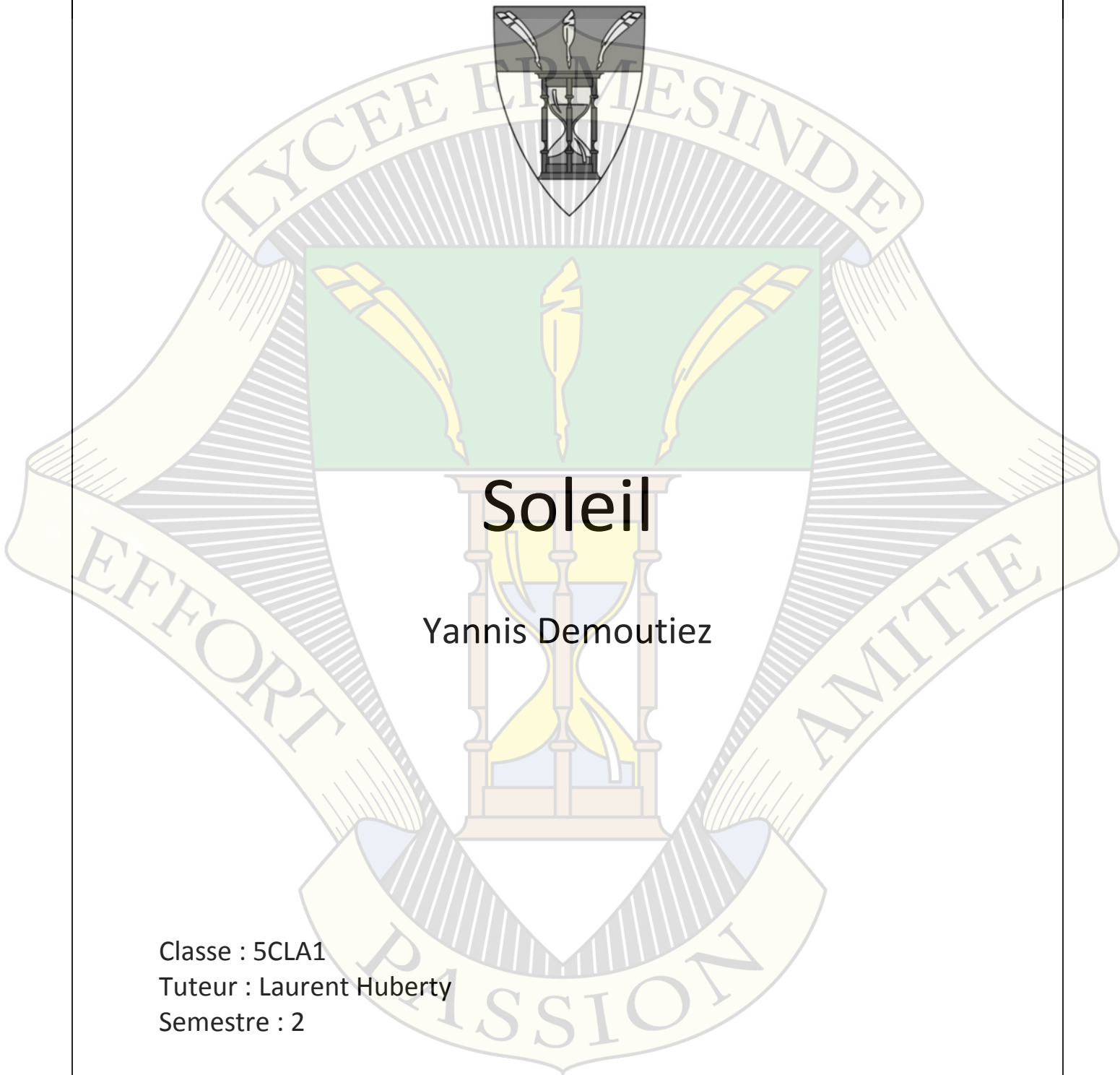
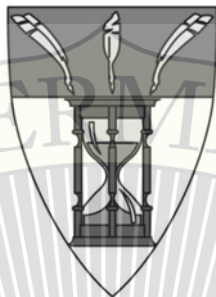


# Les travaux personnels du Lycée Ermesinde Mersch



## Soleil

Yannis Demoutiez

Classe : 5CLA1  
Tuteur : Laurent Huberty  
Semestre : 2

Juillet 2016

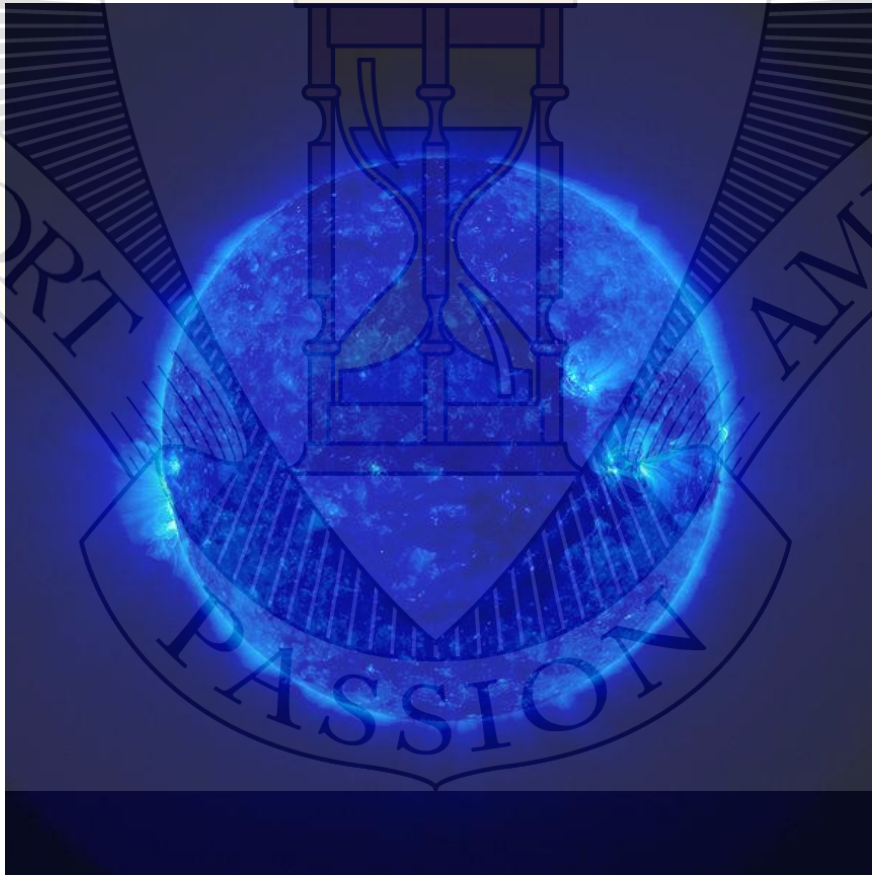
# Le Soleil

**Yannis Demoutiez**

**5CLA1**

**2015 – 2016**

**Tuteur : Laurent Huberty**



1	Introduction.....	2
2	Pourquoi ai-je choisi ce sujet ?.....	2
3	La structure et le fonctionnement du Soleil.....	3
3.1	Comment le Soleil produit-il son énergie ? .....	3
3.2	Les différentes zones du Soleil .....	3
4	Les éclipses solaires.....	5
4.1	Les quatre différents types d'éclipse solaire .....	5
5	Le Soleil dans l'histoire .....	7
6	Le cycle de vie d'une étoile .....	10
6.1	La naissance d'une étoile.....	10
6.2	La vie d'une étoile.....	10
6.3	La mort d'une étoile .....	10
7	La fusion thermonucléaire .....	12
7.1	ITER .....	13
8	Les missions spatiales solaires .....	16
9	Les rayonnements du Soleil .....	18
9.1	Les différents rayons .....	18
9.2	Les effets des rayons de Soleil sur le corps humain .....	19
10	Les phénomènes solaires .....	22
11	Les fours solaires .....	25
11.2	Construire un four solaire à entonnoir en carton .....	26
11.3	Cuisiner avec votre four solaire à entonnoir .....	28
12	Conclusion .....	29
13	Sources .....	30

## 1 Introduction

Notre planète appartient au système solaire qui est composé de huit planètes tournant autour d'une étoile, le Soleil. Le Soleil (Sol en latin) est l'étoile du système solaire. Autour de lui gravitent la Terre, sept autres planètes, trois planètes naines, des astéroïdes, des météorites, des comètes et de la poussière interstellaire. Le Soleil représente à lui seul 99.8% de la masse du système solaire.

L'énergie solaire, transmise par ensoleillement, rend possible la vie sur Terre par apport de chaleur et de lumière, permettant la présence d'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement du Soleil est aussi responsable des climats et de la plupart des phénomènes météorologiques observés sur notre planète.

## 2 Pourquoi ai-je choisi ce sujet ?

Ma participation à l'entreprise d'astronomie m'a amené à choisir le Soleil comme sujet de travail personnel. Les étoiles amènent de l'énergie, de la chaleur et de la lumière aux planètes de leur système « solaire ». Le Soleil est l'étoile au centre de notre système solaire. Il conditionne notre existence et, à ce titre, il est intéressant de mieux le connaître.

En choisissant le Soleil, je peux aussi traiter des réactions chimiques comme la fusion nucléaire, un aspect théorique qui m'intéresse beaucoup. Avec la fusion nucléaire je découvre le projet ITER visant à produire de l'énergie d'une manière aussi efficace que les centrales nucléaires mais plus proprement, un aspect d'actualité et d'avenir!

Il y a aussi les effets du Soleil sur notre existence : les effets sur l'humeur, la fatigue et la peau. Comment le Soleil si éloigné de nous peut avoir des effets sur notre vie de tous les jours? Que se passe-t-il lors des éclipses solaires ?

Ce sujet me permet aussi de traiter un aspect plus pratique : la construction d'un four solaire.



### 3 La structure et le fonctionnement du Soleil

Le Soleil n'a pas de surface solide, il est composé de gaz, essentiellement de l'hydrogène. Dans le Soleil, la densité et la température augmentent progressivement jusqu'au noyau où la pression est plus 100 milliards de fois supérieure à la pression atmosphérique à la surface de la Terre. Grâce à ces conditions uniques dans notre système solaire, la fusion nucléaire a lieu. Les noyaux d'hydrogène réagissent pour former des noyaux d'hélium. Une partie de la masse des noyaux d'hélium passe dans les couches externes du Soleil et se répandent dans les ténèbres avant d'atteindre la Terre sous forme de lumière et de chaleur.

#### 3.1 Comment le Soleil produit-il son énergie ?

Le Soleil produit toute son énergie grâce à la fusion de deux atomes d'hydrogène qui deviennent un atome d'hélium. Le Soleil convertit 619 millions de tonnes d'hydrogène, en 614 millions de tonnes d'hélium chaque seconde. On remarque que la masse de l'atome d'hélium obtenue est inférieure à la somme des masses des deux atomes d'Hydrogène. Pendant la fusion, une partie de la matière est transformée en énergie, ce qui explique la perte de masse. L'énergie dégagée peut être calculée grâce à la fameuse équation d'Albert Einstein «  $E=mc^2$  ». Cette équation dit qu'une particule de masse  $m$  a une énergie  $E$  qui équivaut au produit de la masse par la vitesse de la lumière au carré. Avec la taille du Soleil, même s'il n'y a qu'un peu de masse perdue lors de la fusion, l'énergie dégagée est énorme.

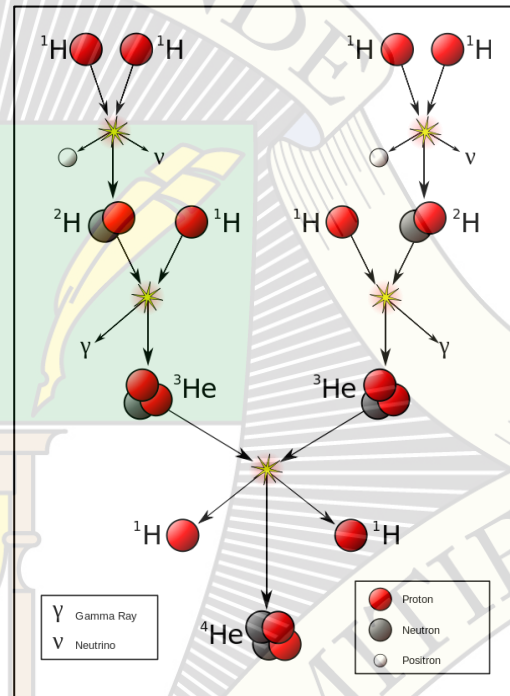


Figure 1. Transformation de l'Hydrogène (H) en Hélium(He) par fusion

#### 3.2 Les différentes zones du Soleil

Le Soleil est divisé en plusieurs parties qui ont chacune un rôle différent dans le fonctionnement du Soleil. Chacune de ces zones a un nom et possède différentes caractéristiques.

##### 3.2.1 Noyau

Le noyau se trouve au centre du Soleil. C'est à peu près un cinquième du Soleil. La température y atteint 15 millions de degrés. Le centre du noyau est principalement composé d'hélium.

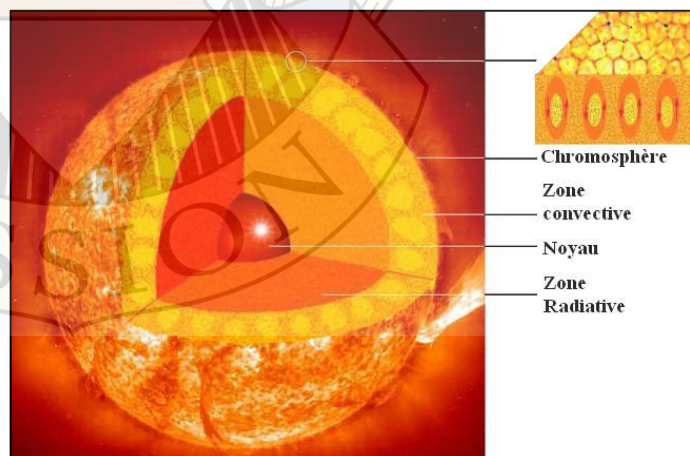


Figure 2. Structure en couches du Soleil

C'est l'endroit où la fusion nucléaire crée 99% de l'énergie du Soleil.

### 3.2.2 Zone radiative

L'énergie passe lentement à travers la zone radiative, où les noyaux sont irradiés des milliards de fois. Elle est si dense que l'énergie venant du noyau peut prendre 100 000 ans pour atteindre sa surface. La zone radiative se trouve autour du noyau et elle représente 70% du rayon du Soleil. Les températures y varient de 1,5 à 15 millions de degrés.

### 3.2.3 Zone tachocline

La zone tachocline est une zone de transition entre la zone radiative et la zone de convection. Elle joue un rôle essentiel dans la génération du champ magnétique dynamique du Soleil.

### 3.2.4 Zone de convection

A l'intérieur de la zone convective qui se trouve autour de la zone tachocline, des poches de gaz chauds se dilatent et remontent vers la surface du Soleil. Ce processus se nomme convection. La convection fait remonter l'énergie bien plus vite que dans la zone radiative. Dans la zone convective la température est comprise entre 5 500 et 1,5 millions de degrés.

### 3.2.5 Photosphère

La photosphère a une épaisseur de 100km, c'est la surface visible du Soleil. C'est là que l'énergie s'échappe dans l'espace. Dans la photosphère la température est de 5 500 °C.

### 3.2.6 Chromosphère

Bien plus haut que la photosphère se trouve la chromosphère, une couche avec laquelle la photosphère fusionne. La chromosphère est plus chaude que la photosphère.

### 3.2.7 Couronne

La couronne se trouve bien plus haut que la photosphère. La couronne est invisible à l'œil nu sauf pendant une éclipse de Soleil. C'est de la couronne que le vent solaire « s'échappe ». La couronne est encore plus chaude que la chromosphère.

## 4 Les éclipses solaires

Une éclipse solaire se produit quand la Lune se place dans l'axe entre la Terre et le Soleil. Quand la lune cache entièrement le Soleil on a une éclipse totale. On peut aussi avoir une éclipse partielle ou annulaire. Une éclipse ne dure pas longtemps et est plutôt rare.

### 4.1 Les quatre différents types d'éclipse solaire

Une **éclipse totale** se produit lorsque le Soleil est complètement caché par la Lune. Le disque solaire intensément lumineux est couvert par une silhouette lunaire noire. Une grande partie de la couronne du Soleil est visible. L'éclipse totale n'est observable que sur la partie de la surface de la terre ombragée par la Lune.

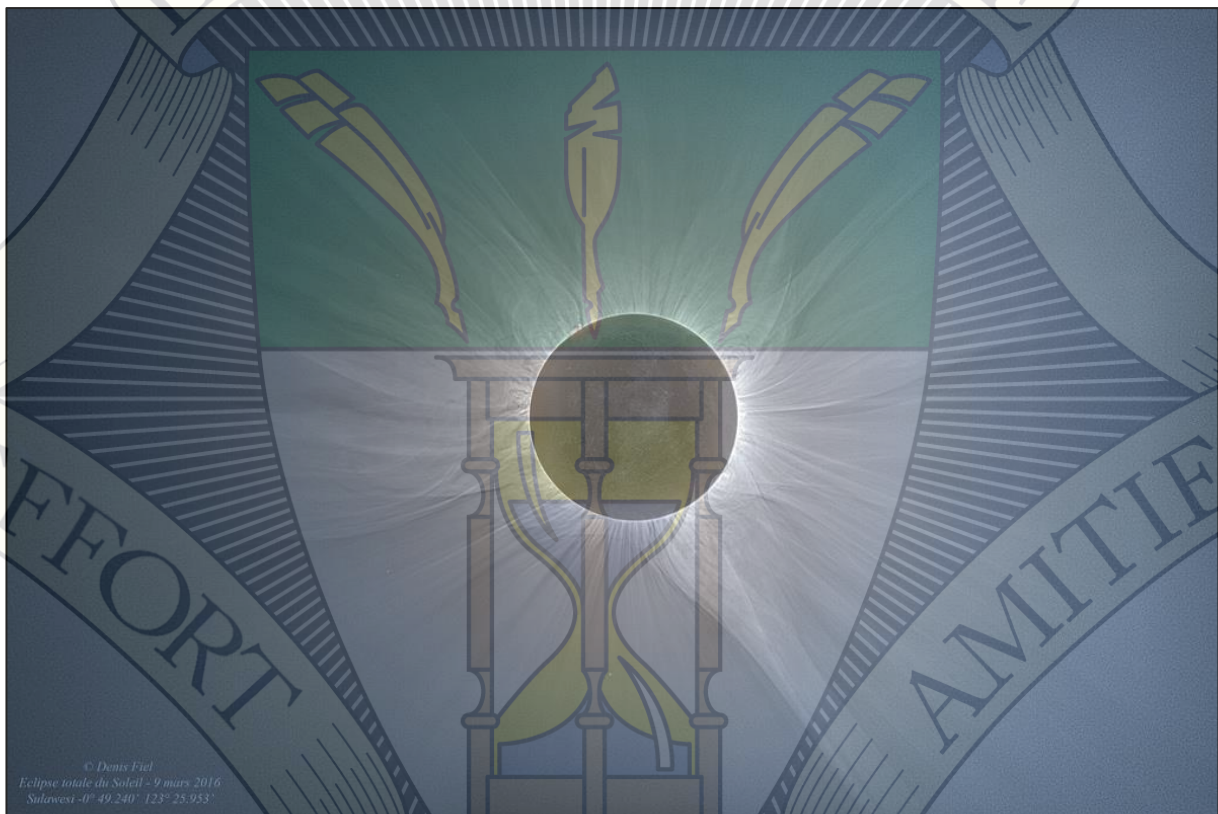


Figure 3. Éclipse totale

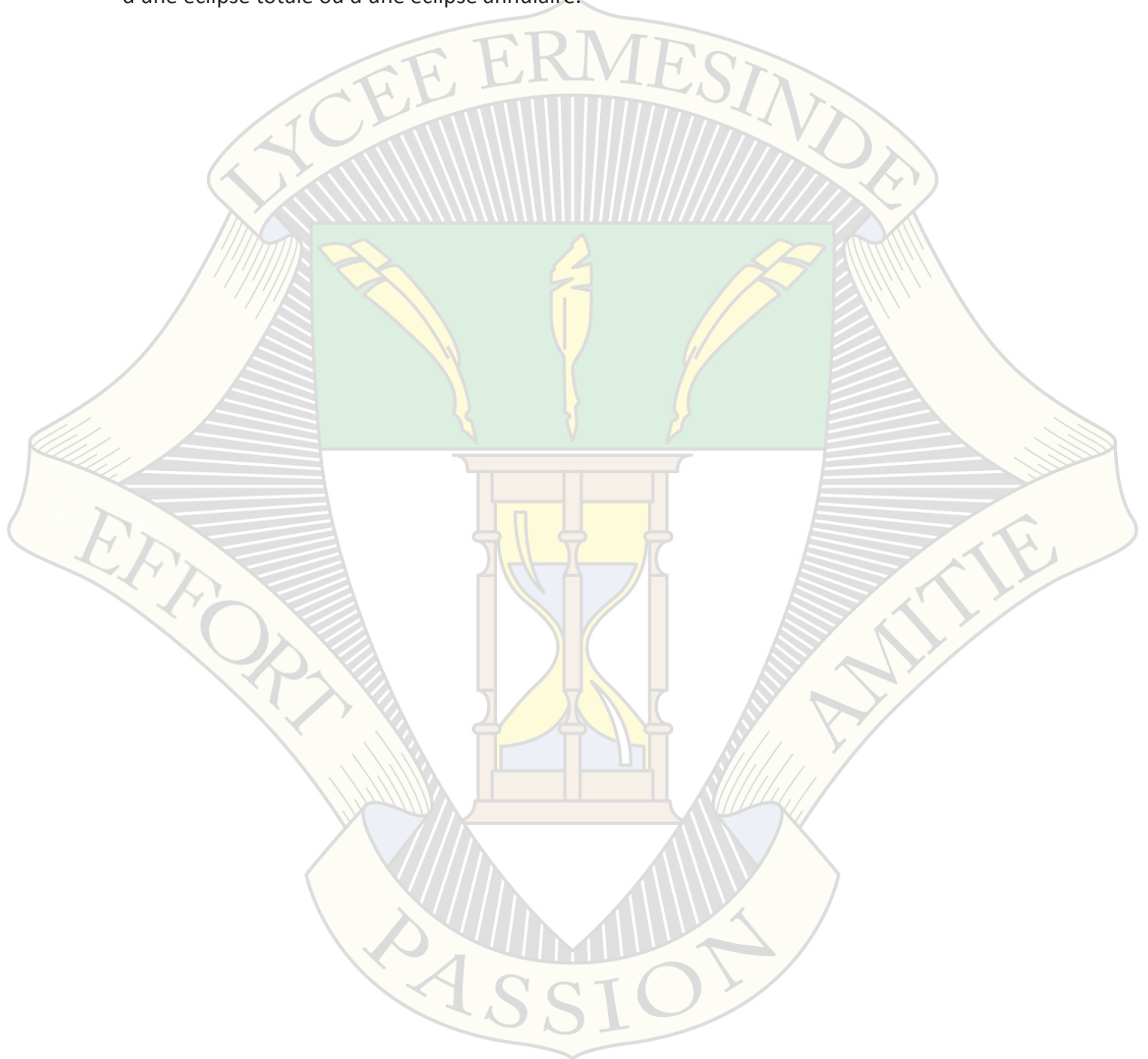
Une **éclipse annulaire** se produit quand le Soleil et la Lune sont parfaitement alignés avec la Terre (c'est aussi une éclipse « centrale »), mais que la taille apparente de la Lune est légèrement inférieure à celle du Soleil. Ce qui signifie qu'on voit le Soleil comme un anneau très brillant entourant le disque lunaire.

Une **éclipse hybride**, appelée aussi éclipse annulaire-totale ou éclipse mixte est l'état intermédiaire entre une éclipse totale et une éclipse annulaire. Elle est donc annulaire ou totale, selon le lieu d'observation. L'éclipse est annulaire simplement sur le début voire la fin de son parcours et totale uniquement au milieu. C'est le cas lorsque la distance Terre-Lune fait que la Lune recouvre tout juste le disque solaire vue depuis certaines régions, mais pas d'autres.



Les éclipses hybrides sont extrêmement rares.

Une **éclipse partielle** se produit lorsque le Soleil et la Lune ne sont pas parfaitement alignés, ce qui ne permet pas à la Lune de cacher entièrement le Soleil. Ce phénomène peut être généralement observé sur une grande partie de la Terre en dehors de la bande d'ombre d'une éclipse totale ou d'une éclipse annulaire.





## 5 Le Soleil dans l'histoire

Ce chapitre va vous présenter les grandes découvertes qui nous ont permis de mieux connaître le Soleil.

### **3000- 2000 av. J.C**

Le monument Stonehenge a été bâti. L'alignement des pierres sur le lever du Soleil aux solstices semble indiquer qu'elles servaient de calendrier.

### **1350 av. J.C.**

Le Soleil est adoré dans l'antiquité par les Egyptiens et plus tard par les Grecs et ensuite par les Romains. Les Romains honorent la mort et la renaissance d'Apollon pendant le solstice d'hiver. Plus tard, lorsque Rome a adopté le Christianisme, cette fête a été remplacée par Noël.

### **364 av. J.C**

La découverte des taches solaires par le chinois Shi Shen. Il prend la tache solaire pour un genre d'éclipse. Aujourd'hui nous savons que les tâches solaires sont les zones les plus froides de la photosphère (la dernière couche du Soleil).

### **968**

La première description de la couronne du Soleil faite par Léon le diacre (un historien) depuis Constantinople à Istanbul pendant une éclipse solaire. Il décrit la couronne du Soleil comme une « lueur faible et pâle ressemblant à une bande étroite ».

### **1543**

En 1543, l'hypothèse que la Terre soit le centre du système solaire l'emportait sur toutes les autres. Par contre les travaux de Copernic disent que le Soleil est au centre du système solaire.

### **1609**

Le télescope permet d'observer les tâches solaires au physicien allemand et au savant italien Galilée. Les observations faites par Galilée de Jupiter et de Vénus prouvent et argumente l'hypothèse de Copernic.

### **1843**

Heinrich Schwabe publie ses recherches sur les taches solaires dans lesquelles il remarque le phénomène connu aujourd'hui sous le nom de « cycle solaire » (le nombre de taches solaires varie par cycle d'environ 10 ans).

**1845**

Les français Louis Fizeau et Léon Foucault photographient le Soleil pour la première fois grâce aux progrès de la photographie. Sur le daguerréotype (l'image), c'est très simple de reconnaître les taches solaires.

**1859**

Une éruption solaire a été observée pour la première fois par Richard Carrington. L'astronome anglais observe aussi une éjection de masse coronale qui eut lieu après la tempête solaire. Cette éjection atteint la Terre quelques jours plus tard et crée des aurores aux latitudes d'Hawaii et des Caraïbes.

**1868**

L'astronome anglais J.Norman Lockyer découvre un nouvel élément dans le spectre du Soleil. Cet élément fut nommé Hélium. Ce n'est qu'en 1895 que l'Hélium a été retrouvé sur la terre et depuis nous savons que l'hélium compose 25% du Soleil.

**1904**

Edward Maunder observe les tâches solaires pendant le cycle solaire et marque leurs emplacements dans son « graphique papillon ». Il remarque que les taches se déplacent vers l'équateur solaire quand le cycle solaire arrive à sa crête.

**1919**

Arthur Eddington prouve la théorie de relativité générale d'Albert Einstein en prouvant que le Soleil dévie la lumière grâce à une photo d'une éclipse de Soleil qu'il a prise à l'ouest de l'Afrique.

**1920**

En 1920, sur la base des mesures précises des atomes effectuées par Francis Aston, Arthur Eddington fut le premier à suggérer que la source d'énergie des étoiles provient de la fusion nucléaire de l'hydrogène en hélium.

Cette hypothèse se révéla correcte mais suscita un long débat avec James Jeans acquis à l'idée de Lord Kelvin pour qui cette énergie provenait de la contraction de l'étoile sur elle-même.

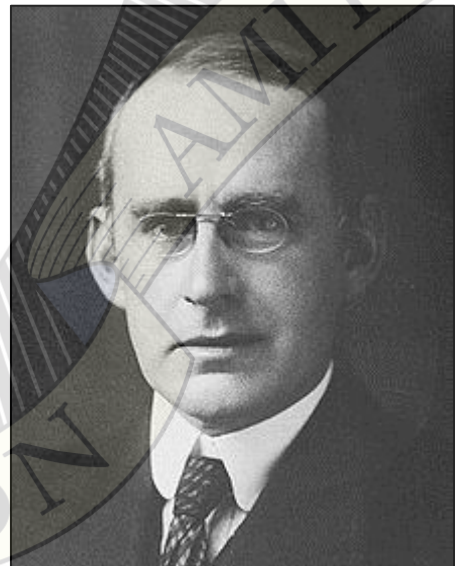


Figure 4. Arthur Eddington

**1951**

Un astronome allemand découvre grâce à ses observations des comètes les vents solaires. Ludwig F. Biermann remarque qu'importe la direction de déplacement d'une comète, sa queue est toujours dans le sens opposé au Soleil.

**1995**

La mission SOHO (Solar Héliosphériques Observatory) de la Nasa et de l'ESA est envoyée dans l'espace et mise en service. Le satellite prend des photos très spectaculaires et permet aux scientifiques de faire des analyses plus précises du Soleil. SOHO découvre plus de 2 000 comètes qui frôlent le Soleil.

**2010**

Le Solar Dynamics Observatory (SDO) observe le Soleil et utilise des techniques à haute définition pour cela. Toutes les dix secondes, il prend des photos de longueurs d'ondes multiples.

**2012**

En 2012, le premier engin créé par l'homme a quitté l'héliosphère (l'immense zone autour du Soleil ou le vent solaire souffle). Cette mission s'appelle Voyager 1.



## 6 Le cycle de vie d'une étoile

### 6.1 La naissance d'une étoile

L'étoile naît grâce à un nuage de particules. Quand le nuage subit un effondrement gravitationnel, la matière chauffe à plusieurs milliers de degrés Celsius et commence à rayonner (dans l'infrarouge). Une protoétoile est née.

L'étoile se contracte et atteint des pressions et des températures extrêmes idéales pour des réactions thermonucléaires. C'est à cet instant que débute ce qu'on appelle la « séquence principale ». Pendant cette séquence l'hydrogène (qui constitue presque tout le cœur du Soleil) se « transforme » progressivement en hélium.

### 6.2 La vie d'une étoile

Une étoile reste stable très longtemps avant de grossir. Quand l'étoile manque d'hydrogène, le cœur de l'étoile se contracte et leurs atmosphères se dilatent. L'étoile devient une géante rouge. La température du cœur de l'étoile monte jusqu'à ce qu'elle atteigne 100 millions de degrés. Une toute nouvelle réaction commence au cœur du Soleil : l'hélium commence à se transformer en carbone et en oxygène. Le Soleil atteindra ce stade dans plus ou moins 5 milliards d'années. Sa taille sera alors environ 100 fois plus grande. La vie sur Terre sera probablement éradiquée.

### 6.3 La mort d'une étoile

Les étoiles qui ont une taille similaire à celle du Soleil ou qui sont plus petites deviennent des nébuleuses planétaires et deviendront ensuite des naines. Les étoiles qui sont environ 10 fois plus grandes que le Soleil terminent généralement en supernova (l'ensemble des phénomènes conséquents à l'explosion d'une étoile) et ensuite en une étoile à neutrons (étoile principalement composée de neutrons qui sont dus à la liaison entre des protons et des électrons). Les étoiles qui sont encore plus grandes terminent en supernova et ensuite en trou noir (une concentration de masse-énergie si compacte que même les photons ne peuvent se soustraire à sa force gravitationnelle). Plus une étoile est grosse au plus sa mort est cataclysmique. Les étoiles meurent quand le combustible nucléaire n'est plus suffisant. Alors, la pression normalement créée par ces réactions ne compense plus les forces de gravitation, ce qui a pour conséquence que l'étoile s'effondre sur elle-même.

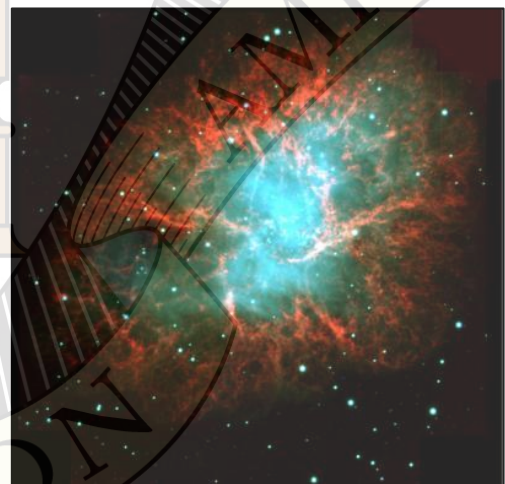


Figure 5. Supernova



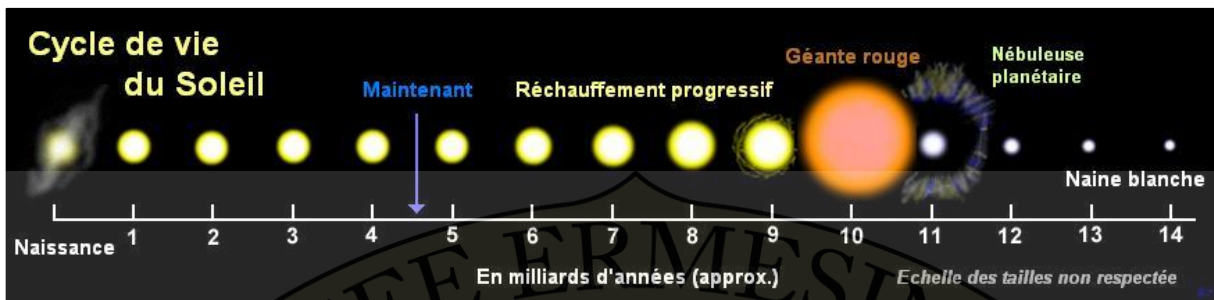


Figure 6. Cycle de vie du Soleil

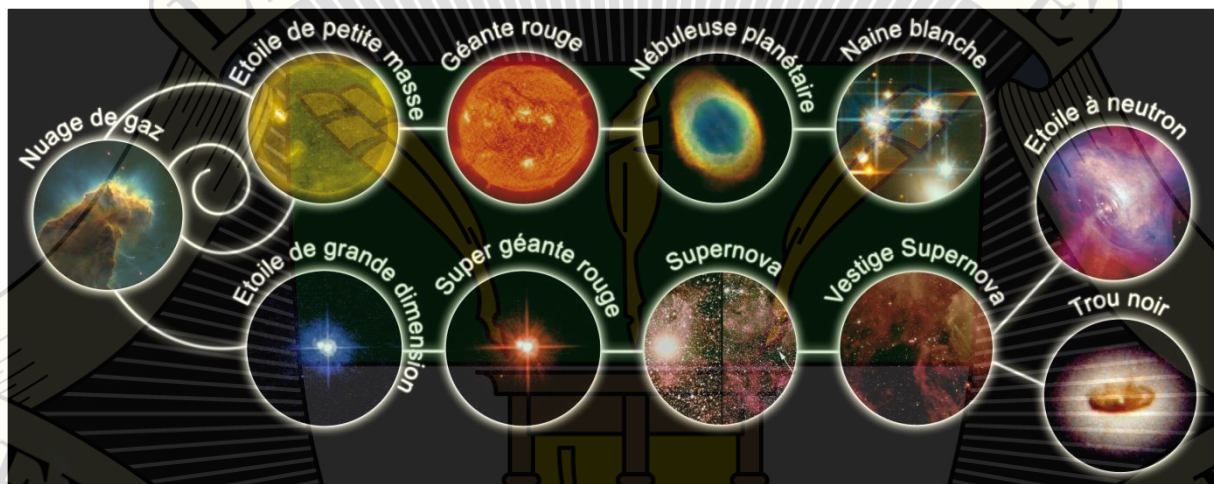


Figure 7. Cycle de vie des étoiles de faible masse et de forte masse

## 7 La fusion thermonucléaire

La fusion nucléaire est un processus au cours duquel deux noyaux atomiques s'assemblent pour former un noyau plus lourd. Au plus les noyaux des atomes fusionnés sont légers, au plus ils libèrent de l'énergie pendant la fusion. C'est pour ça que les noyaux d'hydrogène, de deutérium et de tritium sont très appropriés pour la fusion nucléaire.

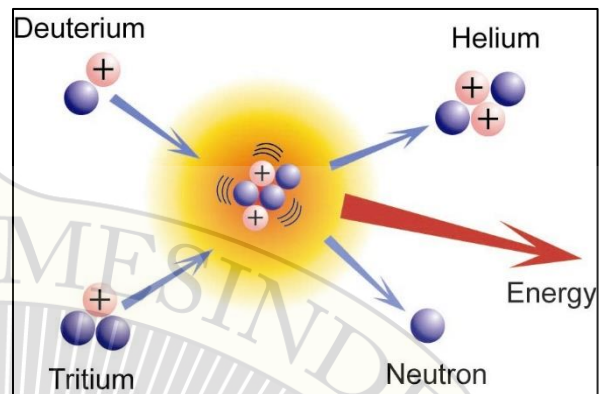


Figure 8. Fusion d'un atome de tritium avec un atome de deutérium

Les conditions de la fusion nucléaire sont très difficiles à obtenir : 40 millions de degrés pour que la fusion s'entretienne, 100 millions de degrés pour qu'elle soit rentable ... bien que le Soleil se contente apparemment de 16 millions de degrés. Aujourd'hui, la fusion nucléaire n'en est qu'à un état expérimental où l'on cherche à vaincre ces difficultés.

La fusion consiste à l'inverse de la fission nucléaire à rapprocher deux atomes légers si près l'un de l'autre qu'ils fusionnent et donnent ainsi un plus gros atome. En fusionnant, les deux atomes dégagent de l'énergie sous forme de radiations. La fusion est réalisée à partir de deux isotopes de l'hydrogène: le deutérium et le tritium. Les isotopes sont des atomes qui possèdent le même nombre d'électrons et donc de protons pour rester neutres mais un nombre différent de neutrons. Il est très difficile de rapprocher deux atomes assez près l'un de l'autre pour qu'ils fusionnent: ils se repoussent parce qu'ils sont chargés électriquement. Pour vaincre cette répulsion, le mélange deutérium/tritium doit être porté à très haute température, rester suffisamment dense et ceci pendant un temps suffisant. Le mélange doit être chauffé à 100 millions de degrés pour que ce soit du plasma (état de la matière où les constituants de l'atome se séparent, noyaux et électrons se déplacent indépendamment et forment un mélange globalement neutre), ce qui demande un apport énorme d'énergie.

Un gros problème de la fusion nucléaire est qu'aucun récipient ne peut contenir du plasma car il est beaucoup trop chaud. Dans le cas du Soleil le plasma est retenu par la gravitation, chose qui est impossible sur Terre à moins de construire une énorme machine qui aurait au moins la taille d'un astre.

Nous verrons que, dans le cas d'ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), on retient le plasma grâce à un champ magnétique intense dans une zone torique. Ces importants champs magnétiques demandent eux-mêmes une grande alimentation électrique. Ainsi, les rares succès de courants de plasma ont seulement duré quelques dizaines de secondes.

Derrière un principe apparemment simple, la fusion nucléaire exige de surmonter beaucoup de problèmes technologiques qui constituent pleins d'obstacles mais aussi de challenges très intéressants.

## 7.1 ITER

En 1985, ce projet ambitieux a commencé à Genève, lorsque Ronald Reagan et Mikhail Gorbatchev se sont rencontrés pour la première fois. Les partenaires engagés dans le projet sont la communauté européenne, l'URSS, les Etats Unis et le Japon. La définition exacte du projet fut prise immédiatement en charge par une équipe scientifique internationale qui remit aussi un rapport préliminaire du projet en 1991. La signature d'un accord comprenant le partage de la propriété intellectuelle et les études de la future machine pour les six années à venir, eut lieu un an plus tard.

Au début, le projet fut très ambitieux : la tenue du feu de la machine devait pouvoir durer 1000 secondes, elle devrait pouvoir contenir 1000m<sup>3</sup> de plasma, avoir une puissance de 1,5 gigawatts, la machine devait peser 7 fois la tour Eiffel, ... Le projet fut bien sûr réduit pour atteindre un budget plus raisonnable. Mais la diminution du budget ne suffit pas pour éviter la crise. Et le projet ITER est plongé dans l'incertitude. Le projet initial meurt.

Mais un nouveau projet « allégé » et beaucoup moins cher est créé en 1998, poussé par l'Europe. Avec la collaboration de la Russie, le Kazakhstan, le Japon et le Canada, l'Europe redimensionne (tout en gardant beaucoup d'ambitions) le projet pendant trois années afin de le voir aboutir. Le nouvel ITER de 2001 est légèrement renommé et s'appelle à présent ITER FEAT (le nom Iter ne fait plus référence à l'acronyme, mais à sa signification en latin : « la voie ». Feat est un mot anglais qui signifie ambitieux). La puissance et les possibilités du réacteur ITER ont fort diminué.

En 2001, les Américains reviennent dans le projet ITER parce qu'ils se rendent compte de leur vulnérabilité au niveau de leur consommation d'énergie. En 2003, le projet se mondialise, l'Amérique s'officialise au sein d'ITER. Au même moment, la Chine et la Corée du Sud commencent à participer au projet, ce qui fait d'ITER un projet mondial!

Le site français Cadarache l'emporte sur les deux autres sites (un site japonais et un site espagnol). Le site français est déjà un peu équipé, il a des infrastructures scientifiques et technologiques utilisées pour la fusion magnétique.

En 2006, tous les pays participant au projet ITER (la Chine, la Corée du sud, les Etats Unis, l'Inde, le Japon, la Russie ainsi que toute l'Union européenne) ont signé l'accord de la construction d'ITER.

### 7.1.1 Le fonctionnement d'ITER

L'objectif d'ITER est de tester la nouvelle technologie nécessaire pour parvenir à contrôler et étudier le fonctionnement d'un réacteur de chauffage par les particules alpha (c'est-à-dire un noyau d'hélium). ITER ne produira pas d'électricité mais de la chaleur. Le but est bien de



prouver scientifiquement et technologiquement qu'on peut contrôler la fusion thermonucléaire. ITER rassemble une équipe de 400 chercheurs, 600 ingénieurs techniciens et administratifs.

Le réacteur ITER est composé d'une « chambre à vide » qui se trouve à l'intérieur d'un cryostat (un grand cylindre) sous-vide, une enceinte très isolée qui permet de séparer les composantes froides des chaudes. ITER a aussi des tours de refroidissement d'eau pour refroidir le réacteur.

#### *La chambre à vide*

La chambre à vide est torique (forme d'une bague). Elle contient le plasma. Sur la paroi de la chambre vide, il y a beaucoup de petits composants (p.ex. divertor). La chambre vide se trouve au centre du cryostat et c'est un des éléments les plus importants dans le projet ITER.

#### *Le Cryostat*

La chambre à vide est entourée d'un grand cylindre de 28m de diamètre et de 24m de hauteur. Ce cylindre contient presque tous les dispositifs, cette enceinte est nommée le cryostat. Le cryostat assure la séparation entre les composantes chaudes (chambre à vide, le divertor,...) et les composantes froides (bobines supraconductrices,...).

#### *Le divertor*

Le divertor purifie le plasma et évacue une partie de la chaleur engendrée. Il se trouve sur la paroi de la chambre à vide. Il récupère les particules alpha refroidies à cause de collisions résultant des réactions et les combustibles imbrulés.

#### *Les bobines supraconductrice*

Les bobines supraconductrices se trouvent à l'extérieur de la chambre à vide et servent à créer un champ magnétique dans celle-ci.

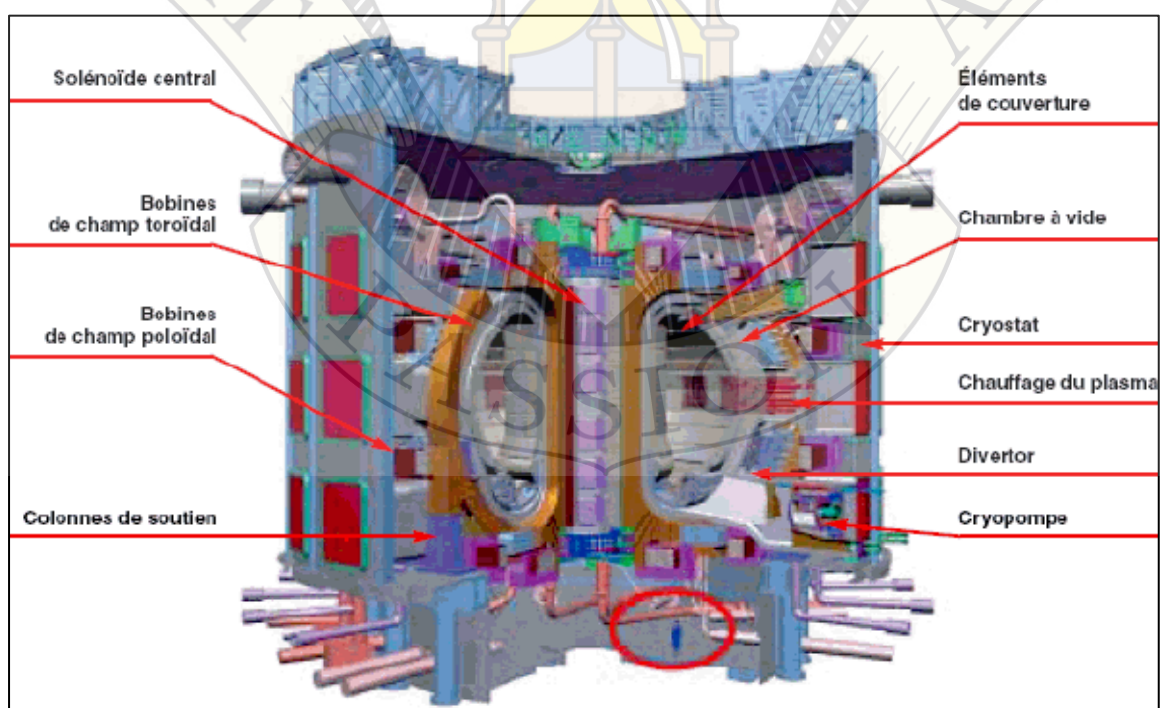


Figure 9. Réacteur d'ITER



### 7.1.2 Que signifient deutérium et tritium?

Le deutérium et le tritium sont tous les deux des atomes légers, ils possèdent tous les deux seulement un proton mais un nombre différent de neutrons. Leurs noyaux peuvent fusionner en un noyau d'hélium grâce à une agitation thermique. Cette fusion libère de l'énergie parce que le noyau obtenu au final a un niveau d'énergie plus faible.

Le deutérium est contenu dans l'eau (un litre d'eau de mer contient 33 milligrammes de deutérium). Il peut être obtenu en distillant l'eau. Un atome de deutérium a un proton et un neutron. Le symbole pour le deutérium est  $^2\text{H}$  ou D.

Le tritium a un proton et deux neutrons et, contrairement au deutérium, il est radioactif. Le grand avantage du tritium est que sa demi-vie (le temps mis par une substance pour perdre la moitié de sa radioactivité) n'est pas très longue (+/- 12 ans). Le tritium est produit par l'industrie nucléaire. Il est aussi possible de l'obtenir par l'interaction d'un neutron et d'un atome de lithium.

### 7.1.3 Est-ce une technologie propre ?

Non, ITER et la fusion nucléaire globalement ne sont pas une technologie propre. Pendant son fonctionnement, le réacteur a besoin de tritium. Le tritium est radioactif, cette radioactivité n'est pas sans conséquence contrairement à la plupart des discours !

Enfin, chaque année, une partie de l'enceinte devra être changée en raison de l'usure rapide de sa paroi intérieure. Celle-ci constituera un volume important de déchets de très haute activité, de durée de vie plus ou moins longue. Donc le réacteur à fusion présenté comme un réacteur écologique va produire une nuisance radiologique au moins égale à celle des réacteurs actuels!

### 7.1.4 Si ITER pollue, quels sont ses avantages?

La radioactivité du tritium se désintègre rapidement (une centaine d'années ce qui est quand même beaucoup). L'avantage de la fusion nucléaire par rapport à la fission nucléaire est qu'elle est moins dangereuse, la réaction en chaîne dans les réacteurs à fission sont impossibles pendant la fusion.

En plus, la fusion nucléaire n'utilise pas d'élément qu'on pourrait utiliser pour faire une arme nucléaire.

## 8 Les missions spatiales solaires

Ces missions ont pour but d'observer le Soleil. La plupart des engins spatiaux ne sont pas créés pour approcher le Soleil. Certains restent même dans l'orbite de la Terre. D'autres gravitent autour du Soleil.

### 8.1.1 Pioneer 5

La mission Pioneer 5 ne disposait d'aucun matériel de photographie. Donc elle n'a pas renvoyé d'images. Par contre c'était le premier engin interplanétaire, elle a été lancée le 11 mars 1960. Cette mission a été envoyée sur une trajectoire qui l'a emmenée entre Vénus et la Terre. Pioneer 5 a servi à confirmer l'existence d'un champ magnétique interplanétaire. Il a également étudié de quelle manière ce champ est influencé par les taches solaires.

### 8.1.2 Helios A et B

Le but des deux satellites Helios était d'analyser les vents et le magnétisme solaires. C'est cette mission qui a été la plus près du Soleil, les satellites étaient un peu plus près du Soleil que Mercure. La mission Helios A a débuté en 1974 et Helios B deux ans plus tard (donc en 1976). C'étaient les deux engins les plus rapides. Ils ont atteint plus ou moins 70km/s en vitesse de pointe. Ils ne sont plus fonctionnels mais toujours en orbite. Ils suivent des trajectoires elliptiques autour du Soleil.

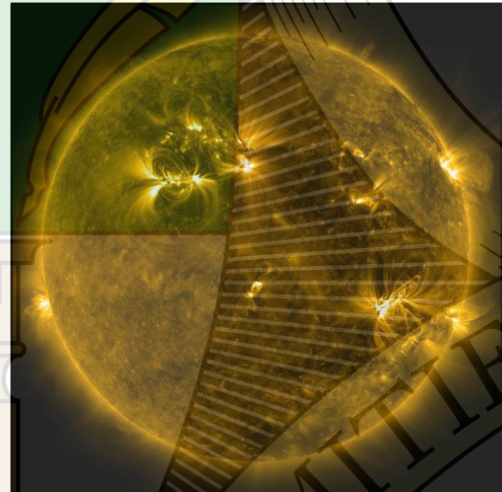


Figure 10. Image prise par le satellite SOHO

### 8.1.3 SOHO

L'envoi de la mission spatiale SOHO date de 1995.

SOHO signifie Solar and Heliospheric Observatory. Cette mission était la première de la nouvelle génération d'observatoires solaires. SOHO qui est toujours en fonctionnement a renvoyé beaucoup d'images spectaculaires de la surface du Soleil.

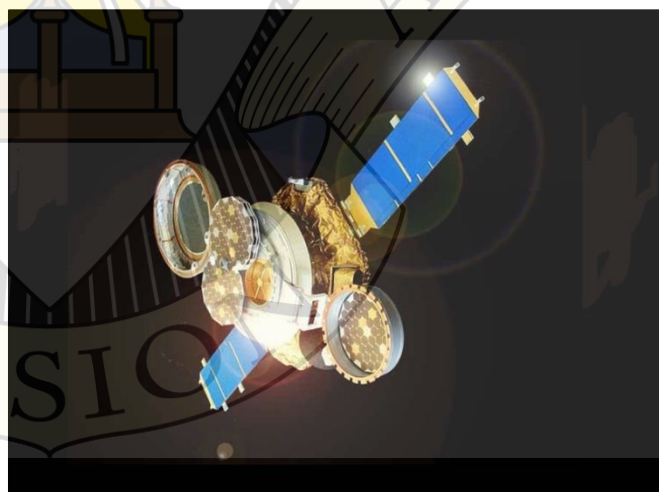


Figure 11. Genesis

### 8.1.4 Genesis

Cette mission a eu lieu en 2005. Elle a collecté de la matière première de vent solaire. C'est la première mission de la NASA à rapporter un échantillon spatial,

après les astronautes d'Apollo17 qui ont rapporté des roches lunaires en 1972. Genesis s'est écrasé à son atterrissage, mais l'échantillon a pu être récupéré.

#### 8.1.5 Hinode

Le satellite Hinode, qui a été envoyé le 22 septembre 2006 surveille l'activité magnétique du Soleil, pour mieux comprendre les taches solaires. Il analyse également le déplacement de l'énergie magnétique de la photosphère à la couronne.

#### 8.1.6 STEREO

Stereo signifie Solar Terrestrial Relations Observatory. Il s'agit à deux engins identiques lancés le 26 octobre 2006. Ils sont en orbite en tandem autour du Soleil ce qui permet aux deux engins de photographier le Soleil en 3D.

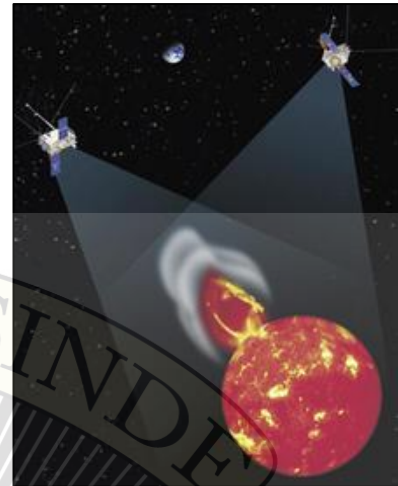


Figure 12. Les deux satellites STEREO en tandem.

#### 8.1.7 Ulysses

La sonde spatiale nommée « Ulysses » a été lancée le 6 octobre 1990. Elle a été conçue pour observer le Soleil à des latitudes élevées, Ulysses est allée vers Jupiter et s'est servie de la gravité de cette planète pour se projeter dans une orbite qui l'a envoyée vers les pôles du Soleil. Les contacts avec Ulysses ont été perdus complètement en 2009.

#### 8.1.8 SDO

Solar Dynamics Observatory (SDO) est un observatoire qui observe le climat spatial et prend des images du Soleil toutes les dix secondes. Les photos de SDO sont très pratiques pour étudier le Soleil. SDO a été lancé le 11 février 2010.



Figure 13. Image prise par l'observatoire SDO



## 9 Les rayonnements du Soleil

Le Soleil émet un certain nombre de rayons dont la plupart sont dangereux. Notre atmosphère terrestre nous protège heureusement de ces rayons. Ils se déplacent très rapidement, environ à 300 000 km/s. Les rayons dégagés par le Soleil sont divisés en deux parties en fonction de leur longueur d'onde : il y a les rayons courts qui comprennent les rayons X, les rayons bêta, les rayons UVC et les rayons Gamma et les rayons longs qui comprennent les infrarouges.

### 9.1 Les différents rayons

#### 9.1.1 Les rayons cosmiques, les rayons X et les rayons Gamma

Les rayons cosmiques ont une influence sur le climat, parce qu'ils créent des nuages.

Les rayons X et les rayons gamma sont de même nature mais d'origine différente. Les rayons X sont créés par les transitions électroniques, alors que les rayons gamma sont produits grâce à la désintégration radioactive d'atomes, ce qui fait que leur longueur d'onde est très courte et par conséquent très dangereuse. Heureusement ils sont bloqués par l'atmosphère de la terre.

#### 9.1.2 Les rayons Ultraviolet (UV) C, B et A

Les rayons ultraviolets sont des rayons électromagnétiques qui ne sont pas visibles pour l'œil. Très peu de rayons ultraviolets arrivent jusqu'à la terre, parce que beaucoup sont arrêtés par la couche d'ozone. Ceux qui arrivent jusqu'à la Terre sont responsables des coups de Soleil et du bronzage.

#### 9.1.3 Les rayons infrarouge (IR)

Comme les rayons UV, les rayons infrarouges sont des rayons électromagnétiques invisibles à l'œil nu. Un peu moins de la moitié (44%) de ces rayons arrivent jusqu'à la surface de la terre, ils transportent la chaleur. La baisse de température nocturne est due au fait que la face de la Terre n'est pas exposée aux rayons infrarouges.



### 9.1.4 La lumière visible

La lumière visible est également un rayon électromagnétique. Ces rayons permettent de donner de la lumière et des couleurs à notre environnement. Ils jouent un rôle dans la photosynthèse des végétaux.

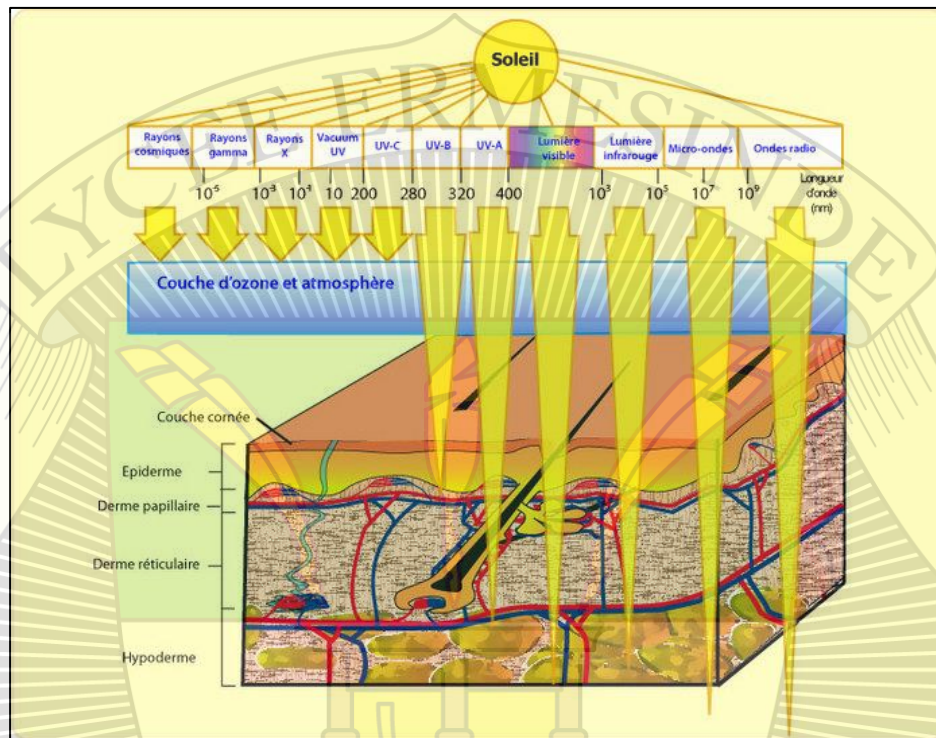


Figure 14. Rayons solaires

## 9.2 Les effets des rayons de Soleil sur le corps humain

Des études ont prouvé que les rayons du Soleil ont des effets positifs, mais aussi des effets négatifs, sur le corps humain.

### 9.2.1 Effets positifs

- ❖ Le Soleil a un effet antidépresseur qui aurait un lien avec la mélatonine (hormone qui régule le rythme chrono-biologique, cette hormone est souvent appelée « hormone du sommeil »). La sécrétion de cette hormone serait ralentie grâce à la stimulation oculaire lumineuse provoquée par le Soleil.

En effet les habitants des pays nordiques comme la Norvège, la Suède, la Finlande, l'Islande, etc. ont plus tendance à avoir des dépressions saisonnières (manque d'énergie et moral fragile) que les gens vivant dans un pays avec plus d'ensoleillement.

- ❖ Un deuxième effet positif des rayons du Soleil est

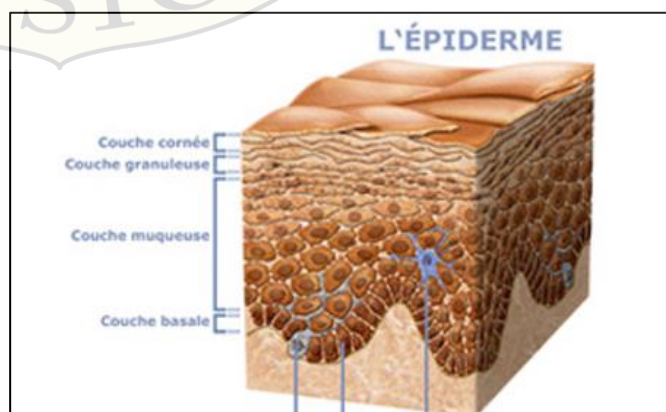


Figure 15. Les différentes couches de l'épiderme

particulièrement des rayons UV est un épaissement de l'épiderme (couche superficielle de la peau). Les rayons UV augmentent la multiplication des Kératinocytes (cellules constituant 90% de l'épiderme) ce qui fait que la couche cornée épaisse (couche extérieure de l'épiderme). Elle contribue à une photo-protection (limiter l'exposition de la peau au rayonnement solaire) très efficace.

- ❖ Des scientifiques ont découvert que les rayons UV inhibent le système immunitaire. L'effet immunosuppresseur des rayons UV a permis l'utilisation et la découverte de photothérapie. La photothérapie est un moyen de traitement à l'aide d'un rayonnement électromagnétique non ionisant, la lumière le plus souvent, aussi nommé Low Level Laser Thérapie (LLLT). La radiation UV inhibe le système immunitaire en induisant la suppression l'hypersensibilité retardée (aussi nommée HSR) ainsi que la tolérance des cancers cutanés photo-induits.
- ❖ Au 19ème siècle et avant les antibiotiques, le seul traitement efficace contre les maladies comme la tuberculose et le rachitisme était la cure de Soleil. Depuis des études ont démontré que les rayons UVB permettent de synthétiser des vitamines D. Cette vitamine nous protège contre certaines maladies et a des effets anticancéreux. La vitamine D intervient également dans la construction osseuse et dans les réactions du système immunitaire. Cette vitamine se trouve seulement dans très peu d'aliments comme le poisson ou l'huile de poisson.

La vitamine D a le pouvoir de modifier la fonction des gènes dans presque tout l'organisme. Pour ça, elle doit se fixer sur une protéine « récepteur ». Quand la vitamine D se pose, elle permet à la cellule de synthétiser une protéine particulière. C'est cette capacité qui explique pourquoi la vitamine D a des effets psychiques si variés.

La vitamine D joue également un rôle au niveau de la formation osseuse dans le corps humain. Pour y parvenir, elle améliore l'absorption intestinale et diminue l'élimination par les urines de la concentration sanguine de calcium. La vitamine D participe aussi à la fixation du calcium par les os. Il paraît que la vitamine D favoriserait la production d'antibiotique.

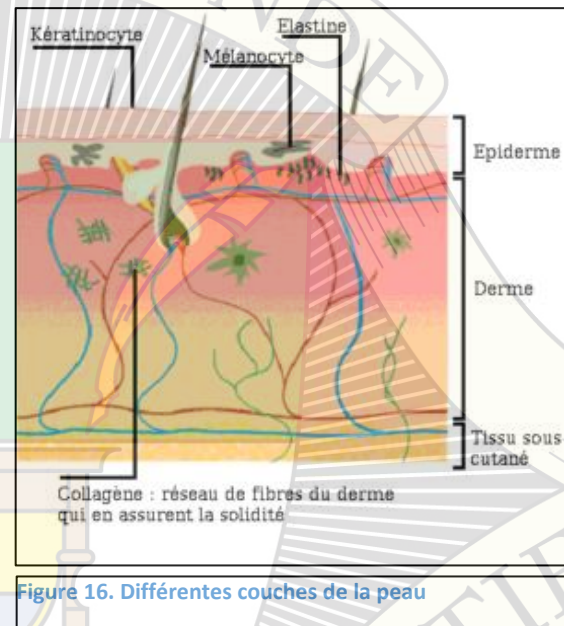
On peut donc en conclure que le Soleil, grâce aux rayons UVB (qui permettent de synthétiser la vitamine D) sont très bons pour le corps humain. Dans le prochain chapitre, nous verrons qu'il ne faut quand même pas en abuser.

### 9.2.2 Effets négatifs

Les rayons du Soleil peuvent en effet être nocifs. Bien sûr, il ne faut pas croire qu'il ne faut plus sortir de sa maison quand il fait beau. Au contraire ! Mais il ne faut pas exagérer. Voici quelques effets nocifs du Soleil :



- ❖ Il faut savoir que les rayons UVB n'ont pas que des effets positifs sur la peau. Les rayons UVB et UVA sont responsables des coups de Soleil. Les coups de Soleil sont provoqués par une surexposition au Soleil. Notre corps résiste jusqu'à une certaine limite au rayonnement. Cette limite est différente chez chaque individu. Les coups de Soleil sont dus à l'absorption des photons par nos cellules. Les photons absorbés causent des lésions à nos cellules. Pour réparer ces dégâts, notre corps envoie plus de sang dans ces régions du corps, ce qui cause une inflammation. Par la suite, les cellules endommagées vont libérer des molécules qui vont dilater les vaisseaux sanguins. En plus de tout ça, la stimulation de la production de radicaux libres par le rayonnement solaire intervient également dans les coups de Soleil car ces radicaux vont aggraver les cellules.
- ❖ Le vieillissement prématuré de la peau est également une conséquence de l'exposition aux rayons solaires. Le vieillissement de la peau est bien sûr inévitable, mais les rayons ultra-violet accélèrent cette réaction. Ils détruisent les fibres d'élastine et de collagène. Ces fibres peuvent aussi être détruites par les radicaux libres (formés par les rayons UV) qui eux agissent en détruisant les molécules, ce qui cause le vieillissement de la peau ou contribue à un cancer de la peau.
- ❖ Les cancers de la peau sont aussi causés par les rayons UV qui provoquent des mutations de l'ADN. Celles-ci sont normalement réparées par des protéines, comme la protéine P53 qui intervient dans la réparation, la division cellulaire et le contrôle de la stabilité génétique ainsi que l'apoptose (mort cellulaire). Cependant ces protéines peuvent faire des erreurs lors d'une réparation et causer divers effets négatifs sur la peau, entre autre le cancer de la peau. Dans ce cas, ce ne serait pas directement les rayons UV qui seraient dangereux mais la réparation des dégâts causés par ceux-ci.
- ❖ Il y a des cas où ce sont les gènes codant les protéines de réparations qui subissent des mutations. Dans ces cas, la protéine de réparation mutée est incapable de réparer des dégâts et est donc inactive : elle laissera les cellules cancéreuses se diviser et se répartir dans tout le corps, ce qui augmente le risque de cancérisation. Effectivement, la mutation de la protéine P53 est à l'origine de la moitié des cancers de la peau. Les cancers mélanomes (cancers se développant à partir des cellules - mélanocyte : cellule fabriquant le pigment de la peau- dans les profondeurs de l'épiderme) sont par exemple créés par la mutation de protéine P53.



## 10 Les phénomènes solaires

### 10.1.1 Eruptions solaires

Les éruptions solaires sont de violentes explosions qui sont accompagnées de jets de lumière et d'autres radiations. Elles perturbent le vent solaire parce qu'en explosant beaucoup de particules chargées électriquement sont projetées dans l'espace. Une éruption solaire se produit quand un champ magnétique accélère des particules avec un niveau d'énergie très haut (des millions de fois supérieures aux explosions nucléaires sur terre). Une éruption solaire peut aussi s'accompagner d'une éjection de masse coronale. Pendant l'éjection coronale, des particules sont projetées très rapidement à travers l'espace. Elles peuvent perturber nos satellites ainsi que les GPS et les communications.



Figure 17. Comparaison entre la surface du Soleil en temps calme (image de gauche) et la surface du Soleil en éruption (image de droite).



### 10.1.2 Les vents solaires

Le Soleil déverse en permanence des particules électriques, surtout des électrons et des protons. Ce « vent solaire » peut atteindre jusqu'à deux millions de km/h. Ce vent solaire n'est pas en permanence sans conséquences pour notre planète. L'atmosphère de la Terre nous protège des vents solaires quand le Soleil est calme, par contre quand il est agité et que le vent solaire est plus chargé, les particules électriques peuvent parvenir à passer à travers l'atmosphère basse. A ces moments-là, on peut voir une aurore boréale dans les régions polaires de la Terre et même à des latitudes plus basses. Par contre, les effets peuvent parfois être plus gênants car les vents solaires sont aussi à l'origine des « orages magnétiques ». Ces orages peuvent déranger ou même perturber très gravement la télécommunication et la distribution d'électricité.

### 10.1.3 Les taches solaires

Les taches solaires ont un diamètre de plus ou moins 15 à 50 mille kilomètres. Ce sont les endroits les plus froids et donc aussi les plus sombres du Soleil. Le mécanisme des taches solaires n'est pas encore clair, mais on sait que là où il y a des tâches solaires il y a aussi un champ magnétique très intense. Pour l'instant on pense que le champ magnétique arrête la convection, le moyen qu'utilise le Soleil pour transporter l'énergie. Les tâches peuvent se trouver en petits groupes mais aussi isolées. Les taches suivent un cycle de 11 ans : au début il n'y en a aucune (nommé « minimum solaire »), elles commencent à apparaître, à se multiplier de plus en plus jusqu'à une centaine lors du « maximum solaire ».



Figure 18. Tache solaire

### 10.1.4 Les tempêtes solaires

La surface du Soleil est en permanence une turbulence magnétique, provoquant les plus grandes explosions de notre système solaire.

Le Soleil nous fournit de la lumière et de l'énergie mais il ne se contente pas juste de ça. Notre étoile projette des particules électriquement chargées lors de violentes tempêtes solaires. Les astronomes ont pu observer cette activité depuis la Terre pendant 150 ans, mais ce n'est qu'au cours des 20 dernières années qu'ils ont pu observer ces tempêtes de plus près grâce à des télescopes envoyés dans l'espace (dans des satellites).

#### 10.1.5 Les éjections de masse coronale

Les éjections de masse coronale sont dues à des énormes explosions magnétiques, qui projettent dans l'espace du plasma. Lors de ces éjections des milliards de tonnes de matière sont transportées dans l'espace. Le plasma se détend dans l'espace interplanétaire, jusqu'à avoir une taille supérieure à celle du Soleil. Une aussi grande détente est possible parce que l'espace interplanétaire est très dense et le plasma est fort comprimé à cause des fortes pressions à la surface du Soleil. L'énorme bulle de plasma s'éloigne très rapidement du Soleil (environ 300 000 km/h). A son arrivée dans le voisinage de la Terre, l'énorme bulle interagit avec le champ magnétique terrestre, ce qui peut créer des aurores boréales et australes, des orages géomagnétiques qui perturbent les communications radio, les satellites et les systèmes de distribution d'électricité.

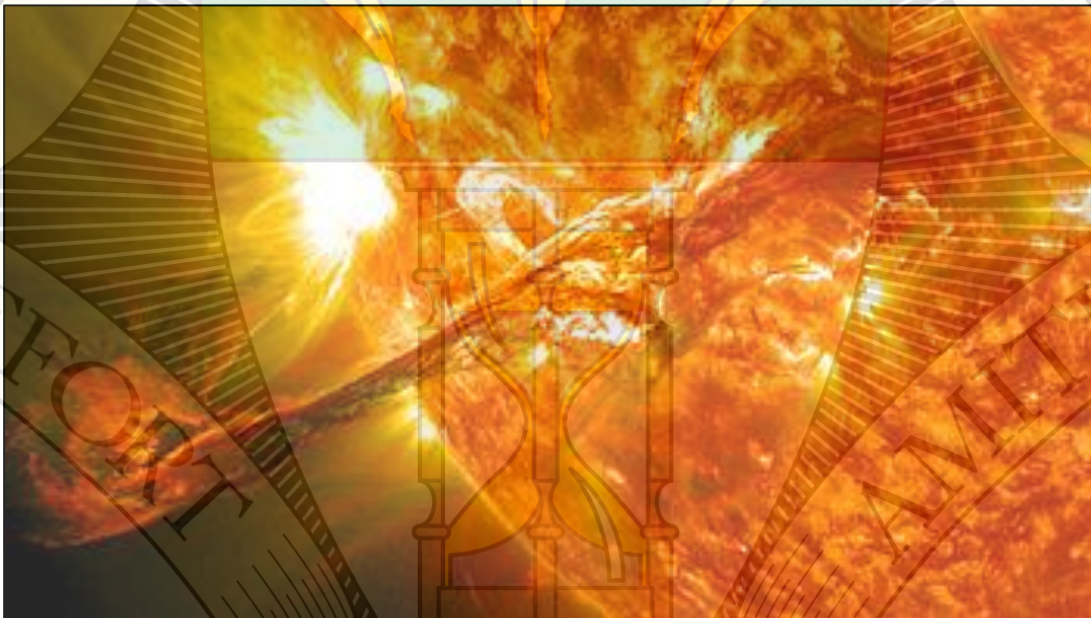


Figure 19. Éjection de masse coronale



## 11 Les fours solaires

Le principe de base d'un four solaire est très simple. Le four utilise les rayons du Soleil pour chauffer des aliments par exemple. Le four ne fonctionne que s'il est en contact direct avec les rayons de Soleil. Cette chaleur peut être accumulée dans un four ou alors être concentrée sur un point qui va alors chauffer instantanément.

Dans le cas où la chaleur doit être concentrée sur un point il est pratique d'utiliser une parabole (ou tout objet qui pourrait faire converger des rayons lumineux en un point pas trop éloigné) recouverte de papier miroir. Si la chaleur doit être accumulée alors une solution est d'utiliser une boîte dont l'intérieur est noir avec une face en verre ou les rayons peuvent être projetés à l'aide de réflecteurs.

### 11.1.1 Les différents types de fours solaires et leurs défauts

#### *Four parabolique*

Le principe de base du four parabolique est de faire converger l'énergie solaire sur un point (le point de cuisson). Le four parabolique est très pratique et il chauffe très rapidement. Comme le nom le dit c'est à l'aide d'une parabole que les rayons du Soleil sont reflétés sur le point de cuisson. Le gros défaut de ce type de four solaire est qu'il réchauffe un point invisible ce qui peut être très dangereux. Il paraît que des paraboles réfléchissantes aient été offertes

aux personnes vivant sur le plateau d'Altiplano. Ces paraboles avaient été stockées dans des hangars en plein Soleil et ces hangars ont apparemment pris feu à cause des paraboles. Donc plus personne ne veut de ces paraboles chères et dangereuses dans la région d'Altiplano, malgré qu'elle soit dépouillée de bois de chauffage.

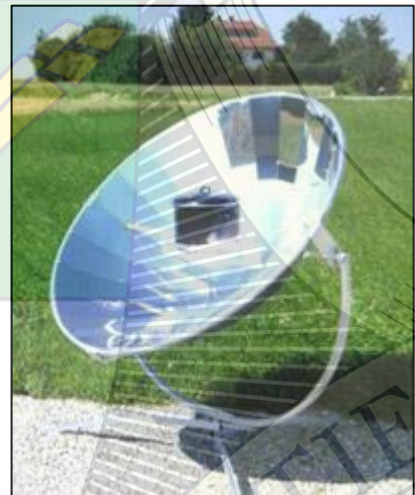


Figure 20. Four solaire parabolique

#### *Coffret four*

Le coffret four est une très bonne idée, c'est une boîte avec un couvercle en verre, qui sert à réchauffer lentement la boîte. Un problème de ce type de four solaire est qu'il est compliqué à construire soi-même vu les besoins en insolation de ce four. En effet ce four perd beaucoup de chaleur, vu que la chaleur rentre par seulement un côté (la vitre qui laisse passer les rayons de Soleil) et ressort par tous les autres. Pour éviter ce problème on pourrait isoler la boîte, ce qui deviendra cher et complique encore plus la construction.



Figure 21. Coffret four



Ce four serait tout à fait hors prix par rapport aux autres et n'aurait pas beaucoup d'avantages.

#### *Four à entonnoir*

Mr. Steven E. Jones, un professeur de physique à l'université de Brigham Young, a donc cherché une solution au problème. Sa solution, le « four solaire à entonnoir ».

Ce four est peu coûteux, sûr, facile à faire soi-même et efficace. Le four à entonnoir est un concept similaire à celui du four parabolique, la seule grande différence est qu'il fait converger les rayons de Soleil vers l'intérieur et non vers l'extérieur du four comme le fait le four solaire parabolique. Le four solaire de Mr. Steven E. Jones est fait à base de carton et d'une grande feuille de papier aluminium, il est donc très simple à faire et vraiment pas cher. Par contre, il est plutôt fragile mais on peut facilement renforcer le concept à l'aide de papier mâché. On peut également remplacer le papier aluminium par de l'aluminium Mylar.

Pour renforcer l'idée de conserver la chaleur vous pouvez mettre la casserole dans un sac de cuisson, ce qui rappelle l'accumulation dans le coffret four.

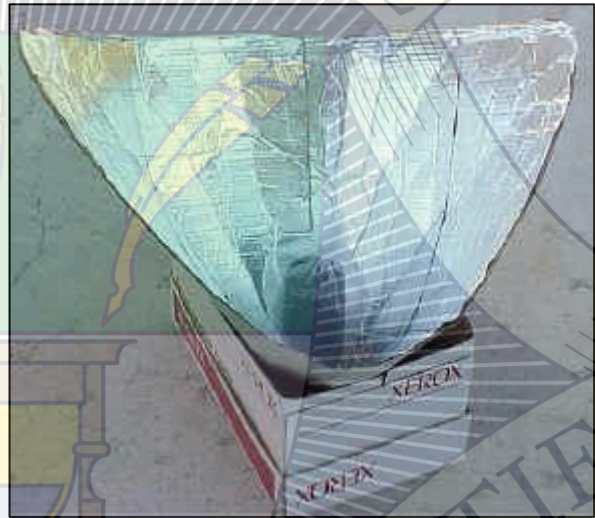


Figure 22. Four à entonnoir en carton

### 11.2 Construire un four solaire à entonnoir en carton

#### 11.2.1 Matériel :

- Une planche en carton qui servira de soutien pour le papier aluminium
- Du papier aluminium pour recouvrir toute la surface de votre planche en carton et qui servira à refléter les rayons UV du Soleil.
- Du ruban adhésif (de préférence assez large) qui servira à attacher le papier aluminium sur le bord du carton.
- Un couteau (couteau à lame rétractable) ou une paire de ciseaux

### 11.2.2 1ere étape de construction

Pour commencer, il faut couper à l'aide des ciseaux ou du cutter un demi-cercle dans une des longueurs de la planche en carton. Ce demi-cercle doit avoir un rayon correspondant au diamètre du récipient que vous allez utiliser pour cuisiner dans votre four solaire.



### 11.2.3 2eme étape de construction



Figure 24. 2eme étape de construction

A présent fabriquez l'entonnoir en mettant les deux largeurs les unes sur les autres de manière à faire de votre demi-cercle un cercle au centre de votre entonnoir. Cette étape sert à faire des petits plis dans votre carton pour former un entonnoir le plus arrondi possible. Cela permettra de fixer le papier aluminium avec un minimum de plis.

### 11.2.4 3eme étape

Maintenant vous pouvez remettre la planche à plat et fixer l'aluminium dessus à l'aide de ruban adhésif. Il faut faire attention de bien recouvrir toute la face de votre carton et de bien tendre le papier aluminium pour qu'il soit bien plat pour mieux refléter la lumière.

### 11.2.5 4eme étape

A présent vous pouvez reformer l'entonnoir en essayant de faire le moins de plis possible dans l'aluminium, et fixer les deux côtés du carton ensemble avec le ruban adhésif (vous pouvez aussi utiliser des agrafes).



Figure 25. 4eme étape de construction

### 11.3 Cuisiner avec votre four solaire à entonnoir

#### 11.3.1 Mise en place du four solaire

Pour la cuisson, il faut faire très attention à la manière dont vous positionnez votre four solaire. Vous pouvez l'orienter sur ses deux axes, en le tournant et en l'inclinant vers le Soleil, de manière à ce que les rayons du Soleil arrivent droits dans votre récipient, en sachant que vos rayons seront reflétés de manière symétrique.

Le récipient, vous devez le placer au milieu du four dans le trou. Si vous voulez une cuisson optimale ou que votre four solaire n'atteint pas les températures souhaitées, vous pouvez mettre le récipient dans un sac de cuisson. Cela permettra de conserver la chaleur dans votre sac.

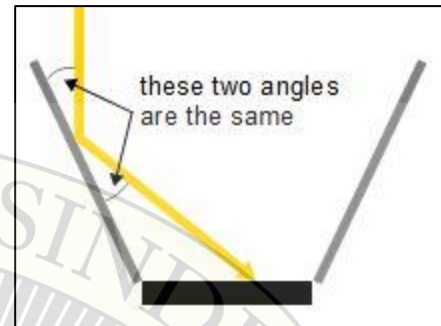


Figure 26. La manière dont les rayons de Soleil seront reflétés

#### 11.3.2 Quels récipients utiliser

Le récipient que vous allez utiliser pour cuisiner dans votre four solaire sera de préférence de couleur noire et mat. La couleur noire permet un bon rayonnement thermique. Dans le cas où vous voulez cuisiner longtemps (plus d'une heure), c'est bon d'utiliser une casserole en fonte, car elle conserve la chaleur longtemps, par contre elle a besoin de plus longtemps pour chauffer que l'acier inoxydable. En ce qui concerne le couvercle, c'est bien d'en avoir un noir (comme la casserole) mat ou alors en verre, qui laisse alors passer les rayons de Soleil.

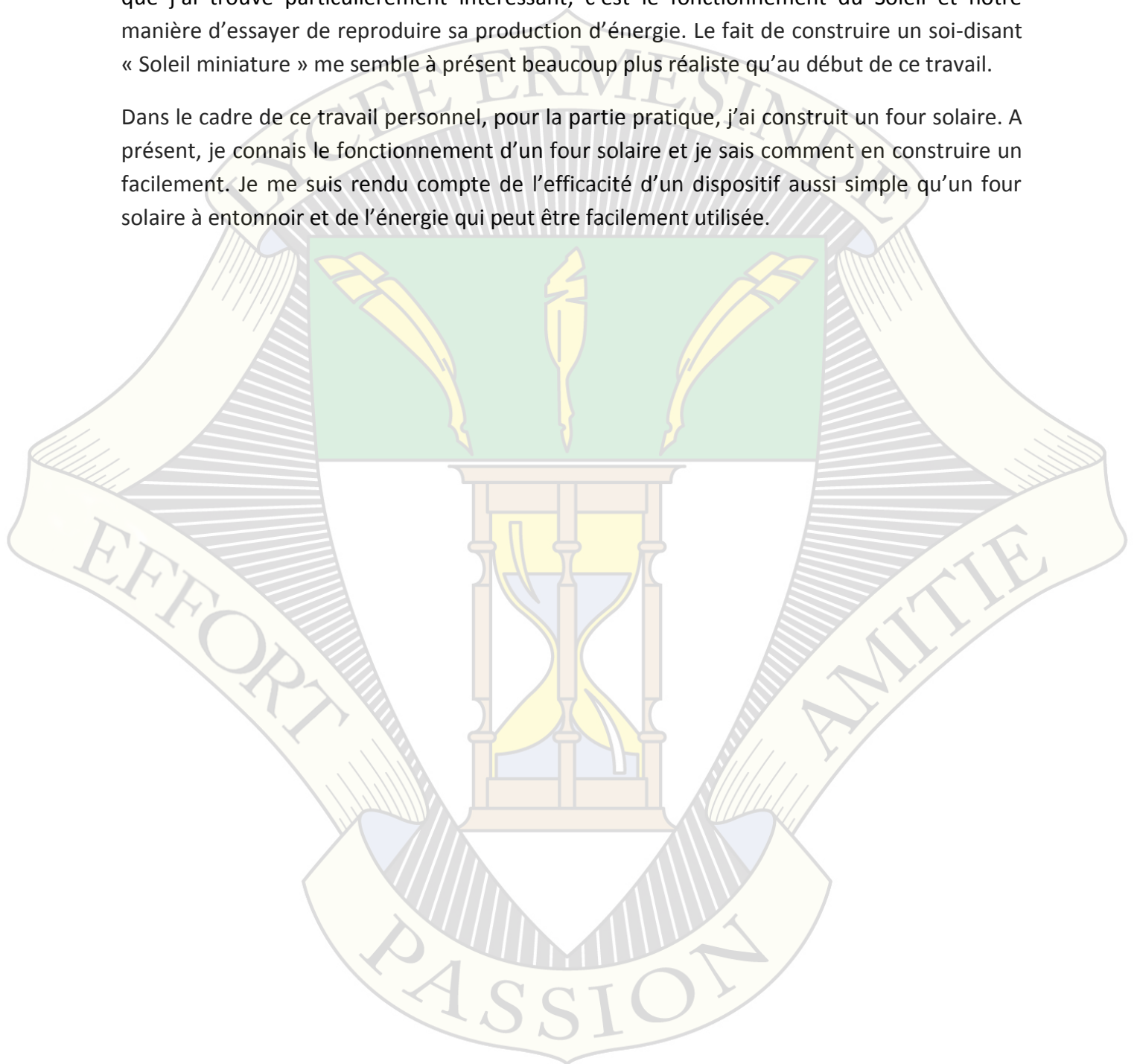
Le récipient utilisé sera de préférence large et pas trop profond.



## 12 Conclusion

J'ai trouvé ce travail personnel très intéressant, il m'a apporté beaucoup de réponses à mes questions et m'a en même temps apporté beaucoup d'autres interrogations auxquelles j'ai essayé de répondre ainsi qu'une multitude d'aspects que j'aimerais encore approfondir. Ce que j'ai trouvé particulièrement intéressant, c'est le fonctionnement du Soleil et notre manière d'essayer de reproduire sa production d'énergie. Le fait de construire un soi-disant « Soleil miniature » me semble à présent beaucoup plus réaliste qu'au début de ce travail.

Dans le cadre de ce travail personnel, pour la partie pratique, j'ai construit un four solaire. A présent, je connais le fonctionnement d'un four solaire et je sais comment en construire un facilement. Je me suis rendu compte de l'efficacité d'un dispositif aussi simple qu'un four solaire à entonnoir et de l'énergie qui peut être facilement utilisée.



### 13 Sources

Livre : Destination Système Solaire

Editeur : Marabout

Auteur Collectif :

Parution : 2014

Livre : étoile et planètes

Editeur : Dorling Kindersley

Auteurs: Robert Dinwiddie, Will Gater, Giles Sparrow, Carole stott

Parution: Février 2013

Livre : La fusion nucléaire

Editeur : Edition Belin

Auteur : Alessendra Benuzzi-Mounaix

Parution : Mars 2008

Livre : Connaitre & Découvrir l'astronomie

Editeur : Minerva

Auteur : Fabienne Casoli, Thérèse Encrenaz

Parution : Mai 1998

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=7280>

<http://www.rts.ch/decouverte/sciences-et-environnement/terre-et-espace/le-Soleil/>

<http://eduscol.education.fr/orbito/pedago/Soleil/soleil3.htm>

<http://www.assistancescolaire.com/eleve/3e/physique-chimie/reviser-une-notion/notion-de-gravitation-3pmf09>

<http://www.cea.fr/jeunes/themes/physique-chimie/l-astrophysique-nucleaire/le-Soleil>

<http://www.irap.omp.eu/recherche/groupe-thematiques/ps2e>

<http://www.lefigaro.fr/sciences/2014/02/12/01008-20140212ARTFIG00360-les-americains-franchissent-une-etape-vers-la-fusion-nucleaire.php>

<http://florenaud.free.fr/Structure.php>

[https://media4.obspm.fr/public/AMC/pages\\_introduction-Soleil/so-zone-radiative.html](https://media4.obspm.fr/public/AMC/pages_introduction-Soleil/so-zone-radiative.html)

<http://www.sciencesetavenir.fr/espace/20150702.OBS1928/video-au-plus-pres-d-une-eruption-solaire.html>

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/genesis/media/jpl-release-052302.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/genesis/media/jpl-release-052302.html)

<https://sites.google.com/site/tpesoleil2012/effets-sur-le-corps-humain/1-effets-positifs-sur-le-corps-humain>

<https://sites.google.com/site/tpesoleil2012/fayolle/composition-des-rayons>

<https://sites.google.com/site/tpesursoleil/3-les-rayons-solaires/3-1-presantation>

<https://sites.google.com/site/tpesoleil2012/effets-sur-le-corps-humain>

<http://www.futura-sciences.com/magazines/espace/infos/dico/d/univers-cme-4476/>

[http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire\\_et\\_societe/education-radioprotection/bases\\_radioactivite/Pages/3-isotope.aspx#.ViEo5RqvTMI](http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Nucleaire_et_societe/education-radioprotection/bases_radioactivite/Pages/3-isotope.aspx#.ViEo5RqvTMI)

<http://stopvieillesse.e-monsite.com/pages/la-peau/quels-sont-les-differents-composants-de-la-peau.html>

<http://www.futura-sciences.com/magazines/espace/infos/dico/d/univers-etoile-neutrons-32/>

<http://www.futura-sciences.com/magazines/espace/infos/dico/d/univers-trou-noir-62/>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Fusion\\_nucléaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fusion_nucléaire)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89clipse\\_solaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89clipse_solaire)

<http://solarcooking.org/francais/funnel-fr.htm>

<http://www.greenpeace.org/luxembourg/fr/campaigns/nucleaire/fusion-nucl-eacute-aire/>

<https://www.iter.org/fr/sci/fusion>

<https://www.flickr.com/photos/133391479@N02/25784825764>

<http://www.irl-france.fr/fr/decouvrir-les-infrarouges-lointains/le-rayonnement-du-Soleil-explique-par-irl-france>