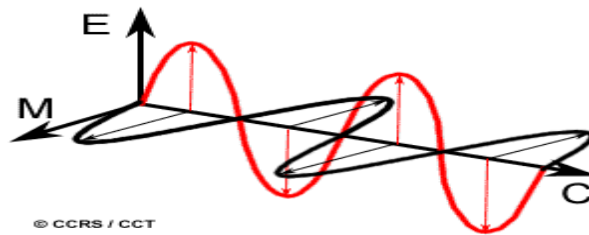


2. Le rayonnement électromagnétique

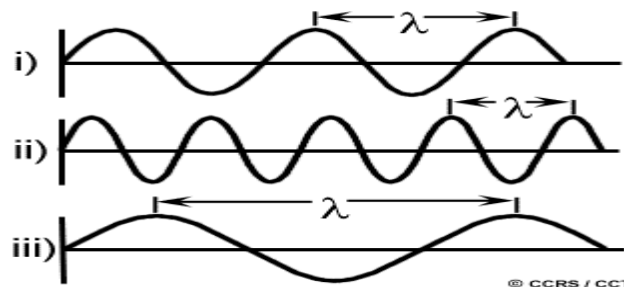
1. Définition: Ensemble de radiations de natures similaires mais dont les longueurs d'ondes sont différentes. Les rayonnements électromagnétiques sont plus communément appelés **lumières**, que celles-ci soient visibles par l'homme (lumière blanche) ou non (Ultraviolet, Infrarouge, rayon, etc.)

Une onde électromagnétique comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Ces deux champs, perpendiculaires l'un par rapport à l'autre (figure ci-dessous), se déplacent à la vitesse de la lumière (c) qui est égale à 3.10^8 m.s^{-1} .



Nature et propagation d'une onde électromagnétique

Pour comprendre la télédétection, il est indispensable de saisir les deux composantes du rayonnement électromagnétique que sont la longueur d'onde et la fréquence.



a. La longueur d'onde (λ) lambda: C'est la longueur d'un cycle d'une onde, la distance séparant deux crêtes successives.

Elle est mesurée en mètre ou en l'un de ses sous-multiples, les ondes électromagnétiques utilisées en télédétection spatiale ayant des longueurs d'onde relativement courtes :

le nanomètre $\Rightarrow 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ mètre}$.

le micromètre $\Rightarrow 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mètre}$

le centimètre $\Rightarrow 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ mètre}$.

b. La fréquence (ν) Gamma : inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps. Elle s'exprime en Hertz (Hz) - un Hz équivaut à une oscillation par seconde - ou en multiples du Hertz, les ondes électromagnétiques utilisées en télédétection spatiale ayant des fréquences très élevées:

le kilohertz $\Rightarrow 1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$.

le mégahertz $\Rightarrow 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$.

le gigahertz $\Rightarrow 1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$.

Longueur d'onde et fréquence sont inversement proportionnelles et unies par la relation suivante:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

- λ : longueur d'onde de l'onde électromagnétique

- c : vitesse de la lumière ($3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

- ν : la fréquence de l'onde

Par conséquent, plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et réciproquement.

Remarque :

La période (T) : elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle ou une oscillation: $T = 1/\nu$.

L'unité est la seconde.

Un hertz est équivalent à un événement par seconde (s^{-1} ou $1/\text{s}$).

~~Les tableaux ci-dessous présentent les symboles de Hertz selon le système international d'unités.~~

Application : Le premier élément nécessaire à la télédétection est une source d'énergie pour illuminer une cible.

1. Quelle est d'après vous la source d'énergie électromagnétique la plus abondante à laquelle nous ayons accès ?

2. Quel est le dispositif de télédétection que nous utilisons pour percevoir cette énergie?

3. Si la vitesse de la lumière est de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, calculez la longueur d'onde d'un rayonnement qui possède une fréquence de 500 000 Ghz (Ghz = gigahertz = 10^9 Hz). Exprimez votre réponse en micromètre (μm).

Réponses

1. Le Soleil est la source d'énergie électromagnétique la plus abondante, et est utilisé comme source d'énergie initiale principale en télédétection.

2. Nos yeux sont les dispositifs de télédétection que nous utilisons pour capter le rayonnement du Soleil. Ils peuvent être considérés comme des capteurs de télédétection (et ils sont très bons) car ils captent la lumière visible du Soleil, ce qui nous permet de voir.

3.

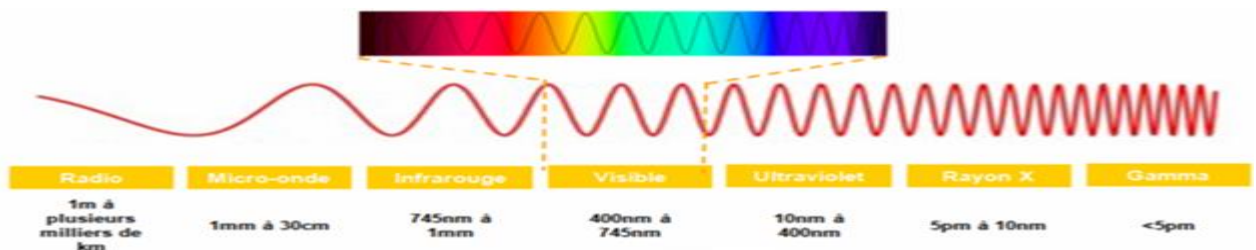
$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.10^8}{5.10^{14}} = 0,6.10^{-6} \text{ m soit } 0,6 \mu\text{m (LUMIERE ROUGE)}$$

En utilisant l'équation qui démontre la relation entre la longueur d'onde et la fréquence, nous pouvons calculer la longueur d'onde du rayonnement qui possède une fréquence de 500 000 Ghz.

2. Le spectre électromagnétique:

Le spectre électromagnétique s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio).

La télédétection utilise plusieurs régions du spectre électromagnétique.



Le spectre électromagnétique

En partant des ondes les plus énergétiques, on distingue successivement :

- **Les rayons gamma (γ):** ils sont dus aux radiations émises par les éléments radioactifs. Très énergétiques, ils traversent facilement la matière et sont très dangereux pour les cellules vivantes.
- **Les rayons X:** rayonnements très énergétiques traversant plus ou moins facilement les corps matériels et un peu moins nocifs que les rayons gamma, ils sont utilisés notamment en médecine pour les radiographies, dans l'industrie (contrôle des bagages dans le transport aérien).
- **Les ultraviolets:** rayonnements qui restent assez énergétiques, ils sont nocifs pour la peau. Heureusement pour nous, une grande part des ultraviolets est stoppée par l'ozone atmosphérique qui sert de bouclier protecteur des cellules.

- **Le domaine visible:** correspond à la partie très étroite du spectre électromagnétique perceptible par notre œil. C'est dans le domaine visible que le rayonnement solaire atteint son maximum ($0,5 \mu\text{m}$) et c'est également dans cette portion du spectre que l'on peut distinguer l'ensemble des couleurs de l'arc en ciel, du bleu au rouge.
- **L'infrarouge:** rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu. En télédétection, on utilise certaines bandes spectrales de l'infrarouge pour mesurer la température des surfaces terrestres et océaniques, ainsi que celle des nuages.
- **Les ondes radar ou hyperfréquences:** Cette région du spectre est utilisée pour mesurer le rayonnement émis par la surface terrestre comme pour la télédétection dans l'infrarouge thermique et radar.
- **Les ondes radio:** Relativement faciles à émettre et à recevoir, les ondes radio sont utilisées pour la transmission de l'information (radio, télévision et téléphone). La bande FM des postes de radio correspond à des longueurs d'onde de l'ordre du mètre.

2.1 Trois fenêtres spectrales principalement utilisées en télédétection spatiale:

- Le domaine du visible.
- Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen et IR thermique).
- Le domaine des micro-ondes ou hyperfréquences.

a. Le domaine du visible.

La lumière que nos yeux (nos tout premiers "capteurs de télédétection") peuvent déceler se trouve dans ce qui s'appelle le "spectre visible", qui représente une bien petite partie de l'ensemble du spectre. Une grande partie du rayonnement électromagnétique qui nous entoure est invisible à l'œil nu, mais il peut cependant être capté par d'autres dispositifs de télédétection. Les longueurs d'onde visibles s'étendent de $0,4$ à $0,7 \mu\text{m}$.

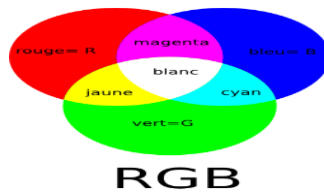
La couleur qui possède la plus grande longueur d'onde est le rouge, alors que le violet a la plus courte. Les longueurs d'onde du spectre visible que nous percevons comme des couleurs communes sont énumérées ci-dessous. Il est important de noter que c'est la seule portion du spectre que nous pouvons associer à la notion de couleurs.



- **Violet** : $0,4 - 0,446 \mu\text{m}$
- **Bleu** : $0,446 - 0,500 \mu\text{m}$
- **Vert** : $0,500 - 0,578 \mu\text{m}$
- **Jaune** : $0,578 - 0,592 \mu\text{m}$
- **Orange** : $0,592 - 0,620 \mu\text{m}$

□ **Rouge** : 0.620 - 0.7 μm

Le bleu, le vert et le rouge sont les couleurs (ou les longueurs d'onde) primaires du spectre visible. Une couleur primaire ne peut être créée par deux autres couleurs, mais toutes les autres couleurs peuvent être créées en combinant les couleurs primaires. Même si nous voyons la lumière du Soleil comme ayant une couleur uniforme ou homogène, en réalité, elle est composée d'une variété de longueurs d'onde dans les parties de l'ultraviolet, du visible, et de l'infrarouge du spectre.



b. Le domaine de l'infrarouge. L'infrarouge s'étend approximativement de 0,7 à 100 μm , ce qui est un intervalle environ 100 fois plus large que le spectre visible. On distingue généralement quatre types d'infrarouges qui vont du proche infrarouge à l'infrarouge lointain, en passant par l'infrarouge moyen et le thermique.

- **Le proche infrarouge.** Le proche infrarouge (0,7 μm à 1,6 μm) est la partie du spectre électromagnétique qui vient juste après le visible (couleur rouge). C'est une luminance correspondant au rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre.

- **L'infrarouge moyen.** L'infrarouge moyen (1,6 μm à 4 μm) permet de façon générale d'étudier les teneurs en eau des surfaces. Il est très utilisé en foresterie et en agriculture, notamment pour cartographier les couverts végétaux en état de stress hydrique.

- **L'infrarouge thermique.** Dans ce domaine spectral (4 μm à 15 μm), le rayonnement dépend des propriétés d'émissivité des surfaces et les capteurs satellitaires mesurent la température apparente des objets.

- **L'infrarouge lointain.** L'infrarouge lointain (15 μm à 100 μm) n'est utilisé ni pour l'observation de la terre, ni pour l'étude de l'atmosphère, mais pour étudier la formation des galaxies et des étoiles.

c. Le domaine des hyperfréquences

Cette région comprend les plus grandes longueurs d'onde utilisées en télédétection et s'étend approximativement de 1 mm à 1 m. Les longueurs d'onde les plus courtes possèdent des propriétés semblables à celles de l'infrarouge thermique, tandis que les longueurs d'onde les plus grandes ressemblent aux ondes radio.

3. Interactions avec l'atmosphère.

Avant que le rayonnement utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la Terre, celui-ci doit traverser une certaine épaisseur d'atmosphère, les particules et les gaz qui peuvent le dévier ou le bloquer. Ces effets sont causés par les mécanismes de diffusion et d'absorption.

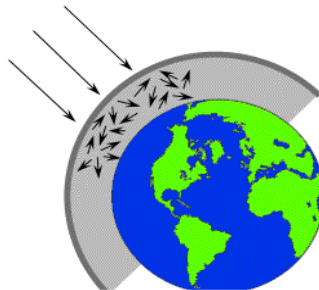
3.1. La diffusion: elle se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale.

Il existe trois types de diffusion :

- ☐ la diffusion de Rayleigh
- ☐ la diffusion de Mie
- ☐ la diffusion non-sélective.

a. La diffusion de Rayleigh: elle se produit lorsque la taille des particules est **inférieure** à la longueur d'onde du rayonnement. Celles-ci peuvent être soit des particules de poussière ou des molécules d'azote ou d'oxygène. La diffusion de Rayleigh disperse et dévie de façon plus importante les courtes longueurs d'onde que les grandes longueurs d'onde.

Ce phénomène explique pourquoi nous percevons un ciel bleu durant la journée. Comme la lumière du Soleil traverse l'atmosphère, les courtes longueurs d'onde (correspondant au bleu) du spectre visible sont dispersées et déviées.



b. La diffusion de Mie: elle se produit lorsque les particules **sont presque aussi** grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Ce type de diffusion est souvent produit par la poussière, le pollen, la fumée et l'eau. Ce processus domine quand le ciel est ennuagé.



c.La diffusion non-sélective: Ce genre de diffusion se produit lorsque les particules (les gouttes d'eau et les grosses particules de poussière) sont beaucoup **plus grosses** que la longueur d'onde du rayonnement. Nous appelons ce genre de diffusion "non-sélective", car toutes les longueurs d'onde sont dispersées. Les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc (lumière bleue + verte + rouge = lumière blanche). C'est pourquoi le brouillard et les nuages nous paraissent blancs.

3.2. L'absorption: elle survient lorsque les grosses molécules de l'atmosphère (ozone, bioxyde de carbone et vapeur d'eau) absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde.

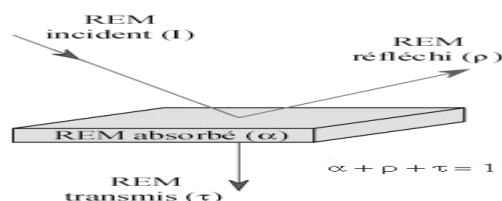
- L'ozone absorbe les rayons ultraviolets qui sont néfastes aux êtres vivants. Sans cette couche de protection dans l'atmosphère, notre peau brûlerait lorsqu'elle est exposée au Soleil.
- Le bioxyde de carbone est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Ce gaz absorbe beaucoup de rayonnement infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère.
- La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge et des hyperfréquences qui entrent dans l'atmosphère.

Remarque: Parce que ces gaz et ces particules absorbent l'énergie électromagnétique dans des régions spécifiques du spectre, ils influencent le choix de longueurs d'onde utilisées en télédétection.

Les régions du spectre qui ne sont pas influencées de façon importante par l'absorption atmosphérique, et qui sont donc utiles pour la télédétection, sont **appelées les fenêtres atmosphérique**.

4. Interactions rayonnement-cible

Le rayonnement qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre et interagir avec la surface de la Terre. Lors que l'énergie atteint la cible, la surface peut absorber (**a**) l'énergie, la transmettre (**t**) ou réfléchir (**p**) l'énergie incidente.

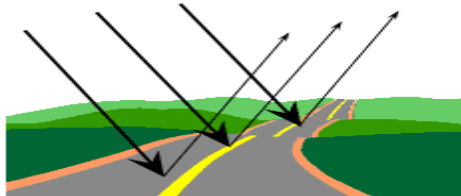


- L'absorption (a) se produit lorsque l'énergie du rayonnement est absorbée par la cible,
- La transmission (t) lorsque l'énergie du rayonnement passe à travers la cible,

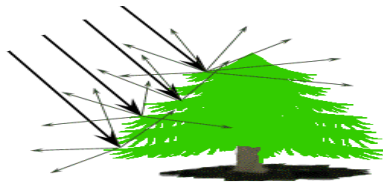
- La réflexion (p) lorsque la cible redirige l'énergie du rayonnement,
- En télédétection, on mesure le rayonnement réfléchi (p) par la cible.

La **réflexion spéculaire** et la **réflexion diffuse** représentent deux modes limites de réflexion de l'énergie.

- a. **La réflexion spéculaire** : Une surface lisse produit une réflexion spéculaire, c'est-à-dire que toute l'énergie est redirigée dans une même direction (comme c'est le cas d'un miroir).



- b. **La réflexion diffuse** : elle se produit quand la surface est rugueuse, ce qui redirige l'énergie uniformément dans toutes les directions.

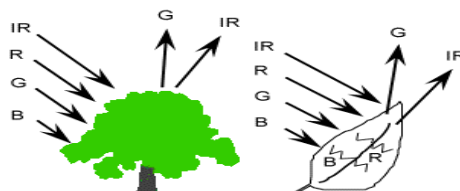


4.1 Propriétés optiques des feuilles, de l'eau, du sable et du sol.

- a. **Les feuilles**: la chlorophylle, une molécule que nous retrouvons à l'intérieur des feuilles, **absorbe** fortement le rayonnement aux longueurs d'onde du **rouge** et du **bleu**, mais **réfléchit le vert**.

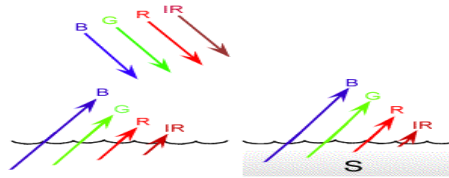
Les feuilles, qui **contiennent un maximum de chlorophylle en été**, sont donc **plus vertes** pendant cette saison car elle elles **absorbent plus de rouge et de bleu** et **réfléchissent le vert** .

En automne, les feuilles qui **contiennent alors moins de chlorophylle**, **absorbent moins de rouge**, et paraissent donc rouges ou jaunes.



- b. **L'eau**: l'eau **absorbe** davantage les grandes longueurs d'onde du rayonnement visible (**le rouge**) et du **proche infrarouge (IR)**. Ainsi, l'eau paraît généralement bleue ou bleu-vert car elle **réfléchit davantage les petites longueurs d'onde (bleu et vert)**.

La chlorophylle dans les algues absorbe plus de bleu et réfléchit plus de vert. L'eau paraît donc plus verte quand elle contient des algues.



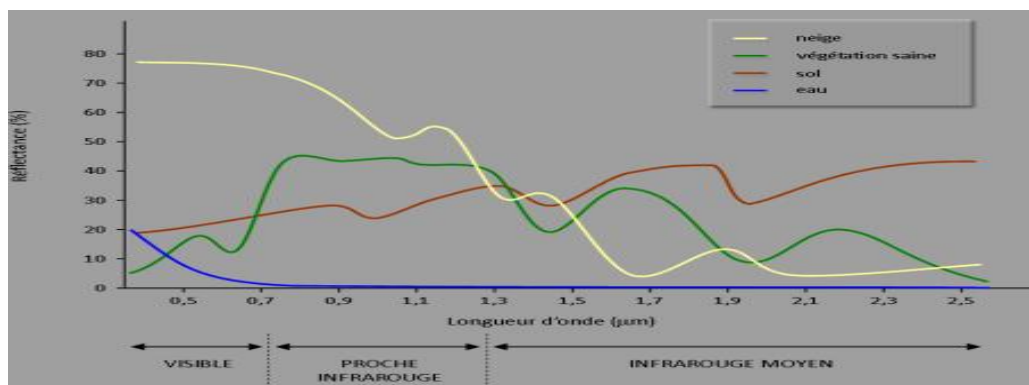
c. Le sable ou sol nu: Le sable ou un sol nu sont **réfléchissants** pour tous les **rayons bleus, verts, rouges et PIR**. Ils apparaissent très lumineux et donc « **blancs** » en télédétection.

d. Sol humide: Comme pour l'eau, le sol humide **absorbe** davantage les grandes longueurs d'onde du rayonnement visible (**le rouge**) et du **proche infrarouge (IR)**.

Ces exemples démontrent que nous observons des réponses très différentes aux mécanismes d'absorption, de transmission et de réflexion selon la composition de la cible et la longueur d'onde du rayonnement qui lui est propre.

5. Signatures spectrales:

C'est l'analyse du signal électromagnétique réfléchi ou émis par une surface qui permet de caractériser la composition. L'émission est dominante dans l'IRT infrarouge thermique alors que le phénomène de réflexion est dominant dans le visible.



- En ce qui concerne la signature spectrale des **sols**, on note un accroissement régulier de la réflectance au fur et à mesure qu'on se déplace vers les grandes longueurs d'onde. Les discontinuités que l'on observe dans le proche infrarouge et l'infrarouge moyen sont dues aux bandes d'absorption de l'eau
- **L'eau** a une réflectance très faible dans toutes les longueurs d'onde, elle absorbe cependant un peu moins les ondes les plus courtes, d'où sa couleur bleue.
- La signature spectrale de la **neige** est très forte dans les courtes longueurs d'onde, mais elle diminue rapidement dans le proche infrarouge, pour atteindre des valeurs très faibles dans l'infrarouge moyen où le rayonnement est absorbé par l'eau.
- La **végétation** a une faible réflectance dans le visible et une réflectance élevée dans le proche infrarouge.

Les capteurs vont donc capter un signal très faible dans les régions du bleu et du rouge, un signal un peu plus important dans le vert et un signal fort dans le proche infrarouge. La combinaison des deux réflectances (d'une faible réflectance dans le visible et d'une réflectance élevée dans le proche infrarouge) est spécifique à la végétation. C'est pourquoi on parle de **signature spectrale**.