

Séquence 5

Physique

Champs et forces

Chimie

Piles et accumulateurs

Sommaire

1. Physique : Champs et forces

Résumé

Exercices

2. Chimie : Piles et accumulateurs

Résumé

Exercices

Chapitre

1

Physique

Champs et forces

Objectifs

- ▶ Connaître les caractéristiques des lignes de champ vectoriel.
- ▶ Connaître les caractéristiques d'un champ uniforme.
- ▶ Connaître les caractéristiques du champ magnétique terrestre.
- ▶ Connaître les caractéristiques du champ électrostatique dans un condensateur plan.
- ▶ Connaître les caractéristiques du champ de pesanteur local.
- ▶ Savoir identifier localement le champ de pesanteur au champ de gravitation, en première approximation.

A

Notion de champ

Prenez votre crayon de masse m avec le bout des doigts (le crayon a pour seul contact les doigts) et lâchez-le de n'importe quel endroit de l'espace ; il tombe. Le crayon est donc soumis à une action à distance en n'importe quel endroit de l'espace où on le place.

La notion de champ (ici le champ de pesanteur $\vec{g}$) permet de caractériser l'action subie par le crayon en un point de l'espace sans se préoccuper des causes produisant cette action : $\vec{P} = m\vec{g}$.

En physique, un champ est la donnée, pour chaque point de l'espace, d'une grandeur physique ; par exemple le vecteur $\vec{g}$ (de valeur $9,8 \text{ N.kg}^{-1}$, de direction la verticale et orienté vers le bas).

Votre téléphone portable sonne ; son antenne a détecté un champ électromagnétique.

La grandeur physique appelée « champ » peut être vectorielle (champ de pesanteur, champ électrique, vitesse des particules de fluide,...) mais aussi scalaire (température, pression...).

Nous allons voir des exemples de champs scalaires puis nous étudierons plus en détails les champs vectoriels.

1. Exemple de champ scalaire : la pression

a) Rappel : pression dans les gaz

Nous avons vu en seconde qu'un gaz est constitué de molécules se déplaçant dans le vide. Ces molécules ont un mouvement désordonné. Les chocs des molécules du gaz sur la surface des objets sont à l'origine de la pression.

La pression existe en chaque point de l'espace ; tout objet est alors soumis à des forces pressantes ; le champ de pression caractérise ces forces pressantes qui se manifestent en un point de l'espace.

Unités de pression :

- le Pascal (Pa)
- le bar : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$;
- le mm de Hg (millimètre de mercure) : $1 \text{ mm Hg} \approx 133 \text{ Pa}$.

Activité 1 Compléter le tableau suivant en donnant les résultats avec trois chiffres significatifs (exemple : $2,23 \cdot 10^5$).

Pression en bar	3,00		1,02	
Pression en mm Hg		$3,00 \cdot 10^2$		
Pression en Pa				$2,30 \cdot 10^5$

b) La pression atmosphérique

La pression atmosphérique varie avec l'altitude (la pression diminue lorsqu'on s'élève) et avec les conditions météorologiques. Une pression supérieure à la pression atmosphérique normale correspond à des conditions anticycloniques tandis qu'une dépression est caractérisée par une pression inférieure.

La pression atmosphérique normale est égale à 101325 Pa (1013 hPa) ce qui correspond à 1013 mbar.

Activité 2 Replacer dans le tableau suivant les pressions correspondant aux conditions météorologiques données.

Pression : 980 mbar ; 1050 mbar.

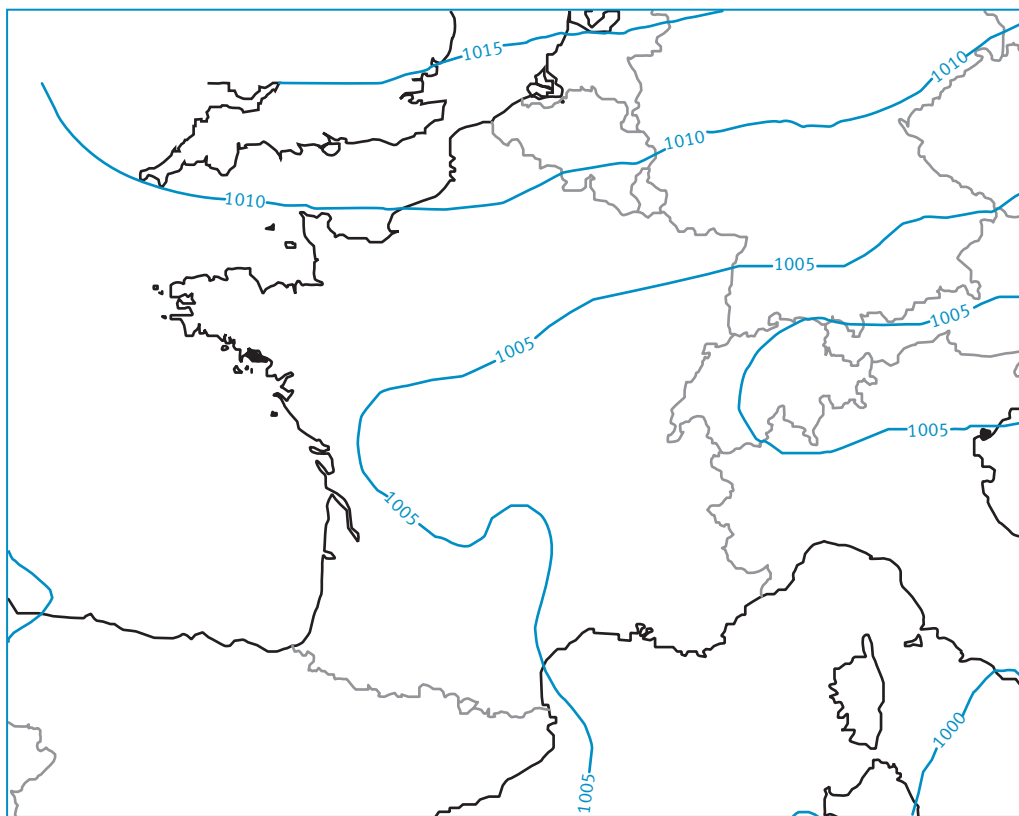
Conditions météorologiques	Tempête (dépression)	Temps ensoleillé (anticyclonique)
Pression atmosphérique		

c) Champ de pression

Le champ des pressions est un champ scalaire.

Sur la carte, page suivante, d'un bulletin météorologique, une ligne (par exemple 1010) représente un ensemble de points où la pression est la même ; cette ligne est appelée ligne de champ.

Pmer pour le 3/05/11 00 UTC (ech : 24h)



Activité 3

- ❶ En utilisant la carte météo, déterminer la ligne de champ se trouvant au niveau de la ville de Strasbourg en Alsace.
- ❷ Quelle était la pression atmosphérique à cet endroit le 3 mai 2011 à 00 h ?
- ❸ Quelle est l'unité de pression dans le système international (SI) ?

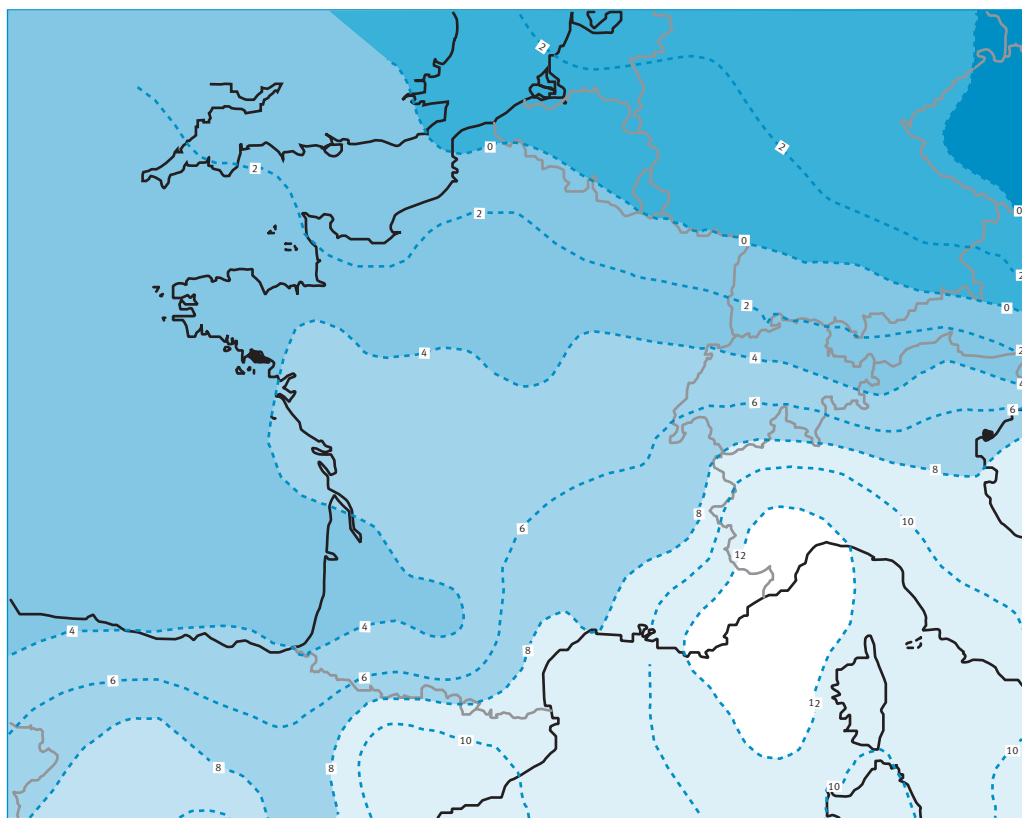
2. Autres exemple de champ scalaire : la température

Le champ des températures est aussi un champ scalaire.

Sur cette carte d'un bulletin météorologique, une ligne représente un ensemble de points où la température est la même ; cette ligne est appelée ligne de champ.



T 850 hpa pour le 4/05/11 00 UTC (ech : 48 h)



Activité 4 Quelle était la différence de température entre la Côte d'azur et l'Alsace le 4 mai 2011 à 00 h ?

Lorsque la grandeur physique décrite par le champ est définie par un nombre, le champ est scalaire.

3. Le champ de vitesses d'un fluide en déplacement

Pour mener une étude complète d'une éolienne, il est nécessaire d'étudier ses performances par des essais en soufflerie atmosphérique. Il faut alors caractériser le champ de vitesse de l'air autour de l'éolienne en traçant à l'aide d'ordinateurs les lignes de champ.

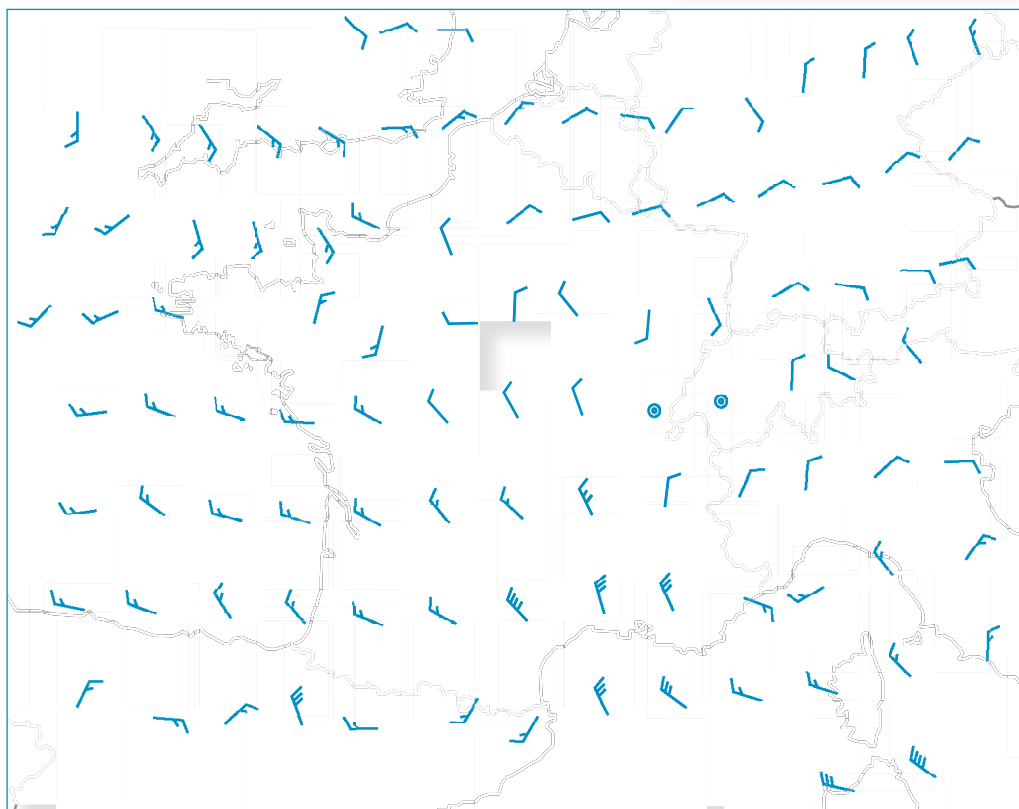
De même en météo, il est nécessaire de connaître la vitesse des vents ; Météo France propose ainsi des cartes avec la vitesse des vents.

Activité 5 Observez la carte de vitesse des vents page suivante et localisez les régions de France où le vent soufflait le plus fort le 4 mai 2011. Précisez également la direc-

tion et le sens de ce vent. À l'aide d'une recherche documentaire, trouver le nom usuel de ce vent.

Vent 850 hpa pour le 4/05/11
00 UTC (ech : 48 h)

Le champ des vitesses du vent donnent des informations sur sa valeur définie par un nombre mais aussi sur sa direction et son sens : le champ est vectoriel.

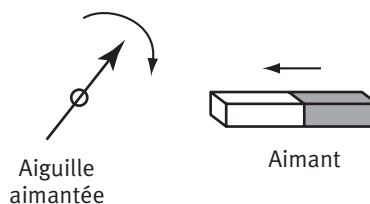


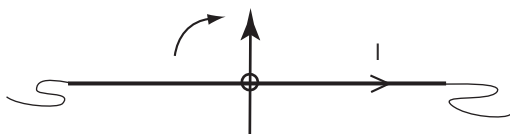
B

Le champ magnétique

1. Actions exercées par un aimant ou un courant

Approchons un aimant d'une petite aiguille aimantée placée sur un pivot; celle-ci se met en rotation.





De même un fil de cuivre parcouru par un courant agit sur une petite aiguille aimantée placée en-dessous du fil et à proximité.

L'aimant et le fil agissent à distance sur l'aiguille aimantée ; il y a interaction à distance entre l'aimant (ou le fil) et l'aiguille.

Dans l'espace où la petite aiguille aimantée est mise en mouvement, une grandeur appelée **champ magnétique** permet d'interpréter les effets observés.

Activité 6 Rechercher sur Internet ou dans une encyclopédie le nom du physicien danois qui a observé le déplacement d'une aiguille aimantée à proximité d'un fil conducteur parcouru par un courant électrique. En quelle année a été faite cette observation ?

En demandant l'aide d'une autre personne, vous pouvez réaliser l'expérience avec une petite boussole de poche, une pile électrique de 1,5 V, 50 cm d'un gros fil de cuivre.

Posez la boussole sur la table et placez le fil au dessus de l'aiguille dans la direction sud-nord du champ magnétique terrestre. Connectez le fil aux bornes de la pile, observez et déconnectez rapidement.

Inversez les connexions avec la pile. Remarquez que l'aiguille se tourne dans la direction opposée.

2. Sources de champ magnétique

■ Le champ magnétique terrestre

En l'absence de sources (aimants, bobine parcourue par un courant), une aiguille aimantée prend toujours la même direction ; elle est soumise au champ magnétique terrestre.

La Terre se comporte comme un aimant ; ceci est dû aux mouvements de convection des roches terrestres en fusion.

Le pôle nord géographique se comporte comme un pôle magnétique, que l'on appelle pôle nord magnétique. Le côté de l'aiguille aimantée qui s'oriente suivant ce pôle est appelé pôle nord par convention ; l'autre côté est donc un pôle sud.

■ Les aimants

Il existe des aimants temporaires qui ne se conduisent comme des aimants que lorsqu'ils sont placés dans un champ magnétique (exemples : le fer, le nickel, le cobalt) et des aimants permanents qui, une fois aimantés, conservent une partie de leur aimantation.

Un aimant possède deux pôles : le pôle Nord et le pôle Sud.

Pour déterminer le pôle d'un aimant, on approche une aiguille aimantée ; si le pôle nord de l'aiguille est repoussé, c'est que le pôle de l'aimant approché est un pôle nord.

Deux pôles de même nom se repoussent ; deux pôles de noms différents s'attirent.

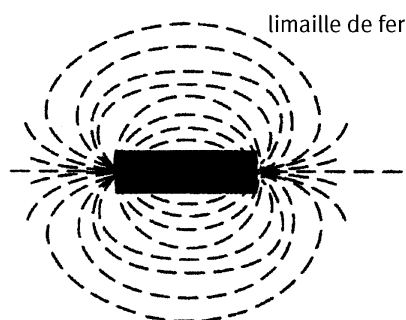
■ Les courants électriques

Le champ magnétique créé par un fil (ou une bobine) parcouru par un courant dépend du sens du courant ; ainsi dans toutes les expériences précédentes, si l'on modifie le sens du courant dans la bobine ou dans un fil, l'effet observé est différent.

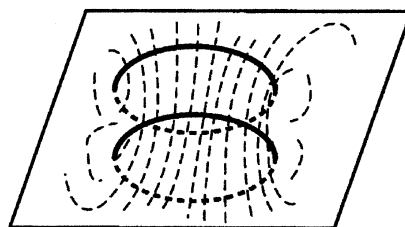
3. Caractéristiques du champ magnétique

a) Lignes de champ magnétique

Saupoudrons de la limaille de fer sur une plaque de verre placée au-dessus d'un barreau aimanté ; en tapotant, les grains de limaille s'orientent et dessinent des lignes appelées lignes de champ magnétique ; elles constituent le spectre de l'aimant.

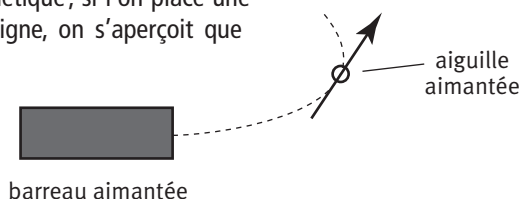


En procédant de la même manière, on obtient un spectre pour deux bobines parcourues par un courant continu.

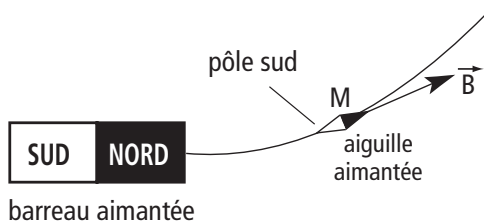


b) Représentation du champ magnétique par un vecteur

Le spectre permet de découvrir qu'il existe des directions privilégiées du champ magnétique ; si l'on place une aiguille aimantée sur une ligne, on s'aperçoit que l'aiguille prend une position (tangente à la ligne considérée) et un sens privilégié.



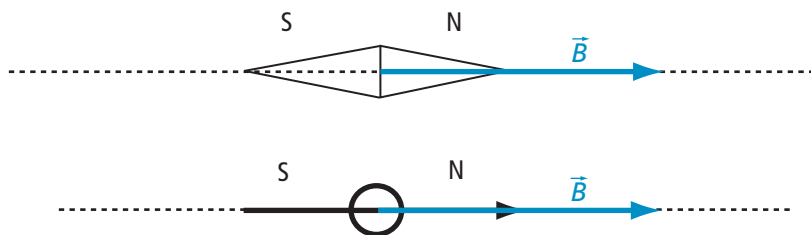
Cela suggère de modéliser le champ magnétique par un vecteur.



Le pôle Sud de l'aiguille aimantée est attiré par le pôle Nord de l'aimant ; le vecteur champ magnétique est tangent à la ligne de champ et orienté suivant le sens Sud-Nord de l'aiguille aimantée.

Le champ magnétique en M existe même en l'absence de l'aiguille aimantée ; cette dernière ne sert qu'à le mettre en évidence.

Le champ magnétique en un point est représenté par le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ dont la direction et le sens sont ceux de l'axe Sud-Nord d'une aiguille aimantée placée en ce point. La valeur du champ magnétique s'exprime en tesla (T).

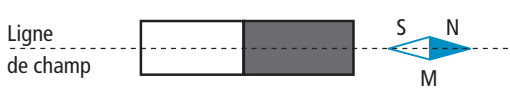
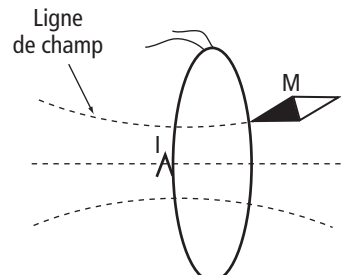


Caractéristiques du champ magnétique $\vec{B}$:

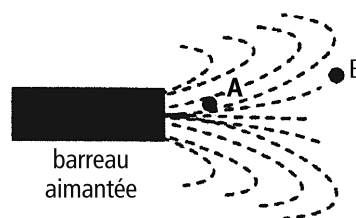
- Direction : tangent aux lignes de champ
- Sens : sens Sud - Nord d'une aiguille aimantée
- Valeur en tesla (T) mesurée par un teslamètre

Le champ magnétique étant une grandeur vectorielle, le champ résultant $\vec{B}$ de la superposition de deux champs $\vec{B}_1$ et $\vec{B}_2$ est la somme vectorielle des deux champs : $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$.

Activité 7 Représenter sur les lignes de champ tracées ci-dessous le vecteur champ magnétique au point M pour les deux cas suivants.

1- Barreau aimanté	
2- Bobine plate	

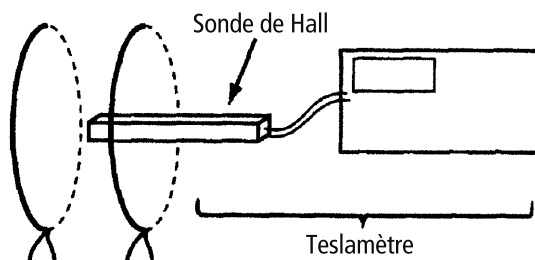
Le champ magnétique est d'autant plus intense que les lignes de champ sont plus rapprochées; ainsi sur la figure ci-dessous, le champ magnétique est plus intense en A qu'en B.



La valeur du champ magnétique se mesure avec un teslamètre. Le teslamètre est constitué d'une sonde à effet Hall.

L'unité du champ magnétique est le Tesla (T).

Pour mesurer la valeur du champ magnétique entre les bobines, il suffit de placer la sonde comme indiqué sur le schéma :



Activité 8

Compléter le tableau suivant qui donne des ordres de grandeur du champ magnétique créé par :

- une aiguille aimantée
- électroaimant à supraconducteur
- gros électroaimant industriel
- aimant ordinaire à sa surface

	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ T}$
	$1,0 \cdot 10^{-2} \text{ T}$
	2,0 T
	20 T

c) Caractéristiques du champ magnétique terrestre

Si l'on place plusieurs aiguilles aimantées identiques assez loin les unes des autres (loin de tout aimant ou courant), celles-ci s'orientent toutes parallèlement entre elles.

Localement, ou dans une région limitée de l'espace, le champ magnétique terrestre peut être considéré comme uniforme.

Caractéristiques : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Direction : droite inclinée de } 60^\circ \text{ par rapport à l'horizontale} \\ \text{Sens : sens Sud - Nord d'une aiguille aimantée} \\ \text{Valeur : } 4.10^{-5} \text{ T} \end{array} \right.$

Le champ magnétique terrestre peut être décomposé en deux composantes (horizontale $\vec{B}_h$ et verticale $\vec{B}_v$) : $\vec{B}_T = \vec{B}_h + \vec{B}_v$.

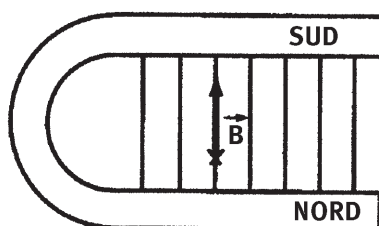
Une aiguille aimantée sur pivot n'est sensible qu'à la composante horizontale de valeur 2.10^{-5} T .

d) Champ magnétique uniforme

Le champ magnétique est dit uniforme dans une région de l'espace lorsque le vecteur champ magnétique est constant dans cette région de l'espace ; cela signifie que, dans cette région de l'espace, tous les vecteurs champs magnétiques ont même direction, même sens et même valeur.

Lorsque le champ magnétique est uniforme, les lignes de champ sont parallèles.

Exemple

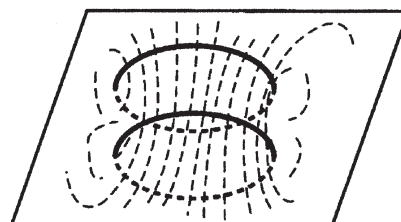
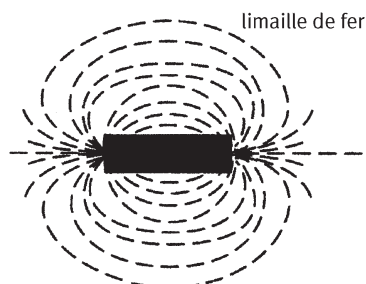


Aimant en U

Les lignes de champ sont parallèles entre les branches d'un aimant en U.

La valeur du champ magnétique est constante entre les branches.

Activité 9 En utilisant les schémas ci-dessous, peut-on dire que le champ est uniforme ?



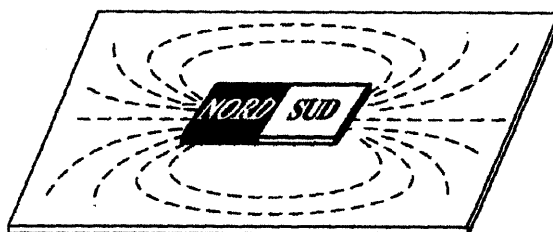
Exemple : champ magnétique uniforme créé par un solénoïde

Un solénoïde est une bobine cylindrique dont la longueur est grande par rapport au rayon du cylindre ; cette bobine est constituée d'un certain nombre de spires noté N .

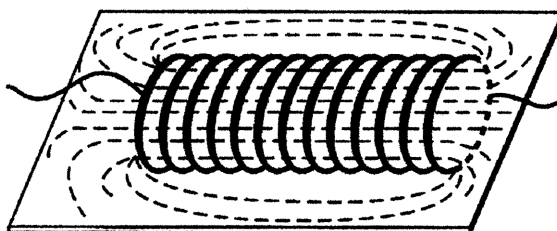
Activité 10

- ❶ Comparer les spectres de l'aimant droit et du solénoïde.
- ❷ Que peut-on dire des lignes de champ situées à l'intérieur du solénoïde ?

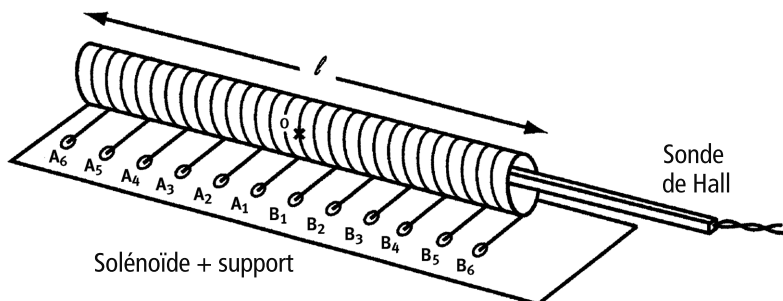
Aimant droit



Solénoïde



On étudie expérimentalement à l'aide d'un teslamètre la valeur du champ magnétique $\vec{B}$ créé par une bobine de longueur ℓ , comprenant N spires circulaires et parcourue par un courant d'intensité I .

**Activité 11** Uniformité du champ magnétique

On souhaite vérifier l'uniformité du champ magnétique sur toute la longueur du solénoïde (40 cm), aussi déplace-t-on la sonde de Hall d'une distance d à partir de O ; on obtient les résultats suivants :

d (cm)	0	5	10	15	17,5	20
B (mT)	3,4	3,4	3,4	3,3	2,9	1,8

Que peut-on conclure quant à l'uniformité du champ magnétique ?

Activité 12 Valeur du champ magnétique créé au centre de la bobine

- ① N et ℓ étant constants, on fait varier l'intensité I du courant.

On obtient les résultats suivants :

I (A)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
B (mT)	0,6	1,1	1,3	1,7	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4

Traduire par une courbe ces résultats expérimentaux en plaçant B en ordonnées et I en abscisse.

On prendra comme échelles

- en ordonnée : 1 cm correspond à 0,5 mT ;
- en abscisse : 1 cm correspond à 0,5 A.

Quelle courbe obtient-on ?

Sachant qu'une droite passant par l'origine a pour équation $y = ax$, écrire une relation entre B , I et une constante a .

Que peut-on dire de ces deux grandeurs B et I ?

- ② ℓ et I étant constants, on fait varier le nombre de spires de N à $2N$; on obtient :

- pour N : $B = 1,3$ mT ;
- pour $2N$: $B = 2,6$ mT.

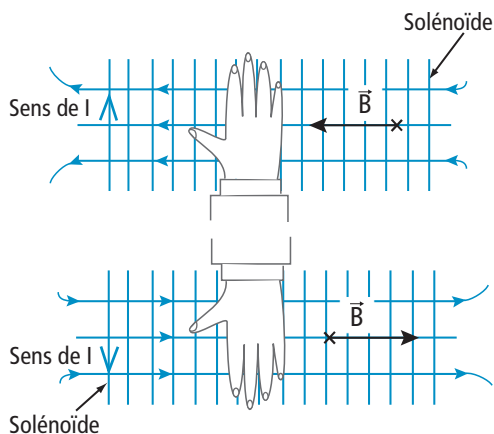
Que peut-on dire de ces deux grandeurs B et N ?

- ③ Dédurre des deux premières questions une relation entre B , N , I et une constante k .

Sa valeur est proportionnelle à l'intensité du courant et au nombre de spires du solénoïde.

Le champ magnétique est uniforme à l'intérieur du solénoïde « infini », c'est-à-dire de très grande longueur.

Méthode rapide pour trouver le sens du champ magnétique dans un solénoïde (la méthode n'est pas à connaître).



Pour trouver directement le sens du vecteur champ magnétique, nous pouvons utiliser la règle de la main droite; il suffit de poser fictivement la main droite sur la bobine :

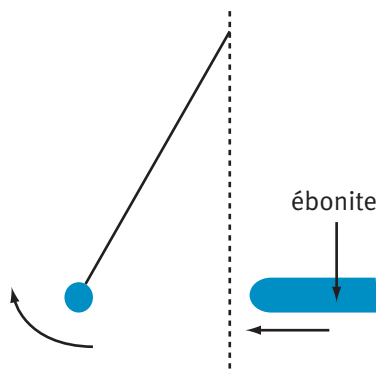
- la paume de la main est tournée vers le centre de la bobine,
- le courant sort par les doigts.
- le pouce écarté donne le sens de B .

L'électrostatique étudie les interactions entre les particules chargées immobiles.

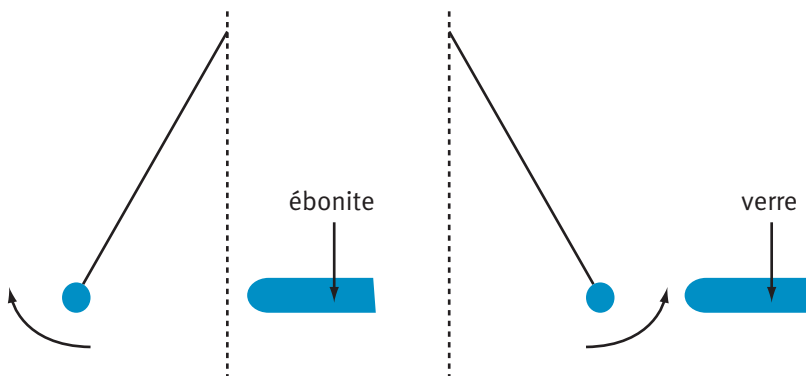
1. Interaction électrostatique

Lorsque nous approchons une tige d'ébonite frottée avec une peau de chat d'une petite boule chargée suspendue à un fil isolant, sans la toucher, la boule s'écarte ; l'interaction électrostatique est une interaction à distance.

Si nous éloignons la tige d'ébonite de la petite boule chargée, il est de plus en plus difficile de mettre la boule en mouvement ; l'intensité de la force électrostatique exercée par la tige d'ébonite sur la boule décroît avec la distance.



Si nous remplaçons la tige d'ébonite par une tige de verre frottée avec de la laine, la boule se rapproche de la tige.



Il existe deux types de charges : les charges positives et les charges négatives.

Deux charges de même signe se repoussent ; deux charges de signes opposés s'attirent.

Un objet macroscopiquement chargé est un objet auquel on a apporté ou retiré des électrons ; la tige d'ébonite frottée avec de la peau de chat a reçu des électrons ; la tige de verre frottée avec de la laine a perdu des électrons.

Activité 13 Expérience simple

Disposez sur votre table de travail des petits morceaux de papier ; frottez ensuite votre règle en plastique avec un chiffon et approchez cette règle des morceaux de papier sans les toucher.

- ❶ Qu'observe-t-on ?
- ❷ Les actions exercées sont-elles des actions de contact ou à distance ?

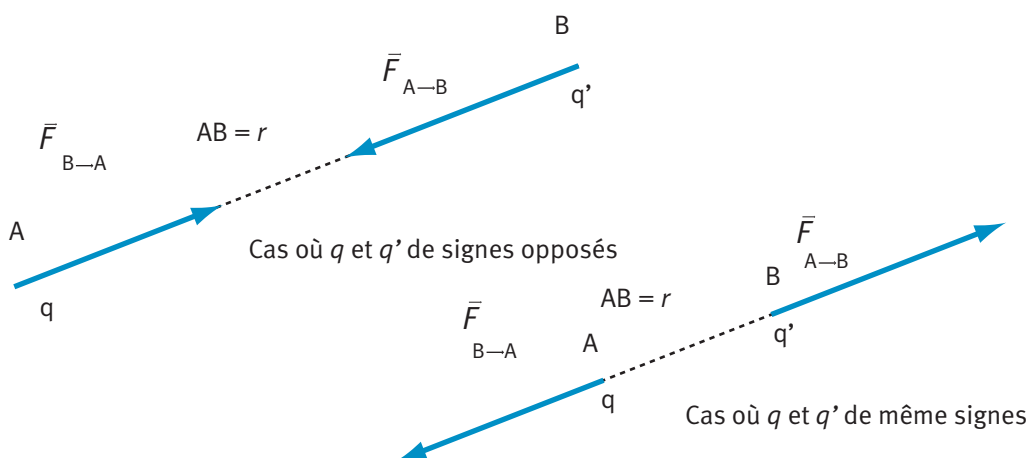
La force qui s'exerce entre des particules chargées a déjà été étudiée dans la séquence 3 et s'exprime par la loi de Coulomb dont voici la formulation vectorielle :

Dans le cas de deux charges ponctuelles q et q' placées en A et B, la force d'interaction électrostatique exercée par q sur q' a pour expression :

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = k \frac{qq'}{r^2} \vec{u}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}.$$

où k est une constante égale à 9.10^9 dans le système international des unités et r la distance entre les charges en mètre (m).

q et q' sont les charges électriques des particules en C (Coulomb).



► **Remarque** Deux particules chargées ou deux objets chargés dont les dimensions sont très petites par rapport aux distances qui les séparent peuvent être assimilés à des points chargés d'où le modèle de charges ponctuelles.

Le proton et l'électron dont les charges ont même valeur absolue $e = 1,6.10^{-19}$ C peuvent être considérés comme des charges ponctuelles.

2. Le champ électrostatique

a) Définition

Plaçons une charge q en un point de l'espace M où existe un champ électrostatique $\vec{E}$; cette charge est soumise à une force $\vec{F}$.

Par définition, le champ électrostatique s'exprime par : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.

Ce vecteur caractérise les propriétés électriques de l'espace au point M.

b) Champ créé par une charge ponctuelle

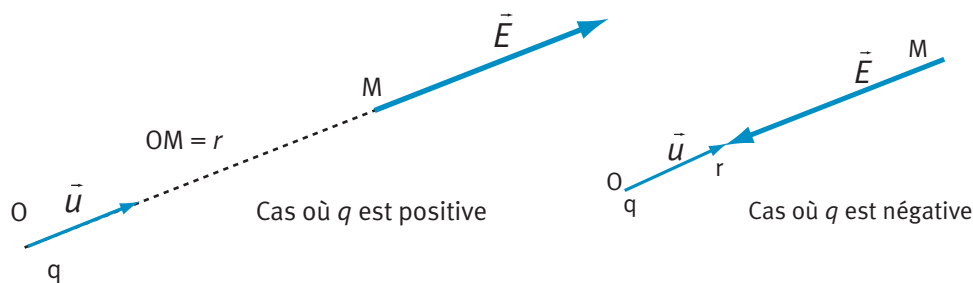
On considère une charge ponctuelle q' placée en un point O.

Si une charge ponctuelle q était placée en M à une distance r de M, elle subirait, d'après la loi de Coulomb, la force d'interaction électrostatique : $\vec{F} = k \frac{qq'}{r^2} \vec{u}$ où $\vec{u}$ est un vecteur unitaire.

Par définition, le champ électrostatique créé en M par une charge ponctuelle q' placée en O s'exprime par : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{q'}{r^2} \vec{u}$.

Si l'on retire la charge q il existera toujours en M, du fait que la charge q' est placée en O, un champ, appelé champ électrostatique $\vec{E}$.

Le sens de $\vec{E}$ correspond au sens du déplacement d'une charge positive initialement immobile qu'on placerait dans le champ $\vec{E}$.

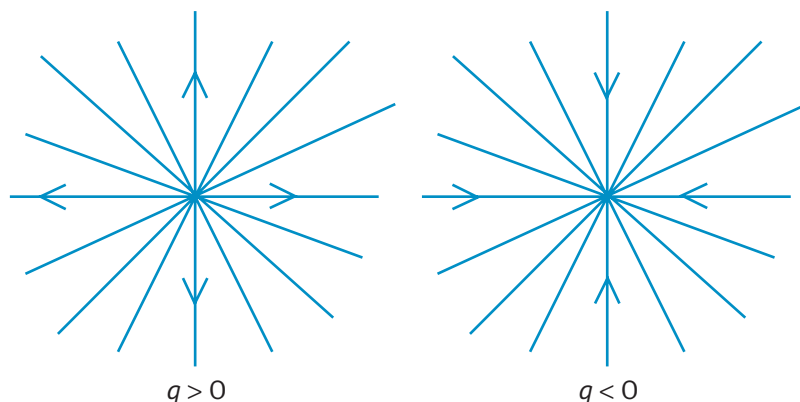


Caractéristiques du champ électrostatique $\vec{E}$:

Direction : celle de $\vec{u}$
 Sens : celui de $\vec{u}$ ou de $-\vec{u}$ (selon le signe de q)
 Valeur : $E = k \frac{|q|}{r^2}$

Le champ est tangent de manière continue à des courbes appelées lignes de champ ; celles-ci peuvent être visualisées en saupoudrant des grains de semoule à la surface d'un liquide par exemple.

Dans l'espace, il existe une infinité de lignes de champ et il ne passe qu'une seule ligne de champ en un point de l'espace (à l'exception des charges ponctuelles).



On oriente chaque ligne de champ dans le sens du vecteur $\vec{E}$. Les lignes de champ s'éloignent des sources chargées positivement et se dirigent vers les sources chargées négativement.

Le champ électrostatique étant une grandeur vectorielle, le champ résultant $\vec{E}$ de la superposition de deux champs $\vec{E}_1$ et $\vec{E}_2$ est la somme vectorielle des deux champs : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

3. Caractéristiques du champ électrostatique créé dans un condensateur plan

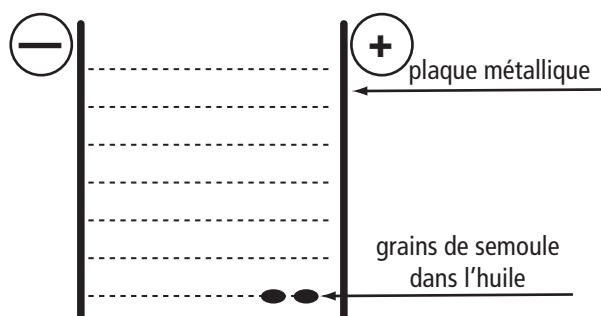
Un condensateur plan est un dipôle constitué par :

- ▶ deux plaques conductrices planes et parallèles appelées armatures,
- ▶ et une substance isolante, appelée diélectrique, qui sépare les armatures. La substance isolante peut être de l'air.

Relions le condensateur plan à un générateur de tension électrique maintenue constante ; la tension aux bornes du condensateur est donc également maintenue constante. L'armature reliée à la borne + du générateur se charge positivement en surface ; l'autre armature se charge négativement.

a) Réalisation d'un spectre électrique

Lorsqu'un grain de semoule initialement électriquement neutre est placé dans une région où règne un champ électrique $\vec{E}$, le grain de semoule est alors soumis à un couple de forces et se met en rotation dans l'huile ; le grain de semoule s'oriente suivant la direction du champ électrique à l'endroit considéré. On peut ainsi matérialiser les lignes de champ.



Spectre obtenu avec deux plaques parallèles chargées positivement et négativement

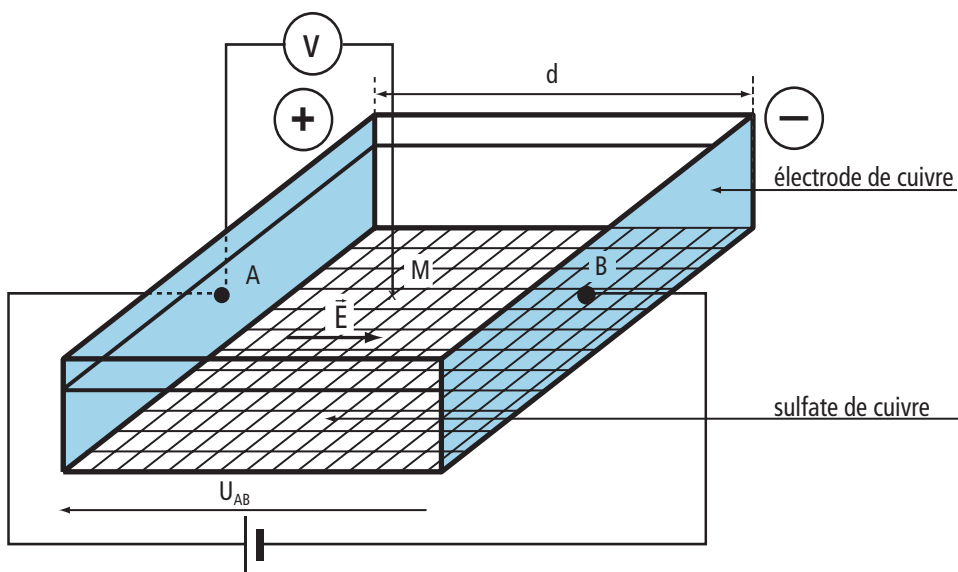
Entre les deux armatures, les lignes de champ sont parallèles et perpendiculaires aux plaques ; le vecteur champ électrique est donc perpendiculaire aux plaques ; il est dirigé de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement ; le champ créé entre deux plaques parallèles est uniforme. Son sens est celui du déplacement d'une particule de charge positive initialement immobile qu'on placerait dans le champ électrique entre les deux armatures.

À l'extérieur des deux plaques, le champ électrique est pratiquement nul.

b) Relation existant entre la valeur du champ électrostatique et la tension entre les plaques

On peut rechercher expérimentalement cette relation ; pour cela, on utilise une cuve au fond de laquelle a été placé un papier quadrillé ; deux électrodes de cuivre sont placées face à face (à une distance d l'une de l'autre) sur deux des bords de la cuve ; cette cuve est alors remplie de sulfate de cuivre. Les électrodes sont reliées à un générateur électrique.

En déplaçant une pointe de cuivre M dans la solution (voir schéma ci-dessous), on peut mesurer la tension U_{AM} en fonction de la distance ℓ entre A et M .



L'expérience montre que la tension U_{AM} est proportionnelle à la distance ℓ qui sépare les points A et M : $U_{AM} = k\ell$.

Or le champ en tout point de l'espace situé entre les électrodes est une constante ; nous admettrons que la constante de proportionnalité est égale à la valeur du champ $\vec{E}$; nous avons donc : $U_{AM} = E\ell$. Si le point M coïncide avec le point B, nous aurons : $U_{AB} = Ed$ où U_{AB} est la tension aux bornes des armatures et d la distance entre ces armatures.

Dans un condensateur plan, le sens du vecteur champ électrostatique va de l'armature positive vers l'armature négative.

Sa valeur est égale à la tension (en V) existant entre les plaques divisée par la distance (en m) : $E = \frac{U_{AB}}{d}$.

Cette relation nous permet de préciser l'unité de E ; la valeur du champ électrique s'exprime en volt par mètre ($V.m^{-1}$).

Remarque Pour que la valeur E du champ $\vec{E}$ soit positive, il faut que la tension U_{AB} soit positive, c'est-à-dire que le potentiel électrique V_A soit supérieur au potentiel électrique V_B ; le champ est orienté dans le sens des potentiels électriques décroissants c'est-à-dire vers les charges négatives. Son sens correspond bien à celui du déplacement d'une particule chargée positivement placée entre les deux armatures.

Caractéristiques du champ $\vec{E}$:

- Direction : perpendiculaire aux plaques
- Sens : des charges positives vers les charges négatives
- Valeur : $E = \frac{U_{AB}}{d}$

Activité 14 Recherchez le principe de l'électrophorèse et ses applications en biologie.

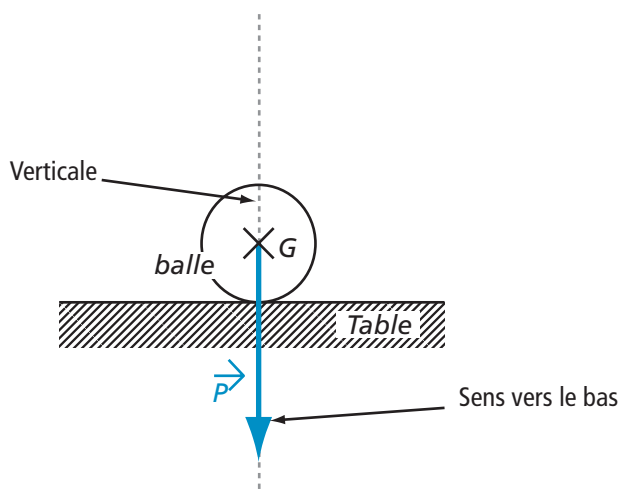


Le champ de pesanteur terrestre

1. Le poids d'un corps

Nous avons vu en seconde que la force appelée « poids d'un objet » modélise les actions exercées par la Terre sur cet objet.

Cette force est représentée par un vecteur $\vec{P} = m\vec{g}$ où m est la masse du corps et g l'intensité de la pesanteur.



Caractéristiques du poids $\vec{P}$:

- Direction : la verticale
- Sens : vers le bas
- Valeur : $P = mg$

$$P \text{ en N} \leftarrow \boxed{P = mg} \begin{cases} \nearrow m \text{ en kg} \\ \searrow g \text{ en N.kg}^{-1} \end{cases}$$

2. Caractéristiques du champ de pesanteur

Le champ de pesanteur local s'exprime par : $\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$.

Caractéristiques du champ de pesanteur $\vec{g}$:

- Direction : la verticale
- Sens : vers le bas
- Valeur (à Paris) : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

La valeur de g varie en fonction de l'endroit où se trouve l'objet ; g dépend :

- de l'altitude
- et de la latitude.

Localement, c'est-à-dire dans une région limitée de l'espace, le champ de pesanteur peut être considéré comme uniforme.



Le champ gravitationnel

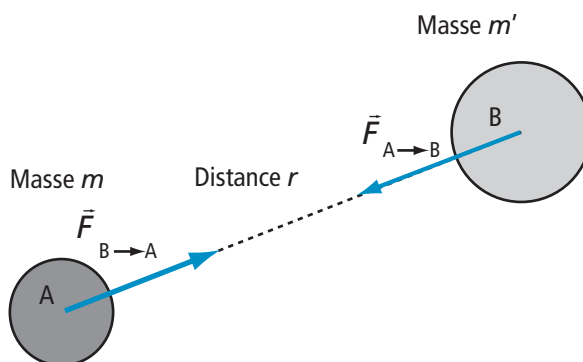
1. L'interaction gravitationnelle

En 1687, Newton publie la loi de la gravitation universelle qui s'applique aussi bien au mouvement de la Lune qu'à la chute d'une boule de pétanque.

Cette loi permet d'expliquer l'existence de la force exercée par la Terre sur la Lune.

Newton considère que deux corps, du simple fait de leur masse, s'attirent mutuellement et instantanément. Ces deux corps exercent des actions l'un sur l'autre : on dit qu'ils sont en interaction.

Considérons deux corps de masses m et m' ; le corps de masse m exerce sur le corps de masse m' une force $\vec{F}_{A \rightarrow B}$; de même, le corps de masse m' exerce sur le corps de masse m une force $\vec{F}_{B \rightarrow A}$.



Loi de la gravitation universelle de Newton

Dans le cas de deux corps à répartition sphérique de masse m et m' placés en A et B, la force d'interaction gravitationnelle exercée par m sur m' a pour expression vectorielle :

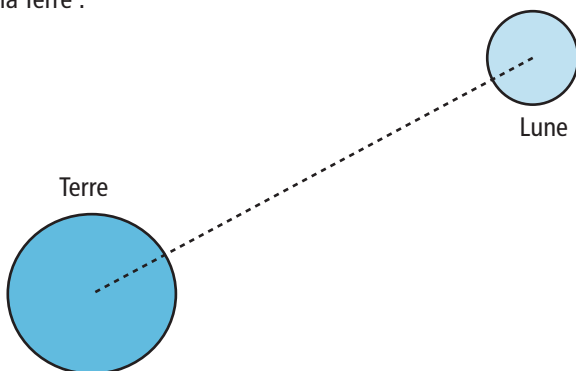
$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -G \frac{mm'}{r^2} \vec{u}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$$

où G est la constante de gravitation ($G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI) et r la distance entre les centres de ces corps.

$$F \text{ en N} \leftarrow \boxed{F = G \frac{mm'}{r^2}} \begin{cases} m \text{ et } m' \text{ en kg} \\ r \text{ en m} \end{cases}$$

F est la valeur de chacune des deux forces $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ et $\vec{F}_{B \rightarrow A}$.

Activité 15 Reproduire le schéma suivant et représenter force gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par la Terre sur la Lune ainsi que la force gravitationnelle $\vec{F}'$ exercée par la Lune sur la Terre :



Activité 16 La Terre et la Lune peuvent être considérées comme des corps à symétrie sphérique.

Données Masse de la Lune : $7,34 \cdot 10^{22}$ kg ; masse de la Terre : $5,98 \cdot 10^{24}$ kg ; distance entre les centres : $d = 384\,000$ km.

Exprimer et calculer la valeur de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la Lune.

2. Caractéristiques du champ gravitationnel

Considérons un satellite (de masse m) de la Terre (masse M_T) ; en tout point M de l'espace, le satellite est soumis à une force gravitationnelle attractive $\vec{F}$ exercée par la Terre dont le centre de gravité est placée en O :

$$\vec{F} = -G \frac{M_T m}{r^2} \vec{u}_{O \rightarrow M} = m \left(-G \frac{M_T}{r^2} \vec{u}_{O \rightarrow M} \right)$$

Le champ gravitationnel s'exprime par : $\vec{\mathcal{G}} = \frac{\vec{F}}{m}$

Ce vecteur $\vec{\mathcal{G}} = -G \frac{M_T}{r^2} \vec{u}_{O \rightarrow M}$ caractérise les propriétés de l'espace au point M.

Caractéristiques du champ gravitationnel $\vec{\mathcal{G}}$:

Direction : droite OM

Sens : sens correspondant au déplacement

d'une particule de masse m placée en M

soit de M vers le centre de gravité O de la Terre

Valeur : $\mathcal{G} = G \frac{M_T}{r^2}$

Analogie On remarque que le champ gravitationnel et le champ électrique sont en $\frac{1}{r^2} \vec{u}$.

3. Lien entre champ de gravitation et champ de pesanteur

En toute rigueur, le champ gravitationnel aussi appelé champ de gravitation $\vec{g}$ et le champ de pesanteur $\vec{g}$ ne sont pas confondus, mais ils diffèrent très peu l'un de l'autre ; leurs directions sont pratiquement les mêmes (à quelques minutes d'angle près).

Localement, le champ de gravitation est donc pratiquement le même que le champ de pesanteur.

Activité 17

Le centre d'une boule de pétanque de masse m ($m = 700 \text{ g}$) se trouve à $6\,380 \text{ km}$ du centre de la Terre de masse $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

- ❶ Exprimer et calculer la valeur de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la boule de pétanque.
- ❷ Exprimer et calculer la valeur de la force gravitationnelle exercée par la boule de pétanque sur la Terre.
Représenter cette force sur un schéma.
- ❸ Exprimer et calculer la valeur P du poids de cette boule de pétanque de masse 700 g .
- ❹ Comparer la valeur trouvée et la valeur F .
 $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$.



Résumé

■ Champ scalaire, champ vectoriel

En physique, un champ est la donnée, pour chaque point de l'espace, d'une grandeur physique (par exemples : la pression, le vecteur champ de pesanteur). Le champ est associé à des propriétés physiques qui se manifestent en un point de l'espace.

■ Caractéristiques d'un champ uniforme

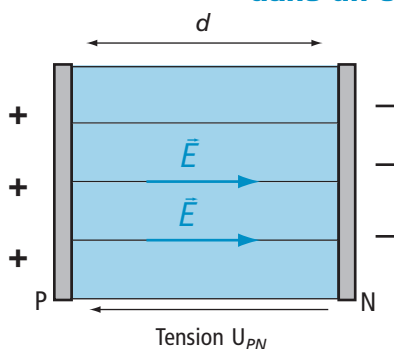
Un champ est dit uniforme dans une région de l'espace lorsque le vecteur champ est constant dans cette région de l'espace.

Lorsque le champ est uniforme, les lignes de champ sont parallèles.

■ Caractéristiques du champ magnétique terrestre

- Direction: droite inclinée de 60° par rapport à l'horizontale
- Sens: sens Sud-Nord d'une aiguille aimantée
- Valeur : 4.10^{-5} T

■ Caractéristiques du champ électrostatique dans un condensateur plan



Le champ électrostatique est uniforme dans le condensateur.

Caractéristiques

- Direction : perpendiculaire aux plaques
- Sens : des charges positives vers les charges négatives
- Valeur : $E = \frac{U_{PN}}{d}$

■ Caractéristiques du champ de pesanteur local

- Direction : la verticale
- Sens : vers le bas
- Valeur (à Paris) : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

Localement le champ de pesanteur local peut être identifié au champ de gravitation

$$\mathcal{G} = G \frac{M_T}{r^2}$$

Avec M_T la masse de la Terre, r la distance entre le point considéré et le centre de la Terre et $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI.

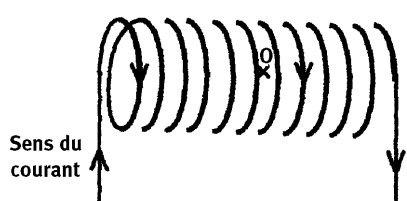
Exercices

Exercice 1 Vrai ou faux

- ❶ Les lignes de champ d'un champ magnétique uniforme sont parallèles.
- ❷ Le champ gravitationnel qui s'exerce sur un satellite tournant autour de la Terre est uniforme.

Exercice 2 Lignes de champ à l'intérieur d'un solénoïde

Un solénoïde de centre O est parcouru par un courant dont le sens est représenté sur le schéma ci-dessous.



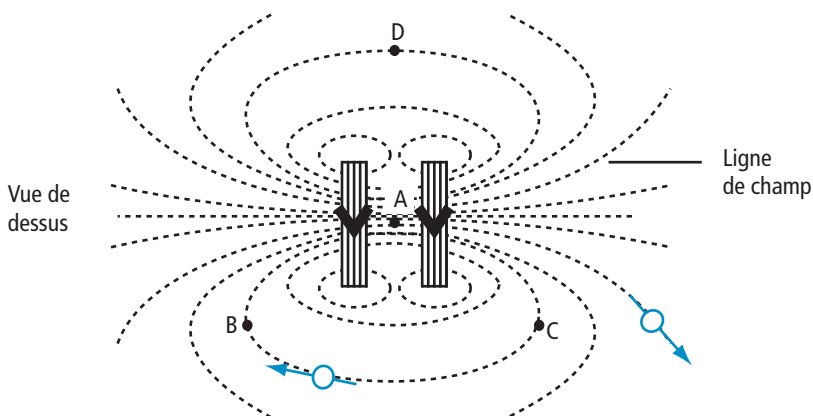
❶ Représenter les lignes de champ à l'intérieur du solénoïde.

❷ Donner la direction et le sens du vecteur champ magnétique au point O ; le représenter.

Pour trouver le sens du champ magnétique, on utilisera la méthode de la main droite donnée dans le cours.

Exercice 3 Bobines de Helmholtz

Le spectre magnétique de deux bobines de Helmholtz est représenté ci-dessous :



- ❶ À quel endroit le champ magnétique est susceptible d'être uniforme ?
- ❷ Des petites boussoles ont été placées sur la limaille de fer ; représenter les vecteurs champ magnétique aux points A, B, C et D.

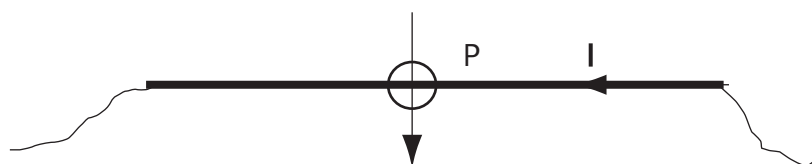
Exercice 4 Champ magnétique

Depuis quelques années, on s'intéresse aux effets des champs électromagnétiques sur notre santé. Les appareils électriques sont toujours plus nombreux autour de nous : habitation, travail, voiture.

À cela s'ajoute parfois la proximité d'une ligne à haute tension.

L'alimentation électrique de tous ces appareils est à l'origine de champs magnétiques qui pourraient avoir, pensent certains, des effets sur notre organisme dès lors que leur intensité n'est plus négligeable.

- 1 Le lien entre champ magnétique et courant électrique est connu depuis le XIX^e siècle. Le physicien Oersted avait placé un fil parcouru par un courant au dessus d'une aiguille aimantée. La déviation de l'aiguille prouvait l'existence d'un champ magnétique s'ajoutant à celui de notre planète.



Représenter par un vecteur le champ magnétique $\vec{B}$ détecté par l'aiguille au point P.

- 2 Depuis juillet 1999, l'Union Européenne préconise une limite de $100 \mu\text{T}$ pour le champ magnétique diffusé par les appareils électriques à destination du public.

Quelle est l'unité du Système International employée pour exprimer le champ magnétique ?

Quel est l'ordre de grandeur du champ magnétique terrestre ? Comparer le champ magnétique terrestre avec un champ magnétique d'appareil électrique de valeur $40 \mu\text{T}$.

Exercice 5 Valeur du champ au centre du solénoïde

Un solénoïde de longueur ℓ ($\ell = 40 \text{ cm}$) comporte 500 spires de rayon r ($r = 1 \text{ cm}$) ; le solénoïde est parcouru par un courant d'intensité 2 A .

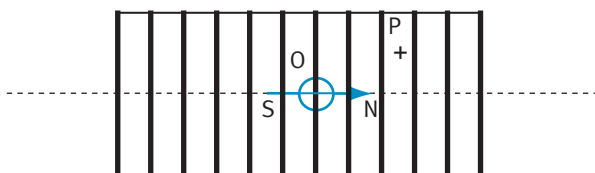
- 1 Comment peut-on mesurer le champ à l'intérieur du solénoïde ?
- 2 Exprimer et calculer la valeur du champ magnétique au centre du solénoïde.

Données

À l'intérieur d'un solénoïde « infini », la valeur du champ magnétique s'exprime par : $B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$; μ_0 est la perméabilité magnétique du vide et vaut $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$; N représente le nombre de spires, ℓ la longueur du solénoïde et n le nombre de spires par mètre.

Exercice 6 Aiguille aimantée au centre du solénoïde

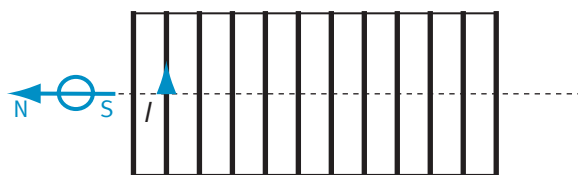
Un solénoïde est formé par un fil conducteur enroulé sur un tube de carton. On place à l'intérieur, au point O, une petite aiguille aimantée qui s'oriente comme sur le schéma ci-dessous, lorsqu'un courant d'intensité I traverse le solénoïde.



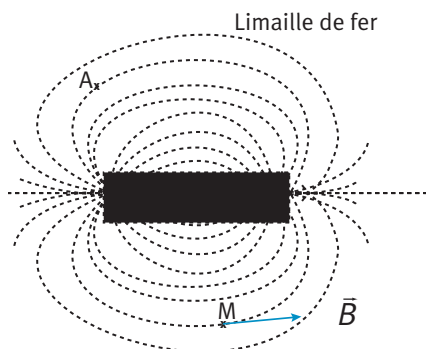
- 1 Dessiner, sur votre copie, le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ existant au point P. Expliquer la façon de déterminer sa direction et son sens.
- 2 Dessiner quelques lignes de champ à l'intérieur du solénoïde.

Exercice 7 Aiguille aimantée à l'extérieur du solénoïde

On approche l'aiguille aimantée d'une boussole devant une des faces d'un solénoïde parcouru par un courant d'intensité I .



- 1 Dessiner le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ au centre de l'aiguille aimantée.
- 2 On inverse le sens du courant, que devient l'orientation de l'aiguille aimantée ?
- 3 Lorsqu'on fait circuler dans le solénoïde un courant d'intensité $I = 5 \text{ A}$, le champ magnétique mesuré vaut $B = 3 \cdot 10^{-3} \text{ S.I.}$ Peut-on dire qu'il s'agit d'un champ magnétique très intense ? Justifier.

Exercice 8 Champs magnétiques

1 – Le schéma ci-contre représente quelques lignes de champ magnétique orientées issues d'un aimant droit.

Le champ magnétique $\vec{B}$ est représenté au point M. On place en ce point une petite aiguille aimantée.

- 1 Dessiner l'aiguille aimantée au point M en précisant clairement ses pôles Nord et Sud.

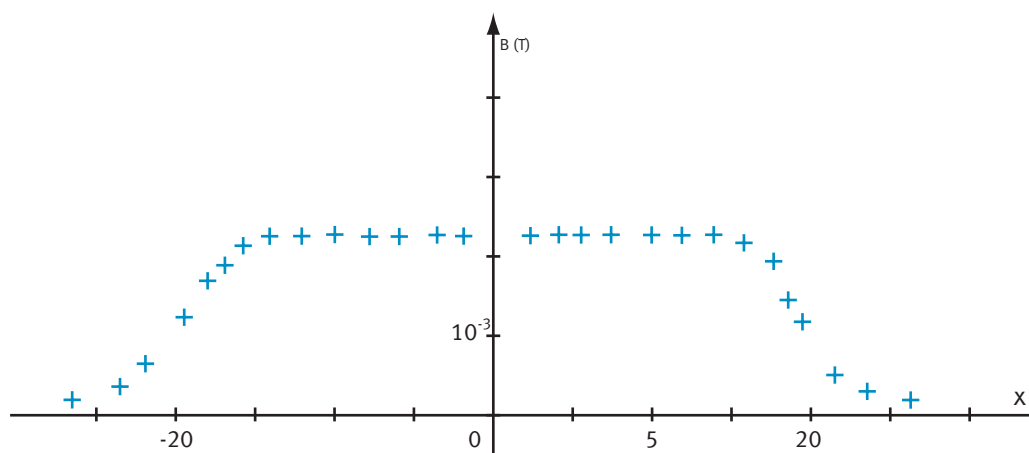
- 2 Au point A existe un champ magnétique $\vec{B}'$ dont la valeur est $5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$.
 Quel est le nom de l'unité correspondant à la lettre T ?
 En utilisant l'échelle de représentation suivante : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$, représenter sur le schéma le vecteur champ magnétique $\vec{B}'$ au point A.
- II – On place une sonde permettant de mesurer la valeur B du champ magnétique à l'intérieur d'un long solénoïde parcouru par un courant d'intensité I.
- 1 Le solénoïde de longueur $L = 50 \text{ cm}$ comporte $N = 1000$ spires. La sonde indique une valeur B de champ magnétique égale à $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ T}$. En utilisant la relation donnée, déterminer l'intensité I du courant traversant le solénoïde.
- 2 Le champ magnétique intérieur du solénoïde a-t-il une valeur inférieure ou supérieure à la valeur du champ magnétique terrestre ? (on recherchera l'ordre de grandeur de la valeur du champ magnétique terrestre B_T).

Donnée À l'intérieur d'un solénoïde « infini », la valeur du champ magnétique s'exprime par : $B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$; μ_0 est la perméabilité magnétique du vide et vaut $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$; N représente le nombre de spires, ℓ la longueur du solénoïde et n le nombre de spires par mètre.

- Exercice 9** On dispose du matériel suivant :
- un solénoïde (S) dont les caractéristiques sont : nombre de spires : 200 ; longueur : $\ell = 40 \text{ cm}$; intensité maximale : 5 A.
 - un générateur de tension continue, un rhéostat, un multimètre, un interrupteur, des fils de connexion,
 - une sonde à effet Hall reliée à un teslamètre (le zéro du teslamètre est réglé en l'absence de tout courant traversant le solénoïde).
- On négligera le champ magnétique terrestre.

Expérience I

On règle l'intensité du courant à 4,0 A.
 On mesure la valeur du champ magnétique en différents points de l'axe du solénoïde.
 Les résultats sont représentés sur le graphe page suivante, pour lequel l'abscisse x est comptée à partir du centre O du solénoïde.

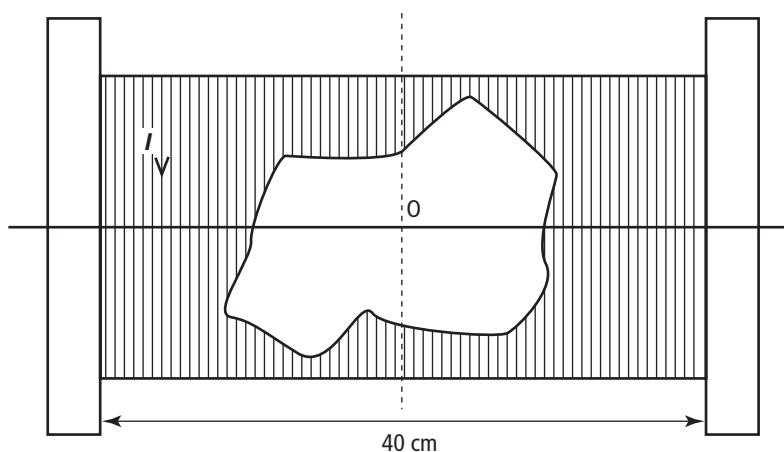


- ❶ La manipulation qui a été conduite (mesure de B en divers points de l'axe du solénoïde) est-elle suffisante pour pouvoir affirmer qu'à l'intérieur du solénoïde, le champ magnétique est uniforme entre les plans d'abscisses respectives -14 cm et $+14$ cm ?

Dans l'hypothèse d'une réponse négative, quelles mesures supplémentaires faudrait-il effectuer pour prouver l'existence d'un champ uniforme dans la zone considérée ?

- ❷ Représenter, sur la figure ci-après, le vecteur champ magnétique au point O (échelle : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$).

(Le sens du courant est noté sur le schéma en vue de dessus. Pour trouver le sens du champ magnétique, on utilisera la méthode de la main droite donnée dans le cours).



- ❸ Représenter quelques lignes de champ à l'intérieur du solénoïde. On suppose le champ uniforme.

Expérience II

On veut étudier le champ magnétique en fonction de l'intensité du courant.

Pour chaque valeur de l'intensité I , on note la valeur B_0 du champ magnétique au centre du solénoïde. On obtient les résultats suivants :

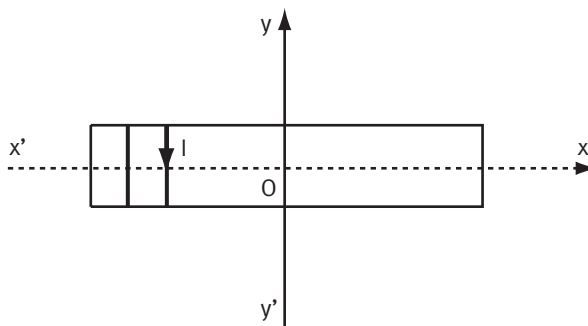
I (A)	0,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
B_0 (mT)	0,00	0,62	0,95	1,28	1,54	1,90	2,18	2,51	2,79	3,09

Représenter le graphe de la fonction $B_0 = f(I)$ (Echelle : 1 cm $\leftrightarrow$ 0,5 A ; 1 cm $\leftrightarrow$ $0,25 \cdot 10^{-3}$ T).

Quelle relation vérifie-t-on ?

Exercice 10 Superposition de deux champs magnétiques

On considère un solénoïde, de longueur ℓ , comportant N spires, dont l'axe horizontal est confondu avec l'axe $x'Ox$ (voir schéma ci-dessous).



Au centre O de ce solénoïde, on place une aiguille aimantée, mobile autour d'un axe vertical.

Lorsque le solénoïde n'est parcouru par aucun courant, l'axe Sud-Nord de cette aiguille est orienté suivant l'axe $y'Oy$; la composante horizontale du champ magnétique terrestre a pour valeur B_h .

Le solénoïde est maintenant parcouru par un courant d'intensité I ; le sens du courant est noté sur le schéma.

L'aiguille aimantée effectue alors une rotation d'un angle α .

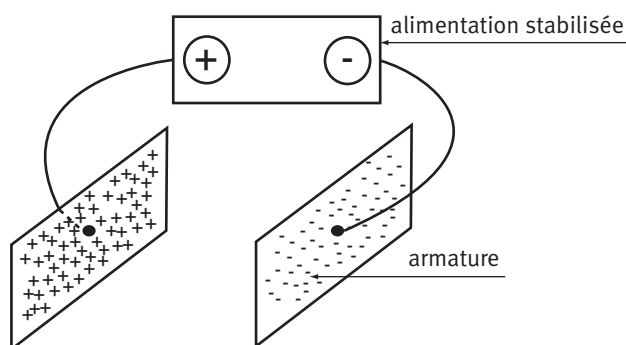
Données À l'intérieur d'un solénoïde « infini », la valeur du champ magnétique s'exprime par : $B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$; μ_0 est la perméabilité magnétique du vide et vaut $4\pi \cdot 10^{-7}$ SI ; N représente le nombre de spires, ℓ la longueur du solénoïde et n le nombre de spires par mètre.

$$\ell = 40 \text{ cm} ; N = 1700 ; \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI} ; B_h = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ T} ; I = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

- ① Déterminer les caractéristiques du champ magnétique total existant en O.
- ② Calculer l'angle α dont va tourner l'aiguille placée en O.

Exercice 11 Vrai ou faux

- ❶ Le champ électrostatique créé entre deux plaques parallèles chargées positivement et négativement est uniforme.
- ❷ L'unité de la valeur du champ électrique est le $V.m^{-1}$.
- ❸ Dans un condensateur plan, le sens du vecteur champ électrostatique va de l'armature négative vers l'armature positive.
- ❹ La force électrique et le champ électrique ont même direction quel que soit le signe de la charge.

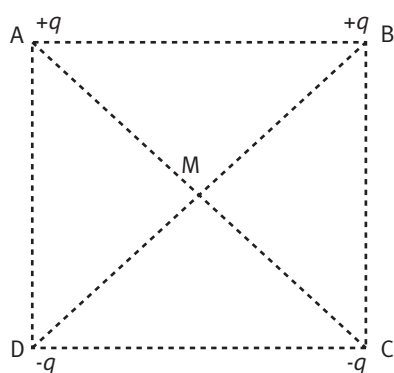
Exercice 12 Champ créé par un condensateur plan

Les armatures d'un condensateur plan sont distantes de 10 cm ; le diélectrique est de l'air.

Un générateur de tension maintient entre les plaques une tension de 5 000 V.

- ❶ Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique entre les armatures.
- ❷ Un proton de charge e est placé entre les armatures ; déterminer les caractéristiques de la force exercée par le champ électrique sur e .

Données $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$.

Exercice 13 Champ créé par 4 charges

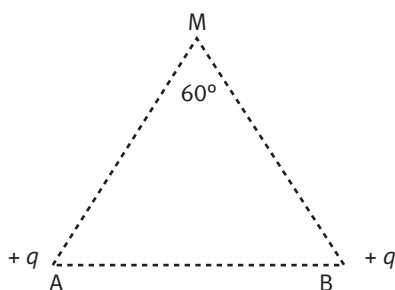
- ❶ En un point O de l'espace, on place une charge ponctuelle q .

Donner l'expression du champ électrostatique $\vec{E}(M)$ créé par cette charge en un point M tel que $\overrightarrow{OM} = r\vec{u}$.

- ❷ Quatre charges ponctuelles sont placées au sommet d'un carré de côté a .

a. Exprimer le champ $\vec{E}_A$ créé en un point M de l'espace situé à l'intersection des diagonales du carré par la charge $(+q)$ placée en A en fonction de a , q , k et du vecteur unitaire $\vec{u}_{AM}$ de direction la droite (AM).

b. Déterminer le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ créé en M.

Exercice 14 Champ créé par 2 charges

- 1 En un point O de l'espace, on place une charge ponctuelle q .

Donner l'expression du champ électrostatique $\vec{E}(M)$ créé par cette charge en un point M tel que $OM = r\vec{u}$.

- 2 En un point M de l'espace, on place une masse ponctuelle m .

Donner l'expression du champ gravitationnel $\vec{g}(M)$ créé par cette masse en un point M tel que $OM = r\vec{u}$.

- 3 Mettre en évidence les analogies mathématiques entre les grandeurs caractéristiques de ces champs. Cette analogie entre interaction gravitationnelle et interaction électrostatique est-elle cependant totale ?
- 4 Deux charges ponctuelles ($+q$) sont placées en deux points A et B distant de a . Représenter le champ électrostatique créé en M tel que : $AM = BM = a$; on exprimera sa valeur en fonction de q , a et ϵ_0 .

Exercice 15 Champ créé par un condensateur

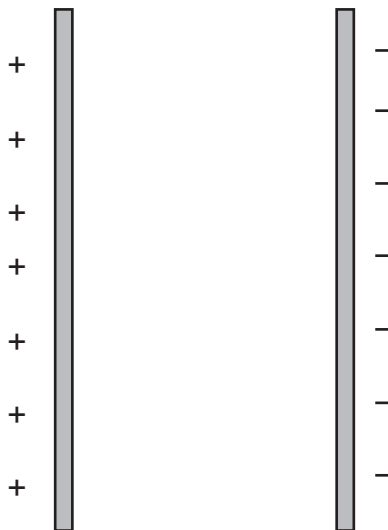
On branche un générateur haute tension aux bornes des deux plaques parallèles (armatures du condensateur) distantes de d ($d = 10$ cm).

Les charges négatives s'accumulent sur la plaque N et les charges positives sur la plaque P.

La tension existant entre ces plaques $U_{PN} = V_P - V_N$ est égale à 700 V.

Données Charge d'un électron : $1,6 \cdot 10^{-19}$ C ;
 $g = 9,8$ N.kg $^{-1}$; masse d'un électron :
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

- 1 Représenter les lignes de champ dans le condensateur.
- 2 Donner les caractéristiques du champ électrostatique existant entre ces plaques.
- 3 Exprimer et calculer la valeur F de la force électrostatique exercée sur un électron placé dans le champ $\vec{E}$.
- 4 Exprimer et calculer la valeur P de la force exercée sur un électron placé dans le champ de pesanteur $\vec{g}$. Comparer les deux valeurs F et P .



Exercice 16 Champ gravitationnel créé par la Lune

Exprimer et calculer la valeur du champ gravitationnel $\mathcal{G}_L$ exercé par la Lune sur un corps de masse m placé sur la Lune.

Comparer avec l'intensité de la pesanteur terrestre g . Conclure.

Données Masse de la Lune : $M_L = 7,34 \cdot 10^{22}$ kg ; rayon de la Lune : $R_L = 1738$ km ; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI ; $g = 9,81$ N.kg⁻¹.

Exercice 17 Interaction entre le Soleil et la planète Mars

La planète Mars et le Soleil peuvent être considérés comme des corps à symétrie sphérique.

Données Masse de la planète Mars : $6,42 \cdot 10^{23}$ kg ; masse du Soleil : $1,99 \cdot 10^{30}$ kg ; distance moyenne Mars-Soleil : $2,28 \cdot 10^8$ km ; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI.

Quelles sont les caractéristiques du champ gravitationnel exercé par le Soleil sur la planète Mars.

Exercice 18 Interaction entre la Terre et la Lune

La Terre et la Lune sont supposées sphériques et homogènes de centres d'inertie respectifs O_T et O_L ; les centres d'inertie sont situés à une distance d l'un de l'autre ($d = 384\,000$ km).

On désigne par : R_T le rayon de la Terre ($R_T = 6380$ km), M_T la masse de la Terre ($M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$ kg),

R_L le rayon de la Lune ($R_L = 1738$ km), M_L la masse de la Lune ($M_L = 7,38 \cdot 10^{22}$ kg), G la constante de gravitation universelle ($G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ SI), g_{T0} la valeur du champ gravitationnel terrestre à l'altitude zéro ($g_{T0} = 9,8$ N.kg⁻¹).

- 1 a. Exprimer la valeur du champ de pesanteur terrestre à l'altitude zéro g_{T0} par rapport à la Terre ; montrer que cette valeur est égale à la valeur donnée.
b. Exprimer la valeur du champ de pesanteur lunaire à l'altitude zéro g_{L0} par rapport à la Lune.
- 2 Exprimer et calculer l'intensité $F_{T \rightarrow L}$ de la force de gravitation exercée par la Terre sur la Lune ; en déduire l'intensité $F_{L \rightarrow T}$ de la force de gravitation exercée par la Lune sur la Terre (on justifiera la réponse).

Exercice 19 Télescope Hubble

On désigne par : R le rayon de la Terre supposée sphérique et homogène ($R = 6300$ km), M masse de la Terre, G la constante de gravitation universelle, g_0 l'intensité du champ gravitationnel à l'altitude zéro ($g_0 = 9,81$ N.kg⁻¹), z l'altitude d'un point.

Le télescope spatial Hubble a été mis sur orbite circulaire autour du centre T de la Terre.

Il évolue à une altitude z_H ($z_H = 600$ km).

Ce télescope, objet pratiquement ponctuel par rapport à la Terre, est noté H et a une masse m ($m = 12 \cdot 10^{-3}$ kg). Les images qu'il fournira seront converties en signaux électriques et acheminées vers la Terre via des satellites en orbite circulaire à une altitude égale à z_G ($z_G = 35\,800$ km).

Exprimer la valeur de l'intensité de la pesanteur que le télescope situé à l'altitude z subit en fonction de g_0 , R et z .

Calculer la valeur de ce champ pour $z = z_H = 600$ km et pour $z = z_G = 35\,800$ km.

Chapitre 2

Chimie

Piles et accumulateurs

Objectifs

- Distinguer les différentes sortes de piles : piles salines, piles alcalines et piles à combustible
- Connaître le principe de fonctionnement des accumulateurs
- Savoir reconnaître l'oxydant et le réducteur dans un couple oxydant/réducteur
- Savoir écrire les demi-équations redox
- Savoir écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction
- Déterminer la polarité des électrodes et les réactions aux électrodes
- Savoir relier la polarité d'une pile aux réactions mises en jeu aux électrodes
- Savoir modéliser le fonctionnement d'une pile

A

Présentation des piles

Une pile est un générateur électrique qui transforme l'énergie produite lors d'une réaction chimique en énergie électrique : elle produit donc de l'énergie électrique à partir de l'énergie libérée par une réaction chimique.

Une pile comprend des **électrodes** qui sont les pôles positif et négatif de la pile au niveau desquelles a lieu la réaction chimique et un **électrolyte**, une substance conductrice liquide ou solide contenant des ions mobiles.



La réaction chimique responsable du fonctionnement d'une pile est une **réaction d'oxydo-réduction**. C'est une réaction au cours de laquelle il y a un transfert d'électrons entre les réactifs.

Le but de cette partie est d'étudier différentes sortes de piles : les piles salines, les piles alcalines et les piles à combustible.

1. Les piles salines

Le principe des piles salines a été mis au point en 1867 par l'ingénieur français Georges Leclanché.

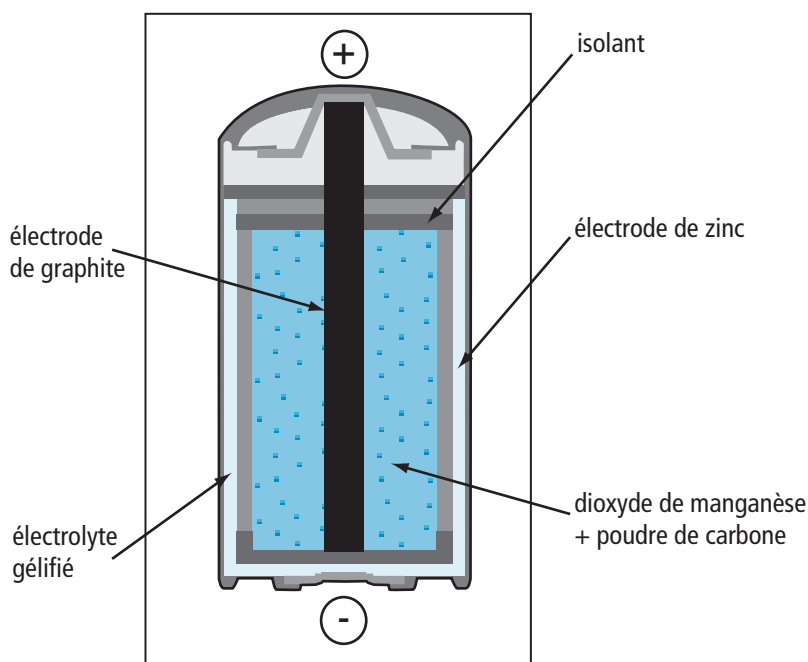
Les piles salines, également connues sous le nom de piles Leclanché ou piles sèches, sont peu coûteuses et se présentent sous forme bâton. Ces piles sont utilisées pour fonctionner par intermittence. On les trouve dans des appareils à faible besoin comme les réveils, les jouets, les lampes de poches ou les télécommandes.

La force électromotrice E de la pile est aussi appelée « tension à vide », sa valeur est indiquée sur la pile et vaut 1,5 V. La grandeur E peut être mesurée à l'aide d'un voltmètre lorsque la pile ne débite pas de courant dans un circuit électrique.

Une pile saline est constituée d'une électrode cylindrique en zinc reliée au **pôle négatif de la pile**. Ce cylindre est en contact avec l'**électrolyte**, un gel contenant du chlorure de zinc de formule $(\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq}))$ et du chlorure d'ammonium $(\text{NH}_4^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq}))$. [Les notations placées entre parenthèses à la fin des formules précisent l'état des espèces chimiques (aq : en solution aqueuse ; s : solide...)].

L'**électrolyte** a pour rôle de permettre le passage du courant électrique à l'intérieur de la pile par la circulation des ions positifs et négatifs.

Le **pôle positif** de la pile est en contact avec une électrode de graphite située au centre de la pile qui baigne dans un mélange de dioxyde de manganèse MnO_2 et de carbone en poudre. Ce mélange est imbibé du gel de chlorure de zinc et de chlorure d'ammonium.

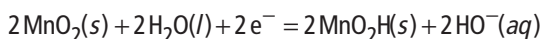


Lorsque la pile fonctionne, l'électrode de zinc est rongée et des ions hydroxyde HO^{-} se forment sur l'électrode de graphite.

Pour décrire le fonctionnement de la pile, on utilise deux demi-équations redox se produisant chacune à l'une des électrodes de la pile :

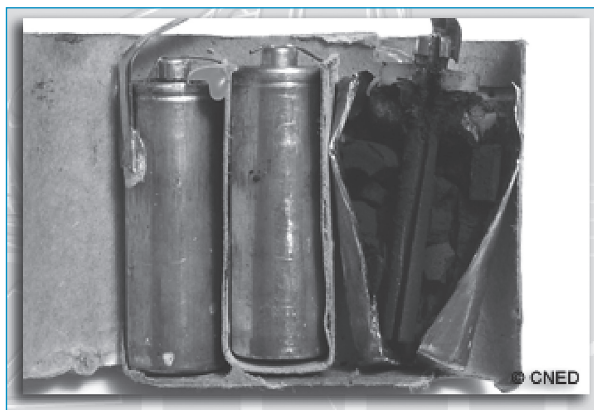
À l'électrode de zinc (pôle négatif) : $\text{Zn}(\text{s}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^{-}$

À l'électrode de graphite (pôle positif) :



Ces demi-équations redox permettent de mettre en évidence, lors du fonctionnement de la pile : le déplacement des électrons, la consommation de réactif et la formation de produit.

Les piles 4,5 V du commerce sont une association en série de trois piles bâton de 1,5 V comme le montre la photo suivante.



2. Les piles alcalines

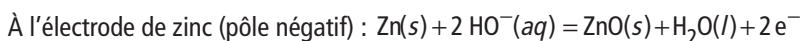
La première pile alcaline a été conçue en 1959 par les chimistes Lewis Urry, Karl Kordesch et P.A Marsal.

Ces piles ont une durée de vie plus longue que les piles salines, elles peuvent également fournir un courant plus intense. Elles sont utilisées pour fonctionner en continu dans des portables ou des baladeurs. Elles se présentent sous deux formats différents : la pile bâton et la pile bouton. Leur force électromotrice E varie de 1,3 V à 1,6 V selon leur composition.

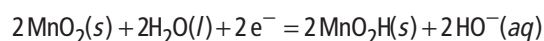
Dans une pile alcaline, le **pôle négatif** est constitué de poudre de zinc Zn et le **pôle positif** du dioxyde de manganèse MnO_2 .

L'**électrolyte** de la pile alcaline est une **solution d'hydroxyde de potassium** (ou potasse) de formule $(\text{K}^+ + \text{HO}^-)$. Cette solution basique, due à la présence des ions HO^- , contient des ions K^+ dont le métal correspondant, le potassium K appartient à la famille des alcalins. Le nom de cette pile provient donc de la présence des ions K^+ dans l'électrolyte.

Les demi-équations redox traduisant le fonctionnement de la pile alcaline sont :



À l'électrode de dioxyde de manganèse (pôle positif) :

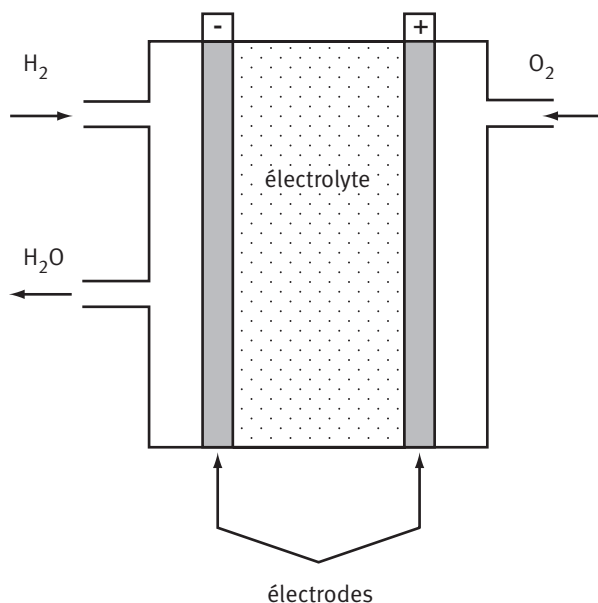


3. Les piles à combustible

Le principe des piles à combustible a été découvert en 1839 par le chimiste britannique William Grove. Mais leur utilisation réelle pour la NASA date seulement des années 1960. En effet, ces piles alimentaient les ordinateurs de bord des vaisseaux Gemini et Appolo et fournissaient également l'eau de consommation.

Une pile à combustible est constituée d'un empilement d'un grand nombre de cellules identiques.

Le schéma de principe d'une cellule de pile à combustible est le suivant :



Son principe de fonctionnement est simple : chaque cellule qui est composée de deux électrodes séparées par un électrolyte acide, est alimentée continuellement en dihydrogène et en dioxygène de l'air.

La réaction chimique ayant lieu entre le dihydrogène et le dioxygène produit simultanément de l'eau, de la chaleur et de l'électricité qui peut alimenter un moteur.

L'un des avantages des piles à combustible est de fonctionner avec des réactifs, le dioxygène de l'air et du dihydrogène, qui sont disponibles en grande quantité. Ce sont également des piles non polluantes car elles ne libèrent que de l'eau lors de leur fonctionnement.

B

Les accumulateurs

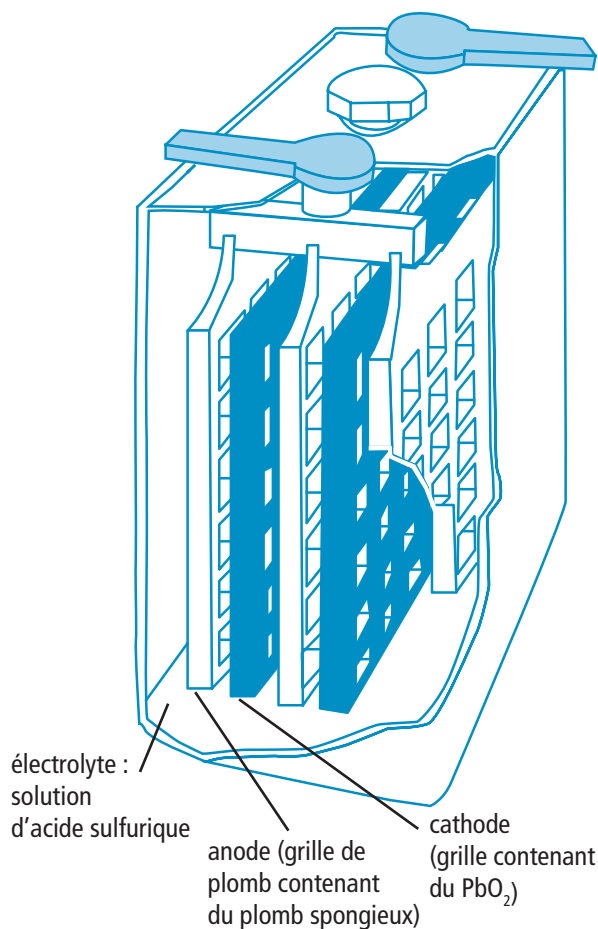
1. Présentation

Un accumulateur peut fonctionner soit en générateur soit en récepteur.

Lorsque l'accumulateur fonctionne en **générateur**, il fournit de l'énergie électrique au système auquel il est relié et fait passer dans le circuit un courant électrique de sens imposé par les réactions chimiques ayant lieu dans l'accumulateur : **il se décharge**.

Lorsque l'accumulateur fonctionne en **récepteur**, il est relié aux bornes d'un générateur de tension qui impose un sens du courant inverse au sens précédent (lorsque l'accumulateur fonctionne en générateur) : **il se charge**.

2. Les accumulateurs au plomb



Les batteries des voitures, celles des hôpitaux ou bien celles des systèmes de sécurité pour palier aux pannes de courant, sont toutes constituées d'une association de plusieurs **accumulateurs au plomb**.

Dans une batterie d'accumulateurs, des grilles de plomb Pb et des grilles d'oxyde de plomb PbO_2 sont associées en série et immergées dans l'électrolyte, une solution d'acide sulfurique.

Pendant la **décharge**, la batterie produit du courant électrique et du sulfate de plomb $\text{PbSO}_4(s)$ sur les deux types de grilles.

Lors de la **charge**, on lui applique un courant électrique de sens inverse à celui de la décharge : cela consomme le sulfate de plomb formé lors de la décharge et régénère les réactifs de départ : le plomb et l'oxyde de plomb. La batterie d'accumulateurs peut alors fonctionner à nouveau en décharge.

3. Les accumulateurs alcalins

Ils sont couramment appelés « piles rechargeables ». Ils ont une durée de vie très supérieure aux piles salines ou alcalines car ils peuvent être rechargés un grand nombre de fois.

Les accumulateurs nickel-cadmium (Ni-Cd) sont les moins chers mais les plus polluants.

Il en existe également de moins polluants mais plus chers :

- ▶ les accumulateurs nickel-hydrure métallique (Ni-MH) utilisés dans les téléphones sans fil,
- ▶ les accumulateurs lithium-ion (Li-Ion) qui équipent les ordinateurs, les téléphones portables ou les appareils photo.



Couples oxydant/réducteur, réactions d'oxydo-réduction

1. Couples oxydant/réducteur

Un couple oxydant/réducteur est constitué de deux espèces chimiques conjuguées : un oxydant noté **ox** et un réducteur noté **red**.

Dans l'écriture du couple oxydant/réducteur, l'oxydant est toujours situé à gauche de la barre / et le réducteur est situé à sa droite.

Un oxydant est une espèce chimique capable de **gagner** un ou plusieurs électrons.

Un réducteur est une espèce chimique capable de **perdre** un ou plusieurs électrons.

L'oxydant et le réducteur conjugué d'un couple oxydant/réducteur échangent un ou plusieurs électrons, ils sont liés par une **demi-équation redox** :



Cette demi-équation redox consomme des électrons : c'est une **réduction**.



Cette demi-équation redox libère des électrons : c'est une **oxydation**.

Activité 1 Le métal cuivre de formule $\text{Cu}(s)$ et l'ion cuivre II de formule $\text{Cu}^{2+}(aq)$ forment un couple oxydant/réducteur.

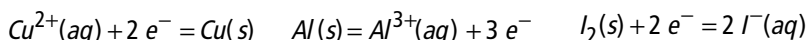
Quel est l'oxydant et quel est le réducteur ? Écrire le couple correspondant et une demi-équation redox.

Activité 2 Associer à chacun des trois oxydants suivants : $\text{H}^+(\text{aq})$, $\text{I}_2(\text{aq})$ et $\text{Ag}^+(\text{aq})$, son réducteur conjugué en vous aidant de la liste ci-dessous :

$\text{H}_2(\text{g})$, $\text{H}^-(\text{aq})$, $\text{I}^-(\text{aq})$, $\text{Ag}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Ag}(\text{s})$

Activité 3 Écrire une demi-équation redox pour chacun des deux couples ox/red suivants : $\text{Ag}^+(\text{aq}) / \text{Ag}(\text{s})$ et $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) / \text{Ni}(\text{s})$.

Activité 4 Les demi-équations redox ci-dessous sont-elles des réductions ou des oxydations ?



2. Réactions d'oxydo-réduction

Une réaction d'oxydo-réduction met en jeu deux couples oxydant /réducteur.

Lors de cette réaction, il y a **transfert d'électrons** du réducteur de l'un des couples à l'oxydant de l'autre couple.

Pour écrire une équation d'oxydo-réduction, cela nécessite de la méthode et du formalisme car ce n'est pas aussi simple qu'avec les réactions acido-basiques.

Prenons un exemple :

Quand on plonge une lame de zinc $\text{Zn}(\text{s})$ dans une solution de sulfate de cuivre ($\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$), la couleur bleue caractéristique des ions cuivre Cu^{2+} disparaît, un dépôt rouge de cuivre métallique Cu apparaît et des ions zinc Zn^{2+} se forment.

Dans cette réaction, le métal zinc Zn et les ions cuivre Cu^{2+} sont les **réactifs**, le métal cuivre Cu et les ions zinc Zn^{2+} sont les **produits** formés.

Ils appartiennent aux couples : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) / \text{Cu}(\text{s})$ et $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) / \text{Zn}(\text{s})$

► Les ions cuivre Cu^{2+} réagissent selon la demi-équation redox : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- = \text{Cu}(\text{s})$.

Les ions Cu^{2+} gagnent deux électrons : ils jouent le rôle d'oxydant et subissent donc une réduction.

► Le métal zinc Zn se transforme en ions Zn^{2+} selon la demi-équation redox : $\text{Zn}(\text{s}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$.

► Le métal zinc Zn perd deux électrons : il joue le rôle de réducteur et subit une oxydation.

► L'équation de cette réaction d'oxydo-réduction est la superposition des deux demi-équations redox précédentes : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$.

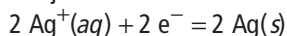
Remarque L'équation d'une réaction d'oxydo-réduction ne comporte jamais d'électrons. Il est donc parfois nécessaire, avant d'ajouter les deux demi-équations redox, de

multiplier l'une d'elles ou les deux par un nombre entier, le plus petit possible, afin que les deux demi-équations redox comportent le même nombre d'électrons.

En effet, lorsque les ions argent Ag^+ réagissent avec le métal cuivre Cu , les deux demi-équations redox sont les suivantes :



Pour écrire l'équation de cette réaction, on multiplie par 2 la première avant de les ajouter :



L'équation d'oxydo-réduction est donc : $2 \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Ag}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$.

Voici la méthode permettant d'écrire une équation d'oxydo-réduction :

- Repérer les réactifs et les produits de la réaction d'oxydo-réduction étudiée.
- Écrire les deux couples associés aux réactifs.
- Écrire les demi-équations redox des deux couples en positionnant chaque réactif à gauche : l'une des demi-équations redox est une réduction, l'autre est une oxydation.
- Multiplier, si nécessaire, chaque demi-équation par un nombre entier le plus petit possible, afin que les deux demi-équations aient le même nombre d'électrons.
- Ajouter les deux demi-équations redox et placer une flèche entre les réactifs et les produits. Les électrons n'apparaissent pas dans ce bilan : ils sont en nombre identique dans les réactifs et les produits.

Activité 5 Les affirmations ci-dessous sont-elles vraies ou fausses ?

- Une réaction d'oxydo-réduction est une réaction impliquant un transfert d'électrons entre les réactifs.
- Un oxydant est une espèce chimique capable de gagner un ou plusieurs protons.
- Deux entités chimiques qui se transforment l'une en l'autre lors d'un transfert d'électrons forment un couple ox/red.
- Une réaction d'oxydo-réduction engage toujours deux couples oxydant/réducteur.

Activité 6 En utilisant la méthode précédente, écrire les demi-équations associées à la réaction entre les ions $\text{Ag}^+(\text{aq})$ et le métal aluminium $\text{Al}(\text{s})$.

Données Couples oxydant/réducteur : $\text{Ag}^+(\text{aq}) / \text{Ag}(\text{s})$, $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) / \text{Al}(\text{s})$

Activité 7 Écrire l'équation d'oxydo-réduction de la réaction entre les ions $\text{Ag}^+(aq)$ et le métal aluminium $\text{Al}(s)$.

Données Couples oxydant/réducteur : $\text{Ag}^+(aq) / \text{Ag}(s)$, $\text{Al}^{3+}(aq) / \text{Al}(s)$



Polarité et réactions aux électrodes

1. Généralités sur les piles

Une pile transforme l'énergie chimique fournie par une réaction oxydo-réduction en énergie électrique.

Elle est constituée de **deux demi-piles** et d'une **jonction électrochimique** permettant de relier les deux demi-piles.

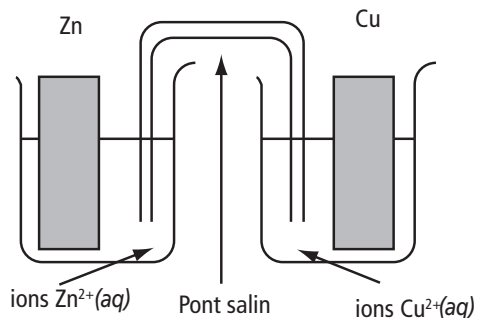
Chaque demi-pile est formée d'une solution ionique contenant un cation métallique $\text{Mn}^{n+}(aq)$ dans laquelle plonge une électrode solide du métal $\text{M}(s)$ correspondant. Le cation $\text{Mn}^{n+}(aq)$ et l'électrode solide appartiennent au même couple oxydant/réducteur $\text{Mn}^{n+}(aq) / \text{M}(s)$.

Dans certains cas, l'une des électrodes est constituée d'un matériau conducteur inerte comme le carbone graphite, c'est le cas pour la pile saline.

La jonction, un **pont salin** ou une paroi poreuse, permet d'établir une liaison électrique entre les deux demi-piles tout en évitant le mélange des deux solutions.

Étudions l'exemple de la pile cuivre-zinc dont le schéma est le suivant :

L'une des deux demi-piles est constituée d'une lame de zinc plongeant dans une solution contenant des ions zinc $\text{Zn}^{2+}(aq)$, l'autre est constituée d'une lame de cuivre plongeant dans une solution contenant des ions cuivre II $\text{Cu}^{2+}(aq)$.



Les deux demi-piles sont reliées par un pont salin constitué d'une solution ionique gélifiée placée dans un tube en U. Les ions présents dans le pont salin n'interviennent pas dans la réaction d'oxydoréduction, leur rôle est de permettre le passage du courant dans la pile et d'assurer la neutralité électrique des solutions.

2. Polarité des électrodes d'une pile

Une pile est caractérisée par sa force électromotrice E , c'est la tension positive entre les deux pôles de la pile. Pour la mesurer, il faut relier la lame constituant le

pôle + de la pile à la borne « V » du voltmètre et son pôle – à la borne « COM ».

On peut déterminer la polarité des électrodes d'une pile :

- ▶ **avec un voltmètre** : si la tension mesurée est positive, le voltmètre indique la valeur de E : l'électrode reliée à la borne « V » du voltmètre constitue le pôle + de la pile et l'électrode reliée à la borne « COM » constitue le pôle –.
- ▶ **avec un ampèremètre** : à partir du sens de passage du courant électrique, on en déduit le sens de circulation des électrons dans les fils extérieurs et les lames puis la polarité des électrodes de la pile (pôle + et pôle –).

Rappel Le courant électrique circule toujours du pôle + vers le pôle – à l'extérieur du générateur (ici, c'est la pile constituée de deux demi-piles et d'un pont salin).

Activité 8 Lorsqu'on relie la borne « V » d'un voltmètre à l'électrode d'argent d'une pile argent-aluminium et la borne « COM » à son électrode d'aluminium, la tension indiquée est positive. Quelle est la polarité de cette pile ?

3. Réactions aux électrodes

Lors du fonctionnement d'une pile :

- ▶ Le courant d'intensité I sort de la pile par le pôle +. Les électrons qui se déplacent en sens inverse du courant arrivent donc au pôle + de la pile pour être consommés.

Au pôle + de la pile, il se produit une réduction.

L'électrode reliée au pôle + d'une pile est appelée la **cathode** car il s'y produit une **réduction**.

- ▶ Le courant parvient à la pile par le pôle – : les électrons quittent donc la pile par le pôle – car ils se déplacent en sens inverse du courant.

Au pôle – de la pile, il se produit une oxydation.

L'électrode reliée au pôle – d'une pile est l'**anode** car il s'y produit une **oxydation**.

Reprenons l'exemple de la pile cuivre-zinc :

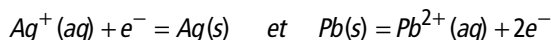
Le courant sort de la pile cuivre-zinc par l'électrode de cuivre : c'est donc le pôle + de la pile. L'électrode de zinc constitue le pôle –.

À l'électrode de cuivre, la cathode, les électrons arrivent et réagissent avec les ions Cu^{2+} qui sont réduits en métal cuivre Cu : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^{-} = \text{Cu}(\text{s})$.

À l'électrode de zinc, l'anode, les électrons sortent de la pile : ils ont été formés lors de l'oxydation du métal zinc Zn en ions Zn^{2+} : $\text{Zn}(\text{s}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^{-}$.

Activité 9 L'électrode d'argent d'une pile argent-aluminium constitue le pôle + de cette pile et l'électrode d'aluminium est le pôle. Déterminer les demi-équations associées au fonctionnement de cette pile.

Activité 10 Lors du fonctionnement d'une pile argent-plomb, les demi-équations redox s'écrivent :



- ❶ Quelle demi-équation correspond à une réduction ? À une oxydation ?
- ❷ Quelle électrode est la cathode ? L'anode ?
- ❸ Déterminer la polarité de la pile argent-plomb.

Données Couples oxydant/réducteur : $\text{Ag}^+(\text{aq}) / \text{Ag}(\text{s})$, $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) / \text{Pb}(\text{s})$

4. Equation de fonctionnement d'une pile

Les réactions aux électrodes permettent d'obtenir l'équation de fonctionnement d'une pile.

Il suffit de multiplier, si nécessaire, chaque demi-équation par un nombre entier le plus petit possible, afin que les deux demi-équations comportent le même nombre d'électrons puis d'ajouter les deux demi-équations redox et de placer une flèche entre les réactifs et les produits.

Les électrons n'apparaissent pas dans ce bilan : ils sont en nombre identique dans les réactifs et les produits.

Elle s'écrit donc pour la pile cuivre-zinc :

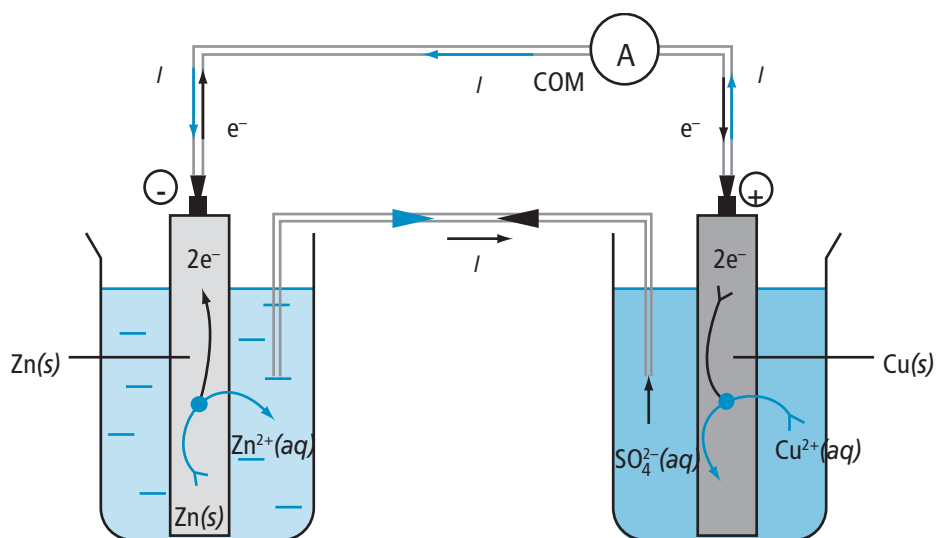


Remarque L'équation de fonctionnement de la pile cuivre-zinc est similaire à celle de la réaction des ions cuivre $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ avec le métal zinc $\text{Zn}(\text{s})$.

Activité 11 En vous aidant de l'activité 10, écrire l'équation d'oxydo-réduction de fonctionnement de la pile argent-plomb.

5. Conclusion

Le schéma ci-dessous résume le fonctionnement de la pile cuivre-zinc étudiée précédemment :



Remarque Dans le pont salin, le passage du courant électrique est assuré par la circulation d'ions sulfate, n'intervenant pas dans la réaction d'oxydo-réduction.

Résumé

- Une pile est un générateur électrique qui transforme l'énergie produite lors d'une réaction chimique en énergie électrique.
- La réaction chimique responsable du fonctionnement d'une pile est une **réaction d'oxydo-réduction**.

C'est une réaction au cours de laquelle il y a un transfert d'électrons entre les réactifs. Elle met en jeu deux couples oxydant /réducteur.

Un couple oxydant/réducteur est constitué de deux espèces chimiques conjuguées : un oxydant noté ox et un réducteur noté **red**.

Un oxydant est une espèce chimique capable de **gagner** un ou plusieurs électrons.

Un réducteur est une espèce chimique capable de **perdre** un ou plusieurs électrons.

L'oxydant et le réducteur conjugué d'un couple oxydant/réducteur sont liés par une demi-équation redox :

une réduction : **ox + ne⁻ = red**.

une oxydation : **red = ox + ne⁻**.

L'équation d'une réaction d'oxydo-réduction est la superposition de deux demi-équations redox, une réduction et une oxydation, elle ne comporte jamais d'électrons. Il faut donc parfois, avant de les ajouter, multiplier l'une d'elles ou les deux par un nombre entier, le plus petit possible, afin que les deux demi-équations redox comportent le même nombre d'électrons.

- **Une pile** transforme l'énergie chimique fournie par une réaction oxydo-réduction en énergie électrique. Elle est constituée de **deux demi-piles** et d'une **jonction électrochimique** permettant de relier les deux demi-piles.

Les réactions aux électrodes, lors du fonctionnement d'une pile, sont les suivantes :

Au pôle + de la pile, la cathode : le courant d'intensité I sort de cette électrode, les électrons y arrivent donc il s'y produit une réduction.

Au pôle - de la pile, l'anode : le courant d'intensité I arrive à cette électrode, les électrons la quittent donc il s'y produit une oxydation.

Ces réactions aux électrodes permettent d'obtenir l'équation de fonctionnement d'une pile.

Exercices

Exercice 1 Ajuster des demi-équations d'oxydo-réduction

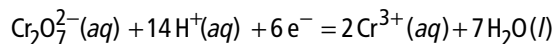
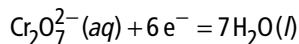
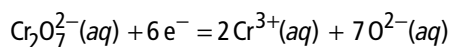
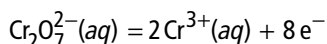
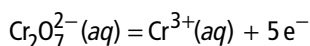
Écrire les demi-équations redox suivantes :

- 1 une réduction pour les couples : $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) / \text{Ni}(\text{s})$ et $\text{K}^+(\text{aq}) / \text{K}(\text{s})$
- 2 une oxydation pour les couples : $\text{Cu}^+(\text{aq}) / \text{Cu}(\text{s})$ et $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) / \text{Fe}(\text{s})$

Exercice 2 L'ion dichromate et l'ion chrome, des ions colorés

L'ion dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ est jaune en solution aqueuse. Il forme un couple ox/red avec l'ion chrome III Cr^{3+} qui est vert en solution aqueuse.

- 1 Quelle est la demi-équation d'oxydo-réduction correspondant au couple formé par ces deux ions ?



- 2 En déduire le couple ox/red formé par ces deux ions.

Exercice 3 Réaction entre le fer et l'acide chlorhydrique

On verse de l'acide chlorhydrique ($\text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$) sur un clou en fer.

Il se produit une réaction d'oxydo-réduction : on observe un dégagement gazeux et le clou disparaît peu à peu.

- 1 En vous aidant des données, préciser les réactifs et les produits de la réaction d'oxydo-réduction.
- 2 Écrire les demi-équations redox de cette réaction.
- 3 Écrire l'équation de la réaction d'oxydo-réduction.

Données Couples oxydant/réducteur : $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) / \text{Fe}(\text{s})$; $\text{H}^+(\text{aq}) / \text{H}_2(\text{g})$

Exercice 4 Réaction entre le diiode et les ions thiosulfate

Le diiode I_2 réagit avec les ions thiosulfate $S_2O_3^{2-}(aq)$.

- 1 Écrire les demi-équations redox correspondantes.
- 2 En déduire l'équation traduisant le bilan de cette réaction d'oxydo-réduction.

Données Couples oxydant/réducteur : $I_2(aq) / I^-(aq)$ et $S_4O_6^{2-}(aq) / S_2O_3^{2-}(aq)$.

Exercice 5 La pile plomb - cuivre

Dans une pile plomb-cuivre, la lame de cuivre plongeant dans une solution contenant des ions $Cu^{2+}(aq)$ constitue le pôle + et la lame de plomb plongeant dans une solution d'ions $Pb^{2+}(aq)$ correspond au pôle –.

- 1 Faire un schéma annoté de la pile.
- 2 Quelles sont les demi-équations redox aux électrodes ?
- 3 Quelle électrode constitue l'anode? Et la cathode?
- 4 Écrire l'équation de fonctionnement de la pile.

Données couples ox/red $Cu^{2+}(aq) / Cu(s)$ et $Pb^{2+}(aq) / Pb(s)$.

Exercice 6 La pile aluminium - zinc

L'équation de fonctionnement d'une pile aluminium-zinc correspond à celle des ions zinc avec le métal aluminium pour former du zinc et des ions aluminium.

- 1 Écrire les demi-équations redox de cette réaction.
- 2 En déduire la polarité des électrodes de la pile.
- 3 Écrire l'équation de fonctionnement de la pile.
- 4 Faire le schéma annoté de la pile débitant dans un circuit constitué d'une résistance R et d'un ampèremètre. Préciser le sens du courant et le sens de déplacement des électrons.

Données couples ox/red $Al^{3+}(aq) / Al(s)$ et $Zn^{2+}(aq) / Zn(s)$.

Exercice 7 Pile à base d'argent et de zinc

On réalise une pile à partir de deux demi-piles et d'un pont salin. L'une des demi-piles est constituée d'une lame de zinc plongeant dans une solution de nitrate de zinc et l'autre, d'un fil d'argent plongeant dans une solution de nitrate d'argent.

On branche un voltmètre électronique aux bornes de cette pile en reliant la borne COM à l'électrode de zinc, il indique : $U = 1,5\text{ V}$.

- 1 Faire le schéma annoté de la pile et du voltmètre en indiquant ses bornes.

- ② Quelle est la force électromotrice E de la pile?
- ③ Déterminer la polarité des électrodes.
- ④ Écrire les réactions mises en jeu aux électrodes.

Données couples ox/red $\text{Ag}^+(\text{aq}) / \text{Ag}(\text{s})$ et $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) / \text{Zn}(\text{s})$.

Exercice 8 Pile de navette spatiale

Les piles utilisées pour certaines navettes spatiales utilisent la réaction entre le dihydrogène et le dioxygène. Les réactions aux électrodes sont :

Pour l'électrode A : $\text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{HO}^-(\text{aq}) = 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2 \text{e}^-$

Pour l'électrode B : $\frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2 \text{e}^- = 2 \text{HO}^-(\text{aq})$

- ① Cette pile est-elle une pile saline, une pile alcaline ou une pile à combustible ?
- ② À quelle électrode A ou B, y a-t-il une réduction ? Une oxydation
- ③ Déterminer la polarité de la pile.
- ④ Écrire l'équation du fonctionnement de la pile.

Exercice 9 Étude d'une pile au lithium

Dans l'industrie, les piles au lithium sont très répandues car elles ont une durée de vie beaucoup plus importante que les piles alcalines. Certaines piles au lithium utilisent du lithium Li et du chlorure de thionyle SOCl_2 . On ne trouve ces piles que dans les milieux commerciaux et industriels. L'anode est en lithium métallique et la cathode qui est constituée d'une électrode de carbone poreux rempli de chlorure de thionyle (SOCl_2) est sous forme liquide.

Lors du fonctionnement d'une pile (Li , SOCl_2), les demi-équations redox sont les suivantes :

À l'anode : $\text{Li}(\text{s}) = \text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$.

À la cathode : $2 \text{SOCl}_2(\text{aq}) + 4 \text{e}^- = 4 \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{SO}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s})$.

- ① L'électrode de lithium constitue-t-elle le pôle positif ou le pôle négatif de la pile ? Justifier.
- ② Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.
- ③ Une pile neuve de 10 g contient entre autre : 45% de chlorure de thionyle, 4% de lithium, 40 % d'acier et 11% d'autres matériaux. Déterminer les quantités initiales de chlorure de thionyle et de lithium exprimées en moles présentes dans cette pile.
- ④ Sachant que la pile s'arrête de fonctionner lorsque l'un des réactifs est entièrement consommé, compléter le tableau d'avancement ci-dessous :

Équation		 + → + + +					
	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)					
État initial	$x = 0$						
En cours de réaction	x						
État final	$x_{\max}$						

5 Quel est le réactif limitant ?

Données Masses molaires exprimées en g.mol^{-1} : Li : 6,9 ; S : 32,1 ; O : 16,0 ; Cl : 35,5.

