

II - Notions de physique quantique

Introduction

La physique quantique se consacre à l'étude des comportements des atomes et des particules, c'est-à-dire de l'infiniment petit. Elle a également pour but d'élucider certaines propriétés du rayonnement électromagnétique. C'est ce dernier point qui, à partir de maintenant, va nous accompagner tout au long de cet ouvrage et cela afin de nous guider vers une nouvelle compréhension/interprétation de l'énergie qui rayonne à travers un minéral.

Le rayonnement électromagnétique peut être décrit de manière corpusculaire ou de manière ondulatoire. Ainsi, du fait de cette dualité onde-corpuscule, les rayonnements électromagnétiques peuvent se modéliser de deux manières complémentaires, l'onde électromagnétique et le photon.

L'onde électromagnétique

Avant tout, il convient de bien distinguer le rayonnement électromagnétique, qui est le phénomène étudié, et l'onde électromagnétique, qui est une des représentations du phénomène. Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de distinguer les différentes sortes d'ondes.

Il existe trois principaux types d'ondes :

- Les ondes mécaniques se propagent à travers une matière physique dont la substance se déforme. Elles correspondent aux infrasons, aux sons et aux ultrasons.
- Les ondes électromagnétiques (Fig. 17) ne nécessitent pas de support physique. Au lieu de cela, elles consistent en des oscillations périodiques de champs électriques et magnétiques générés à l'origine par des particules chargées, et peuvent donc voyager à travers le vide. Elles correspondent aux ondes radio, aux micro-ondes, au rayonnement infrarouge, à la lumière visible, au rayonnement ultraviolet, aux rayons X et aux rayons γ (gamma).
- Les ondes gravitationnelles, appelées parfois onde de gravitation, sont des oscillations de la courbure de l'espace-temps qui se propagent à grande distance de son point de formation. Les ondes gravitationnelles ne nécessitent pas non plus de support.

Physiquement parlant, une onde est un champ, c'est-à-dire une zone de l'espace dont les propriétés sont modifiées.

Ainsi, une onde électromagnétique est la propagation d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ magnétique $\vec{B}$ associés perpendiculairement entre eux et à la direction de propagation (Fig. 15).

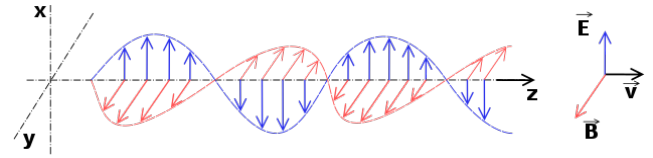


Fig. 15 - Onde électromagnétique : oscillation couplée du champ électrique et du champ magnétique

En lithothérapie quantique, uniquement la lumière visible (Fig. 18) et le rayonnement ultraviolet nous intéressent.

La lumière visible et les ondes lumineuses

Une onde lumineuse est une onde électromagnétique dont la longueur d'onde λ (se prononce lambda) correspond au spectre visible, c'est-à-dire perceptible par l'œil humain. Celui-ci ne constitue qu'une petite tranche du large domaine du spectre électromagnétique (Fig. 17).

Les longueurs d'onde (Fig. 16) correspondant au spectre visible s'étalent de 400 à 800 nm (1 nanomètre étant égal à un milliardième de mètre), ce qui correspond aux énergies d'un photon de 1,5 à 3 eV (1 électronvolt étant égal à $1,602 \times 10^{-19}$ J, « J » étant des joules).

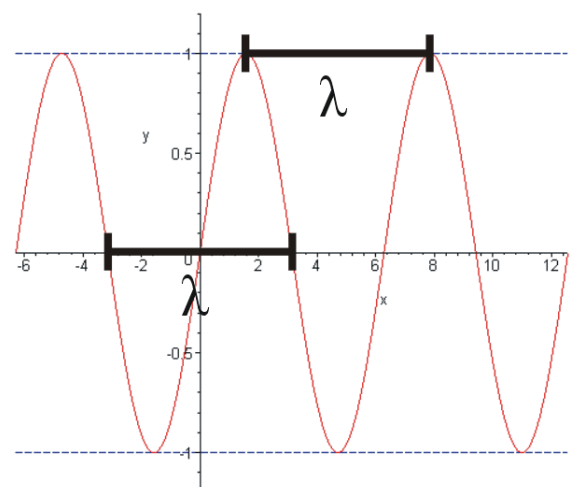


Fig. 16 - Représentation de la longueur d'onde (représentée par la lettre grecque λ lambda).

Domaine complet du spectre électromagnétique

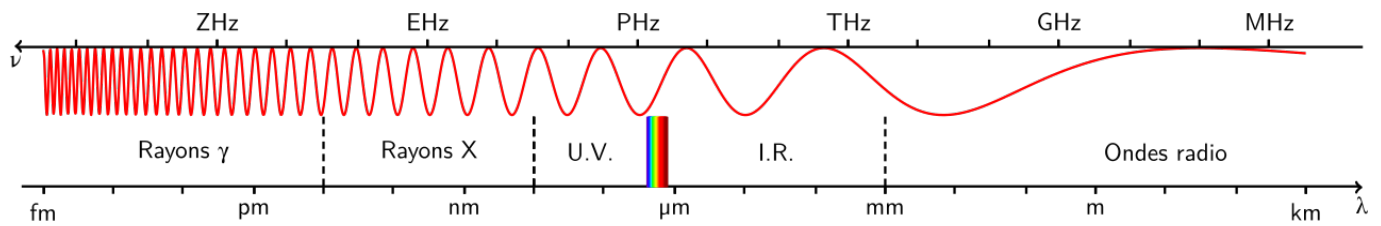


Fig. 17 - Tout comme les ondes radio, les rayons X ou les rayons gamma, la lumière est un rayonnement électromagnétique mais qui a la particularité d'être visible par l'œil humain.

Domaine du spectre visible

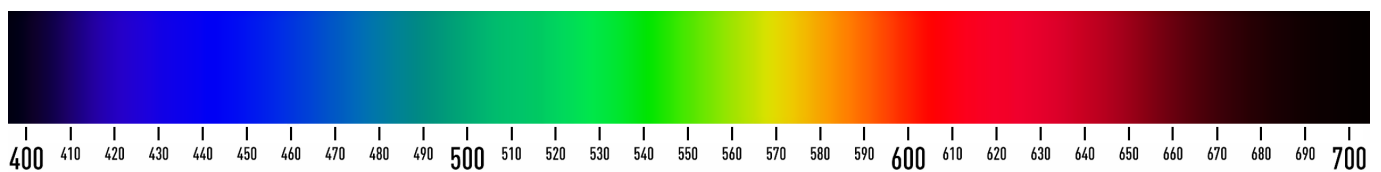


Fig. 18 - Couleurs approximatives du spectre visible entre 400 nm et 700 nm.

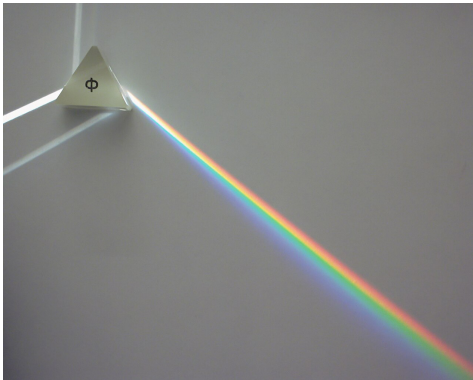


Fig. 19 - Dispersion de la lumière blanche à travers un prisme.

Le rayonnement ultraviolet

Le rayonnement ultraviolet (UV), également appelé « lumière noire » parce que généralement invisible à l'œil nu est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde compris entre ~ 100 nm et 400 nm. Le nom signifie « au-delà du violet » (du latin *ultra* : « au-delà de »), le violet étant la couleur de fréquence la plus élevée (et donc de longueur d'onde la plus courte) de la lumière visible.

Le photon

Le photon est une particule subatomique qui appartient à la famille des bosons. Sa masse serait nulle ou en tout cas inférieure à environ 5×10^{-19} eV/ c^2 , « c » étant la vitesse de la lumière (299 792 458 mètres/seconde).

Le photon est le quantum d'énergie associé aux ondes électromagnétiques. En physique, « quantum » (mot latin signifiant « combien », dont le pluriel s'écrit « quanta ») représente la plus petite mesure indivisible, que ce soit celle de l'énergie, de la quantité de mouvement ou de la masse d'une particule. Cette notion centrale en théorie des quanta a d'ailleurs donné naissance à la mécanique quantique.

En théorie quantique des champs, le photon est la particule médiatrice de l'interaction électromagnétique. Autrement dit, lorsque deux particules chargées électriquement interagissent, cette interaction se traduit d'un point de vue quantique comme un échange de photons. Ainsi, les photons sont des « paquets » d'énergie élémentaires, ou quanta de rayonnement électromagnétique, qui sont échangés lors de l'absorption ou de l'émission de lumière par la matière.

Le rayonnement électromagnétique

Revenant au rayonnement électromagnétique et citant quelques une de ses propriétés physiques, car cela nous aidera à mieux le cerner.

- Tout corps à une température supérieure au zéro absolu, soit $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou 0 K (Kelvin), émet un rayonnement électromagnétique appelé rayonnement thermique ou rayonnement du corps noir. De plus, un corps qui reçoit un rayonnement électromagnétique peut en réfléchir une partie et absorber le reste. Ainsi, l'énergie absorbée est convertie en énergie thermique et contribue à l'augmentation de la température de ce corps.
- L'absorption d'un photon par un atome (Fig. 20.1) peut provoquer des transitions atomiques, c'est-à-dire exciter un atome (Fig. 20.2) dont l'énergie augmente par la modification de l'orbitale d'un de ses électrons.
- Lorsqu'un atome excité revient à son état d'énergie fondamentale (Fig. 20.3), il émet un photon dont l'énergie (ou la fréquence) correspond à une différence entre deux états d'énergie de l'atome.
- Certains rayonnements électromagnétiques transportent suffisamment d'énergie pour arracher des électrons à un atome (ou à de la matière), ce sont des rayonnements ionisants. Cela rejoint donc ce qui a déjà été dit concernant les liaisons chimiques des minéraux. En effet, l'ionisation est l'action qui consiste à ajouter ou enlever des charges à un atome (ou une molécule) électriquement neutre, qui devient ainsi un ion chargé positivement ou négativement (Figure 4).

La lumière

La lumière est le phénomène qui se trouve être à l'origine d'une sensation visuelle. Nous l'avons vu, la physique montre qu'il s'agit d'ondes électromagnétiques appartenant au spectre visible, la zone à laquelle est sensible notre vision.

L'optique est la discipline qui étudie la lumière et les ondes électromagnétiques se situant dans le domaine du spectre visible, de l'infrarouge et de l'ultraviolet. Elle est la branche de la physique qui traite de la lumière, de son comportement et de ses propriétés, du rayonnement électromagnétique à la vision.

Les phénomènes optiques peuvent s'expliquer suivant différentes approches ayant chacune leur modèle.

- L'optique géométrique considère la lumière comme un ensemble de rayons voyageant en ligne droite et qui s'incurvent lorsqu'ils traversent ou se réfléchissent sur une surface.
- L'optique physique (ou ondulatoire) est un modèle plus complet, incluant les effets ondulatoires comme la diffraction et les interférences (Fig. 21), qui ne sont pas prises en compte dans le modèle géométrique.

L'optique géométrique fut introduite par Alhazen (965 - 1040) au début du XI^e siècle. Pionnier de la méthode scientifique, Alhazen ou Alhacen, de son vrai nom Ibn al-Haytham, s'illustre par ses travaux dans toutes les branches de l'optique, principalement en optique géométrique dont il est considéré comme l'un des pères fondateurs.

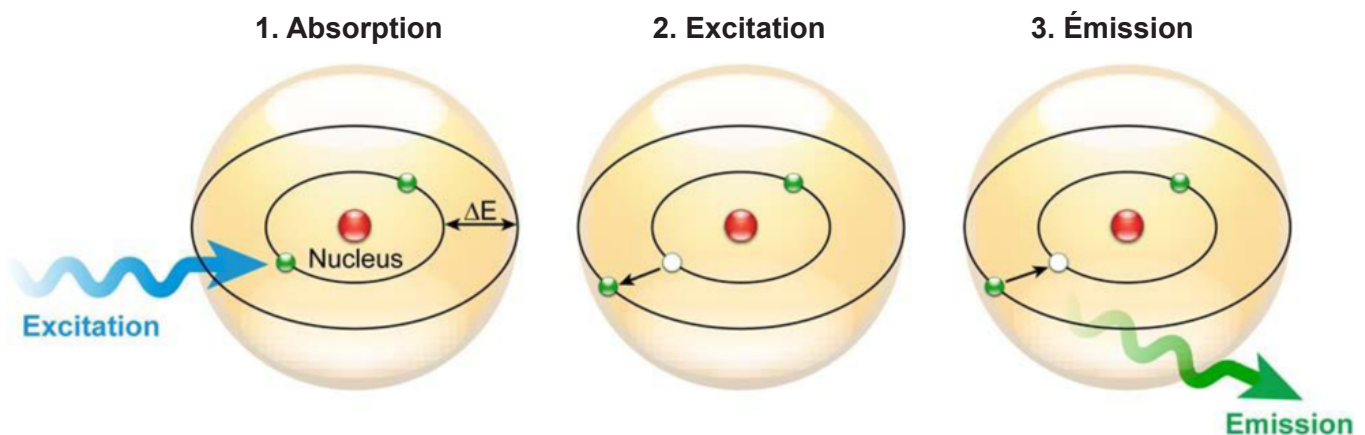


Fig. 20 - Processus d'excitation d'un atome.

Puis, au cours du XIXe siècle, en s'appuyant sur les travaux de Michael Faraday (1791 - 1867), dont James Clerk Maxwell (1831 - 1879) interprète la lumière comme étant un phénomène électromagnétique et démontre que les champs électriques et magnétiques se propagent dans l'espace sous la forme d'une onde et cela à la vitesse de la lumière. Cela dit, il est principalement connu pour avoir unifié électricité et magnétisme en un seul ensemble d'équations qui portent d'ailleurs son nom. Ainsi, les équations de Maxwell permettent de développer une théorie générale de l'électromagnétisme.

Enfin, au début du XXe siècle, les théories d'Einstein sur la nature corpusculaire de la lumière donneront naissance aux photons. Ainsi, les physiciens seront contraints d'admettre que la lumière présente à la fois les propriétés d'une onde et d'un corpuscule. Ainsi, ils donneront naissance à l'optique quantique afin de concilier ces deux aspects apparemment incompatibles de la lumière.

Afin de mieux cerner le comportement de la lumière ainsi que ses effets sur la matière, je vous propose deux thèmes la concernant, l'expérience des fentes de Young et l'effet photoélectrique.

Fentes de Young

Les fentes de Young (ou interférences de Young) désignent une expérience qui consiste à faire interférer deux faisceaux de lumière issus d'une même source et cela en les faisant passer par deux petits trous percés dans un plan opaque. Cette expérience fut réalisée pour la première fois par Thomas Young (1773 - 1829) en 1801 et permit de comprendre le comportement et la nature de la lumière. Sur un écran disposé en face des fentes de Young, on observe un motif de diffraction qui est une zone où s'alternent des franges sombres et illuminées.

Cette expérience permet alors de mettre en évidence la nature ondulatoire de la lumière. Elle a été également réalisée avec de la matière, comme les électrons, neutrons, atomes, molécules, avec lesquels on observe aussi des interférences. Cela illustre la dualité onde-particule : les interférences montrent que la matière présente un comportement ondulatoire, mais la façon dont elles sont détectées (impact sur un écran) montre leur comportement particulaire.

L'effet photoélectrique

La découverte de l'effet photoélectrique est attribuée à

Fentes de Young

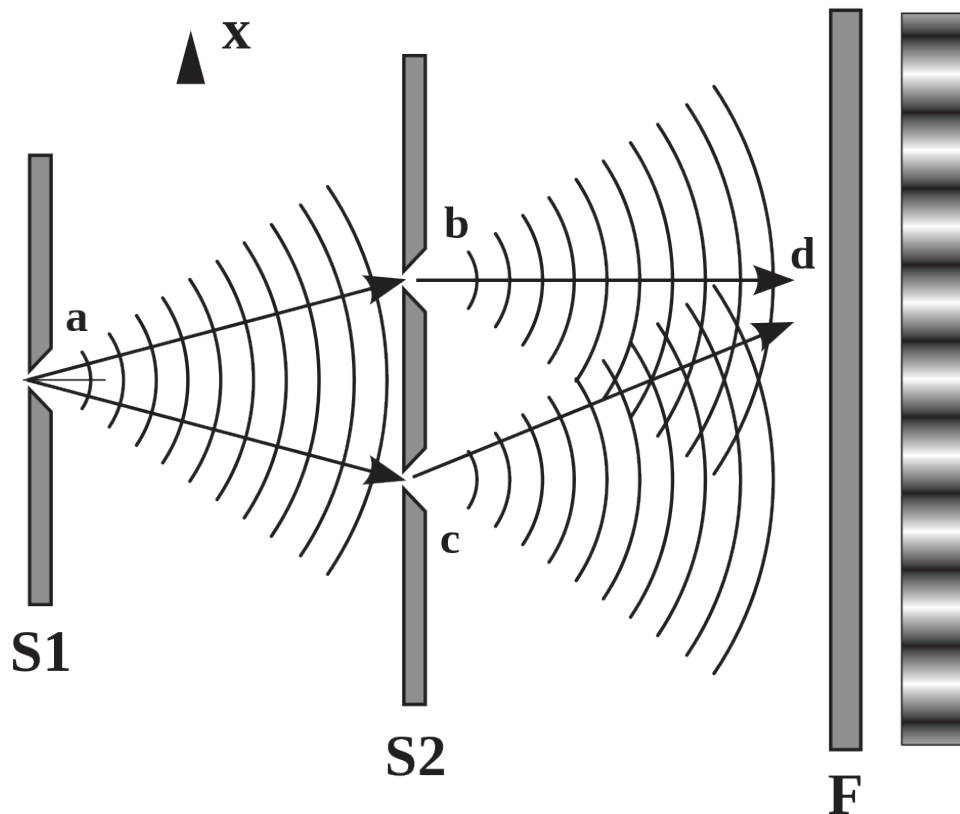


Fig. 21 - Phénomène d'interférences dû à la diffraction d'une onde à travers deux ouvertures.

Heinrich Hertz en 1887. Cela dit, Albert Einstein (1879 - 1955) fut le premier, en 1905, à en proposer une explication (qui lui valut d'ailleurs le prix Nobel de physique en 1921), en utilisant le concept de particule de lumière, appelé aujourd'hui photon, et celle du quantum d'énergie initialement introduits par Max Planck (1858 - 1947) en 1900 dans le cadre de l'explication qu'il proposa lui-même pour l'émission du corps noir.

Les résultats expérimentaux montrent que les électrons ne sont délogés que lorsque la lumière dépasse une certaine fréquence et cela quelle que soit l'intensité de la lumière ou la durée d'exposition.

Les photons d'un faisceau lumineux ont une énergie caractéristique, appelée énergie photonique, qui est proportionnelle à la fréquence de la lumière. Dans le processus de photoémission, lorsqu'un électron dans un matériau absorbe l'énergie d'un photon et acquiert plus d'énergie que son énergie de liaison, il est susceptible d'être éjecté. Ainsi, si l'énergie du photon est trop faible, l'électron ne peut pas s'échapper du matériau.

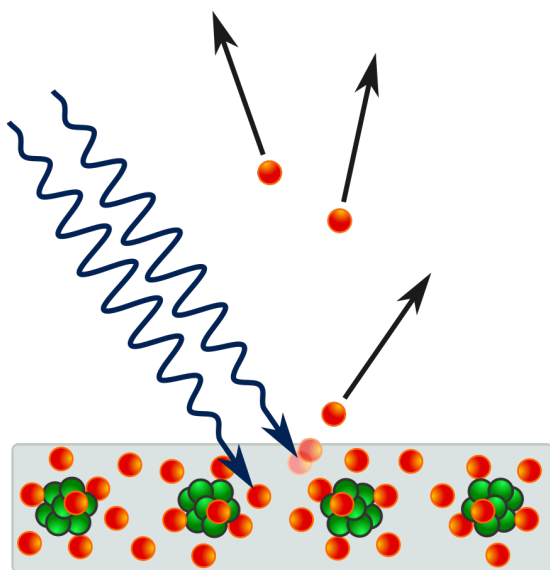


Fig. 22 - Un schéma montrant l'émission d'électrons depuis une plaque métallique. L'émission de chaque électron (particules rouges) requiert une quantité minimale d'énergie, laquelle est apportée par un photon (ondulations bleues).

La spectroscopie

La spectroscopie ou spectrométrie est l'étude expérimentale des spectres électromagnétiques. La spectroscopie s'intéresse en général au spectre d'absorption ou au spectre d'émission d'un objet (atome, molécule, minéral). En lithothérapie quantique, ce sont uniquement les spectres d'émission des atomes appartenant à la formule chimique du minéral qui nous intéressent, car ils sont au cœur du procédé qui permet de déterminer la nature de l'énergie qui rayonne à travers un minéral.

Le spectre d'émission

Nous l'avons vu, des atomes ou molécules excités (par exemple par chocs) se dés excitent en émettant une onde électromagnétique. Celle-ci peut se décomposer en une superposition d'ondes sinusoïdales (monochromatiques) caractérisées par leurs longueurs d'onde.

Un spectre est constitué par l'ensemble des longueurs d'onde présentes. On peut le matérialiser à l'aide d'un prisme de décomposition de la lumière en un ensemble de lignes, les raies spectrales (Fig. 23.1 - 24.1), qui correspondent aux différentes longueurs d'onde émises.

Pour exemple, l'observation du spectre d'émission de l'hydrogène se fait au moyen d'un tube Geissler qui comporte deux électrodes et de l'hydrogène sous faible pression. Les électrodes sont soumises à une différence de potentiel de 1 000 V. L'important champ électrique accélère les ions présents qui, par chocs, excitent les atomes d'hydrogène. Lors de leur dés excitation, ils émettent de la lumière qui est analysée par un spectroscope. Dans tous les cas, on observe (dans le visible) le même spectre composé de quatre raies aux longueurs d'onde suivantes : 410 nm, 434 nm, 486 nm, 656 nm (Fig. 23.1).

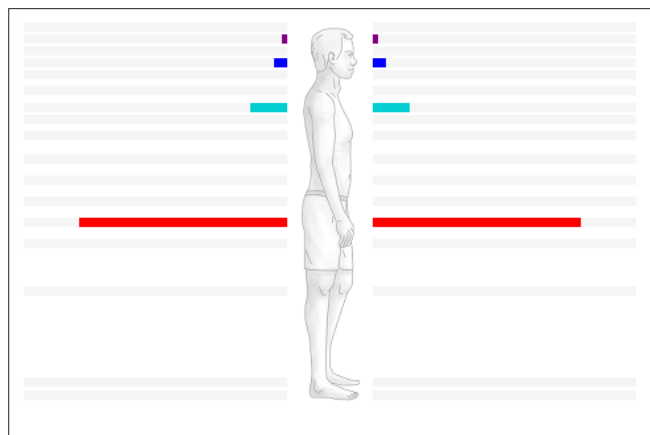
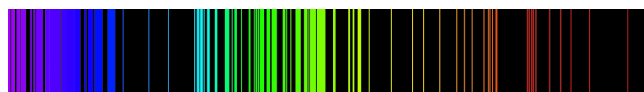
Niels Bohr (1885 - 1962) interprétera alors l'émission de lumière par l'émission d'un photon lorsque l'atome passe d'un niveau d'énergie à un autre (excité à stable). Le spectre d'émission de n'importe quel élément peut ainsi être obtenu en chauffant cet élément, puis en analysant le rayonnement émis par la matière. Le spectre d'émission d'un atome est donc caractéristique de celui-ci et constitue, en quelque sorte, sa carte d'identité.

Différentes représentations d'un spectre d'émission

1. Représentation classique d'un spectre d'émission avec ses différentes raies.
2. Représentation d'un spectre d'émission en lithothérapie quantique provenant de l'application « Litho ».



1.



2.

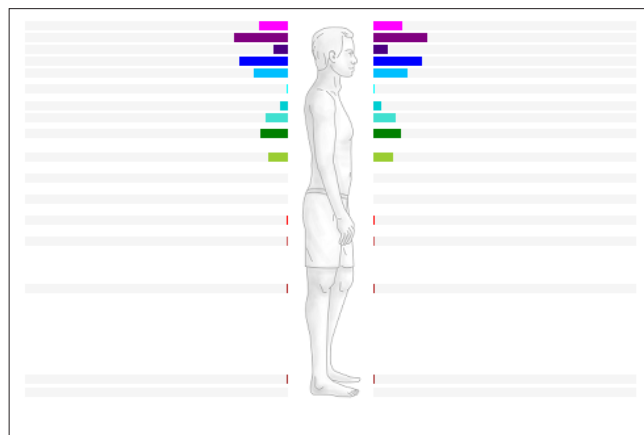


Fig. 23 - Spectre d'émission d'un atome d'hydrogène.

Fig. 24 - Spectre d'émission d'un atome de fer.

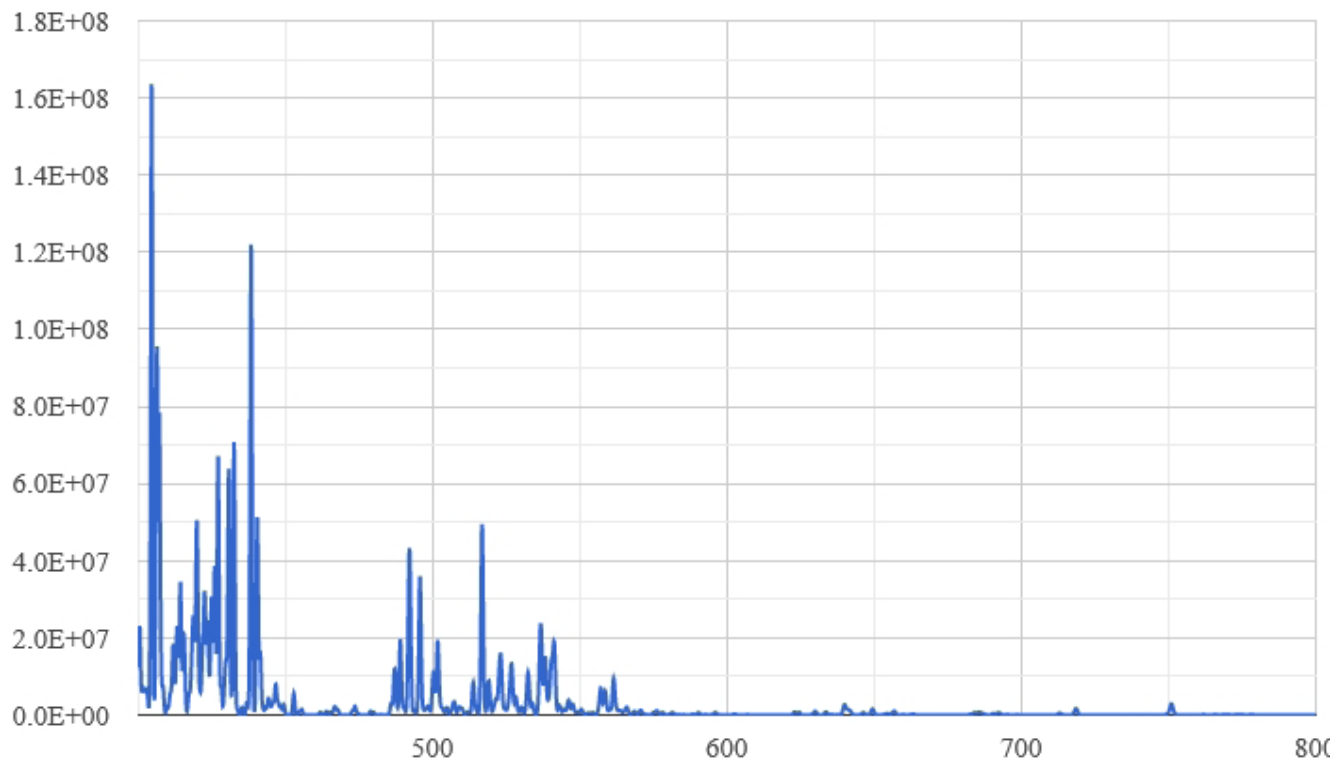


Fig. 25 - Spectre d'émission d'un atome de fer.

(Source : <https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/LIBS/lib-form.html>)