



## 13 - La mécanique du Soleil

Durée : 1h30

Objectifs de la séance :

- Visualiser le phénomène de convection
- Comprendre le mécanisme de propagation de la lumière au sein du Soleil

### Etape 1 : Introduction

**Matériel :** Maquette du Soleil

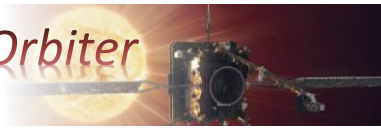
Présenter la maquette du Soleil pour décrire les différentes couches présentes à l'intérieur.

- On explique qu'on vient de voir où et comment l'énergie est produite : le cœur avec la fusion nucléaire et la production de photons gamma.
- On explique que l'étoile est opaque et que c'est la surface qui émet la lumière que l'on voit. Et on pose la question : comment sort l'énergie depuis le cœur ? En combien de temps ? ( $10^5$  à  $10^6$  ans).
- On donne les noms des deux couches internes : zone radiative au-dessus du cœur et zone convective sous la surface. On explique qu'on va d'abord parler de la zone convective.
- **Au centre, le cœur**, où il fait une température de 15 millions de degré Kelvin (K). Il y a fusion nucléaire et production de photons gamma.
- **Au-dessus, la zone radiative**, où les photons sont absorbés et réémis dans des directions aléatoires par les atomes.
- **Encore au-dessus, la zone convective**, où l'énergie est transportée par la matière
- **Et enfin, tout en haut, la surface** qui émet la lumière.



Maquette du Soleil

Zone		Part de la masse	Température (K)	Rayon (km)
Zone radiative	Cœur	50%	15 millions	0
		48%	7 millions	210 000
			2 millions	480 000
Zone convective		2%	5800	690 000

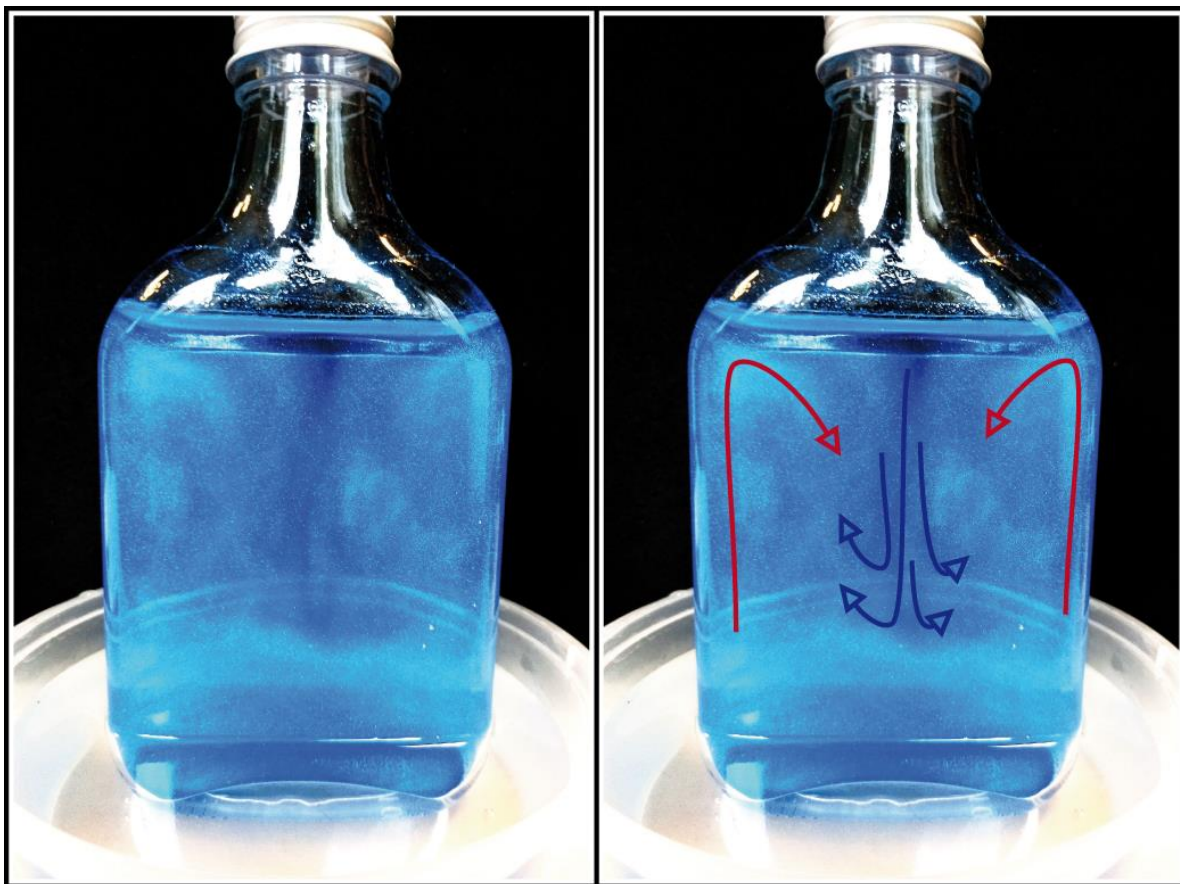


## La convection

**Matériel :** bouteilles rhéoscopique, pots plastique, bouilloire, essuie-tout

Distribuer les bouteilles. Demander aux participants leur avis sur ce qu'il y a dedans.

C'est ce que l'on appelle un liquide rhéoscopique. Il se compose simplement d'eau et de paillettes (du mica teinté). Comme les paillettes sont plates elles vont avoir tendance à s'orienter avec le courant. Et comme leurs faces planes réfléchissent bien la lumière elles vont permettre de visualiser le mouvement du liquide.



*Photographie de l'expérience en action*

Questionner les participants : que peut-on faire avec ces bouteilles ?

Distribuer les bols en plastique, les faire remplir d'environ 2 cm d'eau chaude (l'eau chaude voir tiède au robinet suffit, pas besoin de s'ébouillanter).

Agiter les bouteilles pour que les paillettes soient en suspension. Attendre environ 30 secondes pour que le liquide s'homogénéise. Puis poser la bouteille dans le bol et observer.

**Remarque :** afin de faciliter l'observation on peut éclairer la bouteille sur le côté pour faire ressortir les mouvements des paillettes dans le liquide.



On peut suivre une particule spécifiquement pour voir son mouvement entre la zone au contact avec l'eau chaude et les eaux du haut froides.

Pour concrétiser les observations on peut demander aux jeunes de dessiner les mouvements qu'ils voient.

## Conclusion de l'expérience

On observe une cellule de convection se former dans la bouteille !

On conclut l'expérience par un bilan collectif. On demande notamment aux jeunes de chercher les similitudes avec l'intérieur d'une étoile :

- L'eau chaude représente l'interface entre la zone radiative, plus chaude, et la zone convective, plus froide.
- L'eau et les paillettes en mouvement représentent la matière de l'étoile qui se déplace dans la zone convective
- L'air frais de la pièce peut être comparé à l'espace, froid, au-delà de la surface de l'étoile.

## Le transfert de l'énergie

**Matériel** : plots, schéma du jeu, dé 8 faces, cartes de déplacement

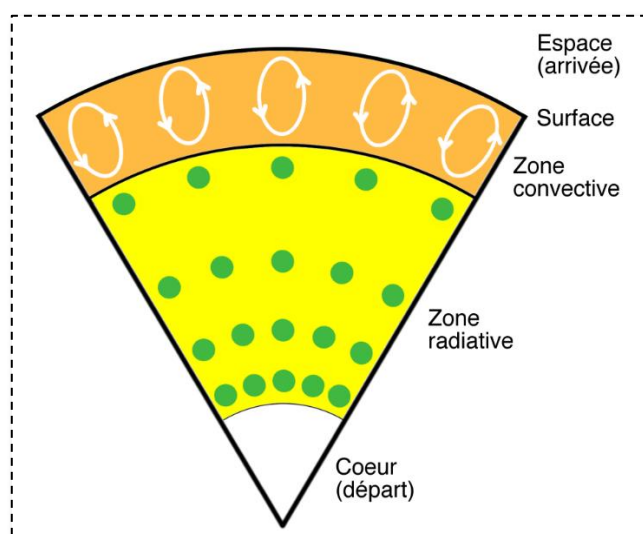
Par ce jeu, on va expliquer comment l'énergie, qui est produite sous forme de lumière gamma (photons très énergétiques) dans un cœur ayant une température 14 millions de degrés Kelvin (K), parvient à sortir de la surface de l'étoile ayant une température de 5700 K seulement, et sous forme de lumière visible.

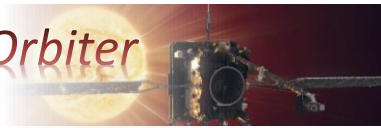
### 1) Mise en place :

Se mettre en extérieur ou dans un espace dégagé. La mise en place qui suit est prévue pour une quinzaine de personnes. Doubler les quantités, faites deux espaces de jeu ou faites un stock de photons au cœur de l'étoile pour une classe entière.

Une affiche A4 est là pour vous aider à mettre en place le plateau de jeu.

(Selon la place disponible, il peut être plus judicieux de tracer un rectangle plutôt qu'un quartier.)



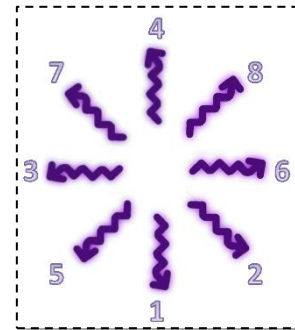


- Placez des plots en plastique (4x5) au sol selon le plan de jeu (pastilles vertes).

*Schéma de positionnement du jeu*

Délimitez le cœur, la zone radiative, la zone convective et l'espace avec de la ficelle, des rangées serrées d'assiettes, ou indiquez les limites avec des chaises.

- Confiez le rôle de « cellule de convection » à 5 jeunes. Ils se placent dans la zone de convection, dans la continuité des colonnes d'assiettes.
- Donnez une carte de déplacement à chaque autre joueur.



*Carte de déplacement*

## 2) Explications :

Les joueurs ayant une carte de déplacement sont des photons, créés par le cœur de l'étoile, dont le but est de sortir de l'étoile pour se propager dans l'espace. Ils vont devoir traverser deux zones avant d'atteindre le vide de l'espace :

- La zone radiative (assiettes = atomes qui les absorbent et les réémettent dans une autre direction)
- La zone convective (cellules de convection)

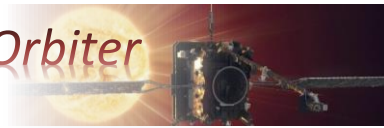
## 3) Démarrage du jeu :

Pour débuter, et durant le jeu ensuite, faites apparaître 3 à 5 joueurs à la fois dans le cœur de l'étoile, pas plus, afin d'éviter les embouteillages sur la case départ. Ces 3 à 5 joueurs choisissent de se positionner sur une assiette de la première ligne.



*Dé huit faces*

<b>Règle n°1 :</b>	Chaque photon doit se déplacer en suivant les indications de sa carte de déplacement qu'il positionne dans ses mains devant lui.
<b>Règle n°2 :</b>	Un seul photon par assiette.
<b>Règle n°3 :</b>	L'animateur tire le dé 8 faces toutes les 5 à 10 secondes et annonce le résultat à voix haute. Chaque photon avance d'une assiette dans la direction correspondante sur sa carte de déplacement.
<b>Règle n°4 :</b>	Si un photon ne peut pas se déplacer parce qu'il rencontre la limite de l'espace de jeu ou bien parce qu'il arrive sur une assiette déjà occupée, il choisit la plus proche assiette libre.



**Règle n°5 :**

Si un photon parvient à dépasser la dernière ligne d'assiettes, il est attrapé par le joueur « cellule de convection » correspondant et est transporté dans l'espace. Il peut alors continuer sa course en ligne droite.

**4) Expliquer les règles du jeu :**

**5) Fin du jeu :**

C'est vous qui décidez quand le jeu s'arrête :

- Quand il y a un certain nombre de photons libérés dans l'espace
- Au bout d'un certain temps de jeu
- Lorsqu'un ou plusieurs photons restent coincés trop longtemps dans la zone radiative
- Lorsque les jeunes ont compris le fonctionnement du système

**Faire un bilan participatif à la fin de ce jeu, recueillez les interprétations des joueurs.**

**Idées à faire ressortir :**

- La probabilité pour un photon de traverser tout droit la zone radiative est très faible.
- Cela peut prendre très longtemps pour atteindre la zone convective (jusque plusieurs millions d'années !)
- Dans la zone radiative, à chaque atome rencontré, un photon est absorbé, puis réémis dans une direction aléatoire.
- Dans la zone radiative, il fait très chaud, et l'énergie se transmet par déplacement de lumière. Dans la zone convective, il fait moins chaud, et l'énergie se transmet par déplacement de matière.
- Dans l'espace, la lumière se déplace en ligne droite car aucun (ou presque) atome ne l'en empêche.
- A mesure qu'un photon (produit au cœur dans le domaine gamma) progresse vers la surface, il perd de l'énergie, et finit par entrer dans le domaine visible lorsqu'il est émis par la surface, ce qui nous permet de voir l'étoile.

## Les autres étoiles

**Pour aller plus loin...**

**Matériel :** schéma A3 des mécanismes de trois types d'étoiles

On présente les 3 schémas d'étoiles et on demande aux jeunes de décrire leurs différences et d'essayer de les interpréter.

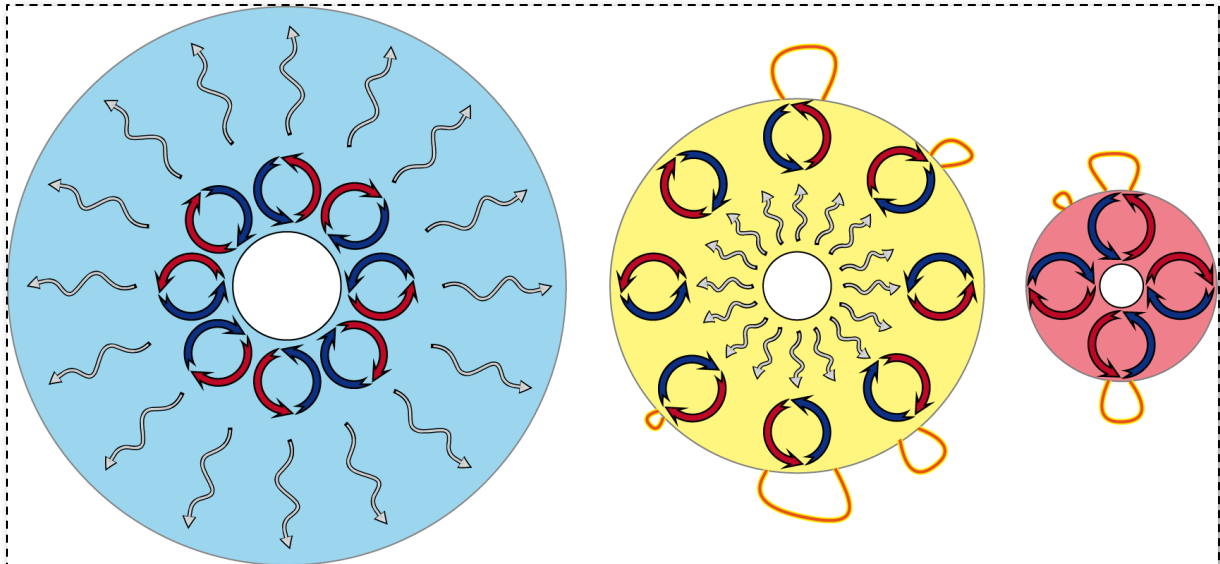
**Idées à faire ressortir :**

- Une étoile légère et petite a un cœur et une surface froids. Sa surface est rouge.
- Une étoile lourde et grosse a un cœur et une surface chauds. Sa surface est bleue.





- Une étoile de masse et de taille intermédiaire a une surface blanc ou jaune.
- Une étoile bleue n'a pas de taches solaires et de protubérances car il n'y a pas de zone de convection sous la surface.
- Quand il fait chaud, l'énergie est transmise sous forme de lumière (radiation), quand il fait moins chaud, c'est la matière (convection).
- Une petite étoile rouge n'a pas un cœur assez chaud pour avoir une zone radiative.
- Une étoile bleue a un cœur beaucoup plus chaud qu'une étoile jaune. Quand il fait vraiment très chaud, c'est de nouveau la matière qui transmet l'énergie. C'est pourquoi les couches sont inversées.



Schémas des mécanismes à l'intérieur de trois types d'étoiles différentes

## Méthodes de transmission de l'énergie :

Chaud : convection

Très chaud : radiation

Très très chaud : de nouveau convection

On peut donner des exemples d'étoiles pour chaque type :

- Proxima du Centaure, du système triple Alpha du Centaure, à 4,2 années-lumière de nous, est une naine rouge.
- Rigel, dans la constellation d'Orion, est une étoile bleue.
- Le Soleil, ou Alpha du Centaure, sont des étoiles blanc-jaunes.