

Chapitre Climat 1. Rayonnement et effet de serre

Objectifs d'apprentissage

- Mesurer une longueur d'onde (en nm et en m) et prédire comment la longueur d'onde varie en fonction de la fréquence d'agitation des charges
- Identifier les différents domaines de longueur d'onde du rayonnement électromagnétique
- Interpréter le concept de température et distinguer de l'énergie thermique
- Esquisser la distribution du rayonnement thermique en fonction des longueurs d'ondes
- Prédire comment varie la longueur d'onde plus fréquente en fonction de la température
- Expliquer la vibration par cisaillement des molécules poly-atomiques à partir de leurs charges partielles et de la relation entre force électrique et champ électrique

Pour comprendre la température de la Terre et son réchauffement de la planète, il faut étudier les échanges de rayonnement (transportant de la puissance rayonnante) entre le Soleil, la surface de la Terre et son atmosphère.

Schéma récapitulatif de l'activité « Comprendre l'effet de serre climatique »

Dans cette première partie de chapitre, on étudiera plus en détail les concepts physiques derrière la production de rayonnement par une seule charge et par la surface de la Terre (dit rayonnement « thermique »), puis l'interaction de ce rayonnement avec les molécules atmosphériques produisant l'« effet de serre ». Pour ce faire, on distinguera les rayonnements en fonction de leurs longueurs d'onde en identifiant des domaines de longueurs d'onde.

Identifier les différents domaines de longueur d'onde du rayonnement électromagnétique

Conclusion de l'activité, onglet « Qu'est-ce que la lumière ? » :

Quand une particule chargée s'agite, elle émet _____

Quand la fréquence d'agitation (nombre d'oscillations par seconde) augmente, _____

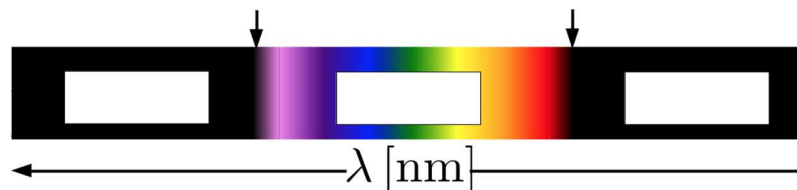
Les termes « rayonnement », « lumière » et « onde électrique » sont donc synonymes.

1. Indiquer par une double flèche $\leftrightarrow$ la distance correspondant à une longueur d'onde λ .

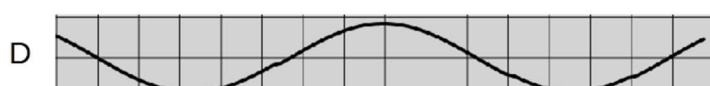
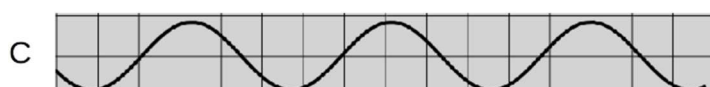
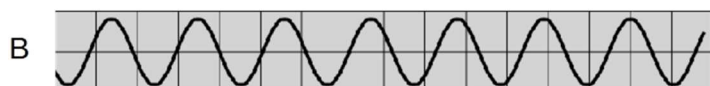


La Fig. ci-dessous représente un « spectre électromagnétique », c.à.d. un étalement des longueurs d'ondes possibles. Les longueurs d'ondes que notre œil arrive à percevoir et traduire en couleurs sont indiquées par les couleurs correspondantes.

2. Indiquer dans les cases blanches les trois domaines de rayonnement électromagnétiques représentés ici : visible (VIS), infrarouge (IR) et ultraviolet (UV).
Indiquer au-dessus des petites flèches les valeurs approximatives des longueurs d'ondes qui séparent l'infrarouge du visible, et le visible de l'ultraviolet.



3. Voici quatre ondes électromagnétiques émises par des particules chargées oscillant à des fréquences différentes.



- Mesurer approximativement leurs longueurs d'ondes en utilisant la grille proposée, dont chaque graduation est espacée de 100 nm. Noter les valeurs à droite en mètres en utilisant l'écriture scientifique, sachant que $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.
- Classer ces ondes dans le domaine du spectre correspondant : IR, VIS ou UV.
- Classer ces ondes par ordre croissant de la *fréquence d'oscillation* de la particule chargée.

_____ < _____ < _____ < _____

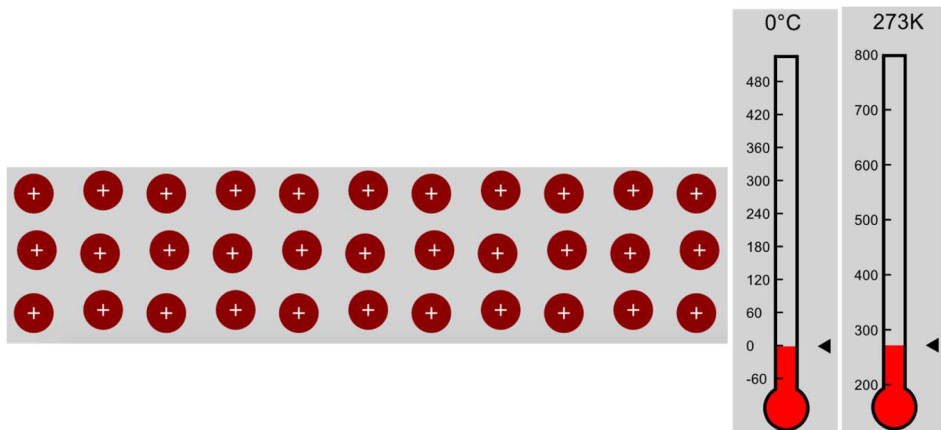
Interpréter le concept de température et distinguer de l'énergie thermique

Définition de la température : Dans un corps à l'état solide, liquide ou gazeux, la température indique _____¹,
qui est également proportionnelle à l'énergie cinétique moyenne _____.

$$T \propto [\quad]$$

L'unité « naturelle » de la température est le Kelvin : Le zéro du degré Kelvin est alors défini tel qu'à cette température, _____. Ce zéro Kelvin est situé à une température de _____°C.

Mis à part ce décalage du 0 des échelles de degrés Celsius et Kelvin, l'écart de température entre chaque degré est la même dans les deux échelles.



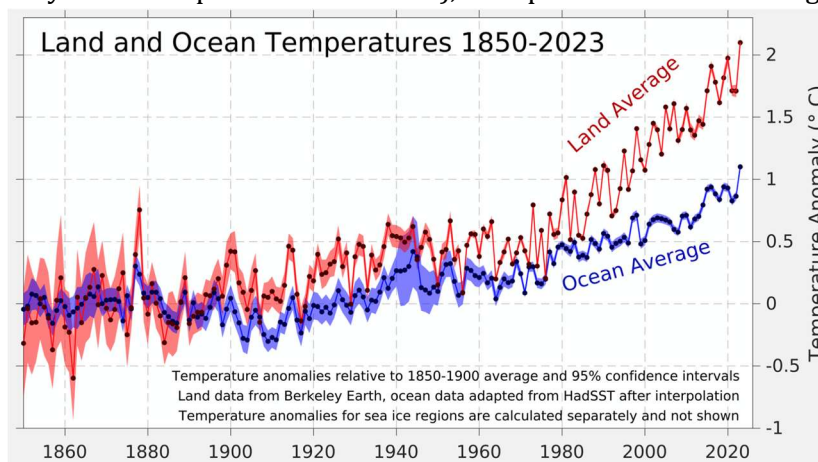
Définition de l'énergie thermique : L'Energie thermique emmagasinée dans un corps est _____.

Analogie : Prenons une classe d'élèves agitée (pas la vôtre, bien sûr). Le degré d'agitation de la classe pourrait se mesurer en considérant l'agitation moyenne par élève. Alors que l'agitation totale de la classe (audible) se mesurerait en additionnant l'agitation de tous les élèves.

- D'après le graphique de la page suivante, les océans se réchauffent. En vous basant sur la définition de la température, expliquer en quoi cela contribue à la montée des eaux océaniques.

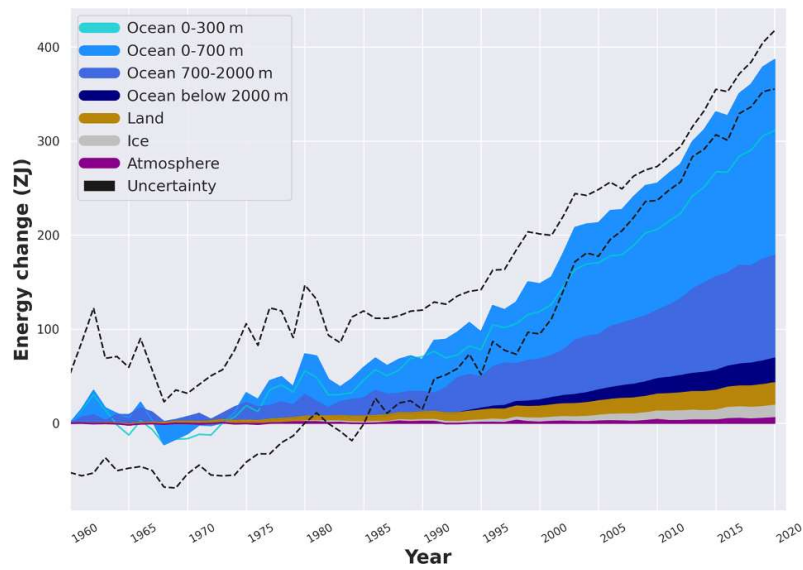
¹ Par « constituant », on entend les plus petits constituants qui sont capables de s'agiter indépendamment : Dans un gaz ou un liquide, il s'agit des molécules, alors que dans un solide comme illustré ici, il s'agit plutôt des ions reliés par des liaisons métalliques ou ioniques.

5. Un m^3 d'eau liquide contient environ 1000 fois plus de molécules qu'un m^3 d'air.
A température égale, lequel contient davantage d'énergie thermique et pourquoi ?
6. Les étincelles produites par un feu de Bengale ont une température avoisinant les 400°C .
 - Pourquoi sont-elles considérées inoffensives ?
 - Par contre, vous vous brûlerez si vous vous renversez une tasse de thé à 80°C dessus : pourquoi ?
 - La surface de l'océan a une température beaucoup plus faible que votre tasse de thé : pourquoi est-il susceptible de produire des ouragans et pas votre tasse de thé ?
7. La surface de la Terre contient un nombre fixe d'atomes. Si la température moyenne de la surface augmente, comment varie l'énergie thermique ?
8. Ce graphique montre l'augmentation (ou « anomalie ») de la température moyenne de la Terre depuis la période 1850-1900 (le « 0 » de l'axe des températures correspond donc à la moyenne de la période 1850-1900), en séparant les terres émergées des océans.



[Source : Berkeley University Climate group]

- a) La température moyenne des terres émergées en 2023 a été d'environ 2°C plus élevée que la moyenne de 1850-1900. Obtiendrait-on le même résultat en degrés K ?
- b) En comparaison, la température moyenne des océans n'a augmenté que de 1°C , ce qui peut paraître rassurant car ils couvrent plus de 70% de la surface du globe.
Expliquer en quoi l'augmentation de température des océans est *plus* préoccupante que celles des terres. Baser votre explication sur le graphique suivant, représentant l'énergie thermique accumulée en Zéta-Joules ($1 \text{ ZJ} = 10^{21} \text{ J}$).



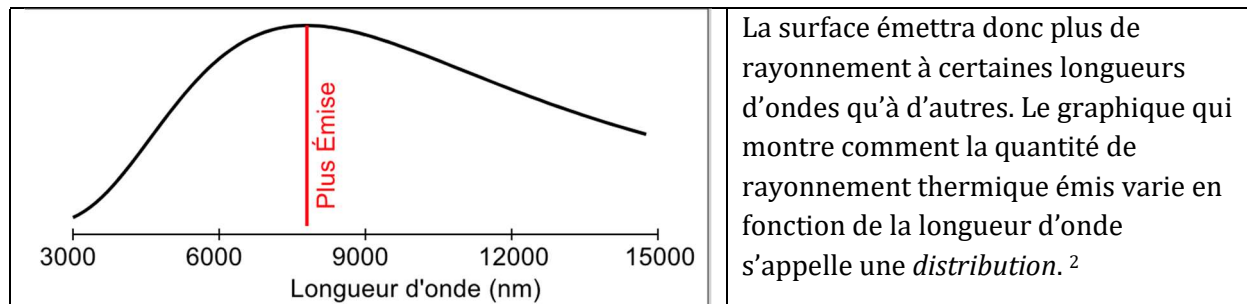
[Source : Berkeley University Climate group]

Energie contenue dans le système climatique et « évènements climatiques » : Les évènements climatiques – précipitations et inondations, cyclones, incendies – sont des transformations qui se produisent dans notre planète. Ces évènements sont donc les conséquences de l'énergie thermique emmagasinée dans notre planète.

Représenter la distribution en longueurs d'ondes du rayonnement thermique et prédire comment elle varie en fonction de la température

Conclusion de l'onglet « Rayonnement thermique » : Quand un *ensemble* de particules chargées (p.ex. les ions dans un solide) s'agitent à une certaine température, elles émettent _____, qu'on appelle « rayonnement thermique ».

Comme les différents constituants ne vibrent pas tous exactement à la même fréquence (puisque la température indique l'agitation *moyenne*), le rayonnement émis sera composé d'ondes ayant des longueurs d'ondes _____.



Conclusion de l'onglet « Rayonnement thermique » : Quand la température augmente, la longueur d'onde la plus émise _____, car les particules chargées s'agitent globalement à des fréquences _____ :

$$\lambda_{max} \propto$$

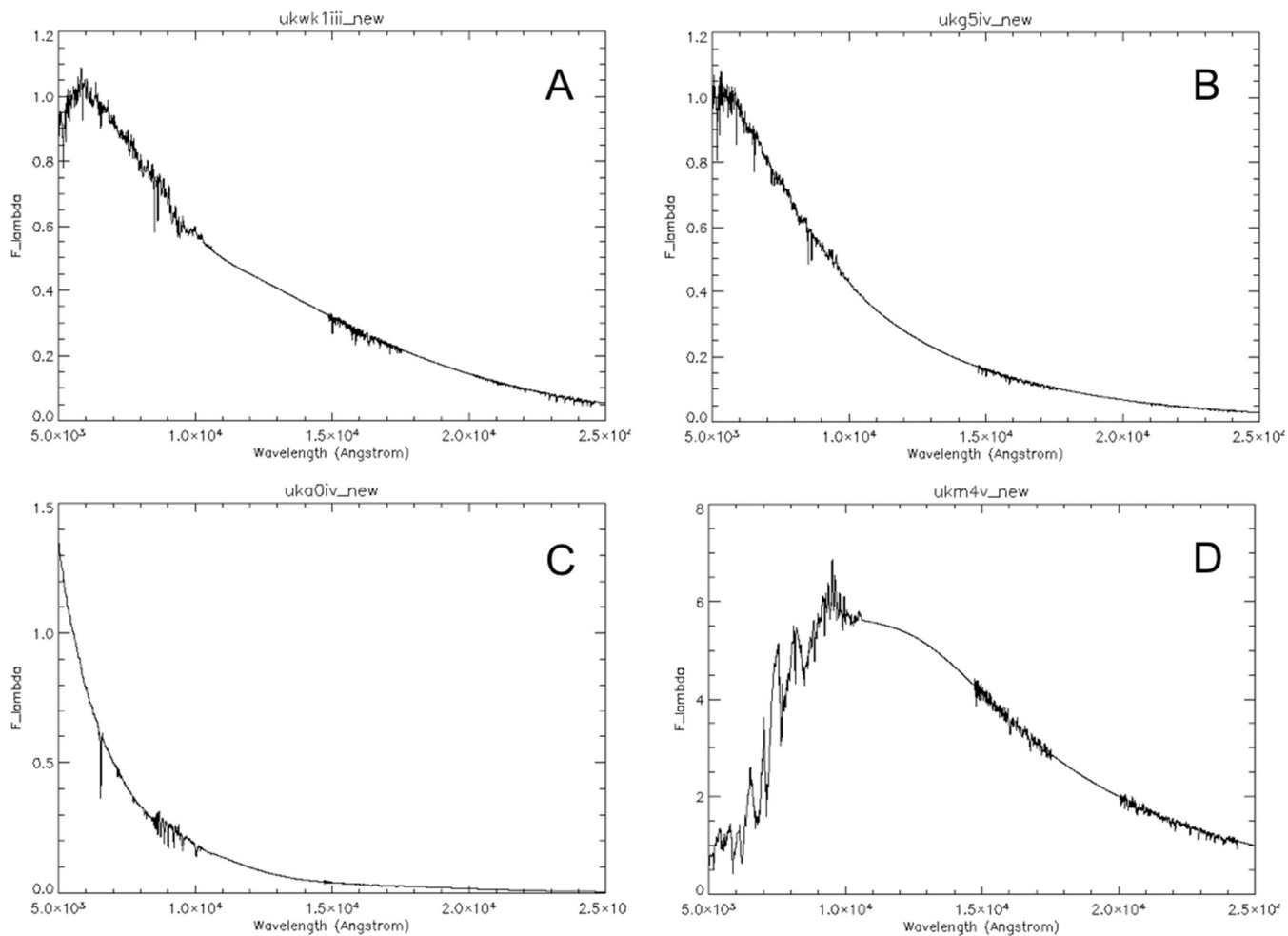
9. Voici ci-après les distributions de la puissance rayonnante en fonction de la longueur d'onde pour quatre étoiles différentes (Ivanov et al, 2004).

- Pour chaque étoile, marquer d'un trait vertical la position de λ_{max} .
- Noter la valeur de λ_{max} en nm sachant que 1 Angström = 10^{-10} m (Pour trouver les valeurs en nm, diviser par 10)
- Classer ces quatre étoiles par ordre croissant de leurs températures de « surface » :

_____ < _____ < _____ < _____

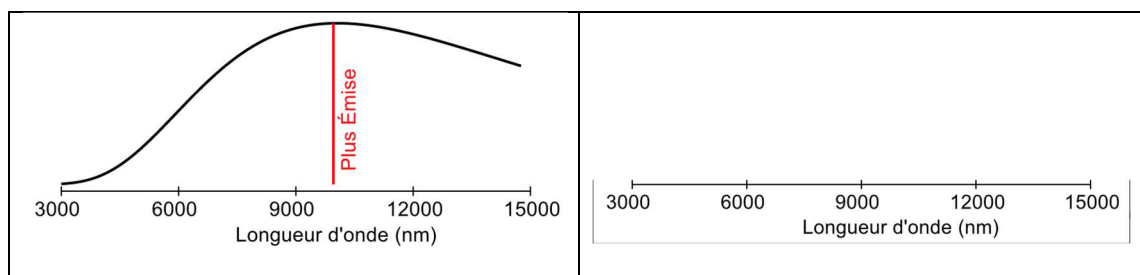
- Parmi les étoiles que vous pouvez observer à l'œil nu, lesquelles ont une température de surface plus élevée : les étoiles bleues, blanches ou orange ?

² Cette distribution n'est pas parfaitement symétrique, car la longueur d'onde peut être aussi grande que possible mais pas inférieure à zéro. C'est pourquoi la longueur d'onde la plus émise, qui correspond à la température, est inférieure à la longueur d'onde moyenne.



10. Voici la distribution en longueur d'onde du rayonnement émis par la surface de la Terre, de température moyenne 15°C.

- a) A droite, esquisser de manière qualitative et approximative la distribution en longueur d'onde du rayonnement émis par Vénus, de température moyenne 460 °C. La position exacte de la longueur d'onde plus émise n'importe pas, mais il importe de montrer qu'elle n'est pas la même que pour la Terre.



- b) Dans quel domaine de longueur d'onde se situent le rayonnement thermique émis par les planètes ? Comparer aux domaines définis à la question 2.
- c) Critiquer l'assertion « Seules les étoiles brillent de leur lumière propre, pas les planètes »...en précisant bien les domaines de longueurs d'ondes en jeu.

11. En cherchant la température de surface du Soleil sur internet, expliquer pourquoi le Soleil émet un rayonnement thermique dans le domaine VIS, alors que la Terre émet un rayonnement thermique dans le domaine IR :

Esquisser dans un même graphique les distributions du rayonnement thermique du Soleil et de la Terre (voir l'activité pour vous corriger) :

Expliquer l'absorption-réémission de rayonnement par les molécules atmosphériques

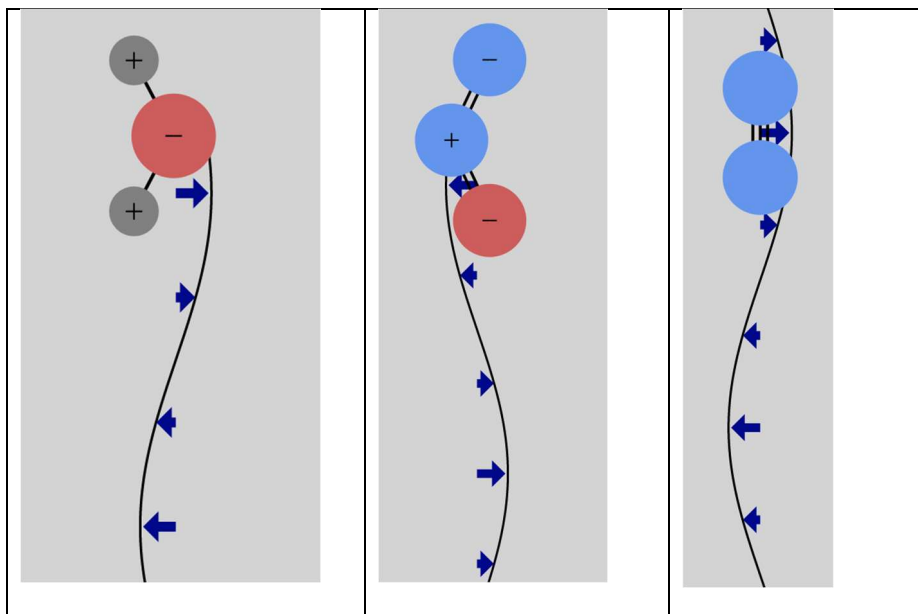
Conclusion de l'onglet « Effet de serre » : Quand une molécule « reçoit » une onde électrique, il s'exerce sur les ions (atomes) des _____.

$$\vec{F}_{el} =$$

Rappel du Chap. Electricité : Quand la charge q est positive, _____.

12. Ces deux extraits de la simulation montrent de gauche à droite une molécule d'eau (H_2O), une molécule de protoxyde d'azote (N_2O) et une molécule d'azote (N_2) qui « reçoivent » des ondes électriques IR depuis la surface de la Terre. Les flèches bleues représentent le sens du champ électrique le long de l'onde.

- Dessiner les forces électriques sur les ions, sachant les signes de leurs charges partielles.
- Laquelle de ces molécules ne peut vibrer et pourquoi ?



Cette vibration moléculaire³ ne se produit que pour du rayonnement dans le domaine _____. En effet, le rayonnement VIS a une fréquence beaucoup trop _____ : les changements de sens du champ électrique se font à un rythme trop élevé pour être suivi par les molécules (l'inertie résistant à l'_____).

³ On parle de « cisaillement » pour désigner ce mode de vibration des molécules. Bien qu'il existe d'autres modes de vibration (étirement des liaisons, rotations), le cisaillement est mode de vibration principal aux longueurs d'ondes du rayonnement IR émis par la Terre.

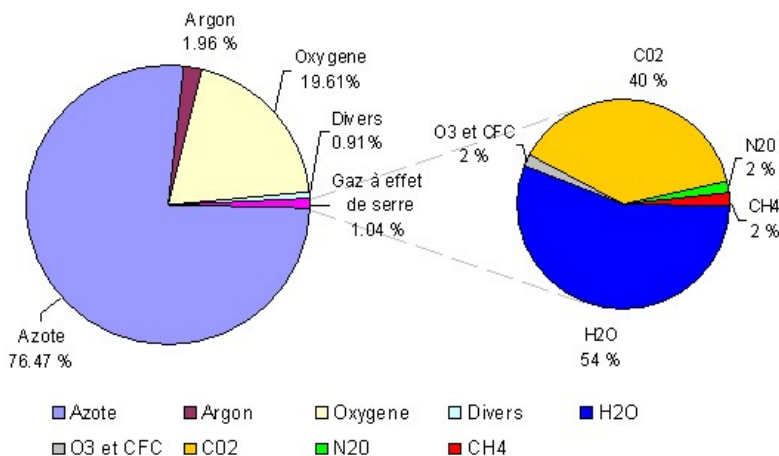
13. Pourquoi l'atmosphère paraît « transparente » à notre vision (sauf en cas de brouillard ou de nuages) ?

14. Parmi ces molécules : lesquelles peuvent absorber du rayonnement IR par vibration ?

☐ H₂O ☐ O₂ ☐ N₂O ☐ Ar ☐ SF₆ ☐ NF₃

Absorption : On qualifie ce phénomène d'*absorption* car il y a transformation de puissance _____ en puissance _____.

Seules les molécules constituées de plus de _____ atomes peuvent absorber du rayonnement par vibration. Elles représentent moins de 1% de la composition de l'atmosphère. Les molécules principales de l'atmosphère (plus de 99% de sa composition), _____, sont donc « transparentes » au rayonnement thermique IR émis par la Terre, le laissant s'échapper vers l'_____.



[Source : climatologie.free.fr, F. Williams]

Ré-émission et effet de serre : Comme la vibration des molécules est dû à une oscillation de leurs ions qui portent des charges partielles, cette vibration génère à son tour des _____.

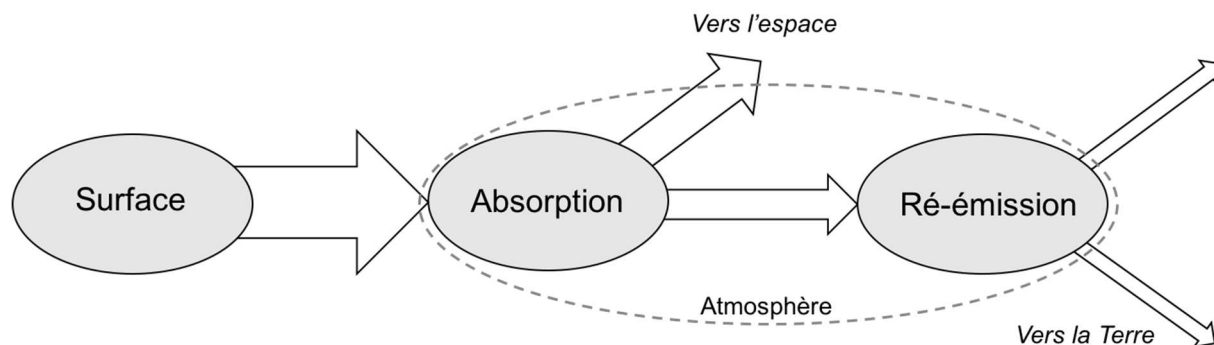
Ce rayonnement IR est réémis dans *toutes les directions*, renvoyant de la puissance _____ vers l'_____ et vers la _____.

Le fait que ces molécules empêchent une partie du rayonnement IR de s'échapper vers l'espace est appelé _____.

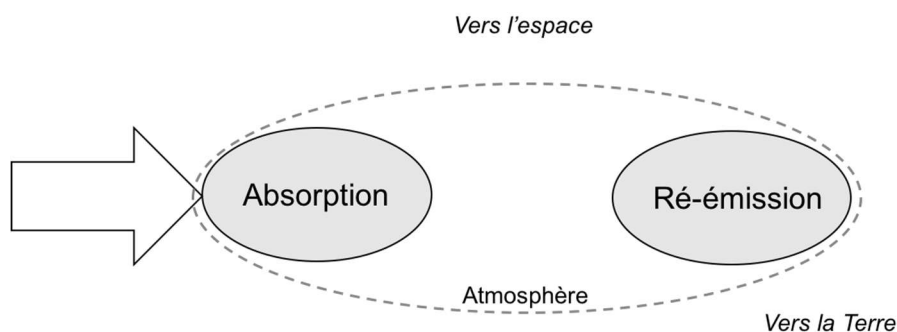
C'est pourquoi on les appelle *molécules de gaz à effet de serre*.

15. Dessiner les ondes réémises vers l'espace et vers la Terre pour les deux premières molécules de l'exercice 9.

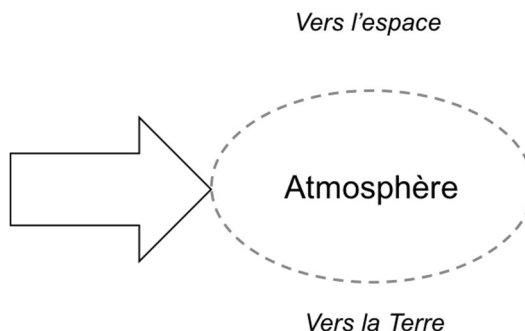
16. Voici un diagramme de transformation de puissance pour l'absorption et la réémission de rayonnement IR par les molécules à effet de serre. Les flèches vers le haut représentent de la puissance s'échappant *vers l'espace*, et les flèches vers le bas de la puissance qui est dirigée *vers la surface de la Terre* (la notion de puissance « perdue » ne fait plus vraiment de sens dans ce contexte).



- Nommer toutes les puissances par P_{ray} ou $P_{méc}$
- Pourquoi le processus d'absorption par l'atmosphère laisse s'échapper de la puissance vers l'espace ?
- Redessiner les flèches du diagramme si la concentration des GES dans l'atmosphère augmentait. Exagérer pour bien voir la différence.



- Redessiner le diagramme en regroupant les deux transformations effectuées dans l'atmosphère en une seule « patate » (représentée en trait-tiré sur le diagramme). Ne dessiner qu'une seule flèche de puissance vers l'espace.



- e) En ne considérant que le rayonnement IR comme dans ce diagramme, peut-on dire que chaque seconde la Terre gagne de l'énergie, ou qu'elle en perd ?

➔ Le rayonnement IR absorbé et réémis vers l'espace est équivalent à du rayonnement non absorbé.