \cdot m_B / d^2$

Représenter ainsi la force exercée par un objet de masse $m_A = 100$ kg sur un objet de masse $m_B = 30$ kg à une distance $d = 3,0$ m avec l'échelle (bleue) des longueurs 1 cm sur le dessin pour 1 m dans la réalité, l'échelle (verte) des valeurs des forces 1 cm pour $1 \cdot 10^{-8}$ N.



Parmi toutes ces caractéristiques, quelle(s) est (sont) celle(s) qui changerai(en)t si à la place de B, on mettait un objet D de masse m_D et quelles sont celles qui ne changeraient pas ?

On définit ainsi le champ vectoriel gravitationnel \vec{G} créé par A de masse m_A en un point C distant d'une distance d de A par

- une direction :
- un sens :
- une valeur G :

Représenter \vec{G} à l'endroit où se trouvait l'objet B précédent en utilisant l'échelle (rouge) des valeurs des champs gravitationnels 1 cm pour $5 \cdot 10^{-10}$ N.kg⁻¹.

Représenter \vec{G} deux fois plus loin de la source A.

b) Lien entre champ et force

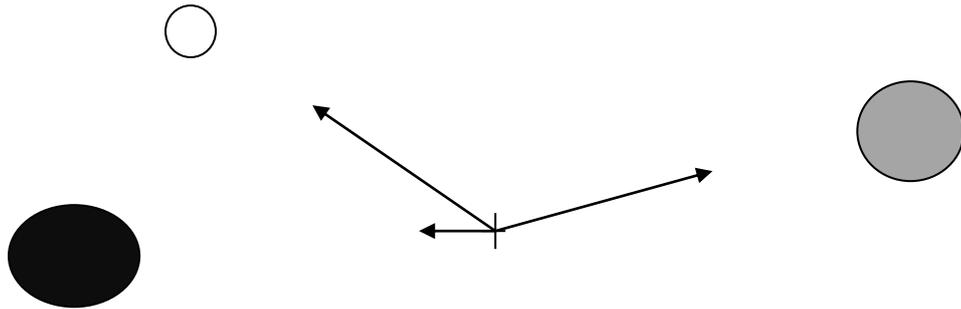
Que peut-on dire de $\vec{F}_{A/B}$ et \vec{G} ?

Ainsi, si on connaît \vec{G} en un lieu, il est très simple de retrouver la force exercée sur un objet placé en ce lieu. C'est généralement le raisonnement à faire.

c) Plusieurs champs

On a représenté les trois champs gravitationnels en un point de l'espace dus à trois objets massiques B, G et N (blanc, gris et noir). Quelle va être la direction et le sens de la force gravitationnelle ressentie par un objet placé en ce point ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



2) Champ gravitationnel terrestre et champ de pesanteur

a) Rappel et complément

Un objet de masse m est soumis à une force due à la terre appelée poids de l'objet notée \vec{P} . Cette force est due essentiellement à la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur cet objet mais prend en compte également le fait que la Terre tourne sur elle-même (cela a tendance à « repousser » un peu les objets vers l'extérieur de la Terre comme dans un manège qui tourne). Les quatre caractéristiques sont :

- Direction :
- Sens ;
- Point d'application
- Valeur

b) Champ de pesanteur

On définit alors de la même manière que précédemment un champ de pesanteur \vec{g} en un lieu dont les caractéristiques sont :

- Direction :
- Sens :
- Valeur :

Lien entre \vec{P} et \vec{g} :

c) Approximations

En négligeant la rotation propre de la Terre, le poids \vec{P} d'un objet de masse m peut être confondu avec la force gravitationnelle exercée par la Terre sur cet objet :
et donc :

Il y a alors notamment égalité des valeurs des deux champs en un point d'altitude h par exemple :

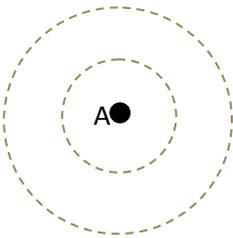
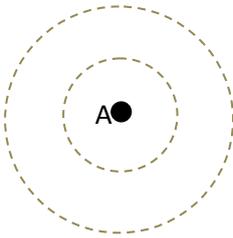
IV Champ électrostatique

Un champ électrostatique existe en un lieu de si en plaçant un objet en ce lieu, celui-ci est soumis à une action mécanique.

1) Champ électrostatique créé par un objet ponctuel chargé

a) Caractéristiques

De la même manière qu'un objet massique est à l'origine d'un champ gravitationnel \vec{G} autour de lui, un objet chargé de charge q_A est également à l'origine d'un champ électrostatique \vec{E} en tout point C distant d'une distance d de lui. Mais le sens de ce champ va dépendre du signe de la charge.

Signe de la charge q_A		$q_A > 0$	$q_A < 0$
Champ \vec{E} au point C de l'espace	direction		
	sens		
	valeur		
	Dessin (en rouge le champ, en vert, les forces)		

b) Lien entre champ et force

En plaçant un objet B de charge q_B au point C, il est très simple, connaissant le champ \vec{E} en ce point, de déterminer

Cas où $q_B > 0$ (vert clair) :

Cas où $q_B < 0$ (vert foncé) :

2) Champ électrostatique dans un condensateur plan

