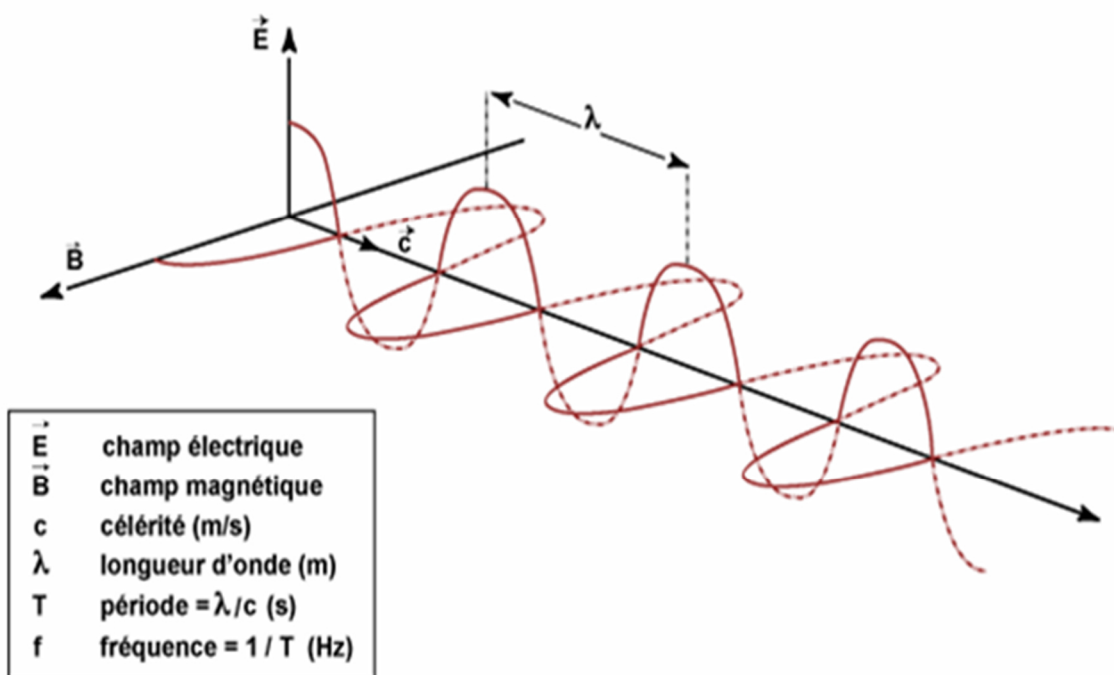


Les ondes électromagnétiques

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 se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale (figure ci-dessous). La propagation de ces ondes s'effectue à une vitesse qui dépend du milieu considéré. Dans le vide, la vitesse de propagation est égale à 3.10^8 m.s^{-1} .

Nature et propagation d'une onde :



- Une onde électromagnétique est caractérisée par plusieurs grandeurs physiques :
- La longueur d'onde (λ) : elle exprime le caractère oscillatoire périodique de l'onde dans l'espace.

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 $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ mètre

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

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

- **La période (T)** : elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde.
- **La fréquence (ν)** : 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 1 kHz = 10^3 Hz

le mégahertz 1 MHz = 10^6 Hz

le gigahertz 1 GHz = 10^9 Hz

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

$$\lambda = c / \nu$$

où

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

- c : vitesse de la lumière ($3 \cdot 10^8$ 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.

Rayonnement et énergie

- Les échanges d'énergie portée par le rayonnement électromagnétique qui ont lieu entre le soleil et le système terre-océan-atmosphère ne se font pas de manière continue, mais de façon discrète, sous forme de paquets d'énergie, véhiculés par des corpuscules élémentaires immatériels, les photons. Chaque photon transporte ainsi un quantum d'énergie proportionnel à la fréquence de l'onde électromagnétique considérée ; cette énergie est d'autant plus grande que la fréquence est élevée.

La relation suivante exprime la quantité d'énergie associée à un photon en fonction de la fréquence de l'onde :

$$E = h \nu$$

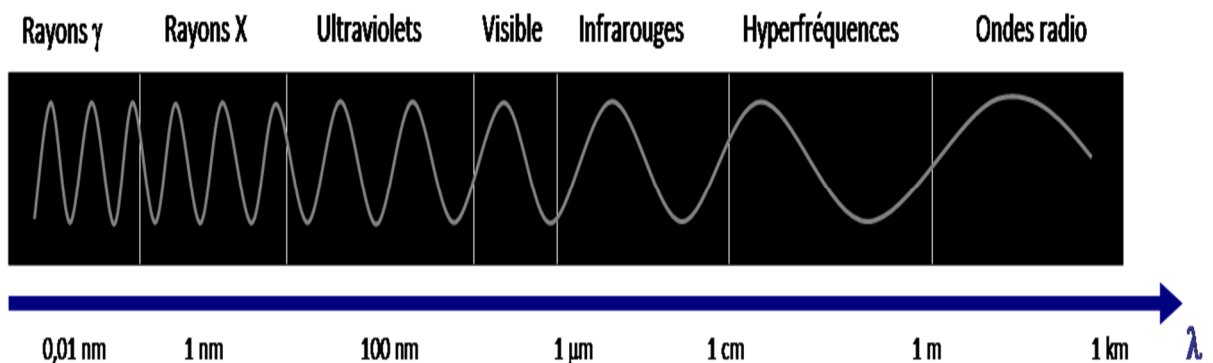
où :

- E : l'énergie de l'onde électromagnétique
- ν : la fréquence de l'onde
- h : la constante de Planck ($6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s)

Ainsi, les rayonnements électromagnétiques de courte longueur d'onde ou de fréquence élevée véhiculent davantage d'énergie que les rayonnements de grande longueur d'onde (basse fréquence).

- **Le spectre électromagnétique**

- Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie (figure ci-dessous).



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. Leurs longueurs d'onde s'étendent d'un centième de milliardième (10^{-14} m) à un milliardième (10^{-12} m) de millimètre.
- **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), et dans la recherche pour l'étude de la matière (rayonnement synchrotron).

Les rayons X ont des longueurs d'onde comprises entre un milliardième (10^{-12} m) et un cent millième (10^{-8} m) de millimètre.

- **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. Leurs longueurs d'onde s'échelonnent d'un cent millième (10^{-8} m) à quatre dixièmes de millième ($4 \cdot 10^{-7}$ m) de millimètre.

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. Il s'étend de quatre dixièmes de millième ($4 \cdot 10^{-7}$ m) - *lumière bleue* - à huit dixièmes de millième ($8 \cdot 10^{-7}$ m) de millimètre - *lumière rouge*.

- **L'infrarouge** : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C). En télédétection, on utilise certaines bandes spectrales de l'infrarouge pour mesurer la température des surfaces terrestres et océaniques, ainsi que celle des nuages. La gamme des infrarouges couvre les longueurs d'onde allant de huit dixièmes de millième de millimètre ($8 \cdot 10^{-7}$ m) à un millimètre (10^{-3} m).

- **Les ondes radar ou hyperfréquences** : Cette région du spectre est utilisée pour mesurer le rayonnement émis par la surface terrestre et s'apparente dans ce cas à la télédétection dans l'infrarouge thermique, mais également par les capteurs actifs comme les systèmes radar.

Un capteur radar émet son propre rayonnement électromagnétique et en analysant le signal rétrodiffusé, il permet de localiser et d'identifier les objets, et de calculer leur vitesse de déplacement s'ils sont en mouvement. Et ceci, quelque-soit la couverture nuageuse, de jour comme de nuit.

Le domaine des hyperfréquences s'étend des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre jusqu'au mètre.

- **Les ondes radio** : Ce domaine de longueurs d'onde est le plus vaste du spectre électromagnétique et concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km.

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. Celles utilisées pour les téléphones cellulaires sont de l'ordre de 10 cm environ.

Contrairement à l'œil humain qui n'est capable de capter le rayonnement que dans une fenêtre très étroite du spectre électromagnétique, celle correspondant au domaine du visible (longueurs d'onde comprises entre $0,4\mu\text{m}$ et $0,7\mu\text{m}$), les capteurs satellitaires utilisent une fraction beaucoup plus étendue du spectre.

Trois fenêtres spectrales sont principalement utilisées en télédétection spatiale :

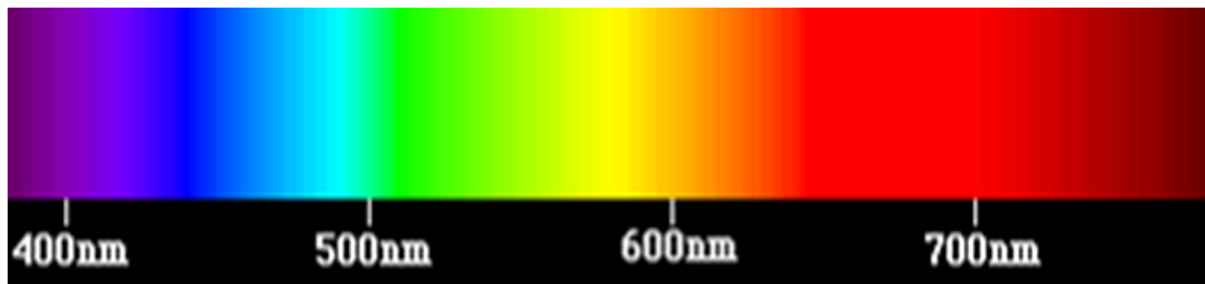
- ✓ Le domaine du visible
- ✓ Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen et IR thermique)
- ✓ Le domaine des micro-ondes ou hyperfréquences (elles ont une importance considérable en télédétection RADAR notamment)

Certains capteurs, peu nombreux, permettent de mesurer l'énergie du rayonnement ultraviolet. Ils sont utilisés principalement en astronomie pour l'étude des atmosphères planétaires ou pour mesurer la quantité d'UV atteignant la surface terrestre. En télédétection aérienne, le rayonnement proche UV 250 - 350 nm est utilisé pour des applications en océanographie, notamment pour l'identification et la cartographie des nappes d'hydrocarbures.

Le domaine du visible :

Fenêtre du visible qui s'étend entre $0,4\mu\text{m}$ et $0,7\mu\text{m}$ est la seule fenêtre du spectre électromagnétique qui est perceptible par l'œil humain. C'est la portion du spectre qui permet de visualiser les couleurs. En effet, la lumière blanche émise par le soleil, lorsqu'elle passe à travers un prisme, est décomposée en une multitude de couleurs constituantes, qui vont du violet au rouge en passant par le bleu, le vert, le jaune et l'orange.

La lumière visible occupe une frange très étroite du spectre électromagnétique

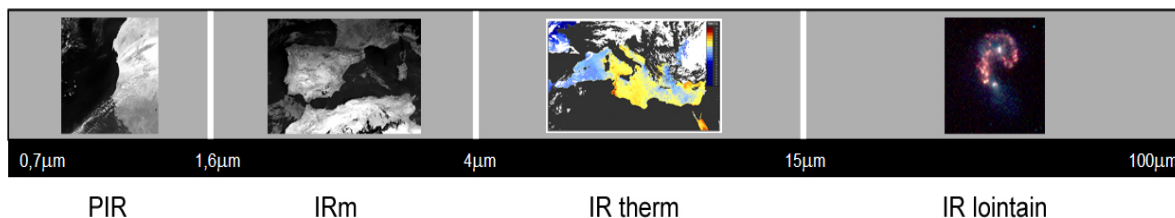


Les capteurs utilisés en télédétection peuvent capter l'énergie provenant de différentes fenêtres spectrales à l'intérieur même du visible (le satellite SPOT par exemple, est sensible au rouge et au vert, le satellite américain IKONOS lui, dispose de trois bandes spectrales dans le visible, sensibles au rouge, au vert et au bleu).

L'infrarouge :

Le domaine de l'infrarouge est relativement étendu puisqu'il couvre les longueurs d'onde de $0,7\mu\text{m}$ à $100\mu\text{m}$. Dans cette fourchette de longueurs d'onde, 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 domaine des infrarouges :



Le proche infrarouge :

Le proche infrarouge ($0,7\mu\text{m}$ à $1,6\mu\text{m}$) est la partie du spectre électromagnétique qui vient juste après le visible (couleur rouge). Comme pour le visible, ce que le radiomètre mesure dans le proche infrarouge, c'est une luminance correspondant au rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre. Ce domaine du spectre électromagnétique est très utilisé en télédétection pour différencier les surfaces naturelles qui se caractérisent par de très importantes variations de la réflectance à cette longueur d'onde. Il permet également l'étude des surfaces continentales, et notamment de distinguer les surfaces végétalisées des surfaces minérales car les surfaces

couvertes par la végétation se distinguent par une forte réflectance dans les longueurs d'onde du proche infrarouge, alors qu'elles réfléchissent peu le rayonnement dans le visible.

L'infrarouge moyen :

L'infrarouge moyen (1,6 μ m à 4 μ m) 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'atmosphère est en grande partie opaque aux rayonnements du moyen infrarouge qui sont absorbés par la vapeur d'eau. Seules quelques fenêtres atmosphériques permettent la transmission du rayonnement. Elles sont centrées sur les longueurs d'onde 2,5 μ m, 3,5 μ m.

L'infrarouge thermique :

Dans ce domaine spectral (4 μ m à 15 μ m), le rayonnement dépend des propriétés d'émissivité des surfaces et les capteurs satellitaires mesurent la température apparente des objets. En effet une partie du rayonnement visible et proche infrarouge parvenant à la surface de la terre est absorbée par les objets, puis réémise sous forme de chaleur à une plus grande longueur d'onde.

L'infrarouge lointain :

L'infrarouge lointain (15 μ m à 100 μ m) 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. Les détecteurs, appelés bolomètres utilisent cette gamme de longueurs d'onde pour mesurer l'intensité du rayonnement infrarouge émis par les corps célestes.

Les hyperfréquences :

Dans ce domaine spectral (1 cm à 1 m), les longueurs d'onde centimétriques sont grandes par rapport aux ondes visibles et infrarouges. Cela confère aux hyperfréquences des propriétés particulières et notamment la possibilité d'observer la surface de la Terre par tous les temps, de jour comme de nuit. L'atmosphère est en effet quasiment transparente à ces longueurs d'onde qui traversent donc sans problème les couches nuageuses. Ce domaine est celui des capteurs radars et des radiomètres à micro-ondes passives, utilisés notamment en océanographie pour l'étude des glaces de mer et la détection des nappes d'hydrocarbures.