

**Travail Pratique Encadré**

# **LES AURORES POLAIRES**

Thème: Structure & Forme

Problématique: Au-delà de la beauté visuelle  
des Aurores Polaires, quelles sont les explications  
scientifiques qui permettent d'élucider ce phénomène ?

Réalisé par:  
(selon l'ordre alphabétique des noms)

Manel KRICHENE

Bochra SLAMA

Fatma TANABENE

**1<sup>ère</sup> S 1**  
**Année 2018-2019**

# SOMMAIRE

Introduction.....	3
Chap. I- Les Aurores Polaires d'hier aujourd'hui.....	4
1.1. Les aurores polaires, des mythes à la science.....	4
1.1.1 La vision mystique de l'Antiquité et du Moyen Âge.....	4
1.1.2 Une démystification progressive entre le XVIIème et le XIXème siècles.....	4
1.1.3 L'explication scientifique des aurores polaires à partir de la fin du XIXème siècle.....	5
1.2. Définition de l'aurore polaire.....	6
Chap. II- Les Aurores Polaires: types et formes.....	8
2.1. Deux types d'aurores polaires.....	8
2.1.1 Les aurores boréales.....	8
2.1.2 Les aurores australes.....	8
2.2. Huit différentes formes d'aurore polaire.....	9
2.2.1 Aurore polaire en arc.....	9
2.2.2 Aurore polaire en bandes.....	9
2.2.3 Aurore polaire en rideau.....	10
2.2.4 Aurore polaire en couronne.....	10
2.2.5 Aurore polaire en piliers.....	11
2.2.6 Aurore polaire en voile.....	11
2.2.7 Aurore polaire en tâche.....	12
2.2.8 Aurore polaire en miroir.....	12
Chap. III- Les soubassements scientifiques permettant d'expliquer les aurores polaires.....	13
3.1 Formation des aurores polaires : lorsque les éruptions solaires rencontrent la terre.....	13
3.1.1 Le soleil et ses éruptions solaires.....	13
3.1.2 La terre et son champ magnétique.....	15
A- Définition du champ magnétique terrestre.....	15
B- Conditions nécessaires pour l'existence d'un champ magnétique.....	16
C- Le trajet du vent solaire qui conduit aux phénomènes auroraux.....	17
3.1.3 La terre et l'atmosphère terrestre.....	19
A- Définition de l'atmosphère terrestre.....	19
B- Le rôle de l'atmosphère terrestre.....	20
C- La composition de l'atmosphère terrestre.....	20
3.1.4 Le vent solaire et le champ magnétique terrestre.....	22
3.1.5 Le vent solaire et l'atmosphère terrestre.....	23
3.2 Les caractéristiques des aurores polaires.....	24
3.2.1 Différentes couleurs à différentes altitudes.....	24
3.2.2 Lieux et périodes de visibilité.....	26

Chap. IV- Expérimentations et autres investigations .....	27
4.1. Expérience 1 au lycée: Rôle du champ magnétique.....	27
4.1.1. Objectif.....	27
4.1.2. Matériel nécessaire.....	27
4.1.3. Principes théoriques.....	27
4.1.4. Description de l'expérience.....	27
4.1.5. Difficultés pratiques.....	28
4.1.6. Résultats.....	28
4.2. Expérience 2 au lycée: Simulation d'ovale auroral.....	28
4.2.1. Objectif.....	28
4.2.2. Matériel nécessaire.....	28
4.2.3. Principes théoriques.....	28
4.2.4. Description de l'expérience.....	29
4.2.5. Difficultés pratiques.....	30
4.2.6. Résultats.....	30
4.3. Interview d'un chercheur français.....	30
4.4. Expérience 3 en dehors du lycée: Simulation d'ovale auroral.....	31
4.4.1. Perfectionnement du matériel.....	32
4.4.2. Résultats.....	34
Conclusion.....	35
Références.....	36

# INTRODUCTION

Qui n'aimerait pas un jour voir ce spectacle splendide spécifique aux pays proches des cercles polaires: les aurores polaires ? Ces manifestations aurorales qui ont, depuis toujours, fasciné et fait rêver l'humanité, intéressent aussi les scientifiques qui ont longtemps cherché des explications pour comprendre et prédire ce phénomène extraordinairement beau.

Pour notre part, vivant en Tunisie, bien loin des régions polaires, cela a encore plus excité notre curiosité quant aux conditions d'apparition de ces manifestations lumineuses extraordinaires.

**Au delà de la beauté visuelle des aurores polaires, nous souhaitons connaître les explications scientifiques qui permettent d'élucider ce phénomène.**

C'est là la problématique à laquelle nous tenterons d'apporter des éléments de réponse. Comment les aurores polaires se produisent-elles ? Pourquoi la nature réserve-t-elle ces spectacles extraordinaires exclusivement aux régions polaires ? Et pourquoi les régions non polaires telle que la Tunisie en sont-elles privées ?

Notre Travail Pratique Encadré (TPE) s'efforcera de répondre à ces questionnements en s'intéressant d'abord à l'évolution de la conception de l'aurore polaire à travers l'histoire pour enfin aboutir à sa définition actuelle.

Nous en exposerons ensuite les différentes formes.

Puis, nous nous pencherons sur les explications scientifiques issues autant des Sciences de la Vie et de la Terre que des Sciences Physiques et qui ont contribué à élucider ce phénomène et à mettre le doigt sur les facteurs qui mènent à leur formation. Nous nous arrêterons également sur l'explication de leurs couleurs chatoyantes et sur ce qui fait qu'elles ne se produisent que dans les régions polaires.

Enfin, afin que tout cela devienne moins théorique et plus pratique, nous effectuerons des expériences où l'on tentera de reproduire en laboratoire une pseudo aurore.

# CHAPITRE I

## LES AURORES POLAIRES, D'HIER À AUJOURD'HUI

### 1.1. Les aurores polaires, des mythes à la science

#### 1.1.1 La vision mystique de l'Antiquité et du Moyen Âge

La première fois qu'une aurore polaire ait été décrite dans l'histoire, c'était en 593 avant J-C par un grec nommé Anaximène. Il parlait alors de "nuages de gaz enflammé". Jadis, beaucoup de mythes et de légendes ont circulé au sujet des aurores polaires.

Certains pensaient que ce phénomène était lié à la nature et particulièrement à la vie animale. Dans l'antiquité, les chinois percevaient ce phénomène comme étant des serpents ou des dragons dans le ciel. Certains autres peuples croyaient que les aurores apparaissent lorsque les baleines jouent dans les vagues ou quand des cygnes veulent voler le plus possible au nord.

D'autres pensaient que la présence d'une aurore était signe de bons présages comme la fécondité, la chance et la bonne fortune. Les pêcheurs suédois croyaient que c'était la promesse d'une bonne pêche. Les Estoniens pensaient que les aurores étaient des luges magiques amenant les invités à assister à un mariage au Paradis. Pour les chinois, les aurores annonçaient les naissances royales.

Pour d'autres au contraire, les aurores polaires renvoient à de mauvais présages comme la mort et le malheur. Pour certains, les aurores polaires représentaient les esprits des enfants morts à leur naissance et plus généralement les esprits des morts qui dansent pour ne pas être oubliés. Pour d'autres, elles annonçaient la guerre puisqu'elles représentaient les fantômes des ennemis décédés voulant se réveiller pour se venger. Mais la légende la plus connue sur les aurores polaires est celle qui dit qu'elles annoncent la colère des Dieux.

Sans avoir la moindre explication sur le phénomène, Galilée fut le premier à lui donner l'appellation d'"aurore boréale" au XVII<sup>e</sup> siècle.

#### 1.1.2 Une démystification progressive entre le XVII<sup>e</sup> et le XIX<sup>e</sup> siècles

Le XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles ont été marqués par une période d'intense activité solaire. Le 6 mars 1716, une aurore polaire est visible en Europe, de l'Irlande jusqu'à l'Italie. Certains savants la considèrent comme un phénomène optique. Ils le décrivent comme étant la réfraction de la lumière sur les vapeurs d'eau terrestre. C'est dans cette période-là que beaucoup d'observations ont été effectuées, plusieurs hypothèses ont été élaborées à ce sujet et plusieurs travaux de réflexion ont été réalisés, sans succès.

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les scientifiques commencent de plus en plus à s'intéresser sérieusement à l'explication des aurores polaires. Certains savants ont conclu que ce sont des lumières dans le ciel produites par la réfraction des cristaux de glace polaire pour les rayons du soleil. D'autres théories semblables ont été développées, sans qu'aucune ne réussisse vraiment à élucider le phénomène d'aurore polaire.

### **1.1.3 L'explication scientifique des aurores polaires à partir de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle**

La période la plus fructueuse en explications quant aux aurores polaires débute vers la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle.

C'est là que, grâce au physicien britannique Thomson, l'humanité découvrit les électrons et la conductivité électrique dans les gaz.

Par la suite, avec le physicien norvégien, Birkeland, l'humanité comprit enfin que les aurores polaires ne sont ni des phénomènes surnaturels, ni des lumières dues à la simple réflexion des rayons solaires, mais des courants électriques créés par des particules solaires en contact avec le champ magnétique et l'atmosphère terrestre. Ce physicien a même réussi à reproduire artificiellement le phénomène en laboratoire grâce à une expérience et un dispositif bien célèbre, la Terrella. Toutefois, Birkeland n'a pas laissé beaucoup de notes sur les paramètres de ses manipulations.

**Birkeland et sa Terrella**



Source: [https://www.google.com/imgres?imgurl=https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e7/Asta\\_Norregaard\\_Kristian\\_Birkeland\\_1900.jpg/260px-](https://www.google.com/imgres?imgurl=https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e7/Asta_Norregaard_Kristian_Birkeland_1900.jpg/260px-Asta_Norregaard_Kristian_Birkeland_1900.jpg&imgrefurl=https://fr.wikipedia.org/wiki/Kristian_Birkeland&h=403&w=260&tbnid=EeuMkYb7DTUXtM:&q=birkeland&tbnh=186&tbnw=120&usq=AI4_-kSDx6yqxq5IUSytl7AOmBILyLRgYA&vet=12ahUKEwiy6qP23dnfAhWdDmMBHfqVBglQ_B0wCnoECAYQBg..i&docid=JoeYf8OFIfrphM&itg=1&sa=X&ved=2ahUKEwiy6qP23dnfAhWdDmMBHfqVBglQ_B0wCnoECAYQBg)

[Asta\\_Norregaard\\_Kristian\\_Birkeland\\_1900.jpg&imgrefurl=https://fr.wikipedia.org/wiki/Kristian\\_Birkeland&h=403&w=260&tbnid=EeuMkYb7DTUXtM:&q=birkeland&tbnh=186&tbnw=120&usq=AI4\\_-kSDx6yqxq5IUSytl7AOmBILyLRgYA&vet=12ahUKEwiy6qP23dnfAhWdDmMBHfqVBglQ\\_B0wCnoECAYQBg..i&docid=JoeYf8OFIfrphM&itg=1&sa=X&ved=2ahUKEwiy6qP23dnfAhWdDmMBHfqVBglQ\\_B0wCnoECAYQBg](https://www.google.com/imgres?imgurl=https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e7/Asta_Norregaard_Kristian_Birkeland_1900.jpg/260px-Asta_Norregaard_Kristian_Birkeland_1900.jpg&imgrefurl=https://fr.wikipedia.org/wiki/Kristian_Birkeland&h=403&w=260&tbnid=EeuMkYb7DTUXtM:&q=birkeland&tbnh=186&tbnw=120&usq=AI4_-kSDx6yqxq5IUSytl7AOmBILyLRgYA&vet=12ahUKEwiy6qP23dnfAhWdDmMBHfqVBglQ_B0wCnoECAYQBg..i&docid=JoeYf8OFIfrphM&itg=1&sa=X&ved=2ahUKEwiy6qP23dnfAhWdDmMBHfqVBglQ_B0wCnoECAYQBg)

Plus récemment, et précisément à partir des années 90s, l'astronome et planétologue français Lilensten a repris le dispositif de Birkeland et y a apporté des améliorations. A partir de 2008, il propose un dispositif perfectionné de la Terrella qu'il baptisera la Planeterrella.

### La planeterrella



Source: <http://planeterrella.osug.fr/spip.php?article86>

## **1.2. Définition de l'aurore polaire**

« Aurore » dans l'« aurore polaire », représente la première lueur du jour, l'aube. Cette dernière tire son nom de l'appellation de la déesse romaine de l'aube, Aurore. Toutefois, il y a une différence entre cette aurore et une aube ordinaire.

### Aube ou Aurore ordinaire



Source: <http://gblanc.fr/spip.php?article118>



D'abord, le terme « polaire » nous précise que l'aurore polaire est une aube qui n'est visible qu'au niveau des pôles nord et sud de notre planète.

De plus, comparé à une aurore habituelle, le phénomène de l'aurore polaire est plutôt stupéfiant et surprenant. Alors que l'aube est la représentation au quotidien des toutes premières lueurs du soleil sur notre planète Terre, l'aurore polaire, elle, est insolite et rare.

**Il s'agit de manifestations lumineuses sous forme de lueurs caractérisées par des voiles colorés qui jaillissent de manière phosphorescente dans le ciel nocturne et ce, non pas au quotidien, mais seulement lorsque certaines conditions sont réunies.**

Aurore polaire (boréale) du 17 novembre 2017



Source: photos prises par Coraxiaolin  
Exploitation autorisée dans le présent travail par la propriétaire des photos



## **CHAPITRE II**

# **LES AURORES POLAIRES: TYPES ET FORMES**

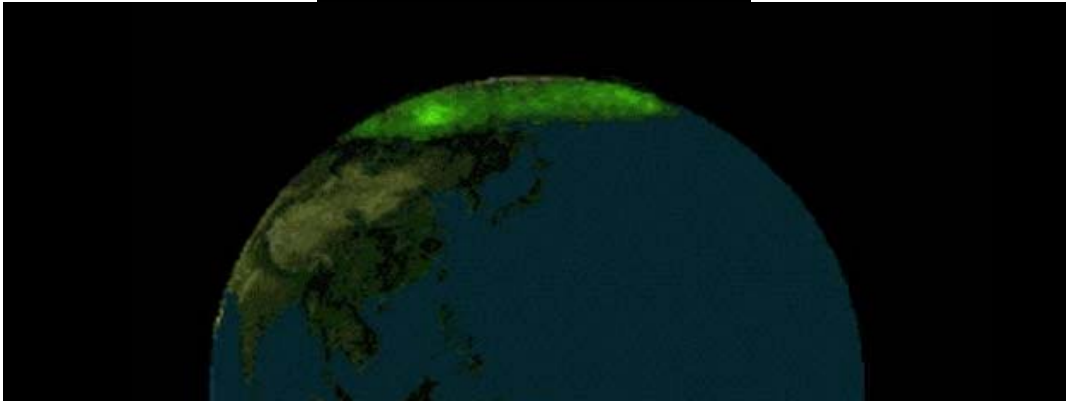
### **2.1 Deux types d'aurores polaires**

Les aurores boréales et australes représentent les deux différents types d'aurores polaires.

#### **2.1.1 Les aurores boréales**

Celles-ci se situent dans l'hémisphère nord du globe terrestre.

**Aurore boréale vue de l'espace**

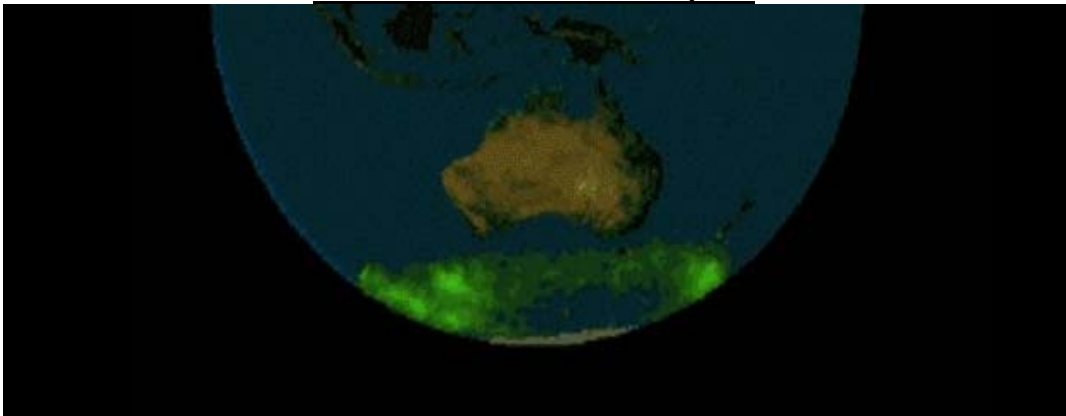


Source: <http://www.semconstellation.fr/ovale-auoral/>

#### **2.1.2 Les aurores australes**

Celles-ci se situent dans l'hémisphère sud du globe terrestre.

**Aurore australe vue de l'espace**



Source: <http://www.semconstellation.fr/ovale-auoral/>

## **2.2. Huit différentes formes d'aurore polaire**

### **2.2.1 Aurore polaire en arc**

Il existe différentes formes d'aurores polaires. Nous pouvons en dénombrer huit, toutes aussi spectaculaires les unes que les autres.

La première forme que peut prendre une aurore polaire est l'arc. Il s'étend d'un bout à l'autre de l'horizon comme une simple courbe.

#### **Aurore polaire en arc**



Source:

<http://aurore.polaire.free.fr/Documents/Observation.htm>

Cette forme d'aurore se produit seulement au cours des périodes de basse activité solaire. La longueur de l'arc peut atteindre 1000 km alors que son épaisseur n'atteint même pas les cinq km.

### **2.2.2 Aurore polaire en bandes**

La deuxième forme d'aurore polaire peut s'étendre à l'horizon sous forme de bande. Cette bande présente des plis, et se caractérise par des couleurs vives à sa base et des lumières uniformes ou floues à son sommet.

#### **Aurore polaire sous forme de bande**



Source: [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=BUr8W5q9HJKdlwTXhLu4Dg&q=aurore+polaire+en+bande&oq=aurore+polaire+en+bande&gs\\_l=img.3...219910.223235..223792...0.0..0.163.722.0j5.....0....1..gws-wiz-img.rIX-anmpv-Y#imgsrc=FFp2OgHPFSR3iM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=BUr8W5q9HJKdlwTXhLu4Dg&q=aurore+polaire+en+bande&oq=aurore+polaire+en+bande&gs_l=img.3...219910.223235..223792...0.0..0.163.722.0j5.....0....1..gws-wiz-img.rIX-anmpv-Y#imgsrc=FFp2OgHPFSR3iM:)

L'aurore en bandes ne peut se produire que pendant les périodes d'activités solaires dites moyennes et élevées, contrairement à l'arc.

### **2.2.3 Aurore polaire en rideau**

La troisième forme d'aurore polaire est le rideau. Les rayons de cette forme présentent des vagues d'ondulations et des formes spiralées.

#### **Aurore polaire sous forme de rideau**



Source:

[https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=5kr8W8jIMc\\_sacyUoVA&q=aurore+polaire+en+rideau&oq=aurore+polaire+en+rideau&gs\\_l=img.3...251081.252043..252646...0.0..0.167.847.0j6.....0....1..gws-wiz-img.7CEux73Sz3c#imgsrc=H3eNTp-cpYapIM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=5kr8W8jIMc_sacyUoVA&q=aurore+polaire+en+rideau&oq=aurore+polaire+en+rideau&gs_l=img.3...251081.252043..252646...0.0..0.167.847.0j6.....0....1..gws-wiz-img.7CEux73Sz3c#imgsrc=H3eNTp-cpYapIM:)

Les aurores en rideau ont une intensité lumineuse instable qui change souvent. Le rideau est une forme d'aurore qui se produit pendant les périodes de fortes activités solaires.

### **2.2.4 Aurore polaire en couronne**

La quatrième forme est la couronne. Se produisant au Zénith et s'ouvrant dans toutes les directions, la couronne est telle une explosion de rayons lumineux avec des mouvements et des variations très rapides à l'instar des étoiles filantes.

#### **Aurore polaire en couronne**



Source: [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=TU38W8jvFsfSa8eyqagJ&q=aurore+polaire+en+couronne&oq=aurore+polaire+en+couronne&gs\\_l=img.3...203432.204566..204819...0.0..0.179.1071.0j8.....0....1..gws-wiz-img.zyVbOelngHg#imgsrc=caJMEVfGn13oM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=TU38W8jvFsfSa8eyqagJ&q=aurore+polaire+en+couronne&oq=aurore+polaire+en+couronne&gs_l=img.3...203432.204566..204819...0.0..0.179.1071.0j8.....0....1..gws-wiz-img.zyVbOelngHg#imgsrc=caJMEVfGn13oM:)

La couronne, telle le rideau, est une forme d'aurore qui se produit dans des périodes de fortes activités solaires.

### **2.2.5 Aurore polaire en piliers**

La cinquième forme de l'aurore polaire se présente sous forme de piliers avec des traits lumineux brillant, alignés et verticaux. La longueur des rayons des piliers peut atteindre plusieurs centaines de mètres.

**Aurore polaire en piliers**



Source:

[https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=G078W4LpJeaTlwTEgZf4DA&q=aurore+polaire+en+pilliers&oq=aurore+polaire+en+pilliers&gs\\_l=img.3...397215.398652..398845...0.0..0.188.1033.0j8.....0....1..gws-wiz-img.7TZFbEGFrFA#imgrc=aVr8K-flmcTqfM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=G078W4LpJeaTlwTEgZf4DA&q=aurore+polaire+en+pilliers&oq=aurore+polaire+en+pilliers&gs_l=img.3...397215.398652..398845...0.0..0.188.1033.0j8.....0....1..gws-wiz-img.7TZFbEGFrFA#imgrc=aVr8K-flmcTqfM:)

Cette forme d'aurore se produit uniquement pendant les périodes d'activité solaire élevées.

### **2.2.6 Aurore polaire en voile**

La sixième forme que peut prendre une aurore est le voile. Ce dernier couvre une vaste région du ciel de manière uniforme avec différentes couleurs, brillantes et chatoyantes.

**Aurore polaire en voile**



Source: [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=q0\\_8W624POaRlwT6rq64Cw&q=aurore+polaire+en+voile&oq=aurore+polaire+en+voile&gs\\_l=img.3...338431.340638..340831...0.0..0.202.1422.0j9j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i24.qwfnydnBBYk#imgrc=uqGw-77DOcuMUM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=q0_8W624POaRlwT6rq64Cw&q=aurore+polaire+en+voile&oq=aurore+polaire+en+voile&gs_l=img.3...338431.340638..340831...0.0..0.202.1422.0j9j1.....0....1..gws-wiz-img.....0i24.qwfnydnBBYk#imgrc=uqGw-77DOcuMUM:)

Cette forme d'aurore se produit durant les périodes d'activité solaire élevées.

## **2.2.7 Aurore polaire en tâche**

La septième forme d'aurore polaire est la tâche. Cette dernière, semblable à un petit nuage isolé, est une zone de luminosité de faible étendue.

### **Aurore polaire en tâche**



Source: [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=AlH8W5uoGJC6avfGqegG&q=aurore+polaire+en+t%C3%A2che&oq=aurore+polaire+en+t%C3%A2che&gs\\_l=img.3...644041.645598..646073...0.0..0.202.963.0j4j1.....0.....1..gws-wiz-img.GdbeqReMLo4#imgsrc=tRAv-vR\\_1iMzM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=AlH8W5uoGJC6avfGqegG&q=aurore+polaire+en+t%C3%A2che&oq=aurore+polaire+en+t%C3%A2che&gs_l=img.3...644041.645598..646073...0.0..0.202.963.0j4j1.....0.....1..gws-wiz-img.GdbeqReMLo4#imgsrc=tRAv-vR_1iMzM:)

## **2.2.8 Aurore polaire en miroir**

Et pour finir, la huitième forme est le miroir. Pour être plus précis, le miroir n'est pas une forme en soi, mais un effet lumineux provoqué lors d'une aurore polaire en présence de lacs, rivières et fleuves calmes. Tel un miroir, la surface de l'eau des lacs, rivières et fleuves réfléchit l'image de l'aurore de manière que, avec celle du ciel, l'aurore paraisse comme double.

### **Aurore polaire en miroir**



Source: [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=iIP8W\\_HnCluQsgH0jJWIAw&q=aurore+polaire+en+miroir&oq=aurore+polaire+en+miroir&gs\\_l=img.3...319411.321020..321911...0...0.210.1068.0j6j1.....0.....1..gws-wiz-img.vXIGJJYcOU#imgsrc=gZibR3bz8HadWM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=iIP8W_HnCluQsgH0jJWIAw&q=aurore+polaire+en+miroir&oq=aurore+polaire+en+miroir&gs_l=img.3...319411.321020..321911...0...0.210.1068.0j6j1.....0.....1..gws-wiz-img.vXIGJJYcOU#imgsrc=gZibR3bz8HadWM:)



# CHAPITRE III

## LES SOUBASSEMENTS SCIENTIFIQUES PERMETTANT D'EXPLIQUER LES AURORES POLAIRES

### 3.1 Formation des aurores polaires: lorsque les éruptions solaires rencontrent la terre...

#### 3.1.1 Le soleil et ses éruptions solaires

Tout commence avec le Soleil, étoile variable car la quantité d'émission de photons et de particules change en fonction du temps. Le soleil est la source de vie et d'énergie pour notre atmosphère. Sans cette source, la vie s'éteindrait sur terre.

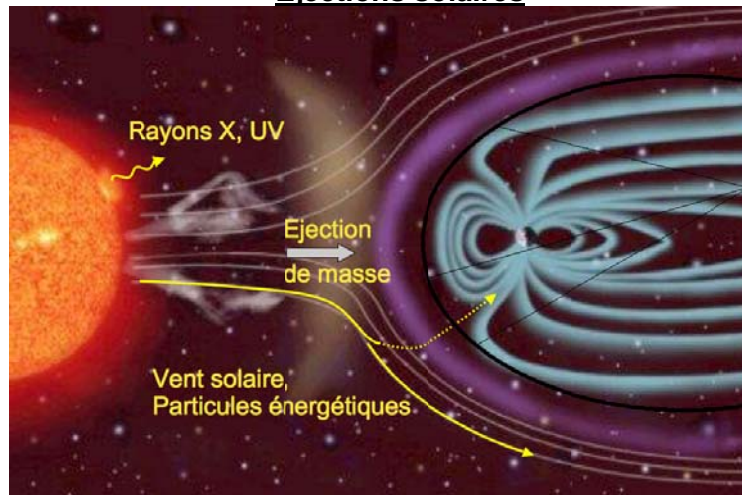
**Éruption ou tempête solaire**



Source: <https://fr.sputniknews.com/insolite/201712081034234877-soleil-coup/>

Le soleil est constamment en activité. En effet, il émet dans toutes les directions des jets continus de matière. Ce jet de matière que l'on appelle vent solaire est éjecté du Soleil par les trous coronaux. Cette activité solaire est due par un cumul d'énergie dans certaines régions solaires très magnétisées.

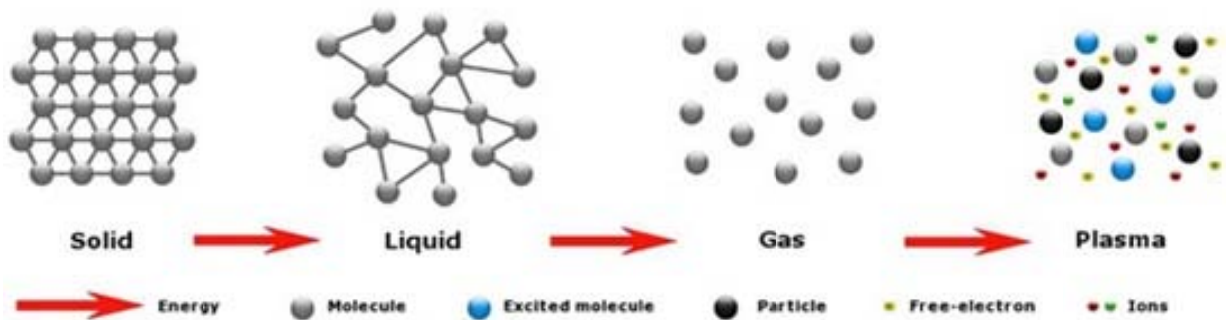
**Ejections solaires**



Source: [https://www.google.com/search?q=vent+solaire&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiV9fC4zdnfAhU94eAKHc0GBfsQ\\_AUIDigB&biw=1024&bih=653#imgsrc=fNZPBkbALTdZJM:](https://www.google.com/search?q=vent+solaire&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiV9fC4zdnfAhU94eAKHc0GBfsQ_AUIDigB&biw=1024&bih=653#imgsrc=fNZPBkbALTdZJM:)

Ce jet est dispersé dans l'espace et voyage à une vitesse moyenne de 370 km/s (1.3 million de km/h). Le Soleil perd environ  $1 \times 10^9$  kg de matière par seconde, sous forme de vent solaire. C'est le noyau solaire qui est responsable de ces jets de matière car il est constitué de matières.

Cette matière se présente sous forme de plasma (4ème état de matière) composé de particules chargées électriquement comme les électrons ou les protons.

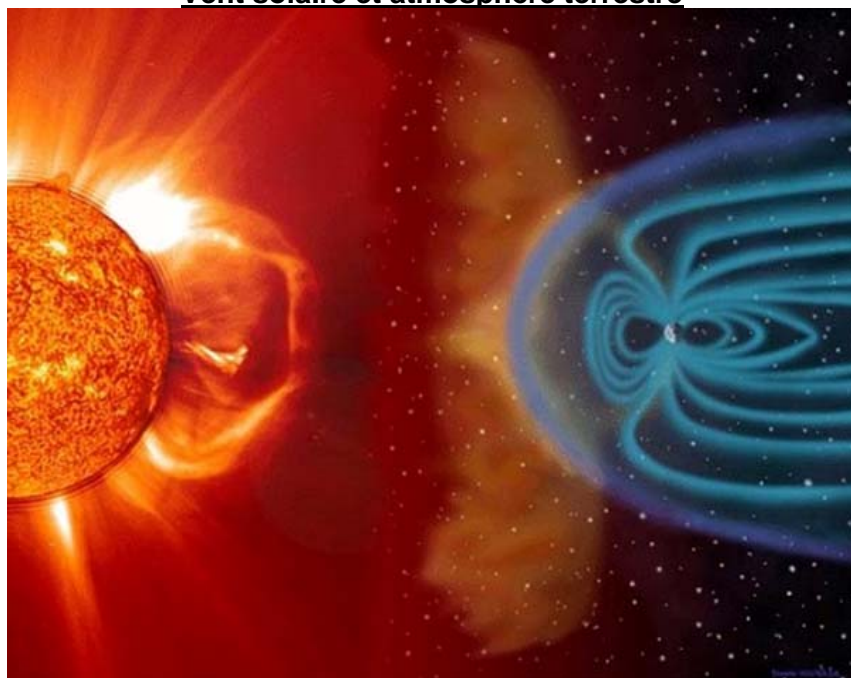


Source: <http://matieretpe.e-monsite.com/pages/i-le-plasma/>

Trois ou quatre jours après, ces vents solaires arrivent sur notre terre. Lorsque cette matière atteint la terre, elle va avoir comme effet de modifier brutalement le champ magnétique de la terre (notre bouclier magnétique) jusqu'à entraîner des perturbations dans les transmissions radioélectriques sous forme de problèmes principalement au niveau des réseaux de télécommunication terrestres et satellitaires. C'est l'effet des tempêtes solaires.

Ces éruptions ou tempêtes solaires dues à l'activité du soleil viennent frapper à de très grandes vitesses l'atmosphère terrestre et entrent en collision avec notre bouclier, le champ magnétique.

### Vent solaire et atmosphère terrestre



Source: [https://www.google.com/search?q=eruptions+solaires&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi0rZyisdXfAhWryYUKHVdnDplQ\\_AUIDigB&biw=1600&bih=740#imgsrc=ZP82Ojacilvt0M:](https://www.google.com/search?q=eruptions+solaires&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi0rZyisdXfAhWryYUKHVdnDplQ_AUIDigB&biw=1600&bih=740#imgsrc=ZP82Ojacilvt0M:)



Ces perturbations dépendent de l'intensité de l'éruption et de son flux énergétique. Les éruptions sont classés dans une bande de rayonnement X (rayonnement électromagnétique constitué de photons produits par des transitions électroniques) dans différentes catégories A, B, C, M et X, chacune de ces catégories correspondant à une éruption solaire 10 fois plus importante que celle d'avant. Mais, il faut noter que ces éruptions ne sont pas régulières mais plutôt périodiques en fonction du cycle solaire.

### **3.1.2 La terre et son champ magnétique**

Comme nous l'avons déjà expliqué dans la partie précédente, le vent solaire affecte le champ magnétique de notre planète Terre. C'est pour cela que nous allons, dans la partie suivante, traiter le champ magnétique, son origine et sa structure. Nous clôturerons ainsi cette partie en abordant la manière dont le vent solaire et le champ magnétique terrestre interagissent entre eux.

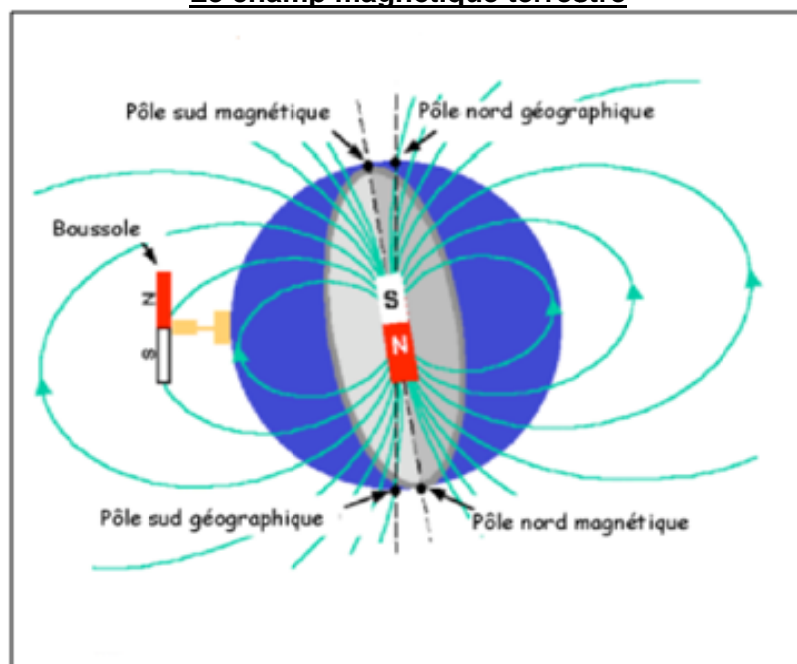
#### **A. Définition du champ magnétique terrestre**

L'adjectif « magnétique » dans le « champ magnétique terrestre » nous montre qu'il s'agit d'une région de l'espace qui est soumise à l'action d'une force pareille à celle des aimants permanents. Cette région de l'espace entourant la Terre et dans laquelle est confiné le champ magnétique terrestre s'appelle « magnétosphère ».

Le champ magnétique terrestre est, en fait, sous l'influence d'une charge électrique en mouvement. Il s'agit d'un vaste champ qui doit son activité aux mouvements du noyau métallique de la Terre.

S'agissant d'un champ bipolaire, le champ magnétique terrestre présente un pôle nord et un pôle sud.

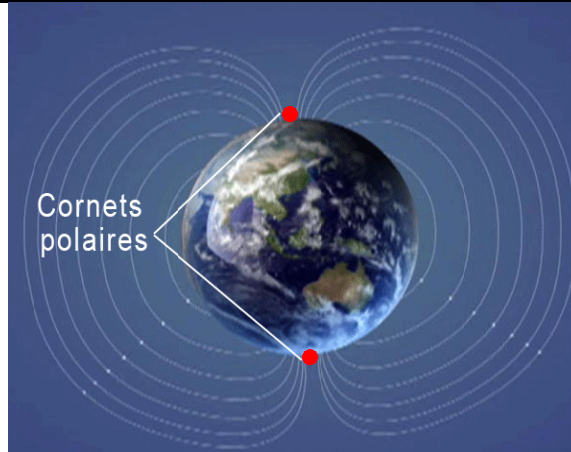
#### **Le champ magnétique terrestre**



Source: [https://www.google.fr/search?q=champ+magn%C3%A9tique+terrestre&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVlrT04vLeAhVShxoKHezaDToQ\\_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgsrc=fpXtz3WkPVParM](https://www.google.fr/search?q=champ+magn%C3%A9tique+terrestre&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVlrT04vLeAhVShxoKHezaDToQ_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgsrc=fpXtz3WkPVParM):

Ce qu'il faut savoir, c'est que les lignes du champ magnétique terrestre sortent par l'un des deux pôles et rentrent par l'autre comme le montre la figure suivante.

### **Entrée et sortie des lignes du champ magnétique terrestre**



Source: [https://www.google.com/search?q=cornet+polaire&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjhi-WQ-tnfAhV2AWMBHXV0C9YQ\\_AUIDigB&biw=1024&bih=653#imgsrc=UOu-laoiVCURem:](https://www.google.com/search?q=cornet+polaire&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjhi-WQ-tnfAhV2AWMBHXV0C9YQ_AUIDigB&biw=1024&bih=653#imgsrc=UOu-laoiVCURem:)

Nous verrons plus loin comment ces cornets polaires jouent un rôle important dans la formation des aurores polaires.

## **B. Conditions nécessaires pour l'existence d'un champ magnétique terrestre**

Pour que le champ magnétique terrestre existe, trois conditions fondamentales doivent être réunies:

### **1. La présence d'un liquide conducteur pour la force magnétique**

Le champ magnétique est dû à un courant électrique constamment maintenu et circulant dans la coquille externe fluide du noyau terrestre, c.-à-d. qu'il provient du mouvement de la matière chaude présente dans le noyau terrestre. C'est cette matière qui représente le liquide conducteur de l'énergie magnétique.

#### **Le liquide conducteur de l'énergie magnétique : Matière chaude du noyau terrestre**



Source: [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbn=isch&sa=1&ei=JEf8W6ifHMy6avLOp\\_gL&q=mat%C3%A8re+chaude+du+noyau+terrestre&oq=mat%C3%A8re+chaude+du+noyau+terrestre&gs\\_l=img.3...58915.62907..63265...0.0..0.228.2484.0j17j1.....0....1..gws-wiz-img.M6i3lF77tBU#imgsrc=\\_xxUVd\\_ATL05NM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbn=isch&sa=1&ei=JEf8W6ifHMy6avLOp_gL&q=mat%C3%A8re+chaude+du+noyau+terrestre&oq=mat%C3%A8re+chaude+du+noyau+terrestre&gs_l=img.3...58915.62907..63265...0.0..0.228.2484.0j17j1.....0....1..gws-wiz-img.M6i3lF77tBU#imgsrc=_xxUVd_ATL05NM:)

## **2. Une quantité d'énergie suffisante permettant au liquide conducteur de se déplacer assez rapidement**

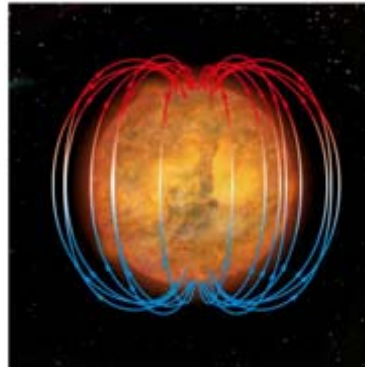
La matière chaude est entraînée par la rotation de la terre, ce qui permet la génération du champ magnétique grâce à un effet dynamo.

Par ailleurs, le vent solaire est porteur de particules énergétiques électriquement chargées, telles que les protons et plus majoritairement les électrons. Ces deux derniers types de particules énergétiques, en plus de la rotation de la Terre, produisent l'énergie qui permettra le déplacement de la matière chaude.

## **3. La présence d'un champ magnétique initial**

Les particules énergétiques du vent solaire sont en fait libérées par le champ magnétique du Soleil. Ce dernier, existant avant le démarrage même du processus de formation du champ magnétique terrestre, constitue le champ magnétique initial.

### **Le champ magnétique initial : le champ solaire**



Source:

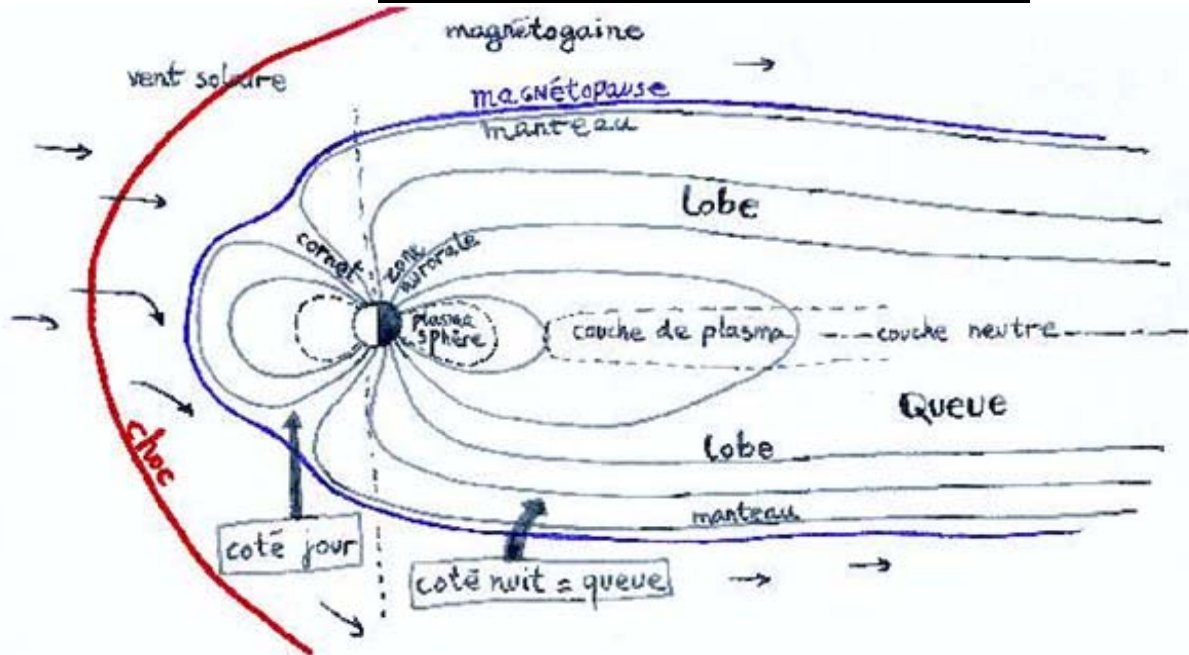
[https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbn=isch&sa=1&ei=40f8W\\_r4L47IaJ2XpaAE&q=champ+magn%C3%A9tique+solaire&oq=champ+magn%C3%A9tique+solaire&gs\\_l=img.3..0j0i7i30.111519.114351..114755...0.0..0.182.2301.0j17.....0....1..gws-wiz-img.....0i8i7i30.iRiJDUePo9M#imgsrc=VCoTk8dmLrBHM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbn=isch&sa=1&ei=40f8W_r4L47IaJ2XpaAE&q=champ+magn%C3%A9tique+solaire&oq=champ+magn%C3%A9tique+solaire&gs_l=img.3..0j0i7i30.111519.114351..114755...0.0..0.182.2301.0j17.....0....1..gws-wiz-img.....0i8i7i30.iRiJDUePo9M#imgsrc=VCoTk8dmLrBHM:)

## **C. Le trajet du vent solaire qui conduit aux phénomènes auroraux**

Tel un bouclier, le champ magnétique terrestre sert à protéger notre planète des rayons nocifs du soleil. En période de forte activité, le soleil envoie vers la terre un vent solaire qui peut être fort. Ce vent est détourné par le champ magnétique terrestre, tout comme le bouclier renverse les flèches de l'ennemi. Toutefois, une partie de ce vent nocif arrive malgré tout à esquiver le bouclier magnétique de la terre et réussit à passer à travers les lignes du champ magnétique, précisément par les points d'entrée et de sortie des lignes du champ, c'est-à-dire, le pôle nord et le pôle sud.

Tout d'abord, le rayonnement ultraviolet solaire et les précipitations des particules chargées qui proviennent du vent solaire passent à travers la zone ionosphère en direction de la magnétosphère. Cette dernière se découpe en plusieurs différentes zones. On y trouve même des régions dépourvues de magnétisme appelées cornets polaires. Plutôt que de ressembler à un dipôle, la magnétosphère se présente en fait sous une forme déformée se compressant du côté diurne et s'étendant sur une grande distance du côté nocturne. La partie extrême du côté nocturne s'appelle la queue de la magnétosphère.

#### Arrivée du vent solaire dans la magnétosphère

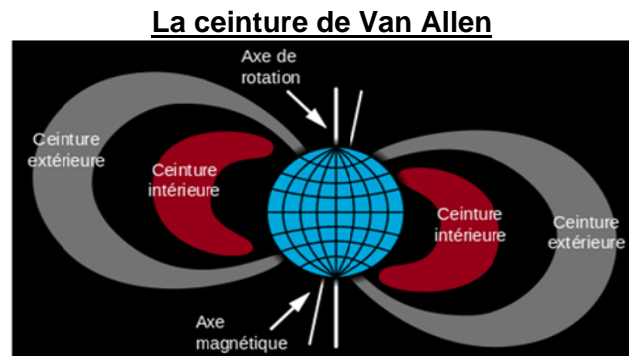


Source: [https://luth.obspm.fr/~luthier/mottez/intro\\_physique\\_spatiale/concepts/magnetosphere/regions.html](https://luth.obspm.fr/~luthier/mottez/intro_physique_spatiale/concepts/magnetosphere/regions.html)

Arrivé à grande vitesse, le vent solaire va changer de direction à la limite de la magnétosphère : la magnétopause, frontière protectrice se situant entre le milieu interplanétaire et le milieu terrestre. Au niveau de la queue magnétosphérique, on trouve le manteau, une région assez dense de la magnétosphère. Cette région entoure les lobes, les régions les moins denses et les moins riches en particules dans la magnétosphère.

Le plasma, lui, est dévié par les lignes du champ magnétique et s'écoule dans la magnétogaine, zone où les particules du vent solaire provoquent des turbulences fréquentes dans le plasma et une agitation électromagnétique élevée.

Il existe une région où les particules sont particulièrement concentrées : C'est la ceinture de Van Allen (Voir image à la page suivante).



Source: [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=WEj8W42VCYnuafPziJgN&q=ceinture+de+van+halen&oq=ceinture+de+va&gs\\_l=img.3.0.0i5j0i8i30i2j0i24i3.193924.196842..198035...0.0..0.176.1855.0j14.....0.....1..gws-wiz-img.....0i67.ajcRbJpVehg#imgsrc=PGPCEnJW025eSM:](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=WEj8W42VCYnuafPziJgN&q=ceinture+de+van+halen&oq=ceinture+de+va&gs_l=img.3.0.0i5j0i8i30i2j0i24i3.193924.196842..198035...0.0..0.176.1855.0j14.....0.....1..gws-wiz-img.....0i67.ajcRbJpVehg#imgsrc=PGPCEnJW025eSM:)

Cette ceinture est constituée de deux zones distinctes. La première, la ceinture intérieure, est connue pour son altitude située entre 70 km et 10000 km. La deuxième zone est la ceinture extérieure. Son altitude est plus vaste que la première, variant entre 13000km et 65000 km. De plus, alors que la ceinture **intérieure** est constituée de **protons** à haute énergie, la ceinture **extérieure**, elle, est constituée d'**électrons** à haute énergie. Lorsque pris au piège dans le champ magnétique, les protons se concentrent dans la ceinture. Puis, ils rentrent à grande vitesse en contact avec les particules de la haute atmosphère terrestre.

Et c'est la rencontre entre ces particules, les protons, et celles de la haute atmosphère de notre planète Terre qui est responsable de la formation des aurores polaires.

### **3.1.3 La terre et l'atmosphère terrestre**

#### **A.Définition de l'atmosphère terrestre**

L'atmosphère est l'enveloppe de gaz qui entoure notre terre (voir l'image à la page sui. Elle est épaisse d'environ 60000 km au-dessus de l'équateur et d'environ 30000 km au-dessus des pôles. Grâce aux différents gaz emprisonnés à l'intérieur du globe terrestre, notre atmosphère est enrichie. Par exemple, lors d'une éruption volcanique, le volcan libère différents gaz comme le diazote(1 à 3 %), vapeur d'eau(85 %) et dioxyde de carbone(10 à 15 %).

#### **La terre et son atmosphère**



Source: [https://www.google.com/search?q=atmosphere+terrestre&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwicj9DpsNXfAhWi4YUKHQTKBikQ\\_AUIDigB&biw=1600&bih=740#imgsrc=uSee5YKMem3eIM:](https://www.google.com/search?q=atmosphere+terrestre&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwicj9DpsNXfAhWi4YUKHQTKBikQ_AUIDigB&biw=1600&bih=740#imgsrc=uSee5YKMem3eIM:)

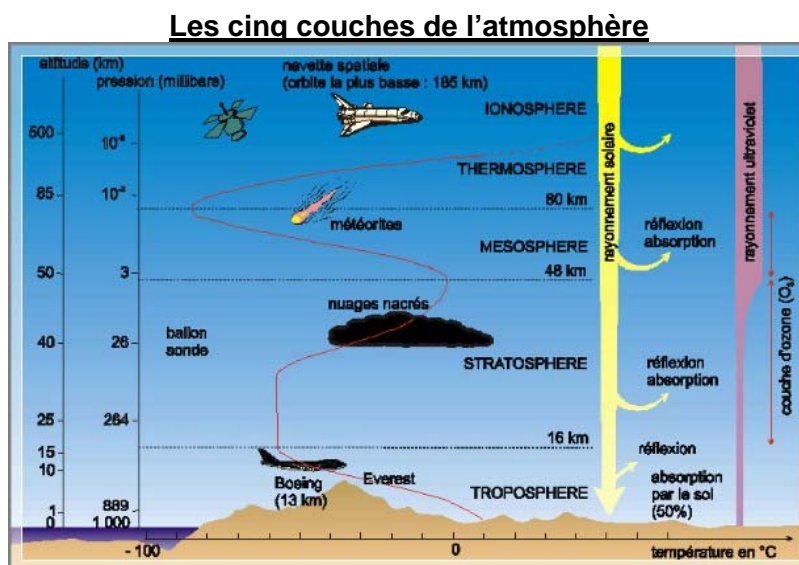


## **B. Le rôle de l'atmosphère terrestre**

Cette couche gazeuse joue un rôle essentiel pour notre protection. En effet, elle nous protège des météorites et des rayons ultraviolets envoyés par le Soleil, en plus d'être le régulateur de la température sur terre.

## **C. La composition de l'atmosphère terrestre**

On distingue plusieurs couches dans l'atmosphère terrestre. Elles sont présentées dans le schéma ci-dessous :



Source: [https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.encyclo-ecolo.com/images/0/03/Atmosphere.jpg&imgrefurl=https://www.encyclo-ecolo.com/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre&h=519&w=792&tbnid=oZWiyCz6zyYLqM:&q=composition+atmosph%C3%A8re+terrestre&tbnh=131&tbnw=200&usq=Al4\\_-kQsRkXT8yzNzwUycypysHz7RPLqzw&vet=12ahUKEwioyKusNXfAhUGyxoKHRHpCfEQ\\_B0wFXoECAQQBg..i&docid=APVMdqM2dPiaTM&itg=1&sa=X&ved=2ahUKEwioyKusNXfAhUGyxoKHRHpCfEQ\\_B0wFXoECAQQBg](https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.encyclo-ecolo.com/images/0/03/Atmosphere.jpg&imgrefurl=https://www.encyclo-ecolo.com/Atmosph%C3%A8re_terrestre&h=519&w=792&tbnid=oZWiyCz6zyYLqM:&q=composition+atmosph%C3%A8re+terrestre&tbnh=131&tbnw=200&usq=Al4_-kQsRkXT8yzNzwUycypysHz7RPLqzw&vet=12ahUKEwioyKusNXfAhUGyxoKHRHpCfEQ_B0wFXoECAQQBg..i&docid=APVMdqM2dPiaTM&itg=1&sa=X&ved=2ahUKEwioyKusNXfAhUGyxoKHRHpCfEQ_B0wFXoECAQQBg)

### **1) La troposphère**

C'est la couche la plus basse située par rapport à notre terre, se trouvant à environ 16 km d'altitude. Il s'agit de la couche atmosphérique dans laquelle nous vivons. Elle est constituée essentiellement de vapeur d'eau, d'azote et d'oxygène. Représentant 90 % de l'air contenue dans l'atmosphère, c'est cette partie qui nous permet de respirer. C'est dans cette couche que prennent naissance des phénomènes météorologiques comme les cyclones. Après il va y avoir ce qu'on appelle la tropopause la frontière séparant la troposphère et la stratosphère.

### **2) La stratosphère**

C'est la 2ème couche de notre atmosphère qui se situe entre la troposphère et la mésosphère. Elle inclut la couche d'ozone qui filtre les rayons ultraviolets nocifs, ce qui rend possible la vie sur terre. Au-dessus de la stratosphère se trouve la stratopause qui la sépare avec la mésosphère.

### **3) La mésosphère**

Dans cette couche les molécules d'oxygène et d'azote diminuent de plus en plus et se font de plus en plus rares et la température chute fortement. La mésosphère est un véritable bouclier protecteur pour notre terre : lorsque des objets stellaires (les météorites) la traversent, ils sont désintégrés.

#### 4) La thermosphère

Elle correspond à la couche la plus haute. La pression y est très faible, voire nulle, et elle ne se compose pas de molécules d'air. En effet, la température y varie de 300 °C à 1600 °C, selon l'activité solaire. Mais, comme il y a très peu de matières, il y fait très froid car les quelques molécules présentes ne peuvent pas transférer une chaleur convenable.

#### 5) L'ionosphère

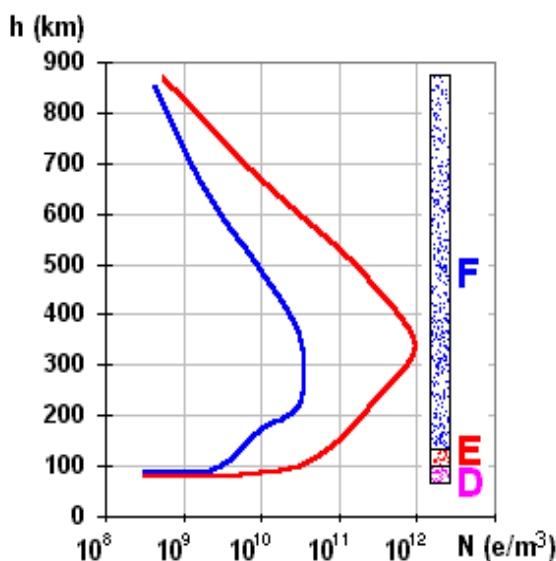
C'est la couche supérieure à la thermosphère. Elle est caractérisée par la présence de particules chargées (ions et électrons) et de particules neutres ( $N_2$  et  $O_2$ ) par le rayonnement ultraviolet solaire. Les gaz de cette couche sont sous forme de plasma tout comme les vents solaires, un mélange électriquement neutre d'électrons et d'ions positifs. Mais, il faut savoir que le nombre d'ions et d'électrons est variable en fonction de l'altitude. La pression de l'ionosphère est de  $10^2$  à  $10^4$  Pa selon l'altitude. Le graphique ci-dessous nous montre le nombre d'électrons qui varient en fonction de l'altitude et de l'heure.

En ordonnée on a l'altitude en km (entre 80 et 900 km).

En abscisse la quantité de gaz se trouvant dans l'ionosphère en norme mètre cube ( $Nm^3$ ) correspondant au volume en mètre cube.

La courbe bleue correspond aux variations de la quantité de gaz durant la nuit, tandis que la courbe rouge correspond aux variations de la quantité de gaz durant le jour.

Sur le côté on distingue les 3 couches composantes l'ionosphère.



Source: <http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM10/RM10C05.html>

L'ionosphère terrestre est comprise entre environ 80 et 500 km d'altitude. Elle est divisée en trois régions :

- la région D: Elle est située entre 60 et 85 km d'altitude. Elle est peu dense ( $10^2$  à  $10^4$  électrons par  $cm^3$ ). Elle est ionisée par les rayons X associés aux éruptions chromosphériques et par les émissions de protons solaires de basse énergie.
- la région E: Elle est située entre 85 et 130 km. Elle a une densité capable d'atteindre  $10^5$  électrons par  $cm^3$ . Elle est constituée d'ions positifs moléculaires  $NO^+$  et  $O_2^+$ .



- la région F: Elle est située au dessus de la couche E pour atteindre jusqu'à 1000 km, environ. Elle a une densité électronique de  $10^5$  à  $10^6$  électrons par  $\text{cm}^3$  (pour une altitude comprise entre 250 et 400 km). Elle comprend 2 couches :
  - F1 correspond à la zone de transition entre les ions moléculaires  $\text{O}_2^+$  et  $\text{N}_2^+$ , et les ions atomiques  $\text{O}^+$  et  $\text{N}^+$ .
  - F2 correspond au maximum d'ionisation de l'oxygène atomique. Mais, elle se maintient également la nuit grâce à la magnétosphère qui joue un rôle de réservoir à ions.

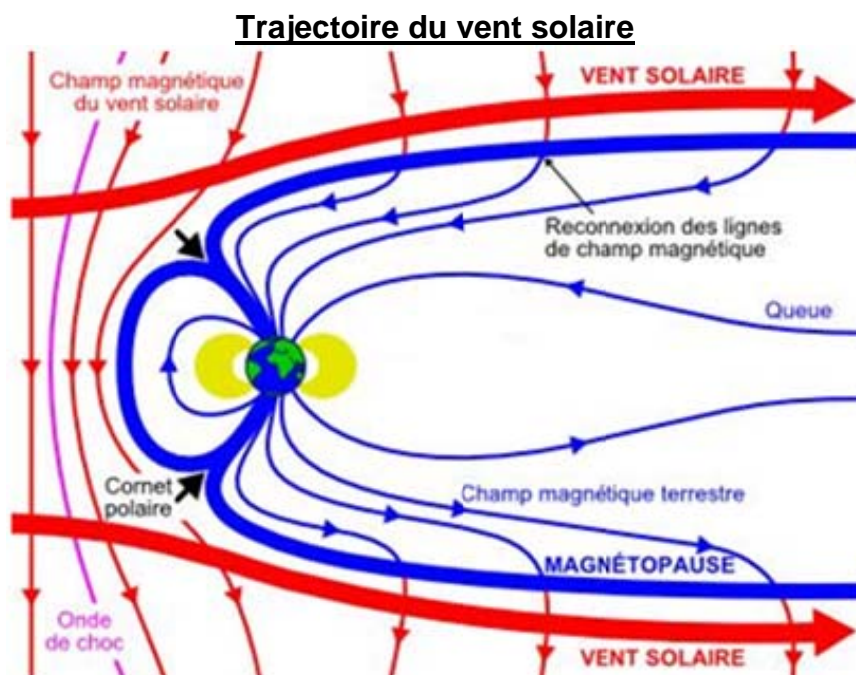
Les aurores polaires se produisent surtout dans la couche F qui est constituée d'atomes d'oxygène, d'azote ainsi que d'hydrogène.

### 3.1.4 Le vent solaire et le champ magnétique terrestre

Arrivant à très grande vitesse, le vent solaire exerce une pression sur la magnétosphère terrestre. Cette pression, permet aux particules du vent solaire de pénétrer dans la magnétosphère.

Au niveau de la région du choc, le vent solaire est très rapidement ralenti. Ces particules contournent la magnétosphère en se dirigeant vers l'arrière du champ magnétique terrestre, la magnétogaine. Ainsi, ces particules du vent solaire écrasent les lignes fermées de la magnétogaine, en les orientant vers le côté nuit (à l'opposé du soleil). L'interaction de particules solaires et du champ magnétique terrestre provoque ainsi l'embrasement du ciel au niveau des pôles.

Ce phénomène cause par la suite l'ouverture sur l'espace interplanétaire des lignes extérieures du champ magnétique, au départ fermées, ce qui facilite ainsi l'entrée du vent solaire dans la magnétosphère externe.



Source : [https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbn=isch&sa=1&ei=V0n8W4q8CuOZlwSCnK-QDA&q=trajectoire+vent+solaire&oq=trajectoire+vent+solaire&gs\\_l=img.3...107112.116243..116830...0.0..0.177.1744.0j12.....0....1..gws-wiz-img.....0j0i67j0i10.D2sei222iuY#imgsrc=Z8NFdOxQX9GQNM](https://www.google.fr/search?biw=1366&bih=657&tbn=isch&sa=1&ei=V0n8W4q8CuOZlwSCnK-QDA&q=trajectoire+vent+solaire&oq=trajectoire+vent+solaire&gs_l=img.3...107112.116243..116830...0.0..0.177.1744.0j12.....0....1..gws-wiz-img.....0j0i67j0i10.D2sei222iuY#imgsrc=Z8NFdOxQX9GQNM)

Grâce à une forte activité solaire, les lignes ouvertes de la magnétogaine, sont capables par la suite de se refermer et ce, en recombinaison le champ magnétique terrestre et le champ interplanétaire ensemble. Ce phénomène de reconnexion se nomme la reconnexion magnétique. Celle-ci permettra de libérer et de catapulter le flot des particules chargées vers l'atmosphère terrestre.

Pour finir, précipitées vers la Terre à très grande vitesse, ces particules vont s'engouffrer dans les cornets polaires, régions principales de la formation des aurores polaires. Les particules, protons et électrons, vont alors exciter et ioniser les atomes de la haute atmosphère terrestre. Cette ionisation se traduit à travers des nuages réfléchissant des ondes radio et émettant de la lumière colorée, les fameuses aurores polaires.

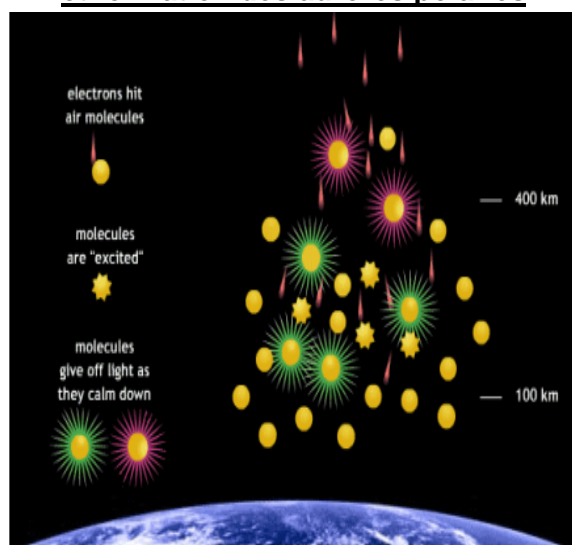
### 3.1.5 Le vent solaire et l'atmosphère terrestre

Lors de tempêtes solaires, une grande quantité d'électrons et de protons venant du soleil arrivent dans l'atmosphère terrestre sous forme de vent solaire. Pendant leur trajet, ils accumulent de l'énergie. Lorsqu'ils interagissent avec les molécules constitutifs de l'atmosphère, ils leur transmettent de l'énergie et les excitent par collision. Ces électrons et ces protons doivent contenir assez d'énergie afin de pouvoir exciter et interagir avec les molécules de la haute atmosphère terrestre, plus précisément l'ionosphère.

Par conséquent, les molécules présentes dans l'air comme l'oxygène et l'azote sont excitées. Il existe en fait deux types de collision :

- une collision radiative : Celle-ci se produit lorsqu'un électron rencontre un ion, ce qui va former une particule.
- une collision dissociative : Celle-ci se produit dans les mêmes conditions que celle de la collision précédente. Mais, ici cette rencontre électron-ion va former deux particules excitées.

#### Excitation et désexcitation des molécules et formation des aurores polaires



Source: [https://www.google.com/search?q=electrons+et+atmosphère+terrestre&tbm=isch&tbs=rimg:CaJcX0Z3LBQZijRnPiJ\\_1f1hNgmiZPko4ZAiHR-fEaB9spC7I8VSZpADGoKe8s6NW6teQelJEbBPXOb09sgolFxaMCoSCZGc-Mn9\\_1WE2ESRSyWtgnZqzKhIJCaJk-SjhkCIRvAiyOOVxLdAqEgkDH58RoH2ykBFcd5jKmf1Z5SoSCbsjxVJmkAMaER2qoGF LkibFKhIJgp7yzo1bq14RWfiX9mxBuFMqEglB4gkQEE9c5hGtnsGtz7kmSoSCfT2yCggXFowEfl9jGIPYZI8&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwjUO6JrtXfAhWmz4UKHcwJCRwQ9C96BAgBEBs&biw=1600&bih=740&dpr=1#imgsrc=HR-fEaB9spCR4M](https://www.google.com/search?q=electrons+et+atmosphère+terrestre&tbm=isch&tbs=rimg:CaJcX0Z3LBQZijRnPiJ_1f1hNgmiZPko4ZAiHR-fEaB9spC7I8VSZpADGoKe8s6NW6teQelJEbBPXOb09sgolFxaMCoSCZGc-Mn9_1WE2ESRSyWtgnZqzKhIJCaJk-SjhkCIRvAiyOOVxLdAqEgkDH58RoH2ykBFcd5jKmf1Z5SoSCbsjxVJmkAMaER2qoGF LkibFKhIJgp7yzo1bq14RWfiX9mxBuFMqEglB4gkQEE9c5hGtnsGtz7kmSoSCfT2yCggXFowEfl9jGIPYZI8&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwjUO6JrtXfAhWmz4UKHcwJCRwQ9C96BAgBEBs&biw=1600&bih=740&dpr=1#imgsrc=HR-fEaB9spCR4M)

Mais, cette excitation est éphémère et ne dure que pendant un millième de seconde. Ces molécules vont vite être “désexcitées”, ce qui va produire les radiations lumineuses visibles ou pas en fonction de la nature de l’atome. Ces effets lumineux peuvent être de différentes couleurs selon la nature de l’atome et l’altitude comme cela va être expliqué dans ce qui suit au paragraphe 3.2.1. Ce sont ces effets lumineux qu’on appelle les aurores polaires.

## 3.2 Les caractéristiques des aurores polaires

### 3.2.1 Différentes couleurs à différentes altitudes

Chaque gaz atmosphérique excité émet une couleur différente.

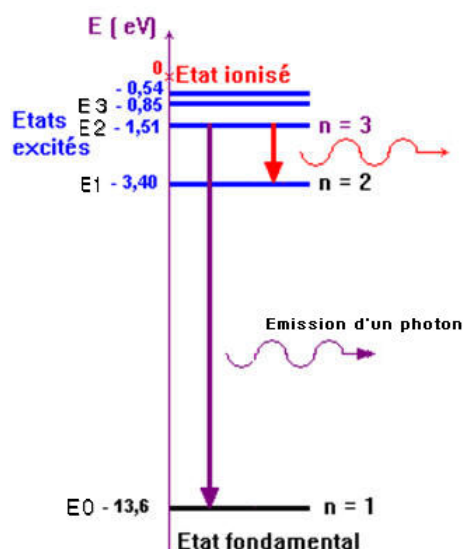
En effet, les atomes d’azote et d’oxygène présents sont percutés par les particules solaires chargées et gagnent ainsi de l’énergie qui les excite. Ils regagnent rapidement leur état initial en restituant l’énergie acquise sous la forme de photons lumineux.

Près de 25 couleurs différentes peuvent être observées. La couleur d’une aurore polaire dépend de l’atome désexcité et ce, selon la formule suivante:

$$\Delta E = h\nu$$

où  $\Delta E$  est la variation de niveau d’énergie électronique,  $h$  la constante de Planck et  $\nu$  la longueur d’onde du photon émis.

Prenons l’exemple de l’oxygène. Sous l’effet du rayonnement incident, l’atome d’oxygène absorbe de l’énergie. Cela se fait par un “saut” d’électron d’un niveau d’énergie (plus proche du noyau) à un niveau d’énergie plus élevé (plus éloigné du noyau).



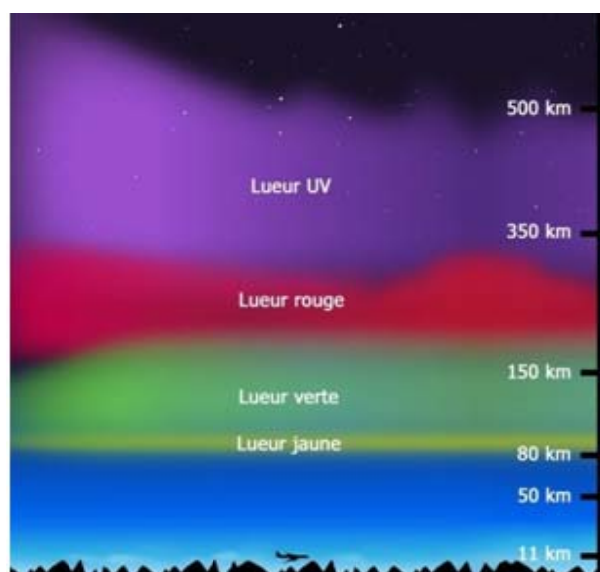
Appelons E1 et E2 ces deux niveaux. Cela est possible lorsque l'énergie incidente est égale ou très proche de la distance E2 - E1. Cependant, cet état "excité" n'est pas stable et spontanément l'électron va redescendre du niveau d'énergie E2 au niveau stable E1. Cette transition se fait par libération d'énergie (E2 - E1). Et l'énergie est libérée sous la forme d'un photon (on parle d'émission spontanée). Ce photon aura une énergie et donc une longueur d'onde fixée par la valeur du saut d'énergie.

La couleur la plus commune et la plus brillante est la couleur jaune-vert. Celle-ci se produit suite à des électrons incidents qui excitent des atomes d'oxygène, situés à une altitude d'environ 100km.

Par ailleurs, la couleur la plus rare des aurores polaires est le rouge foncé. Celle-ci se développe également à partir d'atomes d'oxygène. Mais ces derniers, contrairement à ceux qui produisent la couleur jaune-vert, sont très énergétiques et atteignent une très haute altitude d'environ 300km.

Enfin, nous avons les molécules de nitrogène ionisées qui produisent la lumière bleue, alors que les molécules de nitrogène électriquement neutres sont responsables de la création de la couleur rouge-violet.

### Les différentes altitudes et les couleurs correspondantes



Source: [https://www.google.fr/search?q=spectre+lumineux+d%27une+aurore+bor%C3%A9ale&tbm=isch&tbs=rimg:CaJCX0Z3LBQZljgwZShlm6KKXJGc-Mn9\\_1WE2CaJk-SjhkCldH58RoH2ykJlx7i3adwB8uyPFUmaQAxpB4gkQEE9c5ioSCTBIKEiboopcEeQMiÖfrpDI0KhIJkZz4yf39YTYRJFLJa2CdmrMqEgkJomT5KOGQIhG8CLi45XEt0CoSCR0fnxGgfbKQEZYQ9lolyttjKhIJkHulDp3AHwRmXhAr1mxsQUqEgm7l8VSpADGhEdqqBhS5lmxSoSCUHiCRAQT1zmEa2ez4a3PuSZ&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwiJ1qTX8\\_LeAhVRTBoKHeAOANYQ9C96BAgBEBg&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgsrc=uyPFUmaQAxa-M-](https://www.google.fr/search?q=spectre+lumineux+d%27une+aurore+bor%C3%A9ale&tbm=isch&tbs=rimg:CaJCX0Z3LBQZljgwZShlm6KKXJGc-Mn9_1WE2CaJk-SjhkCldH58RoH2ykJlx7i3adwB8uyPFUmaQAxpB4gkQEE9c5ioSCTBIKEiboopcEeQMiÖfrpDI0KhIJkZz4yf39YTYRJFLJa2CdmrMqEgkJomT5KOGQIhG8CLi45XEt0CoSCR0fnxGgfbKQEZYQ9lolyttjKhIJkHulDp3AHwRmXhAr1mxsQUqEgm7l8VSpADGhEdqqBhS5lmxSoSCUHiCRAQT1zmEa2ez4a3PuSZ&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEwiJ1qTX8_LeAhVRTBoKHeAOANYQ9C96BAgBEBg&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgsrc=uyPFUmaQAxa-M-)

### Différentes couleurs selon l'altitude et les molécules

COULEUR	ATOME/MOLECULE PERCUTÉ(É)	ALTITUDE (EN KM)	LONGUEUR D'ONDE (EN NM)
Bleu	Azote (N <sub>2</sub> )	90 km	427 nm
Violet	Azote (N <sub>2</sub> )	350 km et plus	427 nm
Jaune-vert	Oxygène atomique (O)	90 km - 150 km	557 nm
Rouge foncé	Oxygène moléculaire (O <sub>2</sub> )	A partir de 300 km	550 - 650 nm

Source1: <http://aurores-polaires-et-incidents-technologiques.e-monsite.com/pages/le-merveilleux-des-eruptions-solaires-les-aurores-polaires/les-couleurs-de-l-aurore-polaire.html/>  
Source2 : <http://auroresboreales.over-blog.com/2016/01/les-couleurs.html>

### **3.2.2 Lieux et périodes de visibilité**

Les aurores polaires, comme leur nom l'indique, sont observables dans les régions polaires et nulle part ailleurs. L'explication revient au fait que la partie du vent solaire qui arrive à esquiver le bouclier magnétique de la terre et réussit à passer à travers les lignes du champ magnétique, le font précisément par les points d'entrée et de sortie des lignes du champ, c'est-à-dire, le pôle nord et le pôle sud.

L'observation des aurores polaires se fait distinctement dans trois régions différentes, notamment:

- (1) au nord du Canada,
- (2) en Alaska aux Etats Unis, plus particulièrement à Fairbanks et Nome, et
- (3) au nord de la Scandinavie en Europe.

Nulle saison ne privilégie la fréquence des aurores boréales. En fait, nous pouvons les voir à n'importe quelle période de l'année. Elles sont toutefois plus fréquentes environ à tous les 11 ans, ce qui correspond au maximum d'activité solaire. Cependant, puisqu'elles ne sont visibles que la nuit, on a plus de chance de les voir durant l'hiver et plus fréquemment autour de minuit, plus précisément entre 22 heures et 3 heures du matin. Les aurores polaires peuvent enflammer le ciel pendant plusieurs minutes et parfois même pendant plusieurs heures.

# CHAPITRE IV

## EXPÉRIMENTATIONS ET AUTRES INVESTIGATIONS

### 4.1. Expérience 1 au lycée : champ magnétique

#### 4.1.1. Objectif

Démontrer que le champ magnétique se comporte tel un aimant.

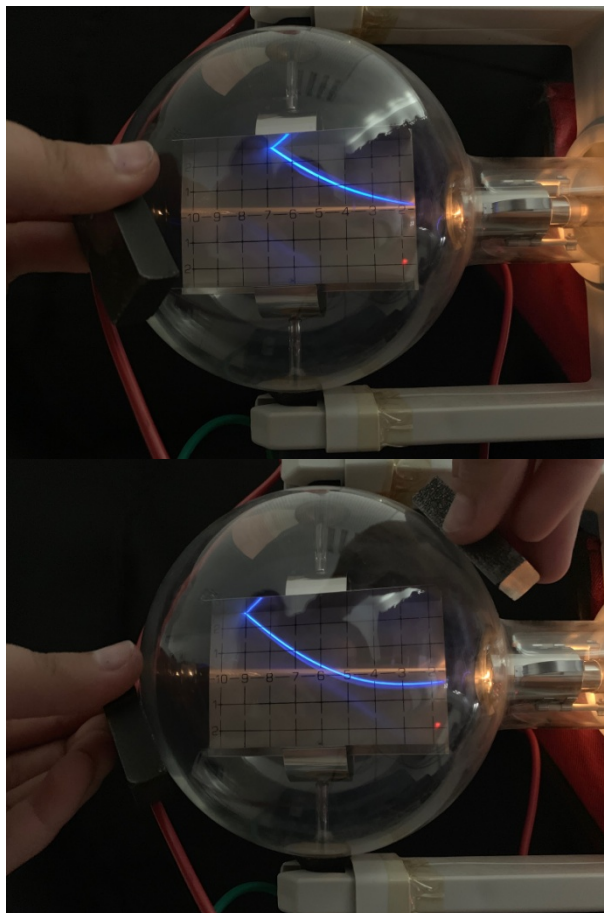
#### 4.1.2. Matériel nécessaire

- Canon à électrons pour accueillir les électrons.
- Générateur 1000 ou 2000 volts pour envoyer des électrons.
- Aimants

#### 4.1.3. Principes théoriques

En présence d'aimants, la trajectoire des électrons est modifiée.

#### 4.1.4. Description de l'expérience



### **4.1.5. Difficultés pratiques**

Aucune.

### **4.1.6. Résultats**

Nous pouvons voir que la trajectoire des électrons est déviée dès qu'on lui approche un aimant.

## **4.2. Expérience 2 : deux simulations au lycée**

### **4.2.1. Objectif**

Il s'agit de faire une expérience visant la reproduction d'une aurore polaire artificielle. Cette dernière permettra de simuler l'aurore polaire réelle qui apparaît lorsque certaines conditions sont réunies dans l'espace. La planeterrella qui permet ce genre de simulation n'existe pas en Tunisie. C'est ce qui nous a encouragé à en bricoler une avec les moyens de bord. Notre objectif est donc de monter une planeterrella revisitée afin de pouvoir simuler et voir un oval auroral.

### **4.2.2. Matériel nécessaire**

Pour cette expérience, nous avons besoin :

- d'une cloche à vide
- d'une pompe à vide capable de descendre la pression jusqu'à quelques dizaines de Pascal
- de deux boules aimantées
- de deux supports pour supporter les deux boules
- de fils électriques pour faire passer le courant
- d'un générateur électrique capable d'envoyer quelques centaines de voltes
- d'une planche en PVC à mettre en dessous de la cloche pour faire passer les fils électriques
- de silicone afin de boucher les trous percés dans la planche en bois, assurer son étanchéité à l'air et maintenir la cloche sous vide

### **4.2.3. Principes théoriques**

Il s'agit de reproduire l'effet de l'interaction des faisceaux d'électrons énergétiques issus du vent solaire avec le champ magnétique terrestre, ce qui donne des émissions lumineuses dites aurores boréales ou australes.

Une première sphère aimantée représentera la Terre et son champ magnétique et l'autre sphère jouera le rôle du Soleil.

La cloche à vide et la pompe à vide servent à reproduire les conditions de pression nécessaires à l'apparition des aurores polaires dans l'espace.



Connecté aux deux sphères par des fils électriques enroulés autour des tiges filetées jusqu'aux sphères, le générateur envoie des électrons dans la cloche, représentant les particules provenant du vent solaire. Une fois ces électrons en contact avec le magnétisme de la boule représentant la terre, un ovale auroral est supposé apparaître autour de cette boule.

#### 4.2.4. Description de l'expérience

Nous avons bricolé une planche carrée en PVC de 30 cm de côté et de 2 cm d'épaisseur. Nous avons troué cette planche pour créer un passage pour les câbles électriques. Au dessus de la planche, nous avons placé les deux supports (tiges filetées plantées dans des bases carrées en bois de 6cm de côté). Le premier support est de 12 cm et le deuxième est de 10 cm de hauteur. Sur ces supports, nous avons collé les boules contenant les aimants. Ces boules sont recouvertes de papier aluminium. Une fois, tout ceci est installé, nous avons couvert le tout avec la cloche à vide.



#### 4.2.5. Difficultés pratiques

Nous nous sommes heurtées à de nombreuses difficultés.

- Non disponibilité d'une partie du matériel au laboratoire du lycée (boules aimantée, supports pour supporter les boules, grande cloche à vide). Donc nécessité dans un premier temps de se contenter de la petite cloche à vide et de bricoler les boules (boules en plastique qu'on a du ouvrir pour y placer l'aimant) et de créer des supports (tiges filetées).
- Avoir la bonne taille des boules pour qu'elles puissent entrer sous la cloche qui s'est avérée plutôt petite (19cm de diamètre et 17 cm de hauteur)
- Percer la plaque en PVC
- Être sûre que la cloche est suffisamment vide
- Rendre conductrices les boules, à la base en plastique et donc isolantes, en les recouvrant de papier aluminium.

#### 4.2.6. Résultats

Lors de deux premières tentatives, nous n'avons pas obtenu la moindre aurore. Mme Gaigi nous recommande d'isoler les tiges filetées en les recouvrant de pâte à modeler. Nous n'étions toutefois pas sûres de l'adhérence de la pâte à modeler aux tiges sous la pression du vide.

Nous décidons alors de consulter le chercheur qui a fabriqué la Planeterrella, le simulateur d'aurores polaires: Pr Jean Lilensten, professeur universitaire à l'Université de Grenoble et chercheur français en astronomie et planétologie.

#### 4.3. Interview d'un chercheur français

Pr Jean Lilensten nous a accordé un rendez-vous pour un appel-conférence via Skype pour le lundi 28 Janvier 2019 à 19h30. Lors de notre communication, il attire notre attention sur plusieurs précautions à prendre si l'on espère un jour reproduire la moindre aurore.



Ces précautions sont les suivantes:

- Enlever le papier aluminium qui, par son aspect irrégulier provoquera plusieurs éclairs minuscules et invisibles et empêchera la formation du véritable oval auroral.
- A l'idéal, remplacer les sphères en plastique par des sphères métalliques. Sinon, rendre les sphères en plastique conductrices, en les peignant avec de la peinture aluminisée contenant du métal. Cela les rendra conductrices tout en préservant leur aspect lisse.
- S'assurer à l'aide d'un manomètre que le vide créé est suffisant. Il faut descendre jusqu'à peine une dizaine de Pascals, précisément entre 50 et 80 Pascals.
- Pour éviter que l'air ne s'introduise sous la cloche, deux précautions sont à prendre. D'abord, remplacer le silicone de salles de bain, instable sous vide, par de la colle Araldite, plus efficace sous vide. Ensuite, induire le rebord de la cloche avec de la graisse à vide pour qu'elle adhère hermétiquement au support et soit étanche à l'air.
- Pour créer un vide presque parfait, il faut veiller à ce que le matériel soit propre et qu'il n'y ait pas la moindre poussière. En effet, pour un électron, une particule de poussière est relativement aussi énorme qu'une montagne.
- Trouver des supports en Plexiglas sinon recouvrir les tiges filetées de scotch d'électricien pour que seules les sphères soient conductrices.

L'enregistrement de la communication au complet est disponible sur notre site Web (sur la clé USB fournie avec ce document).

#### 4.4. Expérience 3 : simulation en dehors du lycée

Réalisant que l'expérience est exigeante et sensible au moindre détail et que notre matériel au lycée est loin d'être parfait et suffisant, nous avons pensé à l'option de l'effectuer en dehors du lycée. Nous sommes alors entrées en contact avec Fab Lab Jeunes Sciences De Tunisie (à cité El Khadhra) pour voir la possibilité d'utiliser leur matériel pour effectuer l'expérience. Ils n'ont pas été contre le principe.



Toutefois, cela n'a pas été possible parce que leur cloche à vide était brisée.

Nous décidons alors de tenter de faire l'expérience avec les moyens de bord dans la cave de la maison de Manel Krichène.

#### 4.4.1. Perfectionnement du matériel

Pour éviter les problèmes dus aux boules en plastique recouvertes de papier d'aluminium et aux potences conductrices, nous avons emprunté deux véritables boules métalliques à la Faculté des Sciences (Université de Tunis El Manar). Chacune de ces boules est fournie avec le support vertical en plastique au dessus duquel elle est placée. Ainsi, seules les boules seront conductrices. Par ailleurs, elles sont de taille différente: la plus grande représentant le soleil et la plus petite symbolisant la terre.



Toutes les deux sont creuses et peuvent être ouvertes pour accueillir l'aimant. Ces boules métalliques sont précisément en cuivre, un métal non ferreux, pour ne pas attirer l'aimant et nous permettre de le placer au centre.



Pour régler le problème de la cloche à vide plutôt de petite taille, nous avons dû bricoler une enceinte à vide "fait maison". Pour ce faire, nous avons acheté un bac de 30 litres de volume avec couvercle, le tout en plastique. Avant de faire quoi que ce soit, nous en avons testé la résistance au vide et nos soupçons se sont confirmés. Sous l'effet du vide, les parois du bac n'ont pas résisté et se sont brisées.

Ceci nous a donné l'idée de renforcer ces parois. Deux côtés ont alors été doublés de plaques en bois et les deux autres de plaques en plexiglas pour préserver la transparence et pouvoir observer ce qui se passe à l'intérieur. Pour éviter que les parois ne se déforment, nous les avons également bloquées à l'aide de deux barres en bois.

Pour assurer plus d'adhésion et d'hermétisme, les rebords du couvercle ont été induits de silicone et renforcés à l'aide de quatre serre-joints.

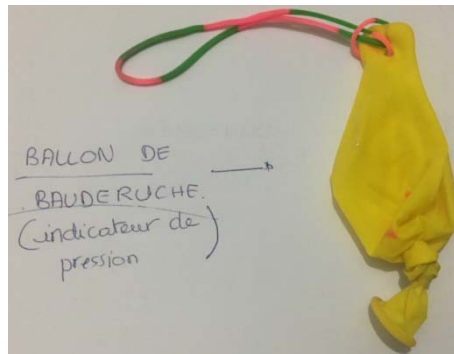


Ce bac a été troué sur le côté pour brancher un tuyau le reliant à une pompe à vide qu'on a emprunté à la Faculté des Sciences (Université de Tunis El Manar). Nous savions qu'une fois l'expérience effectuée et le vide créé à l'intérieur, il deviendrait difficile, voire impossible, de soulever le couvercle du bac (Expérience de Magdebourg). C'est pour cela que nous avons bricolé un robinet (le robinet rouge sur la photo suivante) au niveau du branchement entre le bac et le tuyau de la pompe à vide. Une fois l'expérience terminée, ce robinet sera ouvert pour laisser entrer l'air dans le bac, et ce n'est qu'ainsi qu'on pourra soulever le couvercle.





En guise de détecteur de pression, nous avons placé à l'intérieur du bac un ballon de baudruche. Ce dernier est censé augmenter de volume avec l'augmentation du vide.



Un câble électrique de haute tension est lié d'un côté à un générateur électrique. Nous avons fait passer l'autre côté de ce même câble à travers un trou percé dans le bac en plastique. Une fois à l'intérieur de l'enceinte, ce câble électrique sera relié à la grande boule en cuivre représentant le soleil.

#### **4.4.2. Résultats**

Au jour du dimanche 03 Février 2019, on n'a toujours pas réussi à voir une aurore. Le générateur haute tension s'est grillé. Nous le confierons à un technicien pour réparation. Dès qu'il sera réparé, nous continuerons à essayer. Nous espérons avoir une aurore d'ici le jour de la présentation orale.

## CONCLUSION

Le Soleil est le premier responsable de la formation des aurores polaires. Lorsqu'il a une activité très importante, il émet un vent solaire plein de particules chargées, en majorité des électrons et des protons. Ces particules vont exciter les molécules de la haute atmosphère terrestre. Très vite, ces molécules vont être "désexcitées". Cela provoquera dans le ciel des phénomènes lumineux observables à haute latitude : les aurores polaires.

C'est la Planeterrella de Lilensten, version améliorée de la Terrella de Birkeland, qui a inspiré l'expérience qu'on a décidé de mener en laboratoire.

Grâce à cette expérience, nous alimentons l'espoir de pouvoir un jour assister à la formation d'une pseudo aurore polaire, ici dans un laboratoire en Tunisie, une région loin d'être polaire et où on ne risquera pas de voir une aurore polaire de sitôt.

Ainsi, nous avons temporairement satisfait notre curiosité quant aux aurores polaires, en attendant d'en voir une vraie lors d'une expédition au nord du Canada.

Grâce à ce travail, nous regarderons désormais les aurores polaires non simplement comme un beau phénomène visuel qui surgit dans les cieux polaires, mais comme la conséquence de la rencontre entre des particules issues d'une étoile (le Soleil) et les molécules de la haute atmosphère d'une planète (la Terre).

Cela nous inspire la voie future de recherche suivante. Ce phénomène auroral peut-il se produire avec n'importe quelle planète dotée d'une atmosphère ?



## REFERENCES

Balibar, Françoise (2007). Einstein. La joie de la pensée. Découvertes Gallimard Sciences et Techniques. ISBN 978-2-07-053220-9

Breuil, Michel (1997). Dictionnaire des Sciences de la Vie et de la Terre. Nathan. ISBN 2-09-184540-X

Larousse (1996). La Terre, une planète active. Bordas. ISBN 2-03-652408-7

[https://astronomia.fr/2eme\\_partie/panetes/auroresBoreales/aurores.php](https://astronomia.fr/2eme_partie/panetes/auroresBoreales/aurores.php)

[http://saptoulouse.net/wp-content/uploads/2015/10/aurores\\_polaires\\_mars\\_2012.pdf](http://saptoulouse.net/wp-content/uploads/2015/10/aurores_polaires_mars_2012.pdf)

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

[http://planeterrella.osug.fr/IMG/pdf/transformation\\_de\\_la\\_matie\\_re.pdf](http://planeterrella.osug.fr/IMG/pdf/transformation_de_la_matie_re.pdf)

[https://www.sciencesetavenir.fr/escape/planetes/une-image-acouper-le-souffle-des-champs-magnetiques-de-jupiter\\_34786](https://www.sciencesetavenir.fr/escape/planetes/une-image-acouper-le-souffle-des-champs-magnetiques-de-jupiter_34786)

[http://www.geomag.nrcan.gc.ca/mag\\_fld/fld-fr.php](http://www.geomag.nrcan.gc.ca/mag_fld/fld-fr.php)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Champ\\_magn%C3%A9tique\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Champ_magn%C3%A9tique_terrestre)

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

[http://planeterrella.osug.fr/IMG/pdf/transformation\\_de\\_la\\_matie\\_re.pdf](http://planeterrella.osug.fr/IMG/pdf/transformation_de_la_matie_re.pdf)

[http://saptoulouse.net/wp-content/uploads/2015/10/aurores\\_polaires\\_mars\\_2012.pdf](http://saptoulouse.net/wp-content/uploads/2015/10/aurores_polaires_mars_2012.pdf)

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

[http://planeterrella.osug.fr/IMG/pdf/transformation\\_de\\_la\\_matie\\_re.pdf](http://planeterrella.osug.fr/IMG/pdf/transformation_de_la_matie_re.pdf)

[http://tpeaurorespolaires.over-blog.com/pages/Lieux\\_et\\_periodes\\_de\\_visibilite-2228970.html](http://tpeaurorespolaires.over-blog.com/pages/Lieux_et_periodes_de_visibilite-2228970.html)

<http://e.maxicours.com/img/3/7/9/3/379307.gif>

<https://www.explorelmonde.com/chasse-aux-aurores-boreales-lygens-alps/>

<http://mp01.free.fr/aurores1/aurores.htm>

<http://planeterrella.osug.fr/IMG/pdf/tpe-eaux-claires2012.pdf>

<http://tpeaurore.free.fr/fr/phenomene.php>

<https://guidetoiceland.is/fr/les-aurores-boreales/definition-aurores-boreales>

<http://aurorespolaires.e-monsite.com/>

<http://aurorespolaires.over-blog.com/>

<https://www.aurora-maniacs.com/aurores-polaires/phenomene-aurores.html>

<http://aurorespolaires.e-monsite.com/>

<https://sites.google.com/site/lesaurorespolairesprojetpeip/le-vent-solaire>

<http://auroresboreales.over-blog.com/2016/01/les-couleurs.html>

<http://auroresboreales.e-monsite.com/pages/formation.html>