

ROBY Jessy
GUERRIER Léa
ABDELHAMID Janna
1S7

TPE année 2015-2016

Lycée JOFFRE MONTPELLIER

Matière et formes

Thème : Transformation de la matière

Sous thème : Les aurores polaires

Problématique : Comment expliquer la formation ainsi que la répartition des aurores polaires sur Terre ?

professeurs encadrants : Isabel SERVANTON (professeur de physique-chimie)
Marianne GALTIER (professeur de svt)

Remerciements :

Avant toute chose nous souhaitons remercier les personnes qui nous ont accompagnées et ont contribué à l'enrichissement de nos connaissances dans le thème que nous avons choisi pour nos travaux personnels encadrés.

Tout d'abord merci à Mme GALTIER, notre professeur de SVT, qui a su répondre à nos questions quand nous en avons et encadrer notre travail. Nous remercions également Mme SERVANTON, notre professeur de physique-chimie, qui a su nous guider pendant toute la durée de ce travail et nous a notamment aidées dans l'expérience que nous avons choisi de réaliser.

Nous remercions aussi Jean LILENSTEN qui est astronome spécialiste des aurores polaires, pour avoir consacré un peu de son temps à répondre à nos interrogations ainsi qu'à nous transmettre sa passion pour le sujet traité.

Enfin, d'une manière plus générale, nous tenions à remercier toutes les personnes ayant contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail.

SOMMAIRE :

Introduction

I. Qu'est ce qu'une aurore polaire ?

- a) Formation d'une aurore polaire
- b) Contact avec Jean LILENSTEN

II. Du soleil à la magnétosphère

- a) Les vents solaires
- b) Le magnétisme terrestre

III. Forme et lumière

- a) La forme du magnétisme (expérience et équation de la trajectoire)
- b) Dans l'atmosphère

Conclusion

Annexe : réponses aux questions posées à J. LILENSTEN

Sources bibliographiques

Introduction :

Les aurores polaires sont des manifestations lumineuses qui peuvent être visibles au niveau des pôles ; ce sont des lueurs caractérisées par des sortes de voiles qui prennent l'aspect d'une lumière phosphorescente généralement de couleur verte. (Certaines personnes l'appellent même "orages de lumière"). Elles sont appelées aurores boréales si elles se manifestent au pôle Nord et aurores australes si elles se manifestent au pôle Sud.

Les aurores tirent leur nom de la déesse romaine de l'aube, Aurore, en raison de leur ressemblance avec la première lueur du jour.

Comme en témoignent les écrits d'Aristote, de Plin ou encore de Sénèque, les Grecs et les Romains connaissaient déjà les aurores polaires. Quand Anaximène aperçut ce qu'il décrit comme « des nuages de gaz enflammé » en 593 avant J.-C., il s'agissait très certainement d'une aurore boréale.

Au Xe siècle des astronomes chinois auraient remarqué à leur tour la présence de ces tâches colorées dans le ciel.

C'est Galilée qui, au XVIIe siècle, aurait été le premier à utiliser l'expression « aurore boréale » pour désigner ce phénomène sans y avoir encore trouvé l'explication. Il avait aussi remarqué les taches solaires (dont le champ magnétique est très élevé).

Plus tard, une trentaine de théories scientifiques ont tenté d'expliquer, sans succès, le phénomène des aurores. Depuis les 30 dernières années, les instruments de mesure par satellite ont permis de faciliter la recherche sur les aurores polaires, les scientifiques étudient ce phénomène qui fascine encore de nos jours et ont trouvé des explications rationnelles et scientifiques. Ainsi ils ont pu expliquer la formation des aurores polaires.

Dans ce TPE, nous allons nous intéresser à la question des aurores, plus particulièrement à leur provenance qui nous permettra ensuite de comprendre comment les aurores se répartissent sur Terre.

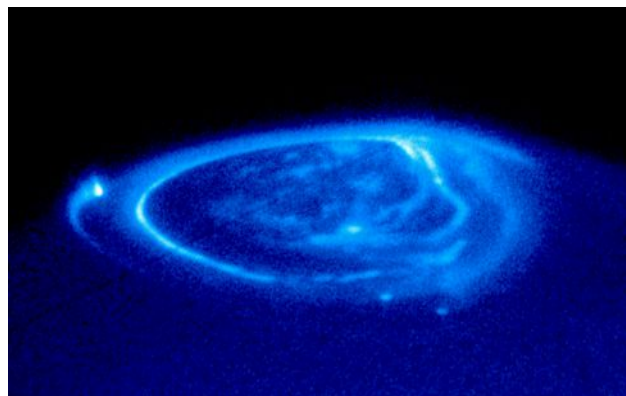
I. Qu'est ce qu'une aurore polaire ?

a) Formation d'une aurore polaire

Lors des éruptions solaires importantes, le champ magnétique terrestre et l'atmosphère terrestre sont complètement bouleversés : l'interaction de particules solaires à haute énergie et du champ géomagnétique de la Terre provoque l'embrassement du ciel au niveau des pôles. En effet, les gaz et les rayons lumineux en provenance du soleil (transportés par le vent solaire) en arrivant aux portes de la Terre, sont en partie bloqués par le champ magnétique terrestre (magnétosphère) avant de rentrer dans la haute atmosphère terrestre et « d'exciter » les minuscules atomes et molécules contenus dans la haute atmosphère. Les atomes et molécules excités émettent des photons (lumière), ce qui crée cet incroyable spectacle de lumière.

Sa présence sur Terre peut s'expliquer notamment par l'existence de notre atmosphère ainsi que du champ magnétique.

Ce phénomène n'est d'ailleurs pas exclusivement terrestre. Il se produit dans l'atmosphère d'autres planètes, comme Jupiter, Saturne, Uranus ou encore Mars (qui ne possède par ailleurs pas un champ magnétique global). Cette information a permis d'obtenir de précieux renseignements quant à la composition de l'atmosphère de ces planètes.



*Aurore polaire visible sur Jupiter
(observée par le télescope spatial HUBBLE)*

b) Contact avec Jean LILENSTEN

Dans le cadre des TPE nous avons pris contact avec Jean LILENSTEN qui est un astronome et planétologue français travaillant actuellement à l'institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble.

Si nous avons souhaité prendre contact avec lui, c'est entre autre raison, parce que nous avons vu qu'il avait inventé avec son équipe une expérience, la *Planeterrella*, qui permet de simuler les aurores polaires. Au début de notre TPE nous hésitions à réaliser l'expérience de la *Terrella* (sur laquelle il s'est basé pour élaborer la sienne), et finalement nous avons plutôt décidé de faire la bobine de Helmholtz. Sans réaliser l'expérience, communiquer avec lui nous a quand même permis d'en comprendre un peu plus sur son invention.

De plus, Jean LILENSTEN a participé à plusieurs campagnes d'explorations sur le phénomène, notamment en Laponie. Pour nous c'était donc la personne la mieux placée pour nous éclairer et échanger sur le sujet.

Nous avons donc eu la chance de pouvoir poser nos questions à Jean LILENSTEN, qui nous a répondu. Cet échange nous a réellement enthousiasmées et permis d'obtenir des réponses à certaines questions que l'on se posait, en rapport ou non avec la problématique de notre TPE.

(Les questions et réponses se trouvent dans l'annexe de notre compte-rendu).

II. Du soleil à la magnétosphère

a) Les vents solaires

L'atmosphère externe du Soleil, appelée couronne, s'échappe en permanence vers l'espace interplanétaire sous la forme d'un vent: le vent solaire.

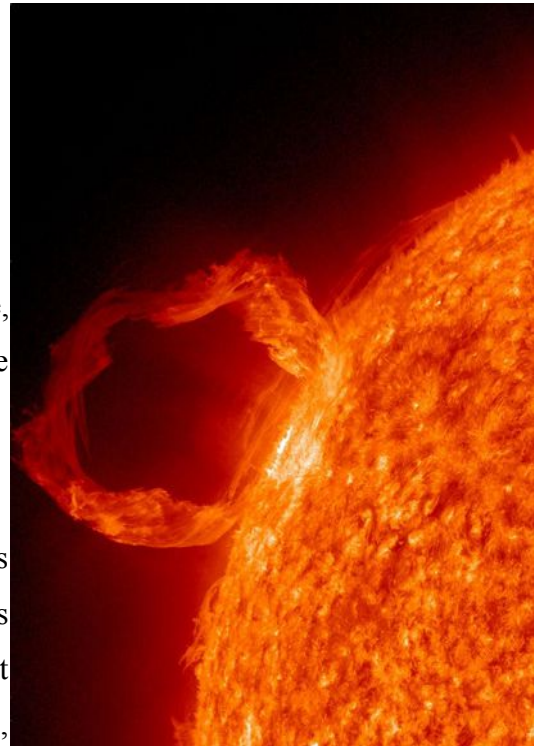
Le vent solaire et la couronne, dont la densité est très faible, sont des plasmas (gaz ionisé) composés principalement d'électrons et de protons. Le vent solaire correspond au bouillonnement externe du soleil,

il est en permanence éjecté dans le milieu interplanétaire (1 à 2 millions de tonnes de matière par secondes sont émises).

Dans le système solaire, la composition du plasma solaire est identique à celle de la couronne solaire: 73% d'hydrogène et 25% d'hélium. De plus, dans la couronne solaire (dont la température varie entre 1 et 3 millions de kelvins) les atomes d'hydrogène sont ionisés, ce qui leur confère une charge électrique. Ce plasma brûlant est ensuite expulsé à une vitesse considérable. La vitesse de vent varie entre 400 et 800km/s, la moyenne étant de 450km/s.

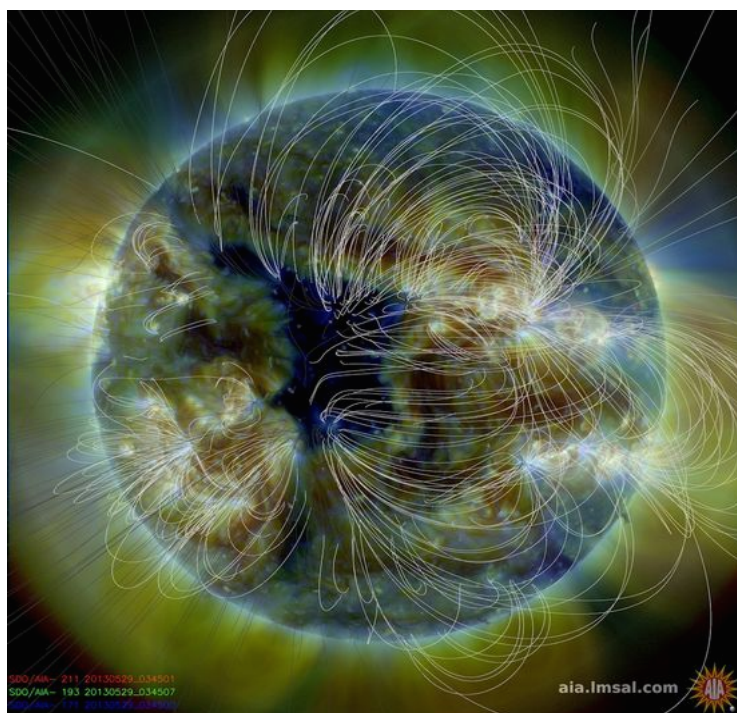
Néanmoins, il existe deux types de vents solaires, des vents rapides (800 à 900km/s) , peu denses, qui émanent des trous coronaux, visibles sur la couronne , et des vents plus lents (400km/s) , plus denses, situés principalement autour du plan de l'équateur solaire en période de minimum d'activité solaire.

L'activité solaire varie selon un cycle de 10 à 13 ans. Après une période de maximum solaire succède une autre pendant laquelle l'activité solaire est à son minimum. Cette activité influe sur le nombre de tâches solaires, visibles sur la photosphère (première couche de l'atmosphère du soleil). Les tâches solaires sont des régions témoignant du magnétisme solaire, plus ou moins actif pendant cette période.

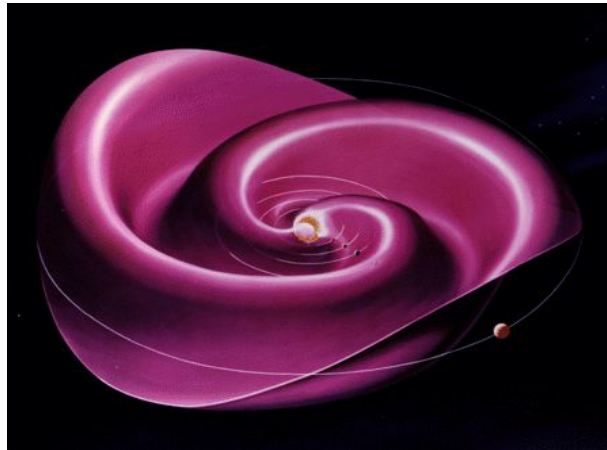


Les vents solaires sont éjectés en permanence du soleil. L'endroit d'où s'échappe le plasma s'appelle un trou coronal (zone sombre à la surface du soleil). En effet la couronne contient un plasma très chaud dont la température dépasse un million de kelvin. Par conséquent, les particules de ce plasma sont animées d'une vitesse d'agitation thermique. Celle des électrons devient supérieure à leur énergie de liaison gravitationnelle avec le Soleil et ils peuvent donc échapper à son emprise. Les électrons ayant une charge électrique négative, ils attirent les protons et les ions chargés positivement et les entraînent avec eux dans l'espace interplanétaire.

Plus violentes, les éruptions solaires qui se produisent à la surface de la photosphère et sont projetées au travers de la couronne, trouvent leur origine dans le champ magnétique du soleil. En effet, du fait de la chaleur extrême, les protons ainsi que les électrons sont en mouvement constant. Les électrons sont négligeables tandis que les protons, plus lourds trouvent parfois un mouvement d'ensemble, ils créent alors leur propre champ magnétique (le magnétisme étant du à de l'électricité qui bouge). Parfois ce champ magnétique se structure, un pôle nord ainsi qu'un pôle sud apparaissent et sont reliés par une ligne de champ magnétique. Cette ligne de champ appelée protubérance piège la matière dense de l'atmosphère solaire. Les protubérances se soulèvent et s'écartent du Soleil, pouvant s'élever à des altitudes de plusieurs centaines de kilomètres. Il arrive que la force de l'élévation brise la boucle magnétique et libère alors le plasma, c'est le phénomène d'éruption solaire. La plus violente succession d'éruptions solaires, appelée dans ce cas flare ou encore super flare s'est produite en 1859 et a été à l'origine de beaucoup de perturbations de notre champ magnétique terrestre. Le phénomène de flare se produit en moyenne tous les 200 ans.



Le vent solaire subit l'influence du champ magnétique solaire (à proximité du Soleil, là où le champ magnétique est fort), on dit que les lignes de champ magnétique sont gelées dans le plasma. Son mouvement rétroagit avec les lignes de champ, le vent solaire les déforme (là où le champ magnétique est faible). À cause de la combinaison du mouvement radial des particules et de la rotation du Soleil, les lignes de champ magnétique solaires forment une spirale : la spirale de Parker. Le vent solaire, entraîné par les lignes de champ magnétique, épouse la forme de cette dernière.



La zone d'influence du vent solaire est appelée héliosphère, elle est en forme de bulle allongée dans l'espace.

Les vents solaires imposent une pression vers l'extérieur du système solaire et repoussent le flux de particules similaires provenant de l'espace lointain.

La limite de l'héliosphère, appelée héliopause, n'est pas connue avec précision car il est probable qu'elle varie et soit influencée par certains phénomènes comme les éruptions solaires par exemple. Du moins nous savons qu'elle s'étend bien plus loin encore que l'orbite de Pluton.

Les vents solaires sont envoyés dans le milieu interplanétaire et mettent deux à quatre jours avant d'atteindre la Terre. Là, ils sont arrêtés par la magnétosphère, avant de rentrer dans la haute atmosphère terrestre et, en interagissant ensuite avec les particules de l'atmosphère, ils émettent alors la lumière à l'origine des aurores.

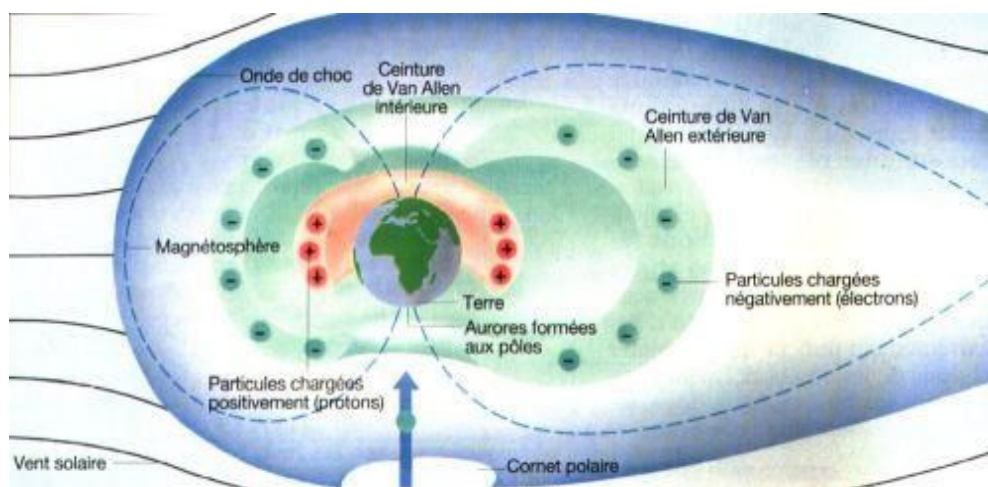
b) Le magnétisme terrestre

Les pôles magnétiques nord et sud de la Terre sont de puissants aimants. Ils jouent un rôle déterminant dans la formation des aurores polaires : ils attirent les particules du soleil, tout comme la magnétosphère, aussi appelée champ magnétique. La magnétosphère agit comme un bouclier protecteur pour arrêter les vents solaires. Du fait de sa rencontre avec le vent solaire, la magnétosphère qui devrait ressembler à un dipôle se déforme : elle est comprimée du côté diurne alors qu'elle s'étend à de grandes distances du côté nocturne. Il faut savoir que le champ magnétique de la Terre est très mobile et déformable.

Le champ magnétique permet de faire dévier le vent solaire, protégeant notre atmosphère terrestre. Suite à de grands et puissants impacts du vent solaire avec la magnétosphère, de grandes quantités de particules solaires seront destinées à rentrer sur la Terre, elles la contourneront et reviendront lentement par l'arrière pour suivre les lignes des champs magnétiques du nord et du sud.

La limite de l'influence du champ magnétique terrestre s'appelle la magnétopause, elle constitue la frontière entre la magnétosphère, dominée par le champ magnétique de la planète, et le milieu interplanétaire, dominé par le vent solaire. Cette frontière empêche la majeure partie du vent solaire de pénétrer dans l'environnement de la planète.

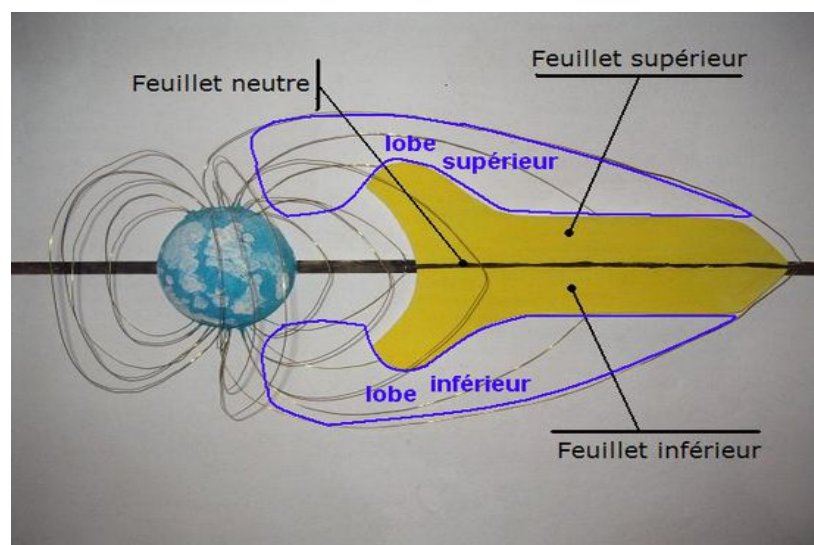
Le champ magnétique est plus fort près des pôles, où les lignes de force convergent, le point le plus faible se trouve donc à l'équateur.



Avant d'arriver à la magnétosphère, le vent solaire est très rapidement ralenti et chauffé dans une région appelée le choc. Les particules alors ralenties contournent la magnétosphère dans une zone appelée magnétogaine qui englobe celle-ci. La magnétogaine est une région où le plasma est turbulent, on y mesure une grande agitation électromagnétique. Le plasma y est plus dense que dans le vent solaire en amont du choc, ce qui fait que les particules sont encore plus ralenties.

Comme nous pouvons le vérifier tous les jours à l'aide d'une boussole, la Terre est pourvue d'un champ magnétique. Celui-ci trouve son origine dans les champs électriques qui circulent dans la partie visqueuse du noyau de fer de notre planète. L'axe du champ magnétique n'est pas aligné sur l'axe de rotation, mais incliné d'environ 11 degrés ce qui explique que le pôle nord magnétique se trouve au Canada, relativement loin du pôle nord géographique défini par l'axe de rotation.

En effet, après être passées par la magnétogaine, au-dessus des cornets polaires qui sont les zones où le champ magnétique ne protège pas la Terre, et après avoir contourné la Terre, les particules du vent solaire arrivent au niveau de la queue de la magnétosphère (du côté nocturne). Une grande partie du volume de la queue est occupée par deux grands faisceaux de champ magnétique dans lesquelles le plasma est très peu dense. Ils sont appelés les lobes de la queue. Les particules solaires attirées par le champ magnétique envahissent les lobes à une certaine distance de la Terre (jusqu'à 200 rayons de la Terre). A cette distance, une grande quantité de plasma pénètre dans les lobes.

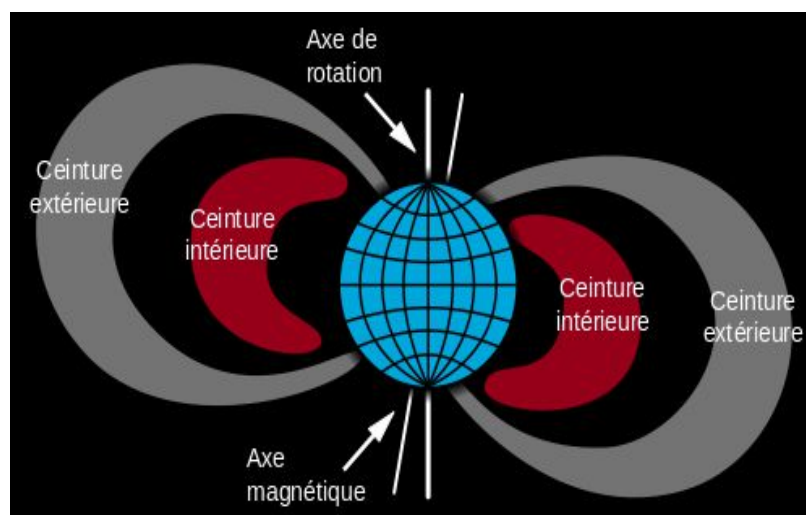


La séparation entre les deux lobes est appelée "feuillet plasmatisque". C'est une couche de champ magnétique plus faible dans laquelle le plasma est plus dense. Elle se trouve au niveau de l'équateur terrestre. Certaines particules du vent solaires arrivées dans les lobes vont s'y déplacer. De plus, le très grand nombre de particules arrivées sur les cornes polaires vont aussi être projetées dans le feuillet de plasma, ce qui est dû au rapprochement des lignes de champ magnétique dans ces régions.

Principalement à l'occasion de grandes éruptions solaires, le vent solaire pénètre aussi du côté jour de la magnétosphère. En effet, le bouclier est alors forcé et certaines particules arrivent à pénétrer. Par la suite, les particules se dirigent vers la plasmasphère qui est la zone interne de la magnétosphère au-dessus de l'ionosphère, ainsi que dans le feuillet de plasma.

Les particules solaires s'accumulent donc à divers endroits : dans les feuillets de plasma, ainsi que dans les lobes, et dans la plasmasphère.

Il existe néanmoins une zone dans laquelle certaines particules du vent solaire se concentrent, elle est nommée « ceinture de Van Allen ». Cette ceinture est constituée de deux zones distinctes : la ceinture intérieure et la ceinture extérieure. La première, située entre 70km et 10 000km d'altitude est constituée essentiellement de protons à haute énergie provenant du vent solaire piégé dans la magnétosphère. La seconde, plus vaste, se déploie entre 13 000km et 65 000km d'altitude et est constituée d'électrons également à haute énergie.

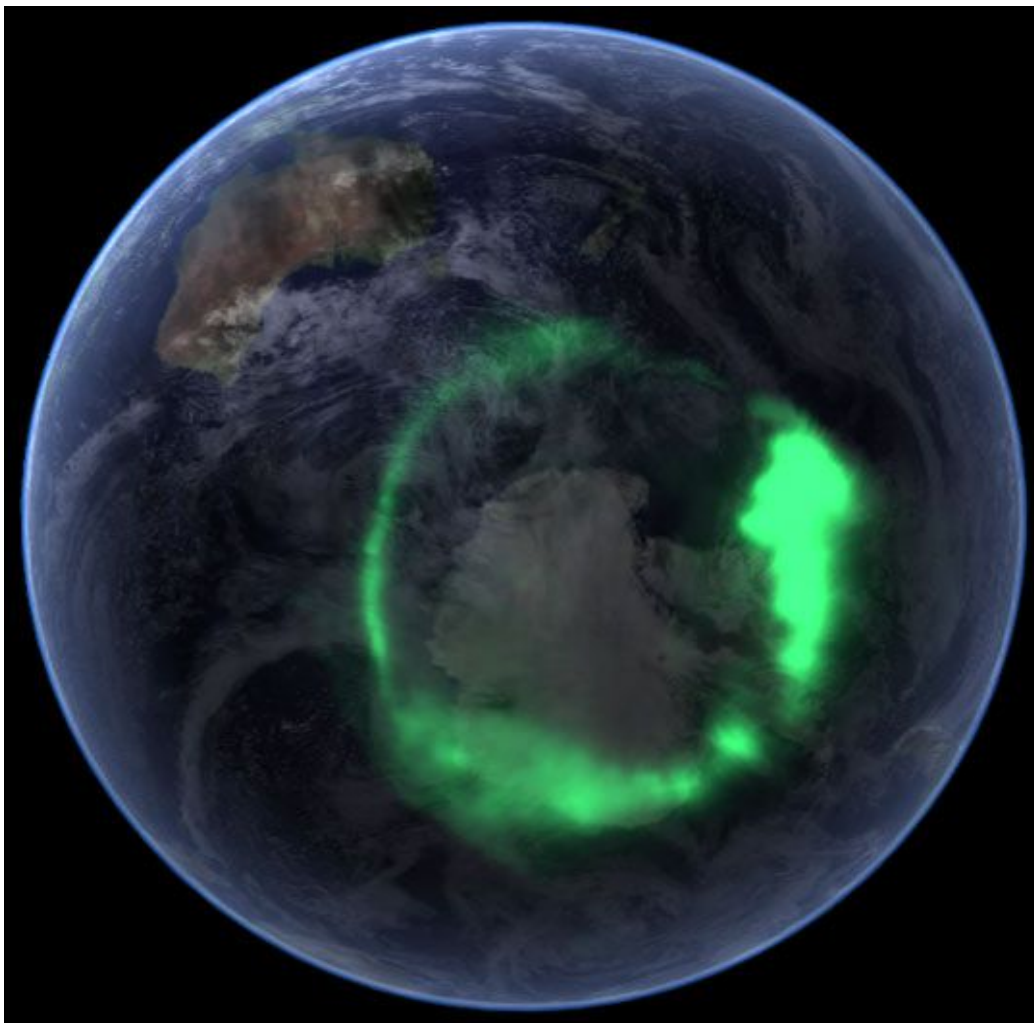


Les particules des deux ceintures se déplacent en permanence à grande vitesse entre les parties nord et sud de la magnétosphère. Leur interaction avec les molécules de la haute atmosphère terrestre est parfois à l'origine des aurores polaires.

Les particules solaires attirées par les pôles nord et sud de la Terre suivent les lignes du champ magnétique (peu denses) qui a pour propriété d'accélérer celles-ci jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de km/s leur permettant d'atteindre une basse altitude dans l'atmosphère. Environ 10% des particules solaires traversent l'atmosphère et rencontrent les molécules de celle-ci.

Les aurores alors créées forment un arc auroral s'étendant d'une latitude de 50° à 65° en temps de faible activité solaire.

L'indice KP permet de déterminer la pression que subit le champ magnétique terrestre lors de l'arrivée des vents solaires et ainsi le degré de latitude où se produisent les aurores polaires. Il peut prendre des valeurs comprises entre 1 et 9, 1 étant l'indice d'une aurore polaire invisible ou très faible et 9 celui des aurores polaires lors des flares. Plus l'indice est élevé, plus l'arc auroral s'étend à des latitudes basses (comprises entre 30° et 40°).



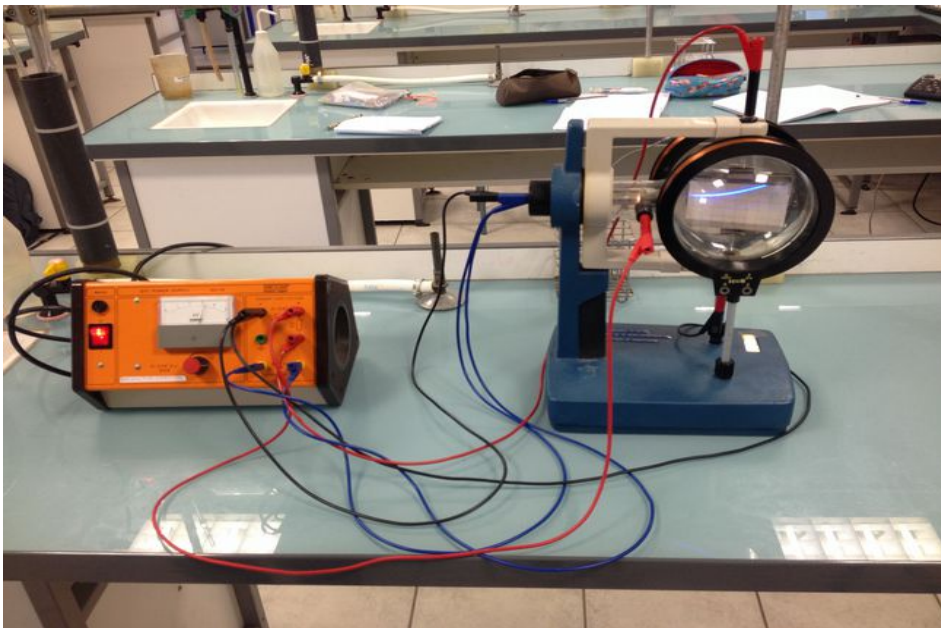
III. Forme et lumière

a) La forme du magnétisme

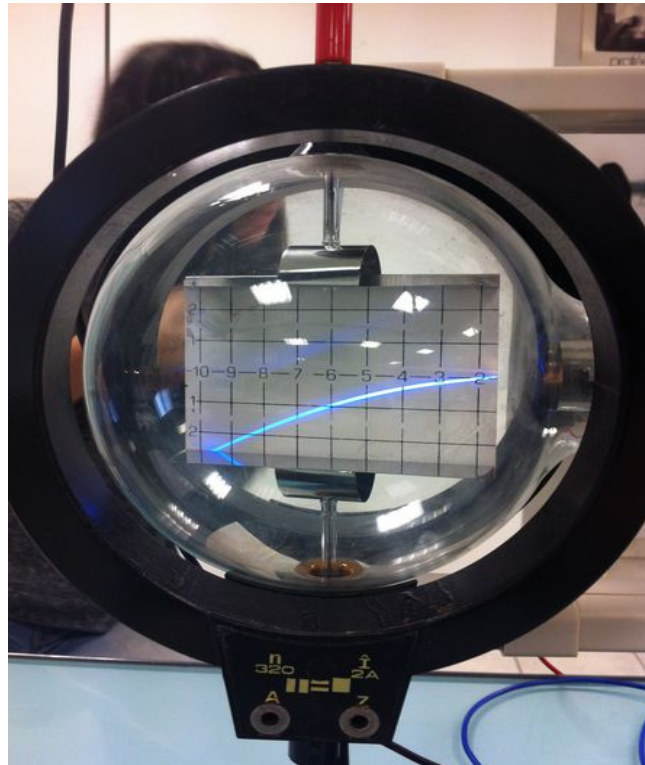
L'expérience que nous avons réalisée consiste à déterminer la forme du magnétisme terrestre. Pour cela nous avons utilisé les bobines de Helmholtz.

Les bobines de Helmholtz sont un dispositif constitué de deux bobines parallèles de même rayon, placées l'une en face de l'autre à une distance égale à leur rayon. Lorsque l'on fait circuler du courant électrique dans ces bobines, un champ magnétique se crée dans leur voisinage.

En envoyant un faisceau d'électrons (grâce à un canon à électrons) dans le champ magnétique créé, nous pouvons alors mettre en évidence leur trajectoire dans un champ magnétique (ici celui de la Terre).



Afin de réaliser cette expérience nous avons relié l'alimentation à la bobine grâce à des fils conducteurs. Nous avons réglé le générateur à 5Kv et l'avons allumé en faisant attention à ne pas s'électrocuter avec la bobine. Nous avons branché les fils de part et d'autre de la bobine en définissant nous mêmes les pôles positif et négatif. Nous avons ensuite échangé la place des deux pôles. Nous avons pu alors observer la direction du faisceau d'électrons qui diffère en fonction de la place des pôles magnétiques.

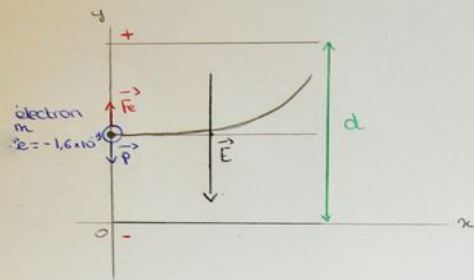


Observations : nous avons pu observer le faisceau d'électrons et en déduire l'équation de la trajectoire du magnétisme.

Étant donné que nous avons fait des recherches préliminaires sur d'autres expériences dont la Planeterra, nous (Jessy et Léa) pensions voir une simulation d'aurore polaire et non pas un faisceau d'électrons alors que Janna le savait déjà et n'a donc pas été surprise.

Nous avons observé en faisant cette expérience que le faisceau d'électrons se dirigeait vers le pôle positif étant donné que l'électron est attiré par la charge opposée.

Équation de la trajectoire :



$$P = m \times g = 9,1 \times 10^{-31} \times 10 \\ = 10^{-29} \text{ N} \rightarrow \text{négligeable}$$

2^e Loi de Newton:

$$\sum \vec{F}_{i \text{ ext}} = m \vec{a}$$
$$F_e = m \vec{a}$$
$$e \vec{E} = m \vec{a}$$
$$P = \frac{e}{3} \vec{E}$$

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} a_x = 0 \\ a_y = -\frac{e}{m} E \end{pmatrix}$$

Par définition $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_x = k_1 \\ v_y = -\frac{e}{m} Et + k_2 \end{pmatrix}$$

On cherche k_1 et k_2 , on se place à $t = 0$ (conditions initiales)

$$\vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_{0x} = k_1 = v_0 \\ v_{0y} = k_2 = 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_x = v_0 \\ v_y = -\frac{e}{m} Et \end{pmatrix}$$

Par définition :

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} x = v_0 t + k_3 \\ y = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} Et^2 + k_4 \end{pmatrix}$$

On cherche k_3 et k_4 , on se place à $t = 0$

$$\vec{OM}_0 \begin{pmatrix} x_0 = 0 \\ y_0 = \frac{1}{2} d \end{pmatrix}$$

$$\vec{OM} \begin{pmatrix} x = v_0 t \\ y = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} E t^2 + \frac{1}{2} d \end{pmatrix}$$

Equation de la trajectoire :

$$y = f(x)$$

$$t = \frac{x}{v_0}$$

$$y = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} E \frac{x^2}{v_0^2} + \frac{1}{2} d$$

$$y = ax^2 + b$$

\Rightarrow Parabole

Grâce à nos calculs, nous avons pu déterminer la forme parabolique du magnétisme terrestre. Cette expérience a confirmé notre hypothèse concernant la forme du magnétisme.

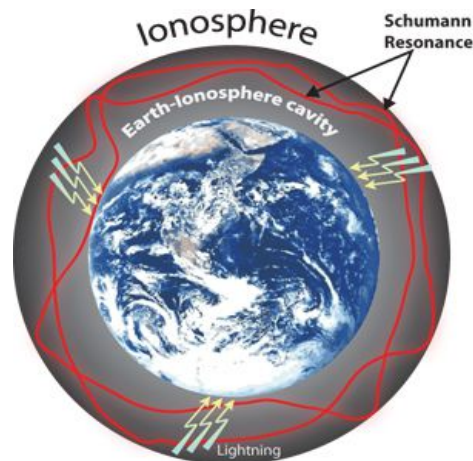
b) Dans l'atmosphère

Des particules d'énergie élevées trouvant souvent leur origine des vents solaire arrivent sur Terre. Ces particules précipitées dans les aurores polaires sont principalement des électrons. Lorsqu'elles atteignent quelques centaines de kilomètres d'altitude, elles rencontrent les hautes couches de l'ionosphère terrestre, nettement plus denses et plus froides que la magnétosphère.

Les conditions sont alors propices aux collisions.

La lumière des aurores provient des collisions entre des particules rapides arrivant de la magnétosphère et les atomes et ions de l'ionosphère.

L'ionosphère est l'atmosphère supérieure d'une planète, due à son état de conductibilité électrique qui est caractérisé par une ionisation partielle des gaz. L'ionosphère terrestre se situe entre environ 80km et 500 km d'altitude.



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 ainsi que l'ionisation de ces derniers, c'est-à-dire qu'un ou des électrons de ces atomes sont expulsés sous la force de l'énergie transmise (photons) par les particules du plasma.

En arrivant dans l'atmosphère terrestre, les particules solaires entrent en collision avec les atomes et les molécules présentes dans celle-ci.

Les atomes d'azote et d'oxygène présents sont alors percutés par les particules solaires chargées et gagnent soudainement de l'énergie qui les excite. Ils regagnent rapidement leur état initial en restituant l'énergie acquise sous la forme de photons lumineux. C'est l'ensemble de tous ces rayonnements lumineux engendrés par les collisions qui confère aux aurores polaires leur éclat et leurs couleurs (essentiellement bleue, verte et jaune)

Ces collisions impliquent l'arrivée des particules solaires par le vent solaire. Ces protons, électrons et ions vont heurter l'azote, l'oxygène et l'hydrogène présents.

L'altitude, la vitesse d'arrivée et l'excitation des éléments en cause ont un impact dans les résultats observés.

Chaque gaz atmosphérique excité émet une couleur différente. La couleur aurorale la plus brillante et la plus commune, un vert-jaune brillant, émane d'atomes d'oxygène situés à une

altitude d'environ 100km. Plus rares, les aurores rouges se développent à partir d'atomes d'oxygène frappés par des particules solaires très énergétiques à très haute altitude (environ 300km). Enfin les molécules de nitrogène ionisées produisent des lumières bleues tandis que les molécules de nitrogène électriquement neutres créés des aurores rouges-violacées.



Les différentes formes des aurores polaires:

a) L'arc : L'arc s'étend d'un bout à l'autre à l'horizon comme une simple courbe. La longueur d'un arc peut atteindre 1 000 kilomètres alors que son épaisseur est inférieure à 5 kilomètres. C'est un modèle typique des périodes de basse activité solaire.

b) La bande : C'est un arc qui s'étend à l'horizon. Les rayons verticaux sont proches les uns des autres et sont parallèles. La bande présente des formes de plis, avec des éclats de lumière à sa base et des luminosités uniformes ou floues à son sommet. C'est un modèle fréquent dans les périodes d'activités solaires moyennes à élevées.

c) Le rideau : Le rideau présente des formes impressionnantes et magnifiques. Les rayons occupent la plus grande partie du ciel, avec des vagues d'ondulations et des formes spiralées. L'intensité de la lumière est instable. C'est un modèle d'activité solaire forte.

d) La couronne : La couronne présente une explosion de rayons lumineux . Elle est au zénith et s'ouvre dans toutes les directions. La couronne a des mouvements et des variations très rapides comme un passage d'étoiles filantes rapides. Ces formes sont typiques des périodes d'activité solaire élevées.

e) Les piliers : Les piliers sont des traits de lumière brillante, alignés et verticaux. Les variations se produisent rapidement. La longueur des rayons peut être de plusieurs centaines de kilomètres. C'est un modèle des périodes d'activité solaire élevées.

Les aurores peuvent aussi prendre d'autres formes comme le voile, la tâche et le miroir.

Conclusion :

Les aurores polaires sont des phénomènes qui tirent leur origine du soleil et de son activité, plus précisément de l'interaction entre les vents solaires et la magnétosphère terrestre qui guide les particules solaires vers l'atmosphère. Lorsque ces particules rencontrent l'ionosphère terrestre, elles excitent les molécules qui émettent des photons et ainsi donne leurs couleurs aux aurores et la visibilité du phénomène.

Les aurores polaires sont visibles sur Terre au niveau des arcs auroraux (notamment en Laponie, en Islande ou encore au Canada) qui se situent dans des zones proches des pôles magnétiques. Néanmoins, l'observation de celles-ci dépend de l'activité du soleil, qui envoie plus ou moins de vents solaires. Lors de son maxima, les éruptions solaires bouleversent le champ magnétique terrestre, les aurores s'étendent donc jusqu'à des zones où elles ne sont habituellement pas observables.

L'impact que le vent solaire a sur la Terre joue donc un rôle fondamental dans la création, l'intensité, et sur les zones où sont visibles les aurores.

Annexe :

Nos questions-réponses avec Jean LILENSTEN :

1) En quoi les changements climatiques peuvent-t-ils influencer l'apparition/ la disparition des aurores polaires ?

Les changements climatiques n'influencent en rien l'apparition des aurores étant donné qu'ils n'influencent pas le soleil qui est à l'origine de leur apparition. Néanmoins, les aurores polaires se produisant à plus de 80km d'altitude, c'est à dire au-dessus des nuages, elles peuvent être cachées par ceux-ci, on les verra donc moins.

2) Dans quels pays sont-elles le plus fréquemment visibles et les plus impressionnantes selon vous ?

Les aurores se produisent sur une couronne (arc auroral). Étant donné que le pôle nord magnétique est décalé au nord du Canada, il faut aller très haut en latitude, en Laponie vers 65° de latitude nord, ou au nord du Québec vers 50° de latitude nord.

3) A quel niveau de recherche en sommes-nous actuellement concernant le phénomène ?

Sur les aurores en elles-mêmes, on en sait déjà beaucoup. Actuellement on en est à chercher des aurores sur les autres planètes. Sur Mars par exemple, on a trouvé des aurores dans l'ultra-violet, on les a découvertes sur Jupiter, Saturne. Sur Uranus et Neptune, on a pu les voir côté jour et prédire leur forme côté nuit sans pour autant les avoir jamais observées. Ces découvertes nous donnent de précieux renseignements quant à l'atmosphère de ces planètes (chaque couleur d'aurore se rapporte à une molécule). Aujourd'hui, on essaye de détecter des aurores sur les exoplanètes, ce qui nous permettrait de connaître la composition de leurs atmosphères.

4) Qu'apporte la *Planeterrella* de nouveau dans l'avancée du savoir sur les aurores ?

A l'origine j'ai conçu la *Planeterrella* comme un jeu. A ma grande surprise, elle a permis de prédire la forme des aurores nocturnes sur Uranus et Neptune, de découvrir les aurores bleues sur Mars. On s'en sert aussi pour étalonner des satellites.

5) L'inversion des pôles magnétiques influencerait-elle l'apparition des aurores polaires ?

On ne sait pas exactement ce qui se produit au moment de l'inversion des pôles. Il apparaît vraisemblablement sur Terre de nombreux petits pôles magnétiques nord et sud. Si tel était le cas, on devrait être en mesure de voir des aurores boréales un peu partout en latitude (comme sur Mars où il y a des anomalies magnétiques). Si ce n'est pas le cas et qu'il y a une disparition puis une réapparition, il y aura une période où il n'y aura pas d'aurores. Selon certaines théories, si les pôles s'inversaient il en résulterait une disparition totale du champ magnétique terrestre. Le vent solaire par un effet de frottement, en s'approchant de la Terre enlèverait notre atmosphère. Or la gravité de la Terre est importante et il est très difficile de faire disparaître l'atmosphère. De plus, le magnétisme terrestre a pour propriété d'accélérer considérablement le vent solaire. S'il n'y avait plus de champ magnétique, le vent solaire serait beaucoup plus doux et les particules se déposeraient beaucoup plus haut dans l'atmosphère, à 2000km d'altitude. A cette hauteur là, l'atmosphère est constituée d'hydrogène, tout comme le vent solaire, il ne se passerait alors rien. D'autre part, le vent solaire arriverait côté jour de la Terre, et en l'absence de champ magnétique, il ne passerait pas du côté nuit. Les aurores se produiraient alors côté jour, et on ne les verrait pas.

6) Pourquoi avez-vous choisi de travailler sur ce thème ?

J'étais passionné d'astronomie et de géophysique. On m'a proposé de faire ma thèse sur ce sujet et j'ai accepté. J'ai eu l'occasion d'aller observer des aurores durant ma thèse et j'ai trouvé le phénomène incroyable !

Sources :

Introduction :

Livres : Keith C HEUDORN et Ian WHITELAW *Le pourquoi et le comment des phénomènes naturels*, le Courrier du Livre, 222 pages.

Bernard VALEUR *Lumière et Luminescence : ces phénomènes lumineux qui nous entourent*, Paris, Belin, 2005, 207 pages.

Site internet : <http://www.banditdenuit.com> (consulté à partir du 16.10.15)

I. Qu'est-ce qu'une aurore polaire ?

a) Formation d'une aurore polaire

Sites internet : <http://www.meteolafleche.com/boreal.html> (consulté le 04.12.15)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Aurore_polaire (consulté en 11.15)

b) Contact avec Jean LILENSTEN

Avec Jean LILENSTEN, professeur à l'Université de Grenoble

II. Du soleil à la magnétosphère

a) Les vents solaires

Sites internet : <https://luusylvain123.wordpress.com/les-taches-solaires/> (consulté en 12.15)

http://f6gci.free.fr/5%20soleil_composition.html (consulté en 12.15)

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=8685> (consulté en 01.16)

Film : « Solar superstorms : les colères du soleil » (vu le 29.12.15 au Planétarium Galilée)

b) Le magnétisme terrestre

Sites internet : <http://www-spof.gsfc.nasa.gov/Education/Fwtail.html> (consulté en 01.15)

wikipédia

Article de périodique : « le champ magnétique de la Terre », Comment ça marche, trimestriel Jan/fev/mars 2016, pages 84-85

III. Formes et lumières

a) La forme du magnétisme (expérience et équation de la trajectoire)

Nous avons été aidées par Mme SERVANTON pour déterminer l'équation de la trajectoire.

Site internet : wikipédia (consulté à partir du 20.11.15)

b) Dans l'atmosphère

Sites internet : <http://www.banditdenuit.com> (consulté à partir du 16.10.15)

<http://www.futura-sciences.com>

<http://www.wikipedia.com/aurorespolaire>

<http://www.astrosurf.com/quasar95/exposes/aurores-polaires.pdf>

http://luth.obspm.fr/~luthier/mottez/intro_physique_spatiale/aurores/brillant.html

Livre : Keith C HEUDORN et Ian WHITELOW Le pourquoi et le comment des phénomènes naturels , le courrier du livre, 222 pages.

La synthèse de Léa

Nous avons choisi le thème des aurores polaires après avoir cherché dans beaucoup d'autres directions, notamment celle de l'homme avancé qui au final n'a pas abouti. Après avoir fait des recherches sur de nombreux autres sujets, nous avons réalisé que nous voulions en priorité acquérir des connaissances sur un phénomène qui touchait la Terre.

Personnellement, le phénomène d'aurores polaires m'intéressait au départ parce que j'aime beaucoup la photographie, notamment du ciel et des différentes lumières qu'émet le soleil. De plus, c'est un phénomène magique et très mystique, je voulais obtenir des réponses cohérentes et non pas fantasmées ou imprécises sur le sujet.

En commençant nos recherches, nous avons lu dans l'actualité qu'une aurore boréale s'était produite récemment dans le nord de la France, ce qui nous a intriguées et poussées à faire des recherches sur les aurores en elles-mêmes mais aussi sur leur visibilité en différentes zones du globe. Le choix de notre problématique s'est donc fait par rapport aux questions que nous nous posions alors.

Lorsque nous avons été définitivement fixées sur le choix du sujet et de la problématique, nous avons commencé à faire des recherches peu ciblées pour comprendre dans un premier temps les grandes lignes qui caractérisent le phénomène. Grâce à cela, nous avons ensuite pu élaborer les grands axes de notre recherche et étudier plus en profondeur les aspects qui nous intéressaient. Nous avons décidé alors de faire des recherches chacune de notre côté dans un premier temps, puis de se réunir pour mettre en commun et discuter de ce que nous avions trouvé. En ce qui me concerne, j'ai fait des recherches plus approfondies sur les vents solaires parce que c'était une partie qui m'intéressait beaucoup. Nous avons de plus choisi de faire une expérience (la bobine de Helmholtz) qui nous a permis de définir la forme du magnétisme et d'en comprendre encore davantage.

Dans le cadre du TPE, nous sommes allées pendant les vacances de Noël voir un film au Planétarium en lien avec les éruptions solaires et leurs conséquences, « Solar Superstorm : les colères du soleil ». Ce film m'a beaucoup intéressée et aidée dans l'avancée de ma réflexion. Nous avons eu ensuite la chance de rentrer en contact avec Jean LILENSTEN, qui a répondu aux questions posées et qui a su nous transmettre sa passion pour son travail. Nous sommes également allées à la médiathèque ainsi qu'au CDI du lycée pour chercher de la documentation.

Après avoir changé de plan, de titre, de sous-parties plusieurs fois, nous avons finalement décidé de concevoir le plan de notre TPE de telle sorte qu'on parte de l'origine pour arriver au phénomène, du Soleil vers la Terre. Nous avons choisi d'accorder une sous-partie à notre expérience plutôt que de l'inclure dans la partie du magnétisme parce que nous estimions qu'il fallait la mettre en relief étant donné qu'elle permet de donner des précisions sur notre problématique. (Nous avons, de plus, essayé de faire en sorte de ne pas submerger notre compte-rendu de photos, bien que devant la beauté du phénomène, il ait été relativement difficile de faire autrement!!)

Concernant ce que m'a apporté ce travail, je pense tout d'abord que le fait de travailler en équipe permet de confronter les points de vue, les idées différentes, et de mettre en commun les connaissances. De plus, être trois à traiter le même sujet nous a sans doute motivées chacune à faire de notre mieux pour nous-même, mais aussi pour les autres.

Personnellement, j'ai beaucoup aimé me renseigner, chercher à comprendre et à apprendre sur ce sujet qui maintenant m'intéresse de plus en plus. J'ai eu la chance dans ce cadre de pouvoir parler avec un très grand astrophysicien français, de lui poser mes questions et d'échanger sur ce sujet. Sans les TPE, je n'aurais sûrement pas eu cette occasion. J'ai gagné en connaissances et j'ai pu mettre en lien certaines choses que j'apprenais théoriquement dans les disciplines du lycée avec un phénomène bien réel.

La plus grosse difficulté dans notre travail sur les aurores polaires a été pour moi le manque de documentation sur le sujet. J'ai, et nous avons eu beaucoup de mal à trouver des sources qui ne se contentaient pas de parler du sujet en surface mais l'abordaient réellement en profondeur. Cela m'a souvent frustrée parce qu'il m'a fallu sans cesse reconstituer les pièces du puzzle pour construire des réponses satisfaisantes.

Les TPE ont été pour moi une expérience très positive car ils m'ont permis d'apprendre beaucoup de choses sur un phénomène que je ne connaissais avant que de nom. Cela m'a donné envie d'aller encore plus loin dans mes recherches, de mieux connaître le milieu scientifique. Je me suis surtout découvert un réel intérêt pour les aurores polaires.