



2.1 – RAYONNEMENT SOLAIRE

ACTIVITE RAYONNEMENT ET SANTE

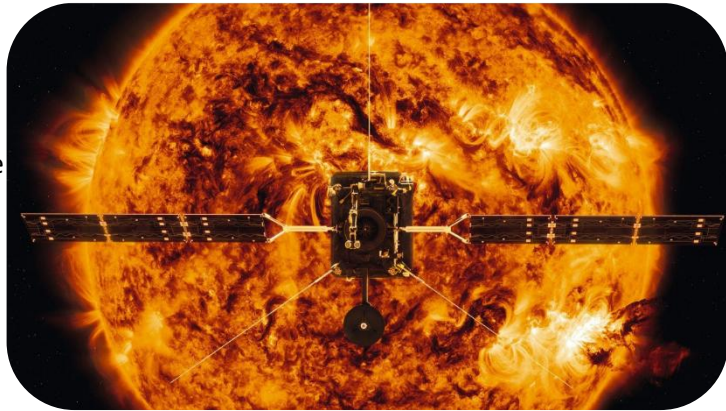
Partie 1 : La machine Soleil

On sait depuis l'Antiquité que le Soleil est à l'origine de la vie telle qu'on la connaît sur Terre, mais ce n'est que depuis le début du XXe siècle que l'on peut expliquer son fonctionnement.

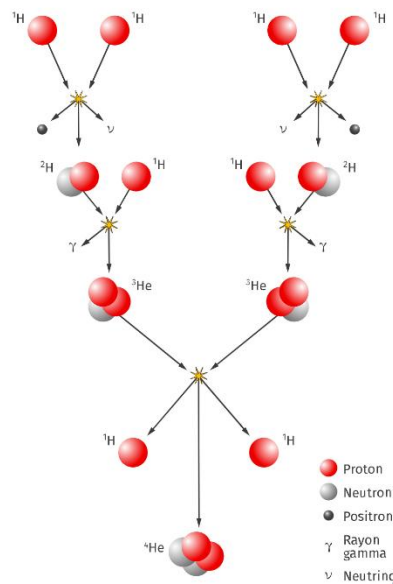
Quel mécanisme est à l'origine de l'énergie émise par le Soleil ?

DOCUMENT 1 : L'énergie rayonnée par le Soleil

Le Soleil est un objet incandescent : il émet de la lumière du fait de sa température. Cette lumière émise par le Soleil permet un transfert d'énergie jusqu'à la Terre. À partir de l'énergie reçue sur Terre, on peut calculer la puissance du rayonnement solaire. En moyenne, la puissance surfacique du rayonnement solaire sur Terre est de $1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, soit une puissance solaire $P_{\text{Soleil}} = 3,85 \times 10^{26} \text{ W}$. L'énergie correspondante rayonnée par seconde est donc $E = P \times \Delta t = 3,85 \times 10^{26} \text{ J}$.



DOCUMENT 2 : Les réactions nucléaires au sein du Soleil



Dans le Soleil, les conditions de pression et de température permettent aux noyaux d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ d'effectuer des réactions de fusion nucléaire pour former à terme des noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$. Ces fusions nucléaires libèrent une grande quantité d'énergie.

Schéma récapitulatif des fusions de noyau d'hydrogène au sein du Soleil

DOCUMENT 3 : Les réactions nucléaires au sein du Soleil

C'est peut-être la relation mathématique la plus célèbre du monde de la physique :

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

(Avec E exprimée en joule, m en kilogramme et c en mètre par seconde – $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

La relation d'Einstein établit une équivalence entre énergie et masse. La variation de masse Δm observée lors d'une transformation nucléaire est proportionnelle à l'énergie libérée (ou absorbée) avec un facteur de proportionnalité c^2 . Réciproquement, l'émission d'énergie par un système peut se traduire comme une diminution de la masse de ce système.

1. Écrire les équations de réaction nucléaire des trois réactions présentées.
2. À partir de la relation d'Einstein, déterminer la diminution de masse Δm à laquelle l'énergie émise par seconde correspond.



Partie 2 : A la surface du Soleil

Le Soleil comme tout corps matériel émet des ondes électromagnétiques. Ces dernières sont interceptées par la surface de la Terre. Leur étude permet de déterminer la température de surface de notre étoile.

Comment l'étude du spectre d'émission du Soleil permet de déterminer sa température de surface ?

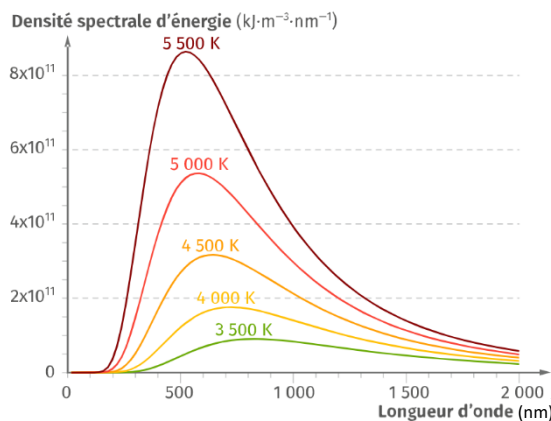
DOCUMENT 1 : Spectre d'émission d'un corps et Loi de Wien

Lorsque l'on trace le spectre d'émission d'objets incandescents de différentes températures, comme présenté ci-dessous à gauche, on constate que plus l'objet est chaud, plus la longueur d'onde correspondant au maximum d'intensité est faible.

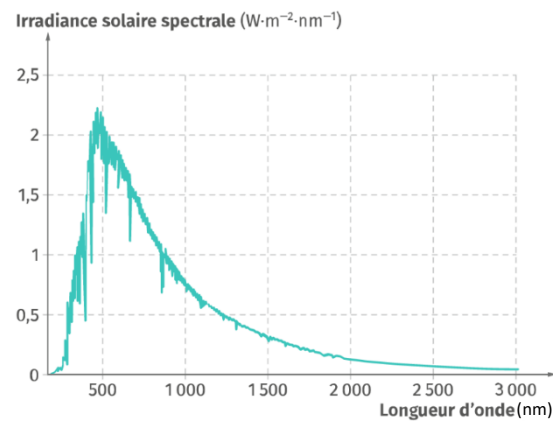
La **Loi de Wien** permet de traduire cette observation. Cette loi s'écrit sous la forme :

$$\lambda_{\max} = \frac{k}{T}$$

(Avec T, la température en kelvin et $k = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$)



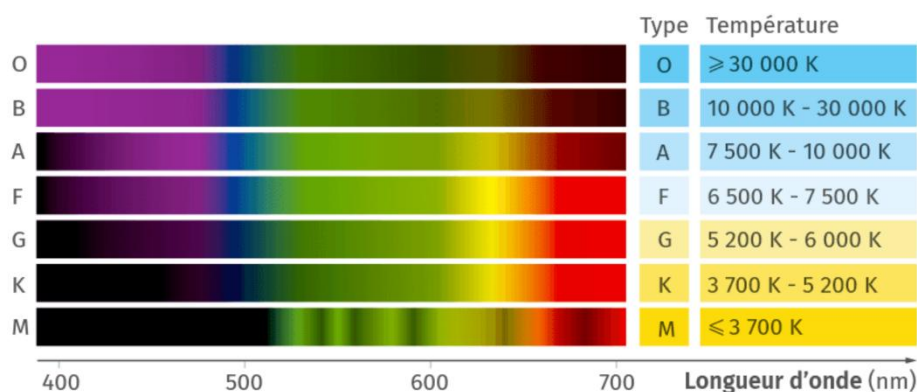
Les spectres d'émission d'objets incandescents



Le spectre d'émission du Soleil.

DOCUMENT 2 : Classification spectrale des étoiles

L'étude du spectre d'émission d'une étoile illustre le lien entre sa température de surface et sa couleur. La classification de Harvard, créée au XX^e siècle, organise les différentes étoiles selon leur spectre d'émission. Les principaux types spectraux sont notés O, B, A, F, G, K et M ; chaque type spectral possédant lui-même 10 sous-catégories. Au fur et à mesure de la découverte de nouvelles étoiles, la classification a été étendue à 8 autres types.



1. Identifier la longueur d'onde $\lambda_{\max}$ pour laquelle le soleil émet le plus d'énergie.
2. En utilisant les spectres d'émission d'objets incandescents, tracer le graphique donnant la longueur d'onde $\lambda_{\max}$ en fonction de l'inverse de la température de ces objets.
3. À partir des questions précédentes, déduire graphiquement la température de la surface du Soleil. Retrouver cette valeur par le calcul.
4. En déduire le type d'étoile auquel appartient le Soleil selon la classification de Harvard.



Partie 3 : La Loi de Stefan-Boltzmann

La **Loi de Stefan-Boltzmann** permet de calculer la puissance surfacique émise par un astre en fonction de sa température de surface. Cette loi, accompagnée de la loi de Wien et de l'information du rayon de l'astre, permet aux astrophysiciens de calculer la puissance du rayonnement émis par les étoiles.

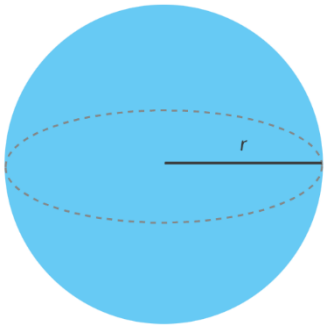
La loi de Stefan-Boltzmann s'écrit sous la forme :

$$P_{\text{surface}} = \sigma \cdot T^4$$

(Avec T est la température de surface en kelvin (K), P puissance surfacique en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ et $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.)

On peut trouver la puissance de rayonnement de l'étoile en multipliant la puissance surfacique par la surface de l'étoile.

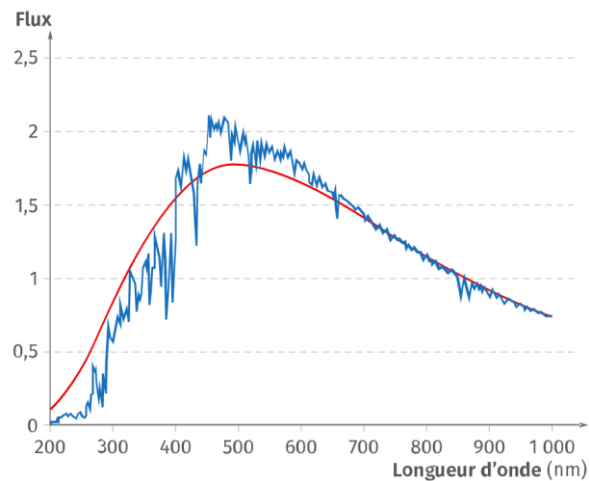
DOCUMENT 1 : Propriétés géométriques d'une sphère



$$\text{Volume : } V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\text{Aire : } S = 4 \pi r^2$$

DOCUMENT 2 : Spectre d'émission du Soleil



DOCUMENT 3 : Spectre d'émission du Soleil

Rayon équatorial : $6,955 \times 10^5 \text{ km}$
 Circonférence équatoriale : $4,379 \times 10^6 \text{ km}$
 Masse : $1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
 Densité : $1,409 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$



1. À l'aide de la loi de Stefan-Boltzmann, calculer la puissance surfacique du rayonnement solaire.
2. Dédire des calculs précédents et de l'énoncé, la puissance du rayonnement solaire.
Comparer la valeur obtenue avec celle donnée dans l'activité précédente.

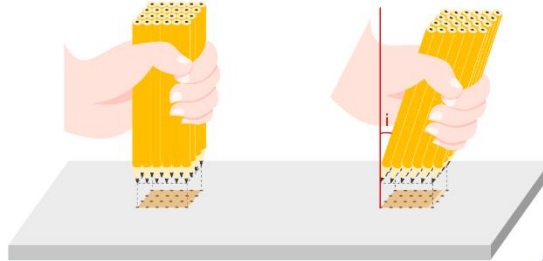


Partie 4 : L'énergie solaire inégalement répartie sur Terre

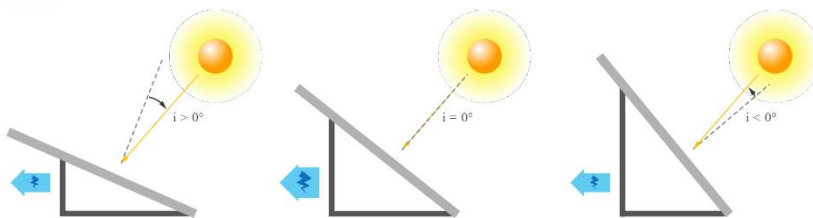
Page commune les groupes 1 (A,A'), 2 (B,B') et 3 (C,C').

DOCUMENT 1 : Une analogie pour mieux comprendre

Cette analogie permet de mieux se représenter l'influence de l'angle d'incidence d'un rayonnement sur la répartition de l'énergie sur une surface plane. Un même rayonnement incident (matérialisé ici par le paquet de crayons), portant donc la même énergie, se répartit sur des surfaces différentes suivant l'angle d'incidence i et sera plus ou moins concentré.

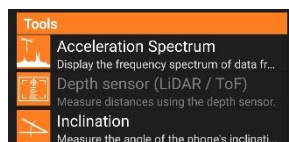
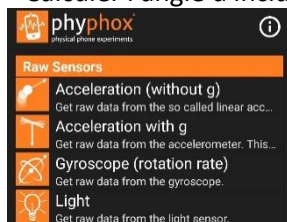


DOCUMENT 2 : Mesure expérimentale de l'éclairement en fonction de l'angle d'incidence



a. Protocole expérimental

- Installer l'application *Phyphox* sur 2 smartphones.
- Placer les smartphones sur un support inclinable :
 - un smartphone mesure la valeur de l'éclairement ;
 - le second mesure l'angle absolu du support.
- Trouver la valeur d'angle absolu i pour laquelle l'éclairement est le plus important : $i_{\max}$.
- Faire varier l'inclinaison de 10° en 10° et noter la valeur de l'éclairement mesuré dans un tableur.
- Calculer l'angle d'incidence (différence entre i et $i_{\max}$).



b. Valeurs théoriques

Angle d'incidence en °	Rayonnement intercepté (%)
0	100
10	98,5
20	94,0
30	86,6
40	76,6
50	64,3
60	50,0
70	34,2
80	17,4

1. Déterminer le(s) facteur(s) influençant la puissance solaire reçue par une surface terrestre donnée.
2. Travail en groupe :
 - Groupe 1** : Expliquer les variations de température suivant le moment de la journée.
 - Groupe 2** : Expliquer les variations de température suivant la latitude, à l'origine des climats.
 - Groupe 3** : Expliquer les variations de température suivant le moment de l'année, à l'origine des saisons.



GROUPE 1 : Une réception inégale suivant l'heure de la journée

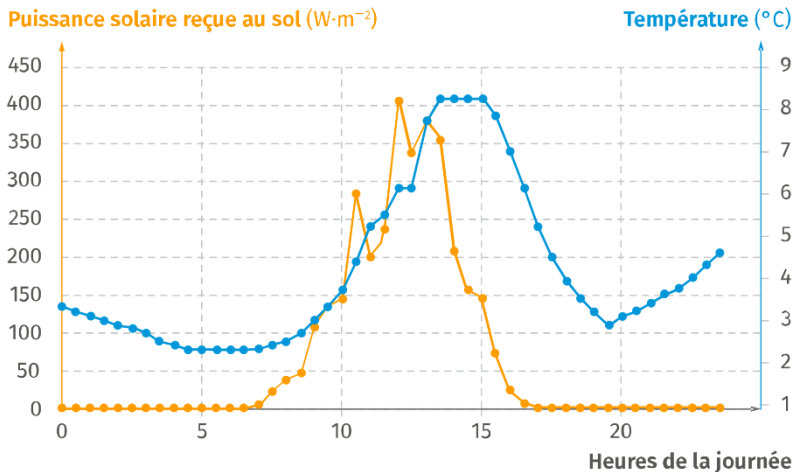
En solo :

Procéder à des relevés réguliers de température au cours d'une journée, en veillant à fixer tous les autres paramètres par ailleurs et en relevant les résultats dans un tableur qui sera partagé.

En groupe :

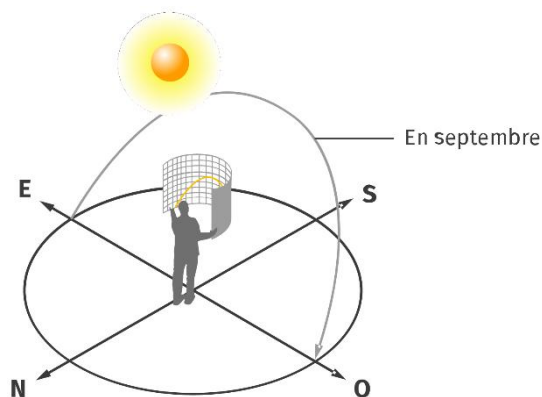
Représenter l'ensemble des résultats du groupe de façon graphique.

DOCUMENT 3 : Évolution de la température et de la puissance solaire reçue suivant l'heure

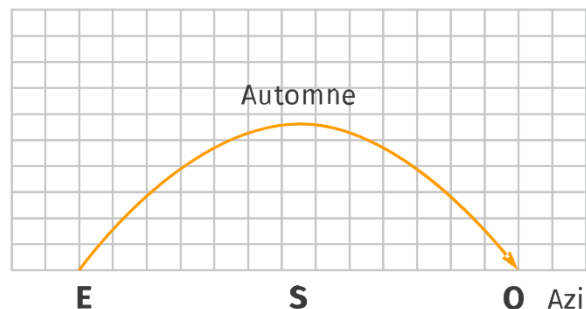


Mesures effectuées la journée du 29 octobre 2018 au lycée Clément Ader à Bernay (Normandie). Ce lycée participe, comme des dizaines d'autres établissements, à la collecte de données météorologiques au sein du réseau « Météo à l'école ».

DOCUMENT 4 : Position apparente du Soleil



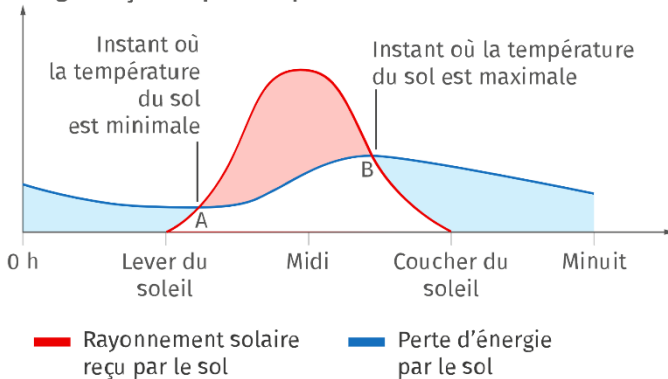
Hauteur



Tracé de la trajectoire apparente du Soleil en France en automne

DOCUMENT 5 : Bilan énergétique qualitatif du sol en fonction de l'heure de la journée

Énergies reçues et perdues par le sol



Le sol émet sans cesse de l'énergie, sous forme de chaleur et de rayonnements infrarouges. Entre les points A et B, le sol reçoit plus d'énergie qu'il n'en émet. C'est l'inverse en dehors de cette période.

1. Décrire les variations de température au cours d'une journée.
2. Identifier un facteur explicatif à ces variations journalières.



GROUPE 2 : Une inégale répartition suivant la latitude

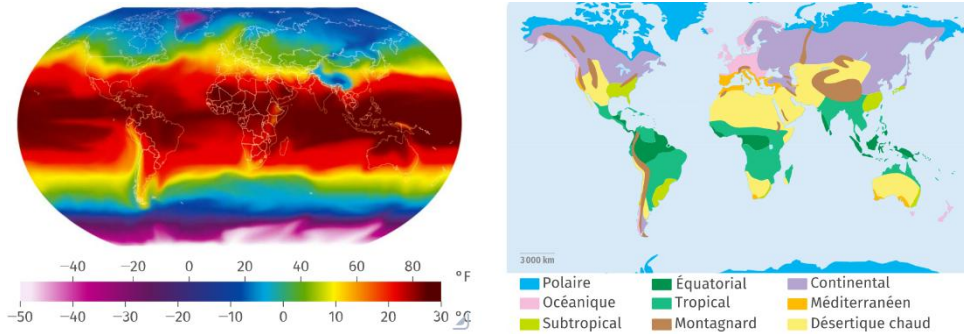
Mettre au point un protocole permettant de mesurer l'influence de la latitude sur la surface de répartition d'un faisceau lumineux incident.

⚠ Attention : Le globe terrestre devra être maintenu dans une position fixe tout le long de la manipulation, par exemple en situation d'équinoxe.
Équinoxe : deux jours de l'année où le jour a une durée égale à celle de la nuit.

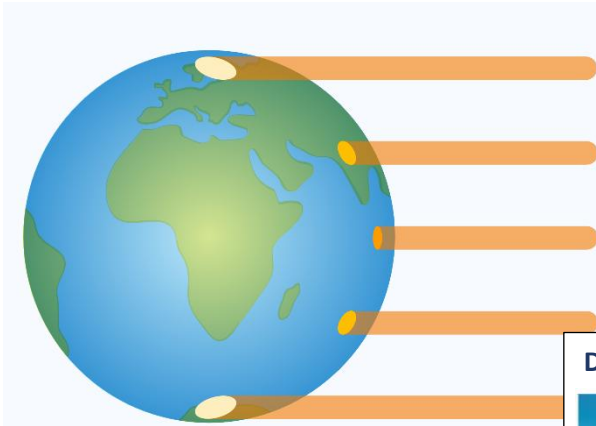
DOCUMENT 3 : Liste du matériel disponible

- Globe terrestre
- Projecteur
- Système réglable pour porter le projecteur à hauteur voulue
- Papier millimétré
- Scotch

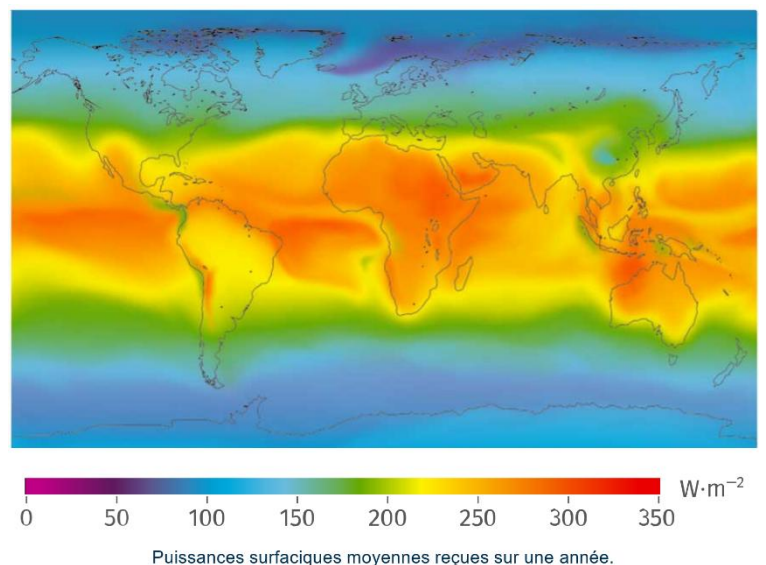
DOCUMENT 4 : Planisphère des températures moyennes sur les continents et carte des climats



DOCUMENT 5 : Répartition d'une énergie incidente équivalente sur un objet sphérique



DOCUMENT 6 : Carte mondiale de l'insolation terrestre



1. Comparer les températures moyennes à la surface aux valeurs moyennes de puissance reçue par unité de surface.
2. Proposer une explication aux différences constatées suivant la latitude.



GROUPE 3 : Une inégale répartition suivant le moment de l'année

Mettre au point un protocole permettant de mesurer l'influence de l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au *plan de l'écliptique* sur la surface de répartition d'un faisceau lumineux incident.

Plan de l'écliptique : plan créé par le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil.

⚠ Attention : les mesures devront être faites toujours au même lieu dans un hémisphère fixé (par exemple au niveau de la France).

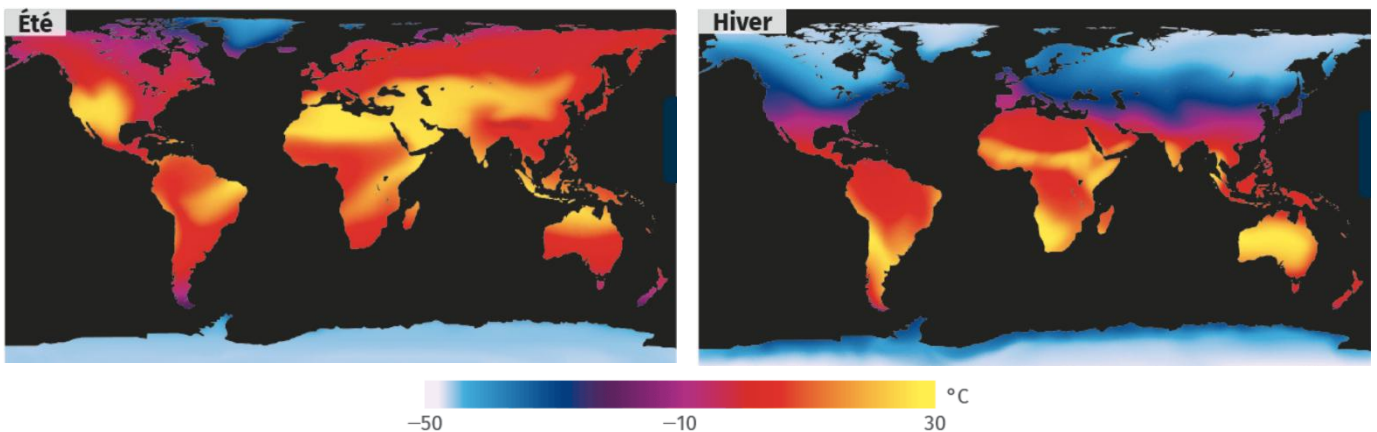
Le globe terrestre devra changer de position (par exemple *solstice* d'été vs solstice d'hiver).

Solstice : jour le plus court (solstice d'hiver, le 21 décembre) et jour le plus long (solstice d'été, le 21 juin) de l'année dans l'hémisphère nord.

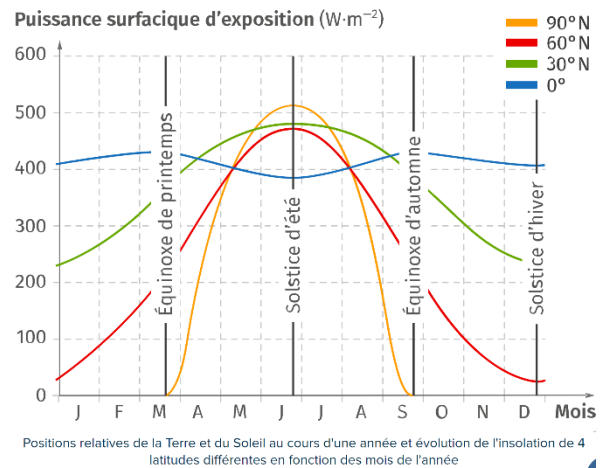
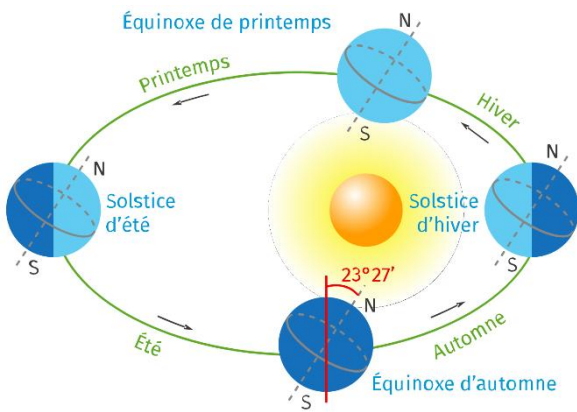
DOCUMENT 3 : Liste du matériel disponible

- Globe terrestre
- Projecteur
- Système réglable pour porter le projecteur à hauteur voulue
- Papier millimétré
- Scotch

DOCUMENT 4 : Cartes de températures au solstice d'été et au solstice d'hiver



DOCUMENT 5 : Positions relatives de la Terre et du Soleil et insolation



1. Identifier les variations de température et d'insolation d'un hémisphère donné en fonction de la saison.
2. Emettre une hypothèse explicative à cette observation et tester cette hypothèse sur un modèle analogique.



Partie 5 : Rayonnements UV et impacts sur la santé

D'après Site de l'OMS : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>

Lire et s'approprier les documents suivants :

DOCUMENT 1 : Niveaux de rayonnement UV

Le rayonnement ultraviolet (UV) ne peut être ni vu ni senti. Alors que certaines personnes sont exposées à des sources artificielles de rayonnement UV (par exemple en médecine, dans l'industrie et à des fins de désinfection et cosmétiques), tout le monde est exposé aux rayons UV solaires. Les niveaux de rayonnement UV solaire dépendent de plusieurs facteurs :

- **L'élévation du soleil** : Plus le soleil est haut dans le ciel, plus le niveau du rayonnement UV est élevé. Les niveaux de rayonnement UV varient selon l'heure de la journée et la période de l'année.
- **La latitude** : Plus l'équateur est proche, plus les niveaux de rayonnement UV sont élevés.
- **L'altitude** : Les niveaux de rayonnement UV augmentent avec l'altitude, au fur et à mesure que la couche d'air s'amincit et absorbe moins d'UV.
- **La couverture nuageuse** : Les niveaux de rayonnement UV sont les plus élevés sous un ciel dégagé, mais peuvent être élevés même lorsqu'il y a une couverture nuageuse.
- **L'ozone** : L'ozone absorbe une partie des rayons UV du soleil. S'il y a moins d'ozone, le rayonnement UV atteignant la surface de la Terre est plus important.
- **La réverbération** : Les surfaces réfléchissantes, telles que l'eau, le sable et la neige fraîche, augmentent le niveau de rayonnement UV.
- **Les changements climatiques** : Y compris en raison des variations de la couche d'ozone et de la couverture nuageuse qu'ils provoquent, devraient avoir un impact sur les niveaux de rayonnement UV à la surface de la Terre.

DOCUMENT 2 : UV et peau

Le rayonnement UV provoque des effets aigus : Lésions de l'ADN, coups de soleil, réactions phototoxiques et photoallergiques, et immunosuppression. L'immunosuppression peut être considérée comme un facteur de risque de cancer et provoquer la réactivation de virus (par exemple, celui responsable de l'herpès labial).

Les effets chroniques de l'exposition au rayonnement UV sur la peau et les lèvres sont les suivants :

- Le mélanome cutané : cancer de la peau potentiellement mortel ;
- Le carcinome épidermoïde (CE) : tumeur maligne qui s'étend généralement moins que le mélanome et est moins susceptible d'entraîner le décès ;
- Le carcinome basocellulaire (CBC) : cancer de la peau à croissance lente apparaissant principalement chez les personnes âgées ;
- Le vieillissement prématuré de la peau : perte d'élasticité de la peau à un jeune âge et cicatrisation plus lente.

En 2020, l'exposition excessive au rayonnement UV (qui provient soit du soleil, soit de sources artificielles, telles que les lits de bronzage) a causé environ 1,2 million de nouveaux cas de cancers de la peau autres que le mélanome (CSC et CBC) et 325 000 mélanomes cutanés, ainsi que 64 000 décès prématurés dus à des cancers autres que le mélanome et 57 000 décès dus au mélanome cutané.

DOCUMENT 3 : UV et yeux

Les effets aigus du rayonnement UV sont la photokératite et la photoconjonctivite (inflammation de la cornée et de la conjonctive, respectivement). Ces effets sont réversibles, facilement évitables grâce à des lunettes de protection et n'entraînent généralement pas de lésions à long terme, mais sont douloureux et peuvent nécessiter un traitement.

Les effets chroniques du rayonnement UV sont les suivants :

- La cataracte (une maladie oculaire caractérisée par une opacité croissante du cristallin, qui entraîne des troubles de la vision et finalement la cécité) ;
- Le ptérygion (épaississement de la conjonctive qui peut couvrir une partie de la cornée) ;
- Des cancers à l'intérieur et autour de l'œil (carcinome basocellulaire, carcinome épidermoïde et mélanome).

L'exposition au rayonnement UV peut également participer à la survenue d'une dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA).

On estime que 15 millions de personnes dans le monde sont atteintes de cécité à cause de la cataracte ; environ 10 % de ces cas sont peut-être dus à l'exposition au rayonnement UV.

**DOCUMENT 4 : UV et Vitamine D**

Une exposition modérée au rayonnement UV est essentielle à une bonne santé, car elle permet la synthèse de la vitamine D par l'organisme. La vitamine D renforce les os et le système locomoteur. Les personnes qui sont très peu exposées au soleil – par exemple, celles qui vivent dans un établissement de soins ou qui sont confinées à domicile, celles qui ont une peau très pigmentée et qui vivent sous de hautes latitudes ou celles qui, pour des raisons religieuses ou culturelles, couvrent toute la surface de leur corps lorsqu'elles sont à l'extérieur – devraient envisager une supplémentation orale en vitamine D.

DOCUMENT 5 : Personnes les plus à risque

- Les enfants et les adolescents sont particulièrement vulnérables aux effets nocifs du rayonnement UV en raison de la structure de leur peau et de leurs yeux. Les coups de soleil dans l'enfance entraînent un risque plus élevé de cancer de la peau à l'âge adulte. En outre, une exposition accrue au rayonnement UV peut entraîner des lésions de la rétine.
- Les personnes qui ont la peau claire souffrent davantage de coups de soleil et risquent davantage d'être atteintes d'un cancer de la peau que les personnes dont la peau est foncée ; cependant, les personnes à la peau plus foncée peuvent également être atteintes de cancers de la peau. Les lésions oculaires peuvent toucher n'importe qui, et il est important d'en tenir compte.
- Les personnes qui ont un nombre élevé de nævus, celles qui prennent des médicaments photosensibilisants et celles qui ont des antécédents familiaux de cancer de la peau courent un risque accru.
- Les personnes qui travaillent à l'extérieur et qui sont exposées au rayonnement UV solaire courent un risque accru d'être atteintes de cancers de la peau autres que le mélanome.

DOCUMENT 6 : Mesure de protection

Les cancers de la peau sont très facilement évitables. L'OMS recommande d'appliquer les mesures suivantes pour se protéger contre une exposition excessive au rayonnement UV :

- Limiter le temps passé au soleil en milieu de journée.
- Chercher l'ombre.
- Porter des vêtements protecteurs.
- Porter un chapeau à larges bords pour protéger les yeux, le visage, les oreilles et le cou.
- Porter des lunettes de soleil enveloppantes qui offrent une protection de 99 % à 100 % contre les UV-A et les UV-B.
- Appliquer un écran solaire à large spectre sur les zones de la peau qui ne peuvent pas être couvertes par des vêtements. La meilleure façon de se protéger du soleil est de chercher l'ombre et de porter des vêtements plutôt que d'appliquer des écrans solaires. Les écrans solaires ne doivent pas être utilisés pour passer davantage de temps au soleil.
- Éviter d'utiliser des appareils pour bronzer artificiellement. L'utilisation de lits de bronzage augmente le risque de cancer de la peau. Le bronzage artificiel ne doit jamais être considéré comme une solution pour synthétiser suffisamment de vitamine D. Plusieurs pays ont mis en place une législation interdisant ou restreignant l'utilisation des lits de bronzage.

En encourageant les enfants à prendre les précautions simples ci-dessus, on évitera les lésions à court et à long terme tout en leur permettant de profiter du temps qu'ils passent à l'extérieur.

1. Quels sont les risques d'une surexposition aux rayonnements UV ?
2. Pourquoi la Vitamine D est-elle importante pour la santé ?
3. Classer 3 mesures de protection contre les UV qui vous paraissent les plus importantes.