

**Chapitre 4 Les rayonnements visibles et infrarouges**

**1. Introduction**

La lumière et l'énergie rayonnante infrarouge sont deux formes de rayonnement optique qui, avec le rayonnement ultraviolet, forment le spectre optique. Dans ce spectre, les différentes longueurs d'onde peuvent avoir des effets biologiques très divers.

Le mot *lumière* est réservé aux longueurs d'onde d'énergie rayonnante comprises entre 400 et 760 nm, qui suscitent une réaction visuelle au niveau de la rétine. La lumière est la principale composante du rayonnement émis par les lampes d'éclairage et les écrans de visualisation. Bien que l'éclairage soit indispensable pour la vision, certaines sources de lumière peuvent provoquer des réactions physiologiques indésirables, comme des **éblouissements** gênants ou inconfortables, des **papillotements** et d'autres formes de stress oculaire si les taches ne sont pas organisées d'une manière satisfaisante du point de vue ergonomique. L'émission d'une lumière intense résultant de certains procédés industriels, comme le soudage à l'arc, peut avoir en outre des effets dangereux.

Le rayonnement infrarouge (longueurs d'onde allant de 760 nm à 1 mm), communément appelé *rayonnement thermique* ou *chaleur radiante*, est émis par n'importe quel objet porté à haute température (moteur chaud, bain de métal en fusion et autres sources dans les fonderies, surface ayant subi un traitement thermique, lampe à incandescence, système de chauffage par rayonnement, etc.).

Beaucoup d'autres appareils électriques émettent également des infrarouges: moteurs électriques, génératrices, transformateurs et différents équipements électroniques.

**2. Classification des IR**

Les *infrarouges* (IR) sont formés de rayonnements électromagnétiques de longueur d'onde comprise entre 750 nm et 1 mm, beaucoup moins énergétiques que les UV et moins que le visible (énergie comprise entre  $1,24 \cdot 10^{-3}$  et 1,65 eV). Comme pour toutes les grandes longueurs d'onde, le comportement ondulatoire prend le dessus en IR et, par rapport aux UV et au visible, les IR sont plus difficiles à focaliser car ils sont davantage réfractés et diffractés, ils sont donc beaucoup moins sensibles à la diffusion, dans la mesure où leur énergie est bien inférieure à la résonance électronique des molécules.

Des infrarouges sont produits par n'importe quelle source thermique, depuis les étoiles jusqu'aux planètes *via* les êtres vivants qui s'y trouvent. Ils constituent les sources de chaleur radiante. Il n'existe pas d'autre source que thermique et **L'émission est donc obligatoirement polychromatique, ce qui explique l'impossibilité de générer des faisceaux monochromatiques en infrarouge.**

Nature du REM	Énergie (en meV)	l (vide, air)
<i>IR proche</i>	<i>de 1,24 à 41,3</i>	<i>de 750 à 4 000 nm</i>
<i>IR moyen</i>	<i>de 41,3 à 310</i>	<i>de 4 à 30 μm</i>
<i>IR lointain</i>	<i>de 310 à 1 650</i>	<i>de 30 μm à 1 mm</i>

Une classification des IR en trois classes IR-A, IR-B et IR-C selon leurs effets biologiques est :

- IR-A (780 nm -1400 nm)
- IR-B (1400 nm - 3000 nm)
- IR-C (3000 nm - 1 mm)

Les rayons IR peuvent pénétrer dans les tissus humains et provoquer des lésions. Plus la longueur d'onde est élevée, plus la profondeur de pénétration dans les tissus est faible. Les IR sont classés en trois catégories:

- Le rayonnement IR-A présente la plus grande profondeur de pénétration et peut atteindre la rétine et les tissus adipeux.
- Le rayonnement IR-B ne peut plus parvenir jusqu'à la rétine: il pénètre dans les vaisseaux sanguins sans atteindre les tissus adipeux.
- Le rayonnement IR-C n'atteint que l'épiderme et la cornée.

### 3. Effets biologiques sur l'œil et la peau

#### 3.1.Lésions thermiques de la peau

L'augmentation de la température des tissus occasionne des lésions thermiques. Des brûlures peuvent apparaître après une exposition de la peau à une source puissante de rayonnement IR. Toutefois, elles sont peu probables car la douleur ressentie avant leur apparition nous laisse le temps de nous éloigner de la source de rayonnement.

#### 3.2.Lésions thermiques du cristallin et de la rétine

Une exposition régulière du **cristallin de l'œil aux rayons IR peut provoquer une cataracte**. Si la température des tissus chauffés est supérieure à la valeur critique définie, les lésions de la rétine sont irréversibles.

### 4. Rayonnement visible

La notion de visibilité est un concept lié biologiquement à l'homme et la gamme visible des REM est définie comme la fraction du spectre détectable par la vision humaine. **Cette fraction est infime** et l'expérience montre en outre que l'œil n'est sensible qu'à la composante électrique de ce REM.

Différentes autres sources peuvent émettre, au moins partiellement, dans le visible, soit parce qu'elles sont à des températures inférieures (lampes à incandescence) ou supérieures (arc électrique), soit parce qu'elles émettent un spectre de raies plus ou moins riche en composantes visibles (lampes à vapeur de mercure ou de sodium, lampes halogènes ou tubes fluorescents, animaux luminescents).

Le spectre visible comme représenté dans la figure 1 est perçu sous forme de sensations colorées, impressions séparant le spectre visible en familles de longueurs d'onde (couleurs).

$\lambda$	380-436 nm	436-495 nm	495-566 nm	566-589 nm	589-627 nm	627-750 nm
Couleur	violet	bleu	vert	jaune	orangé	rouge

Figure 1. Spectre visible

Les six nuances **du spectre visible** forment les couleurs spectrales, dont **les frontières sont floues et arbitraires**, les transitions étant graduelles et continues.

L'œil est capable de percevoir des nuances colorées **non spectrales** : les pourpres, constitués de mélanges des deux extrêmes (violet et rouge) en proportions variables.

**L'ensemble du spectre est perçu comme du blanc**. Les blancs thermiques, engendrés par les spectres d'émission continue (étoile, lampe à incandescence), ne sont pas tous équivalents. D'après la loi de Wien, la température d'émission correspond à une longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  ( $T \approx 5500$  K, jaune bleuté pour le Soleil ;  $T \approx 2700$  K, jaune rougeâtre pour une ampoule tungstène) qui confère à ce blanc une dominante colorée, ignorée par notre cerveau.

La couleur des objets éclairés, sources secondaires de lumière diffusée, dépend de la quantité de photons diffusés, ce qui détermine la luminosité de l'objet et de la qualité de cette diffusion (sélectivité en longueur d'onde) qui fixe la couleur. Ces deux aspects sont facilement prévisibles si l'on connaît le coefficient de réflexion diffuse  $\rho$  de l'objet qui augmente avec son pouvoir diffusant.

Rappelons qu'il peut être défini comme le rapport entre l'exitance énergétique de l'objet et son éclairage énergétique :  $\rho = M/E$ .

Pour les **corps non sélectifs**,  $\rho$  est indépendant de  $\lambda$  et varie de 0,85 pour la magnésie (MgO) à 0,01 pour le velours noir. Le corps apparaîtra lumineux (blanc en lumière blanche ou de la couleur spectrale en lumière monochromatique) si  $\rho > 0,60$ . Il apparaîtra sombre (noir) pour de faibles valeurs de  $\rho$  ( $\rho \approx 0,05$ ), et gris plus ou moins accentué pour des valeurs intermédiaires.

Pour les **corps colorés (sélectifs)**,  $\rho$  dépend de  $\lambda$  selon une courbe de variation spectrale caractéristique du corps diffusant. La couleur du corps est alors déterminée par la portion diffusée du spectre : sa luminosité est déterminée par la valeur de  $\rho$  dans cette portion.

#### 4.1. Exemples d'application

Les **lampes à incandescence**, que nous utilisons encore couramment, nous éclairent avec un filament chauffé à une température de l'ordre de 3000 K, ce qui correspond à une longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  de l'ordre du micron, dans l'infrarouge (IR). Ces lampes ont donc un faible rendement d'éclairage et engendrent plus de chaleur (IR) que de lumière. Une **lampe halogène**, dont la température de couleur est de l'ordre de 3400 K, c'est-à-dire dont le  $\lambda_{\max}$  se rapproche d'avantage du visible, possède un meilleur rendement lumineux à même énergie totale dépensée...

##### Les lampes du visibles

- la jonction arséniure de gallium-zinc émet à 900 nm, dans l'infrarouge ;
- la jonction arsénio-phosphure de gallium 4 émet à 660 nm, dans le rouge ;
- la jonction arsénio-phosphure de gallium 5 émet à 610 nm, dans l'orange ;
- la jonction arsénio-phosphure de gallium 85- azote émet à 590 nm, dans le jaune ;
- la jonction phosphure de gallium-azote émet à 560 nm, dans le vert.

#### 4.2. Rayonnement Laser

Le laser est un dispositif qui produit un rayonnement électromagnétique cohérent dans le spectre optique, allant de l'ultraviolet extrême à l'infrarouge lointain (bande sous-millimétrique). Le mot *laser* est en fait le sigle de l'expression anglaise *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (lumière amplifiée par émission stimulée de rayonnements). Même si l'effet laser a été théoriquement prédit par Albert Einstein en 1916, le premier laser fonctionnel n'a été présenté qu'en 1960, figure 2 montre un laser vert issu d'un Crystal. Ces

dernières années, les lasers sont sortis des laboratoires de recherche pour envahir tous les milieux de travail — industrie, hôpitaux, bureaux, chantiers de construction — et même les foyers domestiques. Dans de nombreuses applications, telles que les lecteurs de vidéodisques et les systèmes de communications à fibre optique, l'énergie rayonnante du laser est enfermée dans une enveloppe ou un boîtier, ne faisant courir aucun risque à l'utilisateur, qui n'est souvent même pas conscient de la présence du laser dans le produit qu'il a devant lui. Toutefois, l'énergie rayonnante des lasers est accessible dans certaines applications médicales, industrielles ou de recherche et peut donc constituer un risque pour les yeux et la peau.

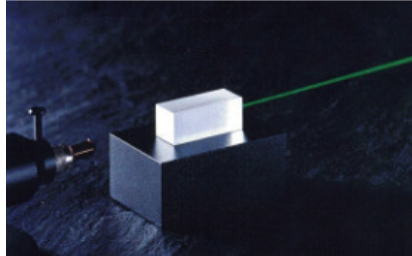


Figure 2. Crystal émettant un rayonnement vert

Comme l'effet laser peut produire un **faisceau très collimaté de rayonnement optique**. Un laser peut être dangereux à une distance considérable, contrairement à la plupart des autres sources de risques professionnels.

Les lasers fonctionnent à des longueurs d'onde discrètes et, même si la plupart sont monochromatiques (c'est-à-dire n'émettent qu'à une seule longueur d'onde ou une seule couleur), il n'est pas inhabituel qu'un laser émette plusieurs longueurs d'onde discrètes. Ainsi, le laser à argon produit plusieurs raies différentes dans l'ultraviolet proche et le spectre visible, quoiqu'il soit généralement conçu pour produire seulement une raie (longueur d'onde) verte à 514,5 nm ou une raie bleue à 488 nm.

Tous les lasers comportent trois éléments de base:

1. Un milieu actif (solide, liquide ou gaz) qui détermine les longueurs d'onde de sortie possibles;
2. Une source d'énergie (courant électrique, lampe de pompage ou réaction chimique);
3. Une cavité résonante et un coupleur de sortie (en général, deux miroirs).

**Retenons :**

L'émission stimulée domine aux basses fréquences (IR, radio) par rapport à l'émission spontanée. Tous les photons émis ont l'énergie du photon stimulant et une phase identique : l'émission est fortement cohérente et directionnelle (lasers, masers).

Les risques du laser sont toujours présents si les précautions d'utilisation ne sont pas réunies suite à l'intensité du rayonnement laser par une seule longueur d'onde : Son effet est de suite sur l'œil lorsque cette dernière est fortement exposée.