

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	2
I – LE MAGNETISME	3
I, 1 – Propriétés du magnétisme	3
I, 1, 1 – <i>Expériences avec des aimants naturels</i>	3
I, 1, 2 – <i>Expérience en présence d'un courant électrique</i>	5
I, 2 – Le champ magnétique	7
I, 2, 1 – <i>Mise en évidence d'un champ magnétique</i>	7
I, 2, 2 – <i>Les lignes de champ magnétique</i>	7
II – MAGNETISME SOLAIRE ET MAGNETISME TERRESTRE.....	9
II, 1 – Le vent solaire	9
II, 1, 1 – <i>La structure du Soleil</i>	9
II, 1, 1, 1 – <i>Structure interne du Soleil</i>	9
II, 1, 1, 2 – <i>Partie externe du Soleil</i>	10
II, 1, 2 – <i>L'activité solaire</i>	10
II, 1, 2, 1 – <i>Le champ magnétique solaire</i>	10
II, 1, 2, 2 – <i>Les taches solaires</i>	11
II, 1, 2, 3 – <i>Les éruptions solaires et les éjections coronales</i>	11
II, 2 – L'influence du vent solaire sur la magnétosphère terrestre.....	13
II, 2, 1 – <i>Le champ magnétique terrestre</i>	13
II, 2, 2 – <i>La magnétosphère terrestre</i>	13
II, 2, 2, 1 – <i>La situation de la magnétosphère dans l'atmosphère terrestre</i>	14
II, 2, 2, 2 – <i>La structure de la magnétosphère</i>	14
II, 2, 2, 3 – <i>La modélisation de la magnétosphère</i>	15
III – LES AURORES POLAIRES, MANIFESTATION VISIBLE DES SOUS-ORAGES MAGNETOSPHERIQUES.....	17
III, 1 – Evénement électromagnétique se situant du côté exposé au Soleil	17
III, 2 – Evénement électromagnétique se situant du côté opposé au Soleil	18
III, 3 – Les aurores polaires, phénomènes lumineux de l'ionosphère.....	20
III, 3, 1 – <i>L'excitation des atomes</i>	20
III, 3, 2 – <i>L'ionisation des atomes</i>	21
III, 3, 3 – <i>Les couleurs des aurores</i>	21
III, 3, 3, 1 – <i>Le spectre de la lumière blanche</i>	21
III, 3, 3, 2 – <i>Désexcitation des atomes et libération de photons</i>	22
III, 3, 4 – <i>Les différents types d'aurores</i>	23
III, 3, 4, 1 – <i>Les aurores diffuses</i>	24
III, 3, 4, 2 – <i>Les aurores discrètes</i>	24
CONCLUSION	27
BIBLIOGRAPHIE	28
SITOGRAFIE.....	29

INTRODUCTION

L'aurore polaire est un phénomène lumineux assez fréquent dans le ciel des régions polaires, et qui a de tout temps intrigué l'Homme.

On ne la voit à l'œil nu que la nuit car son intensité lumineuse est très faible devant celle du Soleil.

Selon l'hémisphère où elle est observée, elle porte le nom d'aurore boréale (hémisphère nord) ou australe (hémisphère sud).

A partir du XVI^{ème} siècle, les premières analyses scientifiques débutent. Mais, il faut attendre l'arrivée des satellites au XX^{ème} siècle pour que beaucoup de conclusions émises jusqu'à présent sans preuves tangibles soient tout à coup validées.

Ainsi, il est rapidement mis en évidence que la Terre et le Soleil possèdent chacun un champ magnétique qui est à l'origine de l'apparition de ces magnifiques événements colorés.

Nous avons donc voulu savoir : en quoi le magnétisme joue-t-il un rôle dans l'apparition des aurores polaires ?

Nous avons commencé par étudier les propriétés des champs magnétiques, en réalisant des expériences, avant d'aborder l'activité solaire, et notamment celle du vent solaire, sur le champ magnétique terrestre.

I – LE MAGNETISME

Au Vème siècle avant J.-C., des grecs ont observé que dans la région de la Magnésie (Thessalie, Grèce) des fragments de magnétite (du minerai de fer) s'accrochaient aux sabots cloutés des bergers. Le magnétisme était donc découvert.

Cependant, il fallut attendre le début du XIIème siècle pour que les propriétés d'un barreau aimanté, appelé aujourd'hui boussole, soient exploitées : les Chinois l'utilisaient pour garder un cap à peu près constant.

Afin de bien comprendre le magnétisme et ses propriétés, nous avons donc réalisé diverses expériences avec des aimants.

I, 1 – Propriétés du magnétisme

I, 1, 1 – Expériences avec des aimants naturels

D'après le dictionnaire Hachette encyclopédique 2002, un aimant est un corps attirant le fer ou l'acier.

Nous prenons des aiguilles aimantées en fer (libres de s'orienter dans un plan horizontal) et un aimant droit, à des fins d'observation.



Illustration 1 : aimant droit.



Illustration 2 : aiguille aimantée.

On constate que l'aiguille, éloignée de tout objet avec lequel elle est susceptible d'interagir, prend une direction à laquelle elle revient toujours si on l'en éloigne.



Illustration 3 : aiguille déviée.



Illustration 4 : aiguille revenue à sa direction initiale.

Lorsqu'on approche l'un des côtés de l'aimant de l'aiguille, mais sans nécessairement la toucher, l'aiguille est déviée, l'un de ses côtés est attiré par l'aimant.



Illustration 5 : aiguille attirée par l'aimant.

Quelle que soit la position de l'aimant (dans le plan, puisque l'aiguille n'est capable de tourner que dans le plan), et tant que l'aimant n'est pas trop éloigné, l'un des pôles de l'aiguille pointe vers l'aimant. Cependant, si l'on retire l'aimant, alors l'aiguille reprend sa direction première.



Illustration 6 : deux aiguilles s'orientent.



Illustration 7 : les deux aiguilles sont déviées par l'aimant.

On constate donc que certains solides ont la propriété d'attirer naturellement le fer, tels la magnétite et ses oxydes ; ce sont les aimants naturels. En outre, certains métaux (fer, cobalt...) et leurs oxydes, ainsi que certains alliages, après avoir été en interaction avec un aimant, deviennent à leur tour des aimants, dits rémanents. Par exemple, un clou en fer, ayant été approché d'un aimant, est à son tour capable d'attirer un autre clou en fer.

Les pôles nord et sud des aimants ont été définis d'après les boussoles. Une boussole est une aiguille aimantée placée sur un pivot, libre donc de s'orienter dans un plan horizontal. Quand cette aiguille est éloignée de tout objet avec lequel elle est susceptible d'interagir de façon non négligeable, l'un de ses côtés pointe approximativement dans la direction du pôle nord géographique, tandis que l'autre montre logiquement le sud. Le côté de l'aiguille montrant le nord est donc le pôle nord de l'aiguille, l'autre côté est le pôle sud.

Or lorsqu'on rapproche deux aiguilles aimantées, on peut voir que les pôles différents s'attirent et les pôles identiques se repoussent. Ceci vaut pour les aimants : selon que l'on approche l'un ou l'autre côté de l'aimant, ce n'est pas le même pôle de l'aiguille qui sera attiré. Partant du principe que deux pôles

se repoussant sont opposés, le côté de l'aimant qui attire le pôle sud de l'aiguille est le pôle nord de l'aimant, et réciproquement.

Enfin, une propriété étrange des aimants est qu'on ne peut isoler l'un de ses pôles. Un aimant a toujours deux pôles, en le brisant chaque fragment conservera deux pôles, nord et sud.

I, 1, 2 – Expérience en présence d'un courant électrique

Pour approfondir, nous réalisons l'expérience du physicien danois, Oersted, avec un générateur de courant, un conducteur rectiligne, et une aiguille aimantée en fer libre de s'orienter dans un plan horizontal.

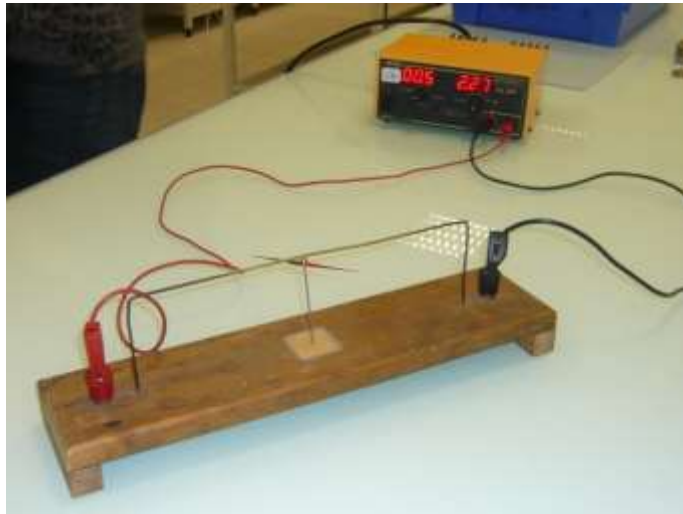


Illustration 8 : montage du générateur de courant et du conducteur rectiligne, l'aiguille se trouve sous le conducteur.

Pour commencer l'expérience, on laisse s'orienter l'aiguille, puis on aligne le conducteur au-dessus (à intensité nulle).



Illustration 9 : alignement aiguille + conducteur.

On fait alors passer un courant dans le conducteur. On observe que l'aiguille aimantée est déviée de sa position initiale, à laquelle elle revient aussitôt dès qu'on arrête le générateur.

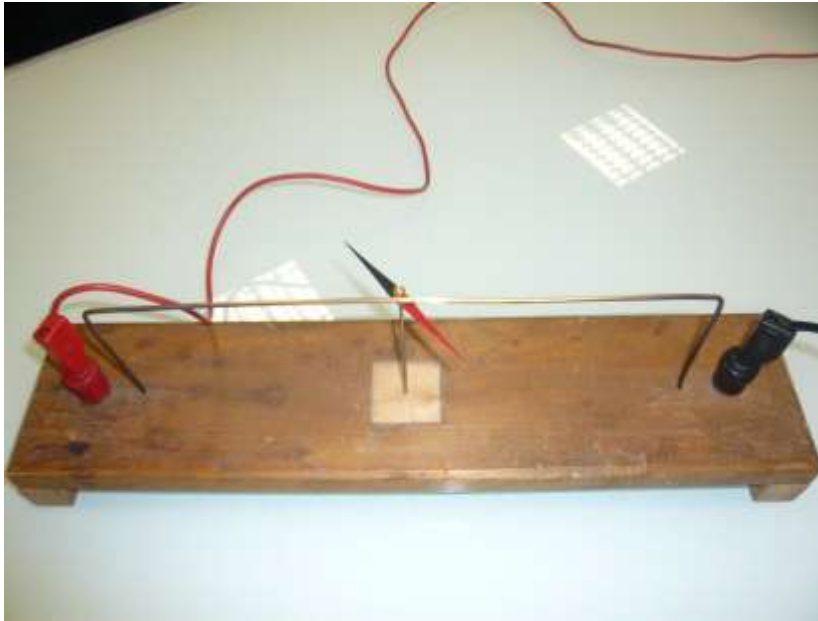


Illustration 10 : aiguille déviée par le passage du courant.

On voit que l'on peut réussir à orienter une aiguille aimantée sans aimant, grâce au passage de courant dans un fil conducteur rectiligne proche de ladite aiguille. On en déduit qu'un courant électrique a donc des propriétés magnétiques.

Ces propriétés électromagnétiques varient selon la forme du conducteur et l'intensité du courant. Les deux principales formes du conducteur en électromagnétisme sont le conducteur rectiligne et le solénoïde.

Nous venons de voir le cas du conducteur rectiligne. Un courant électrique d'intensité conséquente est capable de dévier une aiguille aimantée de sa position initiale.

Quant au solénoïde, c'est une « bobine », un enroulement du fil conducteur. Mais pas n'importe comment. Le fil est enroulé de façon cylindrique en un enchaînement de spires circulaires, jointes ou non (une spire circulaire désigne l'enroulement du fil sur un cercle). Ces spires doivent avoir le même axe et le même diamètre. On caractérise un solénoïde d'après trois valeurs : sa longueur L (distance entre ses deux extrémités), son diamètre D , et son nombre de spires N . Logiquement, est appelé centre du solénoïde le point appartenant à son axe et à égale distance de ses extrémités. Enfin on peut qualifier un solénoïde de long ou court selon le rapport L/D : si sa longueur est plus de deux fois supérieure à son diamètre, le solénoïde est long, autrement il est dit court.

I, 2 – Le champ magnétique

On appelle champ une portion de l'espace dans laquelle s'exerce une action, une région dans laquelle une force est mesurable et dépendant de la position dans l'espace. A proximité d'un aimant, une aiguille aimantée subit une action due au champ magnétique engendré par l'aimant.

I, 2, 1 – Mise en évidence d'un champ magnétique

Comment « délimiter » un champ magnétique ? Nous réalisons une expérience (démonstration) avec un aimant droit et une aiguille aimantée.



Illustration 11 : aimant droit.



Illustration 12 : aiguille aimantée.

Lorsqu'on approche l'aimant de l'aiguille, celle-ci est déviée par l'action qu'exerce sur elle l'aimant. Si on déplace l'aiguille autour de l'aimant, elle sera déviée tant qu'elle n'est pas trop éloignée : elle est dans le champ magnétique généré par l'aimant.

Quand on éloigne l'aiguille de l'aimant jusqu'à ce que le champ magnétique de celui-ci n'ait plus d'effet sur l'aiguille, on constate qu'elle reprend toujours sa position originelle. On en déduit qu'elle est soumise à un champ magnétique autre que celui de l'aimant : le champ magnétique terrestre.

A la surface de la Terre, on peut facilement constater que le champ magnétique terrestre est moins puissant que celui d'un aimant : lorsqu'on approche un aimant d'une aiguille aimantée (qui normalement conserve sa direction grâce au champ magnétique de la Terre), elle est déviée par le champ magnétique de l'aimant et lui seul : la force exercée par le champ magnétique de la Terre est négligeable. Cependant, le champ magnétique d'un aimant s'estompe rapidement, alors que celui de la Terre perdure : si on éloigne suffisamment l'aiguille de l'aimant, sa direction n'est plus influencée par celui-ci (l'aiguille est sortie du champ magnétique de l'aimant), mais il faudrait emporter l'aiguille très loin de la Terre pour que sa direction cesse d'être influencée par son champ magnétique.

Différentes sources de champ magnétique existent donc. On a vu ici un aimant, un courant électrique et la Terre. On peut citer aussi les électroaimants.

I, 2, 2 – Les lignes de champ magnétique

Afin de pouvoir « observer » le champ magnétique, nous réalisons une expérience avec un aimant droit et de la limaille de fer.



Illustration 13 : aimant droit.



Illustration 14 : limaille de fer.

Afin de ne pas avoir à décoller la limaille de fer de l'aimant à la fin de l'expérience, nous plaçons l'aimant sous une plaque de plexiglas, sur laquelle nous saupoudrons de la limaille. Nous tapotons ensuite le plexiglas afin que la limaille de fer se place en fonction du champ magnétique.



Illustration 15 : la limaille de fer se répartit autour de l'aimant selon le champ magnétique.

Chacun des grains de limaille peut être assimilé à une petite aiguille aimantée, qui s'oriente alors, et dont les pôles se rattachent aux pôles opposés des autres grains. Il se forme alors des lignes représentant le *spectre magnétique* de l'aimant. Ces lignes sont appelées *lignes de champ magnétique*.

Une aiguille aimantée placée sur une des lignes de champ d'un aimant prendrait pour direction la tangente à cette ligne, et pour sens le sens de la ligne de champ, qui est toujours, à l'extérieur de l'aimant, du pôle nord au pôle sud. Une ligne de champ se referme toujours sur elle-même.

II – MAGNETISME SOLAIRE ET MAGNETISME TERRESTRE

II, 1 – Le vent solaire

Le Soleil produit en permanence un vent solaire. Ce flux permanent de particules ionisées éjectées dans l'espace varie en vitesse et en température au cours du temps en fonction de l'activité solaire.

Nous allons expliquer comment l'étoile, de par sa structure et de son activité, peut avoir une influence sur l'intensité de ce vent solaire.

II, 1, 1 – La structure du Soleil

Le Soleil présente un rayon d'environ 700 000 km.

Il est composé de plusieurs couches : on distingue la structure interne de la partie externe.

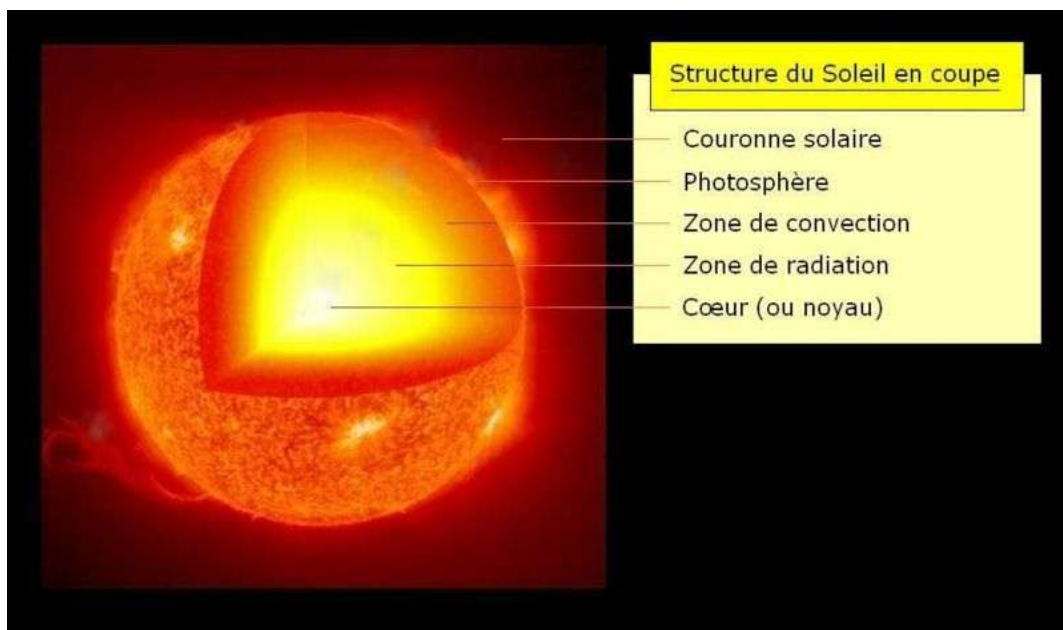


Illustration 16 : schéma en coupe de la structure du Soleil.

(http://www.aucoeurdelaplanete.com/UNIVERS/Systeme%20Solaire/le_soleil.html)

II, 1, 1, 1 – Structure interne du Soleil

- Le cœur ou le noyau solaire : il mesure environ 0,25 rayon solaire en partant du centre du Soleil. Le cœur est la partie la plus chaude du Soleil atteignant près de 15 millions de °C.
- La zone de radiation ou radiative : elle se situe approximativement entre 0,25 et 0,7 rayon solaire.
- La zone de convection ou convective : elle s'étend de 0,7 rayon solaire à la surface du Soleil.

II, 1, 1, 2 – Partie externe du Soleil

- La photosphère : il s'agit de la surface du Soleil. Il y règne une température beaucoup plus froide qu'au niveau du noyau : elle avoisine les 5 500 °C.
- La chromosphère : cette couche est la partie basse de l'atmosphère solaire. Elle présente une température de l'ordre de 10 000 °C.
- La couronne : cette couche est la partie supérieure de l'atmosphère solaire. Elle s'étend sur des millions de kilomètres et sa température est très élevée : 1,5 million de °C.

II, 1, 2 – L'activité solaire

L'activité du Soleil varie selon un cycle : il dure en moyenne onze ans et présente une phase active, nommée maximum solaire, et une période de repos, appelée minimum solaire.

Nous allons voir quels phénomènes observés au sein du Soleil permettent aux astrophysiciens de déterminer cette activité solaire.

II, 1, 2, 1 – Le champ magnétique solaire

Dans le cœur du Soleil ont lieu en permanence des réactions thermonucléaires alimentées par l'hydrogène présent. Elles libèrent notamment des électrons et des photons (particules de lumière) et produisent une énorme énergie. Cette énergie traverse la zone radiative avant d'atteindre la zone convective où elle se transforme en mouvement. En effet, contrairement à la zone radiative où l'ensemble de la masse tourne à la même vitesse, la zone convective tourne sur elle-même avec une vitesse variable : 25 jours à l'équateur et 35 aux pôles. Ainsi à l'interface de ces deux zones, appelée la tachocline, apparaissent de fortes turbulences où est généré un champ magnétique. En effet, la matière du Soleil forme un plasma, soit un mélange gazeux très agité dans lesquels les atomes sont entourés d'une mer d'électrons. Or, lorsque des particules chargées électriquement sont en mouvement, elles forment un courant électrique qui induit un champ magnétique.

Ce champ magnétique créé est le moteur même de l'activité solaire. Il entretient et oriente la circulation du plasma. Il est très complexe et fluctuant. Certaines lignes de champ magnétique se distordent et finissent par percer momentanément la surface de l'étoile pour donner naissance à des taches solaires.

II, 1, 2, 2 – Les taches solaires

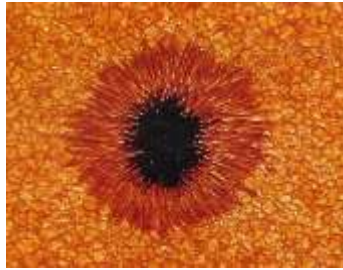


Illustration 17 : tache solaire.

(<http://zarkanzar.blogspot.com/2010/09/une-tache-solaire-photographiee-en.html>)

Les taches solaires marquent les zones où des lignes de champ magnétique particulièrement intenses sortent de la sphère. A l'intérieur, ces lignes freinent le mouvement de convection de la matière, ce qui empêche la chaleur venant du cœur d'atteindre efficacement la surface. Ces taches solaires apparaissent donc comme des taches noires car ce sont des régions de la photosphère plus froides que les autres (entre 3 000 °C et 4 000 °C, contre 5 500 °C), et par conséquent, moins brillantes.

Les taches solaires sont la manifestation la plus évidente de l'activité du Soleil. Dans une région où il y en a beaucoup, des éruptions solaires et des éjections coronales importantes se produisent.

II, 1, 2, 3 – Les éruptions solaires et les éjections coronales

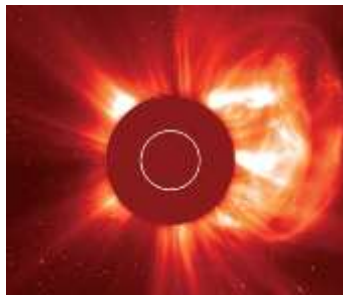


Illustration 18 : éruption solaire.

(<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/1566.htm>)

Quelle que soit la période du cycle du Soleil, des éruptions solaires se produisent dans la couronne. Leur nombre et leur intensité sont bien sûr plus élevés lors de la phase d'activité maximale du Soleil. Le cœur d'une éruption est une nappe de courants électriques qui entraîne une restructuration des champs magnétiques. Lorsque deux boucles de champ magnétique se cassent et se reconnectent, une énergie énorme est brusquement libérée et accélère la matière. Des particules retombent vers la surface et créent un gigantesque flash lumineux.

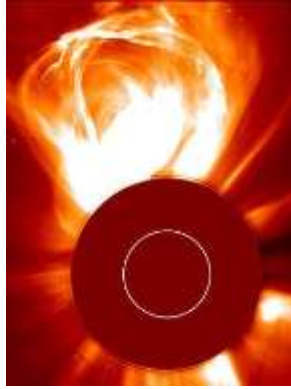


Illustration 19 : éjection de matière coronale.
 (http://www.cea.fr/media/images/phototheque/la_physique/une_ejection_de_matiere_coronale)



Illustration 20 : protubérance coronale.
 (<http://archipeldessciences.wordpress.com/2010/06/16/eruptions-solaires-de-fortes-perturbations-a-craindre-sur-terre/>)

Sous l'influence de l'énergie libérée lors de la restructuration du champ magnétique, ces éruptions sont fréquemment accompagnées d'éjections coronales. Il s'agit d'une protubérance, accumulation de matière constituée d'électrons, de protons et de noyaux, qui est brusquement éjectée de la couronne solaire.

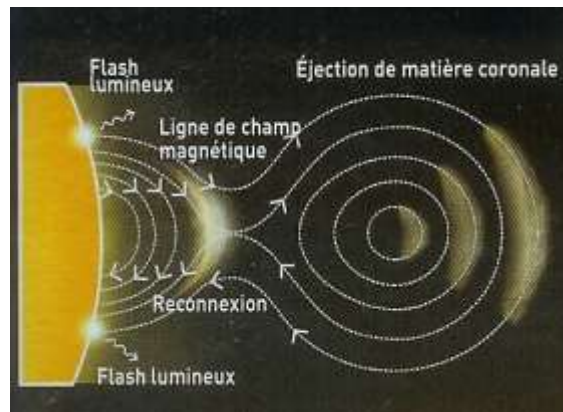


Illustration 21 : naissance d'une éjection de matière coronale.
 (Ciel&Espace, hors-série n° 15, octobre 2010, p. 21)

Lors d'un pic d'activité du Soleil, l'éjection rattrape le vent solaire, engendrant une onde de choc, laquelle accélère encore davantage certaines des particules.

Le vent solaire ainsi constitué, et essentiellement composé d'ions hydrogène et d'électrons, est soufflé dans l'espace interplanétaire et met de deux à quatre jours pour atteindre la Terre avec une vitesse de l'ordre de 600 km/s.

II, 2 – L'influence du vent solaire sur la magnétosphère terrestre

Le vent solaire influe fortement sur la dynamique de la haute atmosphère des planètes et notamment sur la magnétosphère de la Terre.

II, 2, 1 – Le champ magnétique terrestre

Lors de nos expériences, nous avons donc mis en évidence l'existence d'un champ magnétique terrestre.

Celui-ci trouve probablement son origine dans les courants électriques qui circulent dans la partie liquide du noyau de fer de notre planète. En première approximation, ce champ pourrait être comparé à celui d'un aimant droit isolé, le pôle nord d'une aiguille aimantée étant attirée par le pôle nord géographique (en fait, l'axe de rotation de la Terre est incliné d'environ 11 degrés par rapport à l'axe du champ magnétique terrestre).

De cette observation, on en déduit également que le pôle nord magnétique terrestre est en réalité un pôle de magnétisme « sud » puisqu'il attire le pôle « nord » de l'aiguille de l'aimant.

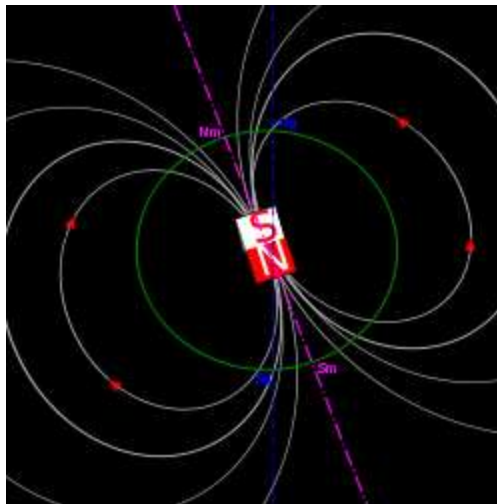


Illustration 22 : le champ magnétique terrestre peut être vu comme celui d'un aimant droit.
(<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Geomagnetisme.svg>)

Mais, la Terre est exposée au vent solaire et celui-ci a une grande influence sur le champ magnétique terrestre.

II, 2, 2 – La magnétosphère terrestre

D'une façon générale, la magnétosphère est la région entourant un objet céleste dans laquelle les phénomènes physiques sont dominés ou organisés par son champ magnétique.

II, 2, 2, 1 – La situation de la magnétosphère dans l'atmosphère terrestre

La magnétosphère terrestre se situe :

- au-dessus de l'ionosphère. C'est la partie de l'atmosphère qui est ionisée sur toute la surface du globe à partir d'une altitude allant approximativement de 60 km à 1 000 km.
- jusqu'à la magnétopause. C'est la limite de la zone d'influence du champ magnétique terrestre.

II, 2, 2, 2 – La structure de la magnétosphère

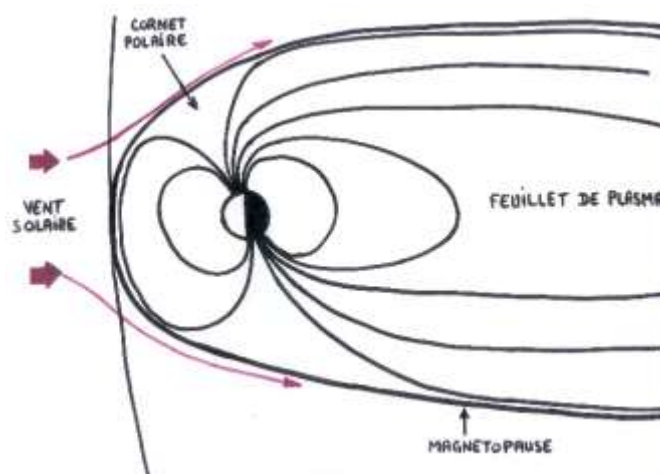


Illustration 23 : magnétosphère terrestre déformée par l'action du vent solaire.

Lorsque les particules du vent solaire atteignent la Terre, la plupart sont déviées par le champ magnétique et s'écoulent tout autour de notre planète. La magnétosphère agit comme un bouclier magnétique et protège la surface terrestre des excès du vent solaire, en permettant aux atomes nécessaires à la vie, comme l'oxygène et l'hydrogène, de rester dans l'environnement de la Terre.

Néanmoins, quand le vent solaire rentre en collision avec la magnétopause, une onde de choc, plus ou moins importante selon l'activité du Soleil, est créée : ceci est lié à la vitesse supersonique du vent solaire, qui varie de 400 à 800 km/s. La pression exercée par le vent solaire est si considérable qu'elle comprime la magnétosphère et la déforme :

- côté jour, le champ magnétique est comprimé et s'étend à environ 60 000 km en direction du Soleil. Toutefois, cette distance varie avec la pression du vent solaire. Lors d'une activité solaire intense, lors de ce que les astrophysiciens appellent un orage magnétique (caractérisé par une éjection coronale intense), il a été relevé que la magnétopause se rapprochait de la Terre jusqu'à quelques 26 000 km.

- côté nuit, le champ magnétique s'étire en formant une queue qui s'étend sur plus de 400 000 km.

Les principales zones de la magnétosphère intervenant dans le phénomène des aurores polaires sont :

- les cornets polaires : ce sont deux régions situées dans le prolongement des pôles magnétiques et où la magnétosphère est perméable au vent solaire.
- la couche ou feuillet de plasma : c'est une zone où le champ magnétique est pratiquement nul et où le plasma du vent solaire a tendance à s'accumuler.

Ces zones interviennent dans ce que les astrophysiciens appellent un sous-orage magnétosphérique. Avant d'aborder ce sujet, nous allons vous décrire une expérience à laquelle nous avons pensé pour montrer l'influence du vent solaire sur la magnétosphère.

II, 2, 2, 3 – La modélisation de la magnétosphère

Nous avons essayé de modéliser la magnétosphère terrestre en réalisant l'expérience suivante.

Nous avons utilisé :

- un aimant droit,
- une plaque de plexiglas,
- de la limaille de fer,
- un sèche-cheveux.

Compte tenu du fait que la forme comprimée d'un côté, étirée de l'autre, de la magnétosphère est due à l'onde de choc du vent solaire, et non à la charge des particules de ce vent, nous avons supposé que le souffle du sèche-cheveux pourrait simuler l'action des vents solaires.

Pour réaliser cette expérience, nous avons placé l'aimant droit sous la plaque de plexiglas. Nous avons ensuite saupoudré sur cette plaque de la limaille de fer pour mettre en évidence les lignes de champ de l'aimant. Après, nous avons approché le sèche-cheveux de ce montage pour déformer les lignes de champ. Cette déformation aurait été mise en évidence par la limaille de fer qui suit les lignes de champ.

Mais cette modélisation n'a pas été concluante. En effet, la limaille de fer, trop légère, s'envolait à cause du souffle du sèche-cheveux. De plus, ce n'est pas le vent solaire qui déforme la magnétosphère mais l'onde de choc qui est produite par sa vitesse de déplacement. Or, le souffle d'un sèche-cheveux n'est pas assez puissant. Nous pouvons aussi mettre en cause un aimant pas assez puissant, car un aimant plus puissant aurait certainement mieux retenu la limaille de fer de l'envol dû au souffle du sèche-cheveux.

A ce jour, le fonctionnement de la magnétosphère n'est pas encore parfaitement compris. L'utilisation des sondes spatiales ne permet pas d'avoir une vue expérimentale globale et instantanée de cette région : c'est un espace qui ne peut être examiné que dans les endroits précis où sont situés les satellites de

mesures. De plus, c'est un espace en constante évolution, car quand un satellite repasse à un endroit où il a déjà effectué une mesure, il ne retrouve pas nécessairement les mêmes données que celles qu'il avait mesurées précédemment.

III – LES AURORES POLAIRES, MANIFESTATION VISIBLE DES SOUS-ORAGES MAGNETOSPHERIQUES

Les astrophysiciens appellent sous-orages magnétosphériques l'enchaînement de trois événements : le premier se situe du côté exposé au Soleil, le second du côté opposé au Soleil, et enfin, le troisième dans l'ionosphère correspond à l'apparition des aurores polaires.

Ces sous-orages sont fréquents : il s'en produit plusieurs par jour.

III, 1 – Evénement électromagnétique se situant du côté exposé au Soleil

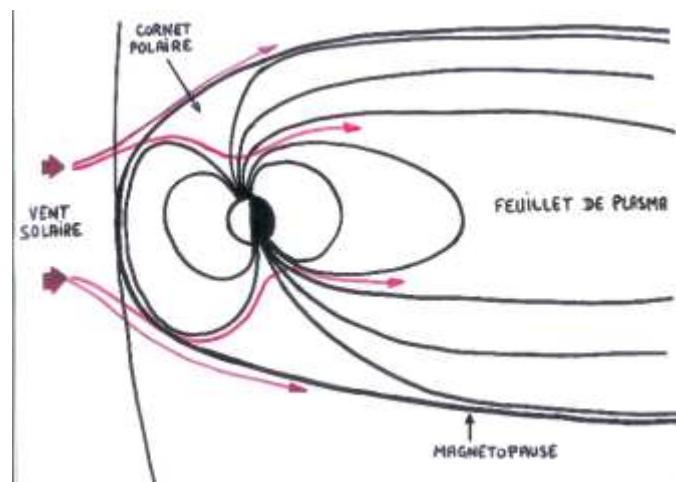


Illustration 24 : pénétration du plasma du vent solaire dans la magnétosphère.

La plupart du plasma solaire est dévié par la magnétopause.

Toutefois, lorsque le vent solaire rencontre la magnétosphère, les lignes du champ magnétique interplanétaire se connectent par moment aux lignes du champ magnétique terrestre du côté de la magnétopause exposé au Soleil. Cet enchevêtrement des lignes de champ permet le transfert de grandes quantités de plasma du vent solaire vers la magnétosphère.

Les particules franchissent donc la magnétopause et se dirigent suivant les lignes de champ vers les cornets polaires. Sous l'effet du champ magnétique régnant dans les cornets, et parce que l'énergie du plasma infiltré du vent solaire n'est pas suffisante, ce plasma n'atteint pas la Terre, mais il est repoussé et stocké dans le réservoir qu'est le feuillet de plasma de la magnétosphère.

La quantité de plasma piégée par le feuillet est beaucoup plus importante lors d'éjections coronales générées pendant une activité solaire intense.

III, 2 – Événement électromagnétique se situant du côté opposé au Soleil

On sait que le plasma du vent solaire s'accumule progressivement dans le feuillet de plasma. Ce dernier devient ainsi plus dense.

De plus, beaucoup d'énergie provenant du vent solaire s'accumule autour du feuillet de plasma, provoquant son amincissement.

Une dissipation brutale d'énergie magnétique se produit lorsque le feuillet de plasma, trop chargé et trop mince, cède. Toutefois, ce phénomène reste encore actuellement un sujet en cours d'étude.

Afin de trouver une explication, la NASA a lancé en 2007 une mission, nommée THEMIS (= Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms) : cinq satellites envoyés dans l'espace et vingt caméras au sol sont chargés de scruter les phénomènes qui se produisent lors des sous-orages magnétiques. A ce jour, cette mission est toujours en cours. Les scientifiques pensent que ces phénomènes se produisent selon une des deux théories suivantes :

- La première met en cause l'interruption du courant à travers la queue de la magnétosphère.

Elle débute à environ 60 000 km de la Terre. Comme indiqué dans les illustrations 25 et 26, elle a lieu lorsque la couche de plasma, trop dense et trop étirée, devient instable.

Une interruption de courant a alors lieu (cf. illustration 27).

Elle provoque une désorganisation locale du champ magnétique, qui libère de l'énergie, immédiatement absorbée par les particules de plasma.

Celles-ci sont alors accélérées vers la Terre (cf. illustration 28).

Le champ magnétique reprend ensuite progressivement sa configuration initiale, jusqu'à la prochaine interruption de courant.

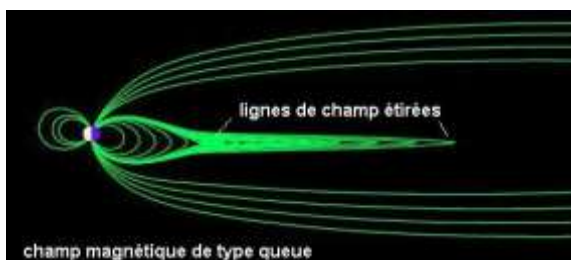


Illustration 25 : lignes de champ étirées.

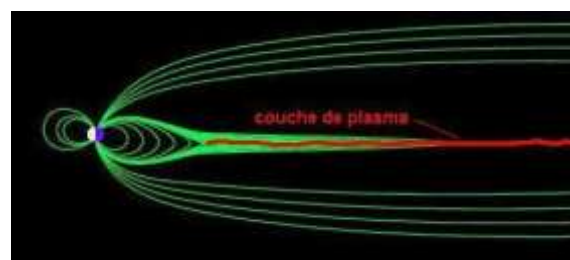


Illustration 26 : couche de plasma.

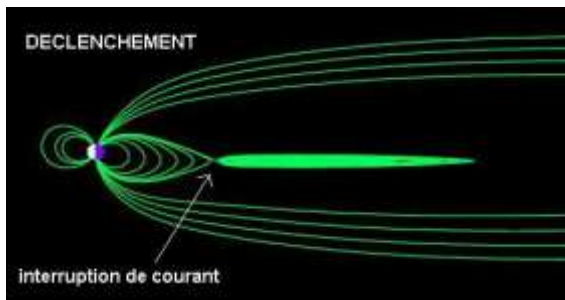


Illustration 27 : interruption de courant.

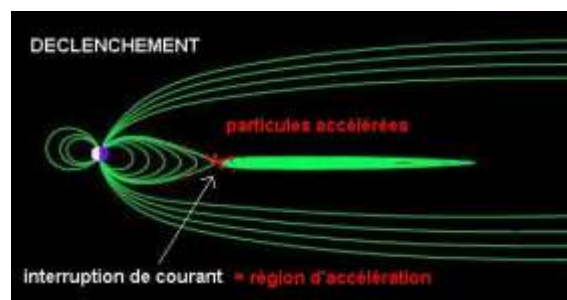


Illustration 28 : particules accélérées.

(http://www.luth.obspm.fr/~luthier/mottez/intro_physique_spatiale/concepts/sous-orage/sous-orage-magnetique.html)

- La seconde prône que les sous-orages prennent naissance à environ 120 000 km de la Terre, dans la queue de la magnétosphère. Les lignes de champ à l'intérieur de la magnétosphère sont normalement à peu près parallèles. Mais parfois, elles se rejoignent. De l'énergie magnétique est alors libérée lors de cette reconnexion, chauffant et accélérant les particules de plasma vers la Terre.

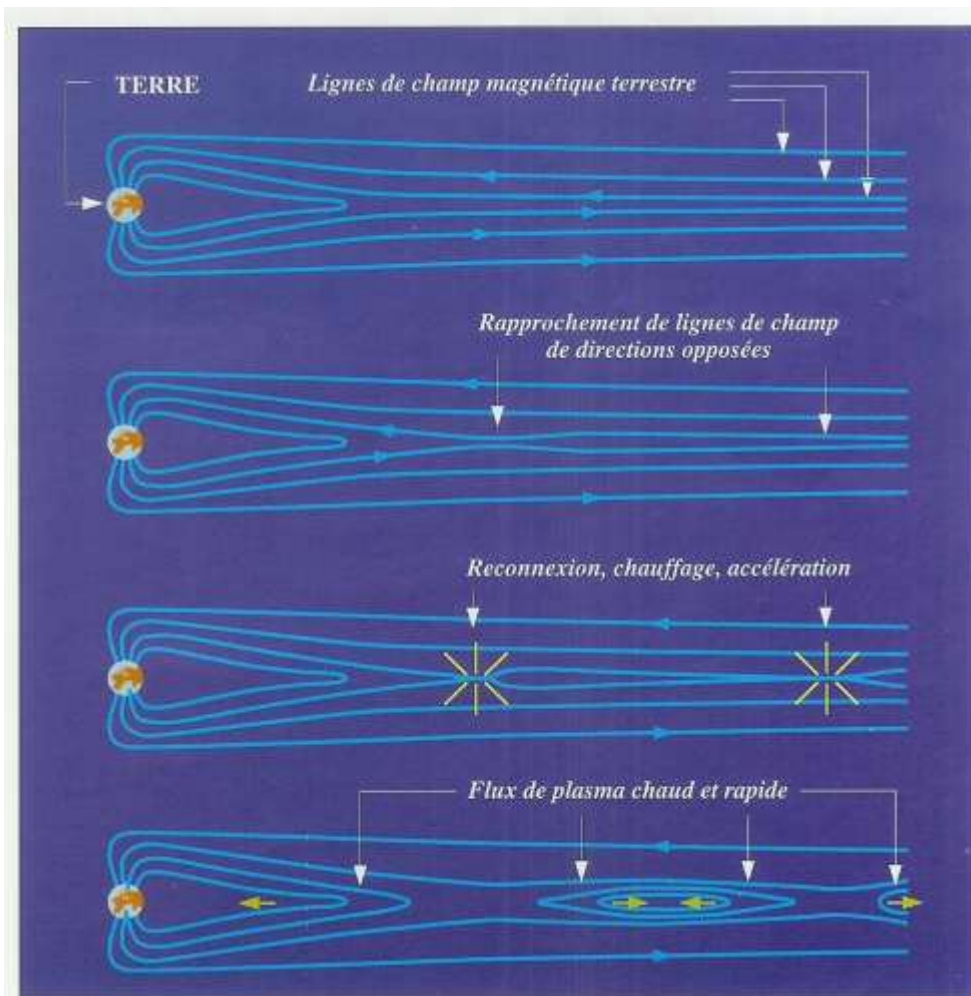


Illustration 29 : sous-orages : modèle de reconnexion des lignes de champ magnétique dans la queue de la magnétosphère.

(Revue du Palais de la Découverte n°248, mai 1997)

Après une interruption de courant ou une reconnexion des lignes de champ, les particules accélérées vers la Terre atteignent l'ionosphère, générant des aurores polaires.

III, 3 – Les aurores polaires, phénomènes lumineux de l'ionosphère

La reconfiguration de la magnétosphère, décrite précédemment, se traduit par l'apparition des aurores polaires.

Le plasma solaire arrive dans l'atmosphère terrestre à très grande vitesse. Les particules de ce plasma (électrons et protons) entrent en collision avec les atomes et les molécules neutres que recèle notre ionosphère, provoquant l'excitation et éventuellement l'ionisation de ces derniers.

Nous allons montrer comment ces phénomènes expliquent la couleur et l'aspect des aurores.

III, 3, 1 - L'excitation des atomes

Les électrons des atomes de l'ionosphère entrent dans un état excité, c'est-à-dire que les électrons des couches internes de l'atome vont migrer vers les couches externes. Ils gagnent ainsi de l'énergie. Les électrons, désormais dans une situation très instable, vont retourner sur leur couche originelle, à l'état normal. Ils réémettent alors l'énergie absorbée lors de la collision sous forme de photons, particules élémentaires de lumière, dans une longueur d'onde caractéristique de l'atome considéré.

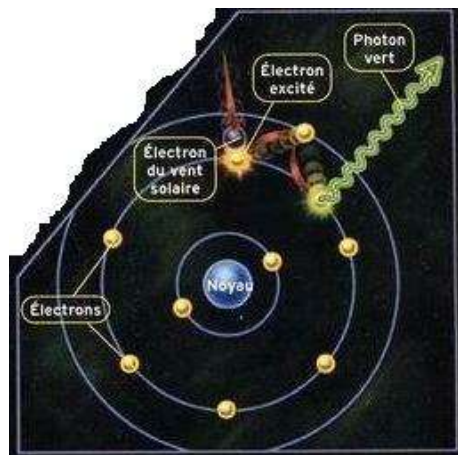


Illustration 30 : excitation des atomes.

(http://tpe-asteroidesgeocroiseurs2004.ifrance.com/Site/Le_Vent_Solaire.htm)

III, 3, 2 - L'ionisation des atomes

Les atomes heurtés dans l'ionosphère sont ionisés, c'est-à-dire qu'un ou des électrons de ces atomes sont expulsés sous la force de l'énergie transmise par les particules du plasma. Des photons sont alors émis.

Les atomes deviennent des cations, ions chargés positivement, par la perte d'un ou des électrons. Pour revenir à un état stable, ces cations vont de nouveau capter les électrons perdus, libérant aussi des photons.

III, 3, 3 – Les couleurs des aurores

Les émissions lumineuses aurorales proviennent de la désexcitation des atomes des gaz de la haute atmosphère. Il y a alors émission de photons. Pour comprendre pourquoi certaines aurores sont invisibles et pourquoi les couleurs varient d'une aurore à l'autre, il faut s'intéresser au spectre lumineux.

III, 3, 3, 1 – Le spectre de la lumière blanche

Le prisme est un instrument d'optique dispersif : il permet de dévier et de décomposer la lumière blanche. On peut ainsi obtenir sur un écran un spectre, une figure de dispersion montrant la décomposition de la lumière blanche par le prisme.

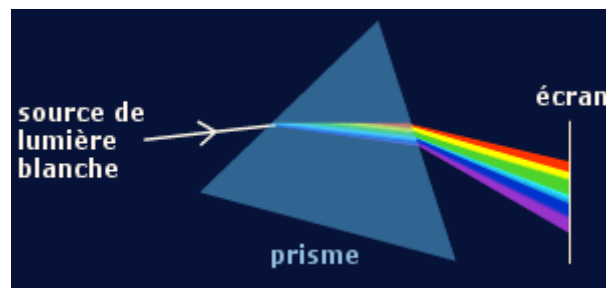


Illustration 31 : spectre de la lumière blanche.

(<http://www.maxicours.com/soutien-scolaire/physique-chimie/bep-metiers-de-l-electrotechnique/191850.html>)

Les différentes lumières colorées composant la lumière blanche sont appelées des radiations.

A chaque radiation est associée une longueur d'onde précise, qui s'exprime en mètre.

Les radiations visibles sont comprises entre environ 400 et 800 nm et sont celles de l'arc-en-ciel, mais il existe également des radiations ultraviolettes (<400nm) et des radiations infrarouges (>800nm), qui sont invisibles pour les yeux de l'homme.

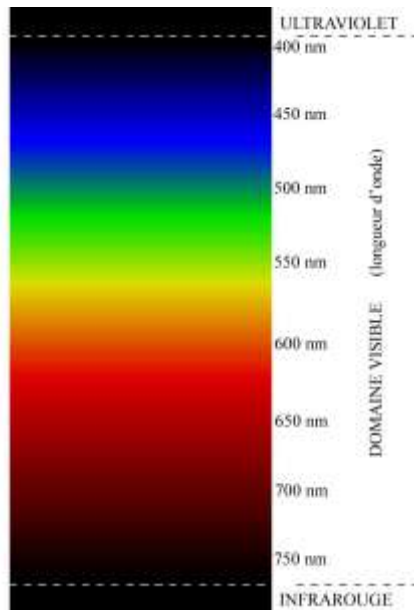


Illustration 32 : spectre de la lumière blanche.

(<http://physique-eea.ujf-grenoble.fr/intra/Organisation/CESIRE/OPT/photos.php>)

III, 3, 3, 2 – Désexcitation des atomes et libération de photons

Nous avons vu précédemment que les particules excitées ou ionisées retournent à leur état fondamental en restituant l'énergie acquise par le choc sous forme de photons, dans des longueurs d'onde caractéristiques de l'atome considéré.

Les principaux facteurs ayant de l'importance pour la couleur des aurores sont :

- l'énergie fournie lors des collisions. En effet, ces collisions vont causer des excitations ou ionisations plus ou moins importantes, et donc influencer la quantité d'énergie libérée.
- l'altitude dans l'ionosphère, puisque la concentration et la composition des gaz pouvant être excités ou ionisés changent suivant l'altitude.

Les émissions aurorales se font dans l'invisible (ultraviolet) et dans le visible. Elles ont généralement lieu entre environ 90 et 300 km d'altitude, mais elles peuvent se dérouler de 60 km jusqu'à 1000 km d'altitude selon l'activité solaire.

Le diazote et le dioxygène, représentant respectivement 79% et 20% de la composition de l'atmosphère, vont réaliser les principales émissions visibles. La couleur de ces émissions est donc dominée par les bandes moléculaires et les raies atomiques de l'azote, de l'oxygène et de leurs ions.

- A 200-300 km d'altitude : l'atome d'oxygène excité émet à une longueur d'onde de 630,0 et 636,4 nm, ce qui donne une couleur rouge à l'aurore.
- Entre 100 et 200 km d'altitude : les électrons frappent des molécules de diazote, qui vont ainsi s'ioniser (donner l'ion N_2^+) et émettre une lumière bleu-violette à une longueur d'onde de 391,4 et de 427,8 nm. Elles

émettent aussi un électron secondaire qui pourra exciter un atome d'oxygène, qui émettra lui-même une lumière verte à 557,7 nm pour retourner à l'état stable.

- En dessous de 100 km d'altitude : le diazote prédomine, l'émission est rouge sombre entre 650 et 680 nm, parfois bleue s'il s'agit de diazote ionisé.

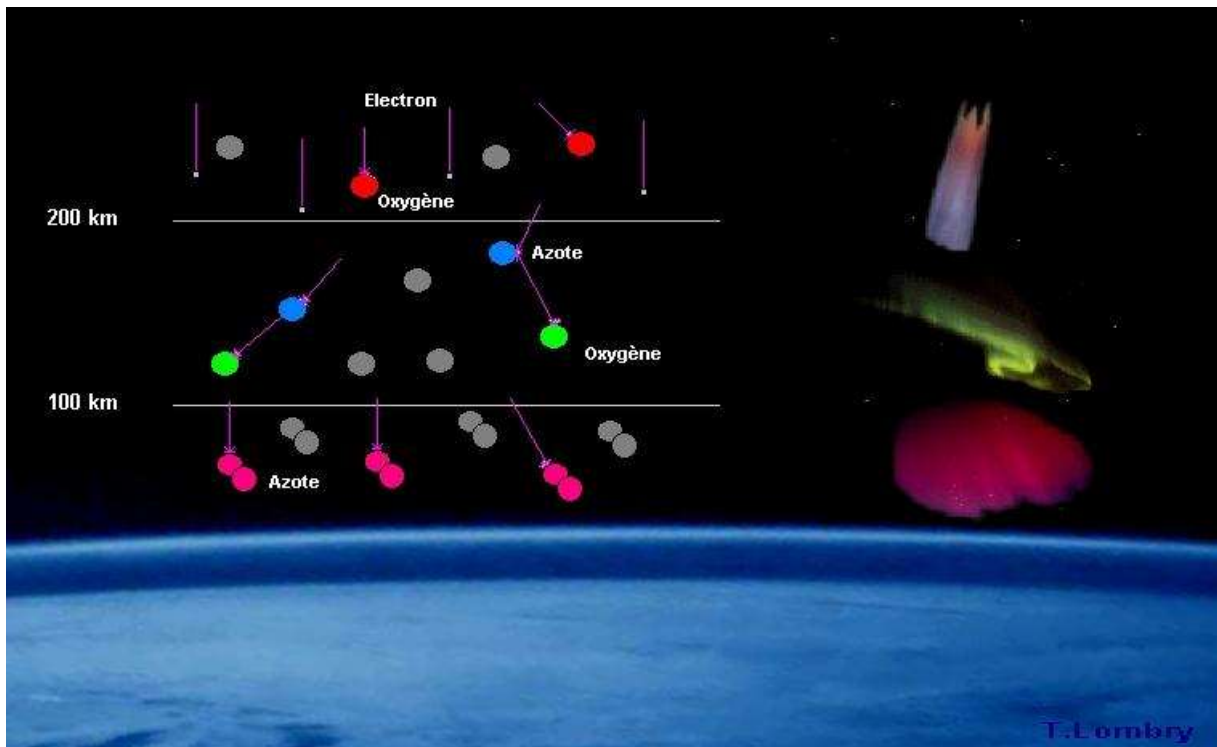


Illustration 33 : influence de l'altitude et de la composition de l'ionosphère sur la couleur des aurores.

(<http://www.astrosurf.com/luxorion/Images/tl-aurore.jpg>)

On trouve également dans le spectre des aurores des émissions de l'hydrogène à 656,2 nm (couleur rouge), 486,1 nm (bleu vert) et 434 nm (bleu) dans le visible, et 121,6 nm dans l'ultraviolet.

III, 3, 4 – Les différents types d'aurores

Les aurores se caractérisent par une importante diversité de formes, d'étendue et d'intensité d'émission, qui donnent des indices sur l'activité du champ magnétique terrestre. Cette variété fait qu'il est très difficile de les classer en différentes catégories. Généralement, on en distingue deux : les aurores diffuses et les aurores discrètes.

III, 3, 4, 1 – Les aurores diffuses

Les aurores diffuses présentent peu de contrastes, ont un éclat faible et sont assez étendues. A l'œil nu, on ne remarque pas toujours leur présence. Elles sont pourtant quasiment tout le temps présentes la nuit dans les régions aurorales. Elles sont dues à des précipitations de particules peu abondantes, d'énergie faible et correspondent donc plutôt à des périodes d'activité solaire faible.

Les aurores diffuses peuvent notamment prendre deux formes :

- des taches, zones de luminosité aurorale de faible étendue ayant l'apparence d'un nuage (cf. illustration 34).
- des voiles, zones lumineuses de grande extension couvrant parfois le ciel entier (cf. illustration 35).



Illustration 34 : aurore (tache)



Illustration 35 : aurore (voile)

(<http://www.banditdenuit.com/apropos22.htm>) (<http://www.banditdenuit.com/apropos22.htm>)

III, 3, 4, 2 – Les aurores discrètes

Contrairement à ce que pourrait suggérer leur nom, les aurores discrètes sont plus spectaculaires et plus brillantes que les aurores diffuses, mais moins fréquentes. Elles sont dues à des précipitations de plasma dont l'énergie est beaucoup plus importante que dans le cas des aurores diffuses, et de ce fait, elles correspondent plutôt à des périodes de forte activité solaire.

Les aurores discrètes présentent de nombreuses formes :

- des arcs, courbes qui s'étendent d'un bout à l'autre de l'horizon (cf. illustration 36).



Illustration 36 : arc
(<http://www.banditdenuit.com/apropos22.htm>)

- des bandes, arcs avec des rayons verticaux parallèles les uns aux autres et présentant des replis ; leur base est lumineuse mais leur sommet est flou (cf. illustrations 37 et 38).



Illustration 37 : bandes
(<http://www.banditdenuit.com/apropos22.htm>)



Illustration 38 : bandes
(http://www.jp-petit.org/Divers/Arme_meteorologique/aurore_boreale_artificielle.htm)

- des couronnes, situées au zénith [point à la verticale de l'observateur situé au-dessus de la tête] projetant des faisceaux de lumière dans toutes les directions (cf. illustration 39).



Illustration 39 : couronne
(<http://www.banditdenuit.com/apropos22.htm>)

- des raies, traits de lumière alignés et suspendus verticalement (cf. illustration 40).



Illustration 40 : raies
(<http://aurore.polaire.free.fr/Documents/Observation.htm>)

- des draperies, formes faisant penser à un drap qui s'agite au gré du vent (cf. illustration 41).



Illustration 41 : draperies
(<http://aurore.polaire.free.fr/Documents/Observation.htm>)

CONCLUSION

La question que nous nous étions posée était : « en quoi le magnétisme joue-t-il un rôle dans l'apparition des aurores polaires ? »

Sans magnétisme solaire, il n'y aurait pas de vent solaire, donc pas de perturbation de la magnétosphère terrestre et pas d'aurores polaires.

De même, le champ magnétique terrestre est indispensable à la formation de ces phénomènes qui illuminent les cieux nocturnes, d'abord, car la magnétosphère protège de la violence du vent solaire l'atmosphère où apparaissent les aurores, ensuite, parce que ce bouclier laisse tout de même passer une certaine quantité de plasma, que le champ magnétique laisse pénétrer au niveau des cornets polaires, où les aurores sont les plus fréquentes.

L'apparition des aurores polaires soulève encore bien des questions. Lors des pics d'activité solaire, des perturbations importantes sur les réseaux électriques et dans les communications apparaissent. Une meilleure compréhension de l'ensemble des phénomènes en cause permettra peut-être de trouver des solutions à ces problèmes.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) RICHOUX Bernard, BERNARD Lionel, CHAPPUIS Georges, LEFEBVRE Olivier, MONTANGERAND Michel, NEISS Marc, ROUSSEAU Céline, SALVETAT Christiane. *Physique 1ère S*. Nathan, 2007. Collection Sirius.
- 2) Livre de cours de physique en 1^{ère} S. Belin. Collection Parisi.
- 3) DANIEL, Jean-Yves, Sciences de la Terre et de l'Univers.
- 4) Revue du Palais de la Découverte n°248, mai 1997.
- 5) BURCH, James. *Ejections coronales et tempêtes spatiales*. Pour la Science, n° 284, juin 2001, p. 46-53.
- 6) LANTOS, Pierre, AMARI, Tahar. *Eruptions solaires et météorologie de l'espace*. Pour la Science, n° 284, juin 2001, p. 54-61.
- 7) ORLIAC, Anne. *Aurores boréales. Leur origine de mieux en mieux cernée*. Science & Vie, n° 1095, décembre 2008, p. 92-97.
- 8) BOURDET, Julien. *Soleil*. Ciel & Espace, hors-série n° 15, octobre 2010, p. 14-21.
- 9) BRUNIER, Serge. *Comment se forment les aurores boréales ?* Science & Vie, n°1027, avril 2003, p. 152-155.
- 10) MOTTEZ, Fabrice. *L'environnement spatial de la Terre : la magnétosphère*.
- 11) Encyclopaedia Universalis, édition 1985, articles « Aurore Polaire », « Magnétosphère terrestre », « Soleil ».
- 12) Encyclopédie Larousse, article « Aurore polaire ».
- 13) COUDRY, Sabrina. *Aurores boréales*. Découverte, n° 366, janvier-février 2010, p.38-45.
- 14) Science et Vie n° 1119, décembre 2010.

SITOGRAPHIE

- 1) www.phy6.org
- 2) Article "La belle aurore" sur le site [Astrosurf](#)
- 3) Partie 14 (Les formes aurorales) du site [Le secret des aurores boréales](#)
- 4) Le site du [LUTH](#)
- 5) Le site de la [NASA](#)
- 6) Partie II sur le Soleil du site : <http://system.solaire.free.fr/sommaire.htm>.
- 7) Article « La belle aurore » sur le site <http://www.astrosurf.com/luxorion/menu-science.htm>.
- 8) Partie 14 (Les formes aurorales) du site <http://www.banditdenuit.com/apropos22.htm>.
- 9) http://www.luth.obspm.fr/~luthier/mottez/intro_physique_spatiale/sommaire.html
- 10) <http://aurore.polaire.free.fr/Documents/Observation.htm>.
- 11) Site du Palais de la Découverte : <http://www.palais-decouverte.fr/index.php?id=accueil2>.
- 12) Site commun du Palais de la Découverte et de la Cité des Sciences : <http://www.universcience.fr/fr/accueil/>
et le site vidéo : <http://www.universcience.tv/>.
- 13) http://ds9.ssl.berkeley.edu/themis/mission_models.html