

Le rayonnement et la matière :

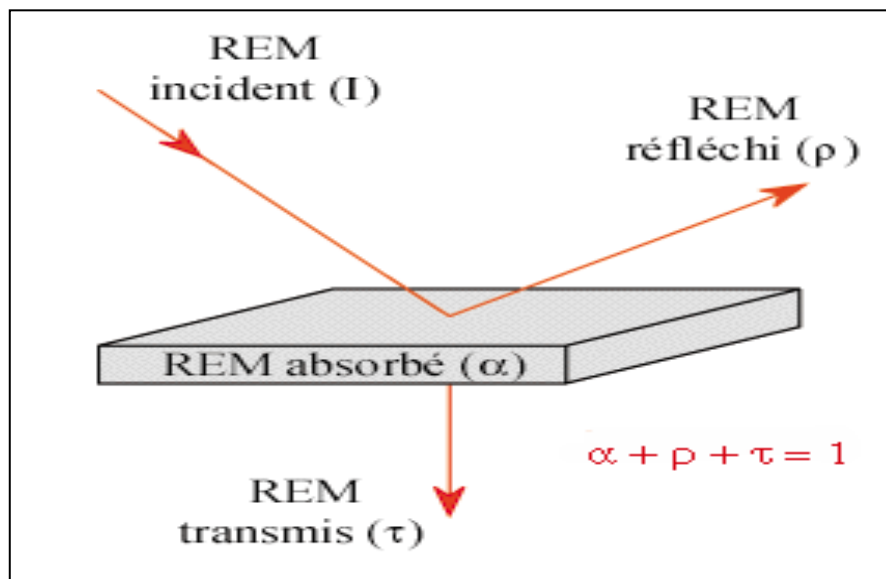
I. Introduction

Lorsque le soleil éclaire la surface terrestre, des interactions se produisent entre le rayonnement et la cible illuminée. En fonction des propriétés et des caractéristiques de la cible, une partie du rayonnement est réfléchi vers le capteur satellitaire. Chaque objet ou chaque surface possède ainsi une réponse spectrale bien précise à une longueur d'onde donnée. L'ensemble des réponses spectrales à différentes longueurs d'onde constitue ce que l'on appelle la signature spectrale d'une surface. Chaque type de surface peut ainsi être caractérisé et identifié sur une image.

II. Les interactions rayonnement / matière

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique atteint un objet, certaines longueurs d'onde sont absorbées tandis que d'autres sont réfléchies par l'objet. Une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise à travers l'objet si celui-ci est plus ou moins transparent, avec un changement de direction de la propagation dû à la réfraction. La partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur qui sera réémise sous forme d'un rayonnement à une plus grande longueur d'onde.

INTERACTIONS DU RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE AVEC LA MATIÈRE : ABSORPTION, RÉFLEXION, TRANSMISSION



Tous les objets sont ainsi caractérisés par un coefficient d'absorption (α), un coefficient de réflexion (ρ), et un coefficient de transmission (τ), qui expriment respectivement la part d'énergie absorbée, réfléchi et transmise.

Ces trois coefficients ont des valeurs qui varient entre 0 et 1 et leur somme est toujours égale à 1, selon le principe de la conservation de l'énergie.

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1$$

Avec :

- α_λ : coefficient d'absorption à la longueur d'onde λ
- ρ_λ : coefficient de réflexion à la longueur d'onde λ
- τ_λ : coefficient de transmission à la longueur d'onde λ

- On observe tout de même certains cas particuliers :

- ✓ Un corps totalement opaque ne transmet pas le rayonnement, qui est en partie absorbé et en partie réfléchi.

$$\tau = 0 \Rightarrow \alpha + \rho = 1$$

- ✓ Un corps parfaitement transparent ne réfléchit pas le rayonnement, mais en absorbe et transmet une partie.

$$\rho = 0 \Rightarrow \alpha + \tau = 1$$

- Interactions onde EM et surface naturelle :



-La télédétection s'appuie sur les interactions entre rayonnement et objets, il est impératif de bien comprendre les **propriétés du rayonnement électromagnétique**.

A) Emission

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu, émet un rayonnement électromagnétique issu de l'agitation thermique des molécules, dont la longueur d'onde est fonction de la température.

Emission et absorption étant liées (loi du rayonnement de Kirchhoff), le physicien Max Planck a imaginé ce qui se produirait dans le cas idéal du corps noir.

Loi de Planck :

Un **corps noir** est un corps hypothétique capable d'absorber puis de réémettre tout le rayonnement qui lui parvient, quelque soit la longueur d'onde. Il ne réfléchit, ne transmet aucun rayonnement. Planck a montré que l'énergie émise (luminance spectrale) par un corps noir dépendait uniquement de sa température.

avec :

c : vitesse de la lumière (3.10^8 m.s^{-1})

h : constante de Planck ($6,625.10^{-34} \text{ J.s}$)

k : constante de Boltzmann ($1,38.10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)

T : température du corps noir en Kelvins

$$M_{\lambda} = \frac{\pi 2hc^2 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1}$$

B) Réflexion

La réflexion se définit comme un changement de direction du rayonnement électromagnétique quand celui-ci atteint une surface. En télédétection, le phénomène de réflexion est primordial, car l'identification de la nature des objets par les capteurs satellitaires repose en grande partie sur la manière dont ils renvoient le rayonnement. La direction du rayonnement réfléchi peut varier, elle dépend de la rugosité des surfaces naturelles. On distingue ainsi trois types de réflexion : réflexion spéculaire, réflexion diffuse et réflexion de volume.

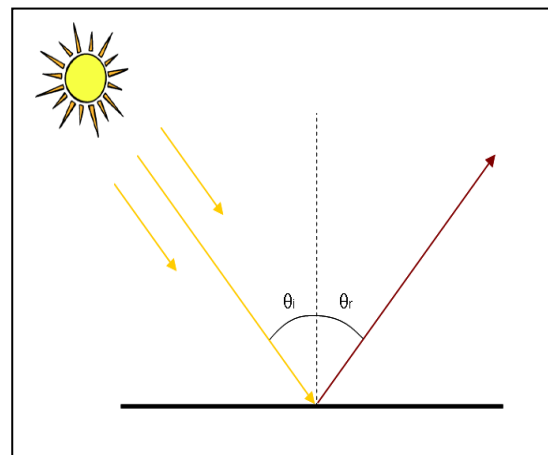
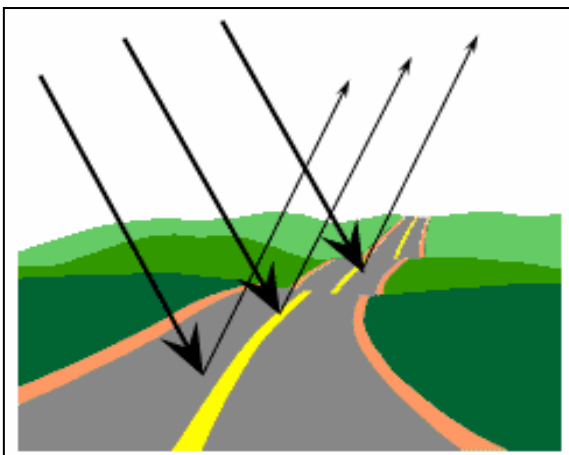
B.1) Réflexion spéculaire

La réflexion est dite spéculaire lorsque le rayonnement réfléchi par la surface, est dans une seule et même direction. Ce type de réflexion est régi par les lois de Descartes, l'angle du rayonnement réfléchi est donc le symétrique de celui du rayonnement incident par rapport à la normale (figure ci-dessous). La réflexion spéculaire se produit uniquement sur des surfaces lisses, dont les aspérités ont une taille inférieure à la longueur d'onde du rayonnement incident. En télédétection, on peut observer une réflexion spéculaire sur des surfaces d'eau calme. Sur les images, la réflexion spéculaire se traduit par une tâche éblouissante si le capteur se situe exactement dans la direction du rayonnement réfléchi, ou bien sombre dans le cas contraire.

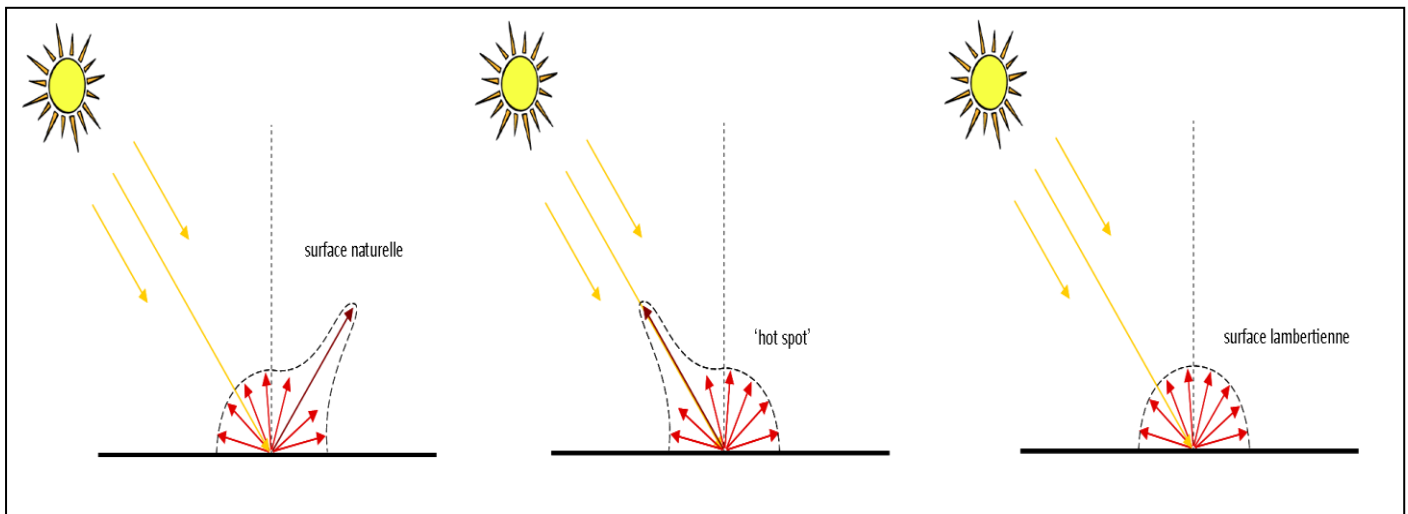
B.2) Réflexion diffuse

Lorsque les surfaces sont rugueuses, qu'elles présentent des aspérités dont la taille est supérieure à la longueur d'onde du rayonnement incident, la réflexion est diffuse. Le rayonnement est réfléchi dans toutes les directions à cause des hétérogénéités du milieu, avec généralement une direction privilégiée pour laquelle la réflexion est plus importante (figure de gauche). On peut ainsi définir pour chaque surface une indicatrice de luminance (en pointillés). Si on trace à partir de la surface réfléchissante les vecteurs proportionnels à l'intensité du rayonnement réfléchi dans toutes les directions, l'indicatrice de luminance est la surface obtenue en reliant entre elles toutes les extrémités des vecteurs.

Lorsque les directions d'observation (capteur satellite) et d'éclairage (soleil) coïncident, la quantité de



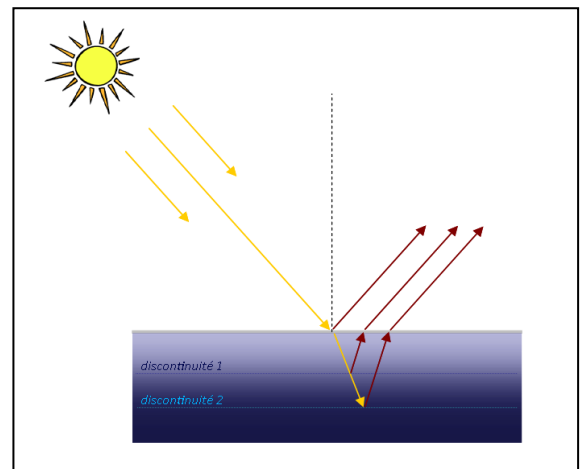
lumière réfléchi par une surface rugueuse présente un maximum. Ce phénomène, connu sous le nom de 'hot spot' est lié au fait que dans cette configuration, l'instrument ne voit que des éléments de surface éclairés, ce qui explique le pic de réflectance (figure au centre). Dans le cas où l'intensité du rayonnement réfléchi est la même dans toutes les directions, on parle de réflexion lambertienne



B.3) Réflexion de volume

La réflexion de volume peut être considérée comme la somme de plusieurs réflexions de surface. Elle se produit lorsque une partie du rayonnement incident est transmis dans un milieu. Le rayonnement est alors réfléchi par les différentes discontinuités de la couche traversée.

Dans la réalité, le rayonnement total réfléchi par les surfaces naturelles est la somme de la réflexion spéculaire, de la réflexion diffuse et de la réflexion de volume.



C) Absorption

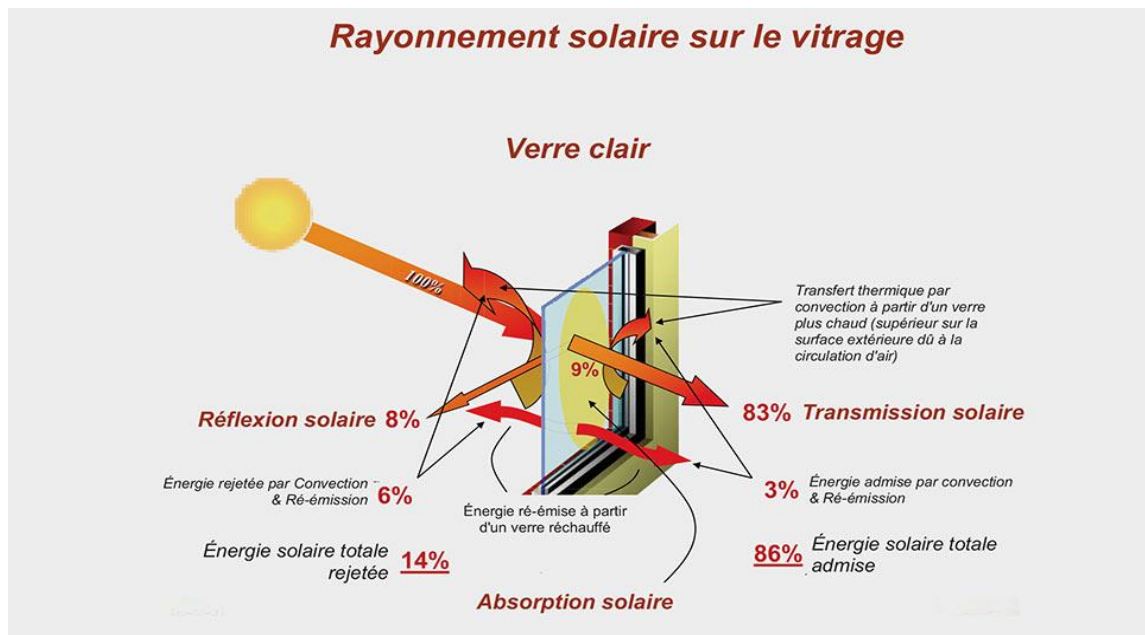
Tous les corps naturels absorbent une partie du rayonnement qui leur parvient. La partie du rayonnement absorbé modifie l'énergie interne du corps. Il y a production de chaleur et réémission de l'énergie à une plus grande longueur d'onde.

En télédétection spatiale, la notion d'absorption est fondamentale car le signal parvenant au capteur satellitaire est modifié au cours de la traversée atmosphérique où le rayonnement est fortement absorbé par les constituants gazeux et les particules en suspension. Il est intéressant de noter que contrairement à ce qui se passe dans l'atmosphère, transparente aux rayonnements visible et proche infrarouge, les surfaces naturelles elles, absorbent une partie de ces rayonnements.

D) Transmission

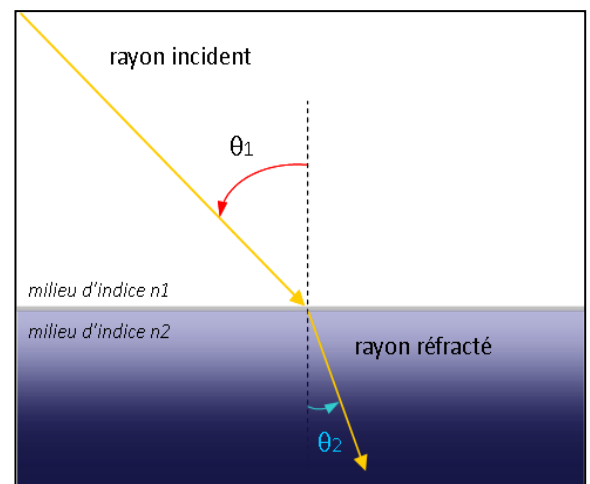
Lorsqu'une partie du rayonnement incident passe à travers un milieu, on dit que le rayonnement est transmis. Le phénomène de transmission concerne les milieux plus ou moins transparents comme l'eau, les nuages ou l'atmosphère, mais pas uniquement. Le feuillage des arbres par exemple se comporte comme un milieu transparent vis-à-vis du rayonnement proche infrarouge.

Cette notion de transmission est très importante en télédétection, puisque les capteurs dédiés à l'observation des surfaces terrestres et océaniques utilisent les bandes spectrales pour lesquelles l'absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère est négligeable.



E) Réfraction

Le phénomène de réfraction correspond à une déviation de la trajectoire du rayonnement lorsqu'il passe d'un milieu à un autre n'ayant pas le même indice de réfraction (rapport entre vitesse de la lumière dans le vide et vitesse de la lumière dans le milieu considéré). La réfraction se produit à l'interface entre les deux milieux.

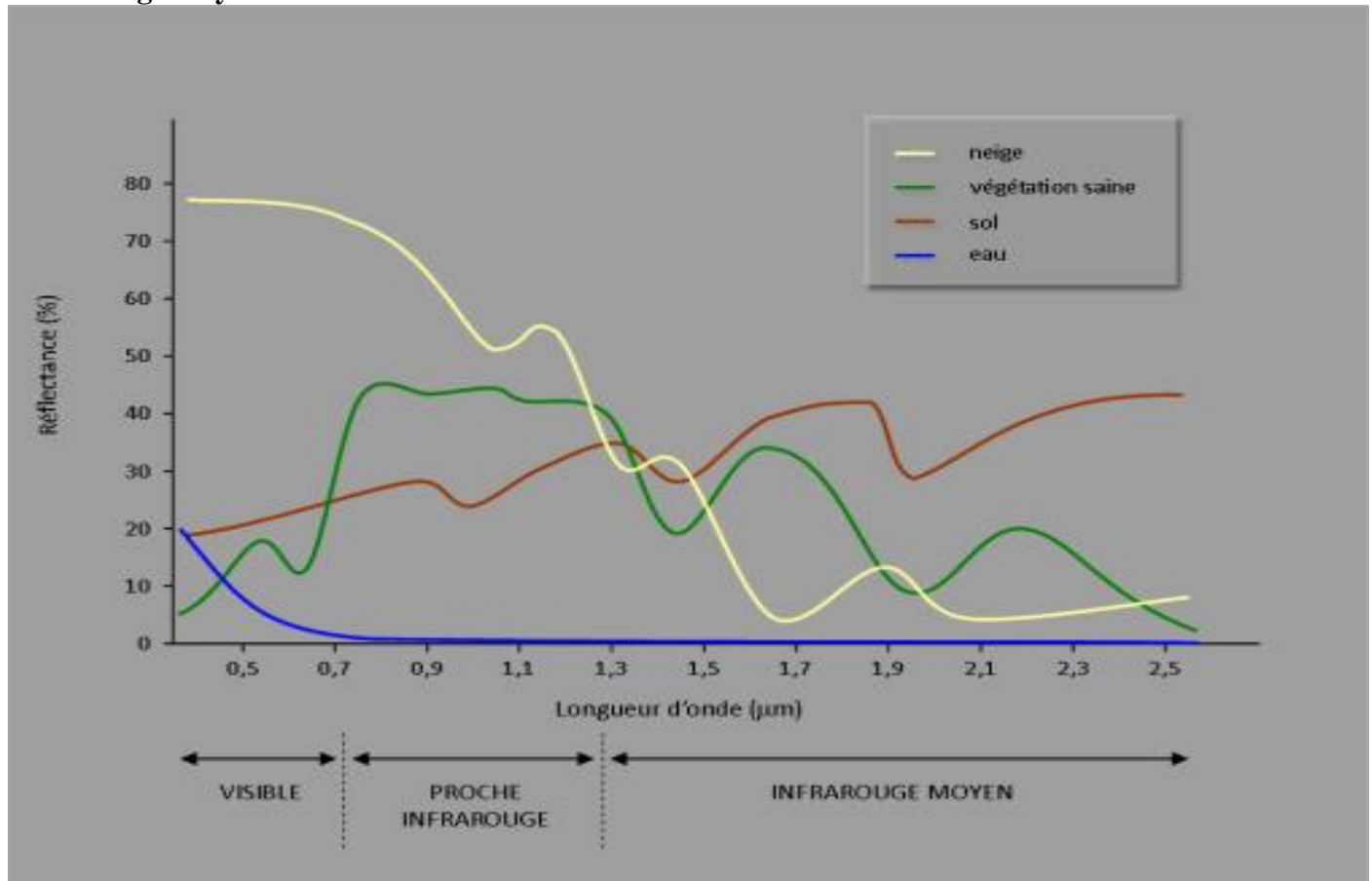


III. Signatures spectrales des principales surfaces naturelles

En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible selon l'une ou l'autre des propriétés citées précédemment, ou de manière générale selon une combinaison de ces propriétés.

Chaque surface possède ainsi une signature spectrale - quantité d'énergie émise ou réfléchiée en fonction de la longueur d'onde - qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles.

Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen :



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'étude des propriétés spectrales des sols est toutefois particulièrement complexe. En général le sol nu est plus réfléchissant que la végétation dans le visible et l'infrarouge moyen mais pas dans le proche infrarouge, car elle doit tenir compte des facteurs affectant les propriétés optiques du sol et qui sont :

- Teneur en eau
- Composition minérale
- Taux de matière organique
- Structure (rugosité de surface)

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. Sa signature spectrale dépend à la fois des molécules qui la constituent, mais aussi des éléments dissous ou en suspension dans la colonne d'eau, comme les organismes phytoplanctoniques, les sédiments ou les substances jaunes. Lorsque la couche de surface contient de fortes concentrations en phytoplancton, on observe une augmentation de la réflectance dans les longueurs d'onde du vert et l'eau nous paraît par conséquent plus verte (figure A). Plus l'eau est turbide, plus elle contient de

matériaux sédimentaires, plus sa réflectance augmente dans toutes les longueurs d'onde et notamment pour les ondes les plus longues - rouge (figure B).

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.

FIGURE A : RÉFLECTANCE DE L'EAU DE MER EN FONCTION DE SA TENEUR EN CHLOROPHYLLE

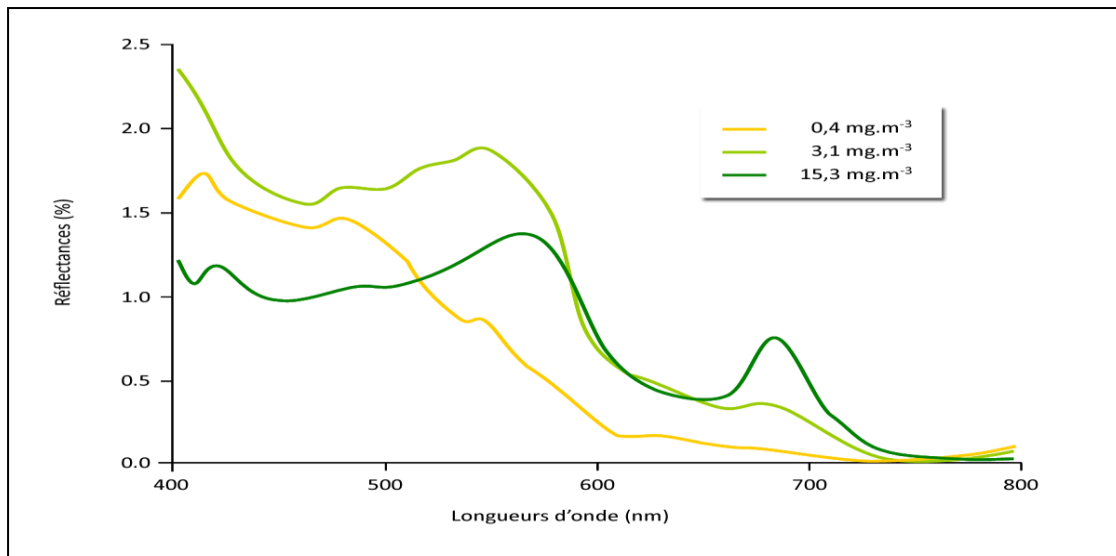


FIGURE B : RÉFLECTANCE DE L'EAU DE MER POUR DIVERSES VALEURS DU COEFFICIENT D'ATTÉNUATION À 550 NM.

Le coefficient d'atténuation de l'eau mesure la perte d'énergie du rayonnement (ici à 550 nm) traversant la colonne d'eau. Il permet d'apprécier la transparence de l'eau liée à la présence de particules en suspension, qui gênent la transmission de la lumière.

