

FRANÇOIS BONIN

LES ONDES SONT PARMIS NOUS

Étude sur les ondes mécaniques et électromagnétiques

Avant-propos

Les ondes sont parmi nous; elles nous entourent et même nous pénètrent. L'étude des ondes est assez complexe vu leur grande diversité, mais les ondes sont intéressantes; certaines sont dangereuses et même destructrices alors que d'autres nous facilitent la vie. Notre intérêt pour elles est suffisant pour que nous recommencions notre étude qui est partie en fumée, lorsque le disque dur de notre ordinateur a brûlé.

Dans cette étude, nous tenterons d'identifier les différentes sortes d'ondes en précisant leur origine, certaines de leurs particularités et les applications que les hommes ont développées grâce à elles.

Notre étude comporte trois parties; tout d'abord, la partie 1 qui porte sur les ondes mécaniques (ondes sismiques, ondes à la surface de l'eau et ondes sonores). Comme vous voyez, ces ondes se propagent dans des milieux différents (terre, eau, atmosphère).

Notre deuxième partie s'attaque aux ondes électromagnétiques qui couvrent un large spectre, allant des ondes radios, qui ont des longueurs d'ondes très grandes, au rayonnement gamma, qui est composé d'ondes extrêmement courtes. En étudiant ces différentes ondes, vous allez constater que les longueurs d'onde sont reliées à la fréquence de ces ondes.

À l'étude du spectre électromagnétique, nous ajoutons une troisième partie qui présente un chapitre sur les ondes cérébrales, un sur les ondes gravitationnelles et un autre sur les ondes radioactives.

Les mesures sont approximatives car les catégories des ondes se recoupent régulièrement; malgré cela, nous pouvons finir par avoir une idée assez précise de leurs caractéristiques.

Sur cela, nous vous souhaitons une bonne lecture, en espérant que nous serons sur la même longueur d'onde.

PARTIE 1

ONDES MÉCANIQUES

CHAPITRE 1.1 : GÉNÉRALITÉS.

Les ondes mécaniques supposent l'existence d'une source de perturbation, d'un milieu déformable et d'un mécanisme de liaison entre les éléments du milieu.

Certaines ondes sont produites par une perturbation périodique; il faut alors tenir compte de la longueur de l'onde ainsi que de sa

fréquence. Les ondes se propagent à une vitesse bien déterminée, vitesse qui dépend surtout des propriétés du milieu.

En secouant brièvement l'extrémité libre d'une corde tendue attachée à un poteau, on crée une onde progressive car la déformation se propage graduellement le long de la corde. La vitesse de l'onde produite est alors liée à la masse de la corde et à sa tension. Tout en étant progressive, cette onde est dite transversale, car tous éléments sur cette corde se déplaceraient perpendiculairement lors du passage de l'onde. D'autres ondes mécaniques sont dites longitudinales, vu que les particules subissent un déplacement qui est parallèle à la direction de l'onde; les ondes sonores sont des ondes longitudinales, ainsi qu'une onde produite par l'étirement et le relâchement d'un ressort. Par contre les vagues à la surface de l'eau sont une combinaison de ces deux types d'ondes.

CHAPITRE 1.2 : LES ONDES SISMIQUES.

A. Origine :

Les ondes sismiques sont associées aux tremblements de terre. Un tremblement de terre est provoqué par la libération soudaine d'une grande quantité d'énergie potentielle, accumulée lentement dans les roches. Les séismes les plus intenses résultent du mouvement brusque de deux plaques tectoniques l'une contre l'autre. Le foyer est le lieu où le séisme prend naissance alors que l'épicentre est l'endroit en surface, à la verticale du foyer, où la secousse est maximale.

L'intensité d'un séisme peut se mesurer d'après ses effets, à l'aide de l'échelle de Mercalli (ou de l'échelle MSK, qui est une version améliorée de l'échelle Mercalli) ou d'après la quantité d'énergie

libérée, à l'aide de l'échelle de Richter. Un sismographe permet de mesurer la durée et l'amplitude des ondes sismiques.

Contrairement à la croyance populaire, l'onde, provoquée par un tremblement de terre, n'entraîne pas la matière avec elle, mais seulement la vibration et l'ondulation que les sismographes enregistrent. Cependant, même si les ondes ne transportent pas de matière, mais bien de l'énergie, elles produisent, lorsqu'elles passent, un déplacement de matière, qui est d'autant plus important que l'amplitude de l'onde est grande.

Un séisme engendre simultanément deux familles d'ondes : des ondes de fond qui voyagent à l'intérieur de la terre et des ondes de surface qui voyagent évidemment à la surface.

B. Caractéristiques :

Les ondes de fond sont des ondes de compression et de cisaillement. Les particules touchées par les ondes de compression se déplacent suivant des effets alternés de compression et de dilatation qui engendrent un changement de volume. Étant donné que le mouvement de va-et-vient de ces ondes se fait suivant la direction de propagation, elles sont dites longitudinales et arrivent en premier sur le sismographe. C'est pour cela qu'on les appelle ondes primaires ou ondes P.

Les ondes P sont analogues à des ondes sonores et elles se transmettent dans tous les milieux et dans tous les matériaux (solides, liquides et gaz). Elles produisent des sons à basse fréquence, perçus comme un bruit sourd inquiétant.

Lorsque nous examinons les ondes de cisaillement, nous constatons que les particules touchées par ces ondes subissent une distorsion; elles changent de forme, mais pas de volume comme c'est le cas

pour les ondes de compression. Étant donné que les ondes de cisaillement vibrent perpendiculairement à la direction de propagation, elles sont dites transversales, mais aussi secondaires vu qu'elles parviennent au sismographe peu de temps après les ondes P; on les note alors S.

Vu que les ondes S modifient la forme des particules par des mouvements de distorsion, elles ne peuvent pas se propager dans les liquides ni dans les gaz, car ces derniers n'ont pas de forme propre, prenant plutôt celle de leur contenant.

Une corde fixée par une de ses extrémités et secouée de bas en haut à l'autre extrémité illustre bien ce type d'onde.

Les ondes de fond (P et S) se propagent à des vitesses qui varient selon la profondeur de l'onde et des matières que ces ondes rencontrent. La vitesse des ondes P, qui est d'environ 10 km/s à une profondeur de 500 km, est de 15 km/s à une profondeur de 3 000 km; cependant, cette vitesse redevient aux alentours de 10 km/s lorsque le foyer est plus profond que 3 000 km. Cela s'explique par le fait que les ondes ne voyagent plus à travers le manteau de la terre mais sont au niveau du noyau de la terre. D'ailleurs les ondes S, cessent de se propager à la profondeur du noyau terrestre alors qu'elles voyagent à environ 8 km/s au niveau du manteau. (Voir la section C pour plus d'information sur la composition de la terre).

Ces variations de vitesse dépendent alors de la densité des milieux rencontrés. Habituellement la vitesse de propagation d'une onde mécanique est d'autant plus rapide que le milieu est dense et cela se vérifie jusqu'à une profondeur de 3 000 km, dans le cas des séismes. Il y a une discontinuité lorsqu'on atteint le noyau de la terre et là, les ondes ont plus de difficultés à se propager, même si la densité est plus grande, car le noyau supérieur serait du liquide, ce qui réduit la

vitesse de la propagation malgré une densité plus forte. Pas toujours facile à comprendre hein.

Les ondes de surface sont des ondes de Love et de Rayleigh.

Les ondes de Love sont analogues aux ondes S, oscillant dans un plan horizontal perpendiculaire à la direction de la propagation; cependant, elles n'ont pas de composante verticale, contrairement aux ondes S. Ces ondes sont aussi appelées ondes L ou longues.

Ces ondes L ont des périodes de 10 s à 20 s avec des longueurs variant de 20 km à 80 km; donc elles sont effectivement très longues et leur vitesse est d'environ 3 km/s. Ayant une grande amplitude, elles peuvent causer des dommages importants, et cela jusqu'à une centaine de kilomètres de l'épicentre.

Les ondes de surface Rayleigh, oscillent dans un plan vertical perpendiculaire à la direction de la propagation, mais avec un mouvement elliptique rétrograde, un peu comme les vagues de l'océan.

Les ondes de surface (Love et Rayleigh) présentent une vitesse de propagation constante et n'apparaissent que lorsque le foyer du séisme ne dépasse pas 100 km de profondeur.

C. Applications :

Les ondes sismiques ont permis aux géologues de sonder l'intérieur de la terre et les spécialistes ont ainsi établi la présence de trois couches principales : la croûte terrestre, le manteau et le noyau. Les ondes ont aussi permis de préciser que le rayon équatorial de la terre est de 6 378 km et le rayon polaire de 6 357 km. Pour obtenir le diamètre, nous multiplions ces distances par deux.

La croûte terrestre a une épaisseur de 5 km à 7 km sous les océans, de 10 km à 35 km sous les plaines continentales et de 50 km à 70 km sous les montagnes.

Le manteau de la terre s'étend de la base de la croûte jusqu'à une profondeur de 2 900 km et constitue plus de 90% du volume de la terre.

À partir de 3 000 km de profondeur, nous parlons du noyau de la terre, dont la partie supérieure est composée de liquide provenant de la fusion des matériaux, tandis que le noyau interne est un composé solide, probablement à base de fer et de nickel.

La tomographie est un procédé analogue à celui utilisé par la scannographie en médecine. La tomographie utilise les ondes sismiques qui proviennent des secousses sismiques, mais peuvent aussi être produites par des émetteurs, comme des sonars.

D. Commentaires :

Malgré que les ondes sismiques soient maintenant mieux connues, elles ont peu d'applications concrètes car l'homme ne choisit pas de les produire mais les subit. La connaissance de ces ondes permet néanmoins d'améliorer la fabrication de nos immeubles et la détection des ondes, grâce aux sismographes, permet de prévenir la population de la catastrophe qui s'en vient.

La fracturation hydraulique des roches, afin de libérer les gaz de schiste, augmenterait le risque de séismes; cette méthode d'extraction d'énergie, qui est fortement contestée par la population malgré que les études ne soient pas complétées, incite les gouvernements à la prudence et parfois à l'interdiction.

CHAPITRE 1.3 : LES ONDES À LA SURFACE DE L'EAU.

A. Origine :

Les ondes les plus courantes sont des ondes progressives et l'énergie se propage à travers le fluide ou à sa surface. Une onde stationnaire peut être considérée comme la somme de deux ondes progressives de même dimension, mais de directions de propagation opposées.

Selon la force qui tend à ramener vers l'équilibre les particules d'eau en mouvement lors d'un passage d'une onde, on peut différencier les ondes suivantes : les ondes capillaires sont dues aux phénomènes de tension superficielle qui agissent sur les particules et dont les longueurs d'onde sont très courtes, environ 1.7 cm. Les ondes de gravité où l'accélération verticale de gravité agit. Ces ondes englobent les ondes créées par le vent, les marées et les tsunamis. Leurs longueurs d'onde s'étendent de quelques cm à plusieurs km.

Les marées sont causées par la force d'attraction gravitationnelle de la lune sur l'eau des océans; le soleil a aussi une influence mais moins forte que celle de la lune, étant donné la distance qui sépare le soleil de la terre. Les vents sont causés par les différences de température et de pressions dans l'atmosphère, et les tsunamis par le déplacement soudain des plaques tectoniques.

Les ondes dites internes correspondent à des ondes qui se propagent entre deux couches d'eau de caractéristiques différentes, alors qu'une onde de surface intéresse exclusivement la frontière entre l'océan et l'atmosphère. Les ondes de surface sont alors occasionnées par le vent ou par une force extérieure qui agit sur le fluide, un bateau par exemple.

Une inondation est une irruption d'eau sur un terrain normalement sec; elles surviennent à la suite de longues périodes de pluie ou lors de la fonte des neiges et des glaces.

Les remontées de nappe surviennent à la suite de la saturation du sol en eau et, par conséquent, lorsqu'il n'est plus en mesure d'absorber de nouvelles quantités d'eau.

Le débordement d'un lac survient lorsque son exutoire présente une capacité d'évacuation, naturelle ou artificielle, limitée et que l'ajout de nouvelle pluie dépasse cette capacité.

Les crues torrentielles sont des écoulements d'eau avec un fort transfert solide qui se produisent dans les torrents et les rivières de montagne; elles peuvent provoquer des dommages importants en obstruant des ponts, en inondant des berges et en transportant des roches et du sable.

Les vagues de la mer entraînent un accroissement de l'amplitude de l'onde lorsqu'elles approchent du rivage; les tsunamis en sont les exemples les plus dramatiques.

Les vagues des rivières sont liées à un obstacle ou à un objet mobile qui les produisent. Elles peuvent aussi dépendre du niveau variable de l'eau et des vents.

B. Caractéristiques :

Les molécules d'eau oscillent de bas en haut et d'avant en arrière au passage d'une vague. Une observation attentive d'une feuille morte à la surface de l'eau montre que cette dernière ne subit pas de déplacement net attribuable à la vague, même si la feuille peut se déplacer en suivant le courant ou propulsée par une bourrasque de vent. C'est l'énergie et non l'eau qui est transportée par les vagues.

La distance entre deux vagues est la longueur d'onde, l'inverse du temps qui s'écoule entre le passage de deux vagues est la fréquence, et la hauteur des vagues est l'amplitude.

Les ondes de gravité, comme les vagues, présentent une grande amplitude à la surface mais cette caractéristique décroît rapidement avec la profondeur.

Les océans et les mers couvrent 71% de la surface du globe et leur profondeur moyenne est de 3 730 m. Les ondes générées par des tsunamis peuvent avoir des longueurs d'onde jusqu'à 200 km, une amplitude de plusieurs mètres et une vitesse jusqu'à 700 km/h.

Le mascaret est une brusque surélévation de l'eau d'un fleuve ou d'un estuaire; il est provoqué par l'onde de marée montante lors des grandes marées.

C. Applications :

Les usines marémotrices tentent de rentabiliser l'énergie des marées et les hydroliennes celle des courants, mais la production électrique est encore très limitée.

Les marées et les vagues sont encore plus dévastatrices que productrices. Les champs des vagues ont une action sur la navigation et sur les installations. S'il est évident qu'une mer forte entrave la progression d'un navire et augmente d'autant sa consommation de carburant, l'impact sur les plates-formes de forage est moins connu. Les vagues peuvent engendrer des phénomènes de résonance mécanique, de certaines structures, susceptibles d'endommager un matériel très coûteux, si les mesures n'ont pas été prises pour en diminuer les effets.

D. Commentaires :

Les ondes transportées par les vagues ne sont pas très exploitées par l'homme, qui est encore à l'étape de s'en protéger; peut-être un jour, trouvera-t-il le moyen d'en profiter. Pour l'heure, les vagues sont plus un coût pour la société, même si les amateurs de surf les recherchent activement.

CHAPITRE 1.4 : LES ONDES SONORES.

A. Origine :

Les ondes sonores constituent l'exemple le plus important d'ondes longitudinales, les particules subissant un déplacement parallèle à la direction de propagation de l'onde.

Les ondes audibles sont perceptibles par l'oreille humaine et les fréquences se situent entre 20 Hz et 20 000 Hz.

Les ondes infrasoniques, les ondes sismiques par exemple, sont des ondes longitudinales dont la fréquence est inférieure à celle des ondes audibles, alors que les ondes ultrasoniques ont des fréquences supérieures aux ondes audibles.

B. Caractéristiques :

La vitesse de propagation des ondes sonores dépend de la compressibilité du milieu. Le son se déplace à la vitesse de 343 m/s dans l'air, de 1 500 m/s dans l'eau et de 5 100 m/s dans l'aluminium; de cela, on peut déduire que la vitesse du son augmente avec la diminution de compressibilité du milieu; le gaz est plus compressible que le liquide qui, à son tour, est plus compressible que le solide. C'est dans le solide qu'il y a moins de compressibilité et que la vitesse est plus grande.

Le son ne se propage pas dans l'espace car il n'y a pas de molécules qui permettent sa transmission, étant donné que c'est le vide

sidéral. Les matériaux inégaux et mous sont ceux qui insonorisent le mieux.

La hauteur du son est liée à la longueur d'onde et à la fréquence, le volume est lié à l'amplitude et le timbre est la qualité spécifique du son de l'instrument.

La fréquence des sons semble varier en fonction du mouvement relatif entre la source du son et l'observateur. Ainsi, lorsque la source du son se rapproche de l'observateur, disons une ambulance qui s'approche, la fréquence du son perçue par l'observateur sera plus élevée que la fréquence réelle de la source. À contrario, lorsque la source s'éloigne de l'observateur, celui-ci perçoit une fréquence plus basse que la fréquence réelle. C'est ce que nous appelons l'effet Doppler. Cet effet est surtout manifeste avec les ondes sonores, mais il est aussi présent avec les ondes électromagnétiques. Les sons graves s'entendent à une plus grande distance que les sons aigus.

Les ondes de choc se produisent lorsque la vitesse de la source (balle de fusil, avion, etc.) est supérieure à la vitesse du son ; l'onde de choc transporte une quantité considérable d'énergie et un avion supersonique volant à basse altitude peut endommager les constructions.

L'entrée dans l'atmosphère de météorites provoque des ondes de choc qu'il est cependant très difficile de mesurer, car les ondes dépendent de la vitesse, masse, forme et de la composition de la météorite; en outre, il faut tenir compte du milieu dans lequel elles tombent et de leur direction de chute (verticale, oblique, etc.).

C. Applications :

Les ondes ultrasoniques peuvent être produites par les vibrations d'un cristal de quartz, auquel on applique un champ électrique

alternatif. Les chauves-souris émettent, par leurs cris, des ultrasons qui se réverbèrent sur les objets et leur sont ainsi renvoyés, ce qui permet aux chauves-souris de situer l'objet ou l'obstacle et ainsi l'éviter.

Au niveau musical, la note la_3 est associée à une fréquence de 440 Hz alors que le do_3 a une fréquence de 262 Hz et présente alors un son plus grave. La fréquence, ou la note, d'un instrument à cordes peut être modifiée en faisant varier la tension de la corde ou bien sa longueur. À mesure que la tension de la corde augmente, la fréquence des modes normaux s'accroît. Le musicien peut aussi faire varier la note en déplaçant ses doigts le long du manche, modifiant ainsi la longueur de la portion vibrante de la corde; plus cette portion vibrante est courte, plus la note est aiguë.

L'échographie consiste à examiner un organe ou un fœtus à l'aide d'ultrasons, qui sont plus ou moins bien réfléchis par les divers tissus.

D. Commentaires :

Nous sommes familiers avec les sons, mais vu qu'ils sont très nombreux et varient en fonction de plusieurs paramètres, leur étude est presque infinie. Chaque animal produit un son qui lui est propre et l'homme a aussi inventé de nombreux instruments que les musiciens d'aujourd'hui utilisent pour produire une infinité de sons et de musiques.

PARTIE 2

ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

CHAPITRE 2.1 : GÉNÉRALITÉS.

Nous donnons ici des explications sur la nature des ondes électromagnétiques. Ces informations sont valables pour toutes les catégories de ces ondes.

Une onde électromagnétique est une combinaison d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui se propage à la vitesse de la lumière. Ces champs oscillent perpendiculairement entre eux et perpendiculairement aussi à la direction de propagation de l'onde; les ondes électromagnétiques sont donc transversales.

Les champs sont invisibles mais leurs effets sont perceptibles. Par exemple, un aimant génère un champ magnétique; on le voit bien lorsqu'un aimant attire un objet métallique. De même une charge électrique engendre un champ électrique; toute autre charge passant à proximité en sentira les effets et se déplacera suivant les lignes de ce champ.

Le photon est l'élément fondamental de ces ondes; il provient de l'électron qui gravite à l'entour du noyau d'un atome. Lorsqu'un électron est excité par une source quelconque d'énergie, il grimpe sur une orbitale supérieure à celle qu'il avait avant d'être stimulé. L'électron excité a cependant tendance à reprendre rapidement sa place habituelle et, en revenant sur la couche inférieure, il émet un photon, qui est une particule sans masse et sans charge électrique.

Toute charge électrique, qui est accélérée, émet aussi de la lumière. Le courant électrique est un déplacement d'électrons, de proche en proche, dans un matériau conducteur.

Le type d'onde émis dépendra à la fois de l'atome concerné et des couches de départ et d'arrivée de l'électron. Le type d'onde est caractérisé par sa fréquence (f) et sa longueur d'onde (λ). La

fréquence, identifiée par les hertz (Hz), est le nombre d'oscillations par seconde. La longueur d'onde est la distance entre deux éléments répétés d'une onde et elle est inscrite en mètres (m). Ces deux caractéristiques sont interdépendantes car la fréquence d'une onde est liée à sa longueur d'onde. La formule est la suivante : $f = c/\lambda$. Le c est la vitesse de la lumière qui équivaut à 300 000 km/s, si nous arrondissons. Cette vitesse vaut aussi pour toutes les ondes électromagnétiques qui voyagent dans le vide.

Nous allons voir que pour chacune des catégories des ondes électromagnétiques, les fréquences augmentent lorsque les longueurs d'onde se réduisent.

Les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie et, au cours de leur propagation dans l'espace, elles peuvent en transférer une partie aux objets qu'elles rencontrent sur leur parcours.

La fréquence (f) est essentielle à connaître pour quantifier l'énergie du photon, donc du rayonnement électromagnétique. La formule est $E = hf$ où E est l'énergie du photon mesurée habituellement en joules (J) et où h est la constante de Planck qui égale $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s.

L'intensité d'une onde électromagnétique est égale à la valeur moyenne de la densité d'énergie multipliée par la vitesse de la lumière. En plus de l'énergie, les ondes possèdent une quantité de mouvement mesurée par la pression de leur radiation sur une surface. Le soleil transmet une puissance d'environ 1 KW/m^2 à la surface de la terre.

Les ondes électromagnétiques provenant de l'espace n'atteignent pas toutes la terre, car notre atmosphère nous protège de certains rayons. Les longueurs d'ondes comprises entre 300 nm et 1 000 nm sont perceptibles et correspondent à la lumière visible, ainsi qu'à

un peu d'ultraviolet et d'infrarouge. En outre les ondes dites radio, entre 1 cm et 20 m de longueur d'onde, sont aussi captées de la terre.

CHAPITRE 2.2 : LES ONDES RADIOS.

A. Origine :

Le ciel entier fourmille d'objets émettant des ondes radios : quasars, pulsars, galaxie, étoiles, etc. Les ondes radios, en plus de provenir de l'espace, peuvent être produites par l'homme lorsqu'il accélère les charges électriques dans des circuits électriques. Chaque fois qu'un fil est parcouru par un courant variable dans le temps, il émet un rayonnement électromagnétique. C'est ce phénomène qui permet l'émission des ondes produites par l'antenne d'une station de radio. En fait, c'est l'oscillation continue (et donc l'accélération) des charges dans la structure de l'antenne qui produit ces ondes.

Les ondes radios sont des ondes électromagnétiques qui doivent être transformées en son pour que nous puissions les entendre.

Les ondes radios diffusées par l'ionosphère permettent la diffusion de ces ondes sur de très grandes distances.

B. Caractéristiques :

Les ondes radios sont les plus longues du spectre électromagnétique. Le λ va de 30 cm jusqu'à 1 000 km; évidemment les fréquences des ondes radios sont alors petites comparées aux autres et elles vont de 300 Hz à 1 GHz. Vu ses fréquences limitées, ces ondes ne sont pas dangereuses pour l'humain; elles ne peuvent briser les liaisons dans les molécules ni perturber l'ADN. Une onde radio de fréquence 2,5 MHz est presque indétectable car l'énergie de son photon n'est que de 10^{-8} eV. Il faut environ 10^{10} de ces photons pour qu'un récepteur radio sensible puisse détecter le signal.

C. Applications :

Ces ondes sont à la base de la radio, de la télévision et du radar, même si la catégorie suivante, les ondes micro-ondes, est aussi utilisée pour ces applications. Radar est l'acronyme de Radio Detecting And Ranging (détection et télémétrie par radioélectricité).

Lorsqu'un émetteur veut transmettre un son, il module l'onde porteuse. Le récepteur capte l'onde modulée et en fait ressortir le son original. Dans le cas de la radio AM, c'est l'amplitude qui varie alors que pour les récepteurs FM, c'est la fréquence. En fait, la radio fonctionne grâce à la transmission d'ondes électromagnétiques inaudibles et non d'ondes sonores, qui sont des ondes mécaniques.

Les radiotélescopes sont efficaces pour capter les ondes radios qui viennent de l'espace et qui traversent facilement notre atmosphère.

Étant donné que certaines catégories d'ondes ne peuvent traverser notre atmosphère, l'homme a inventé des machines pour les capter à partir de l'espace. Plusieurs satellites de différents pays ont des vocations astronomiques et captent des rayons ultraviolets, infrarouges, X et gamma afin de bien les étudier.

D. Commentaires :

Les ondes radios sont très utiles à l'homme, surtout au niveau des communications, et les risques que ces ondes soulèvent sont à peu près inexistantes vu leurs faibles fréquences.

CHAPITRE 2.3 : LES ONDES MICRO-ONDES.

A. Origine :

Les micro-ondes sont en quelque sorte des ondes radios de courtes longueurs d'onde; l'homme est aussi capable d'en produire dans des circuits électriques.

Même si ces ondes ne brisent pas les molécules du vivant, elles peuvent causer certains problèmes en raison de l'échauffement des tissus que ces ondes provoquent.

En astronomie, on dit que la lumière visible des débuts de l'univers subsiste toujours mais sous la forme d'un rayonnement de l'ordre des micro-ondes, vu que ce rayonnement, qui était très chaud au début de l'univers, ne serait plus que de -270.425 °C ou, sur l'échelle absolue en degré Kelvin, de 2.725 °K .

B. Caractéristiques :

Ces ondes étant plus courtes que les ondes radios, leur λ couvre la plage de 1 mm à 30 cm. Leur λ étant plus court que celui des ondes radios, les fréquences sont alors plus grandes et vont de 1 GHz à 300 GHz.

C. Applications :

Une des applications les plus populaires est évidemment nos fameux fours à micro-ondes qui, grâce à un magnétron produisant des ondes électromagnétiques, cuisent nos aliments en réchauffant les molécules d'eau contenues à l'intérieur de ces mets. Malgré cela, ces fours ne sont pas très rapides pour faire bouillir de grandes quantités d'eau.

À cause de leur courte longueur d'onde, elles conviennent bien aux systèmes de radar utilisés pour la navigation aérienne. En outre, ces ondes sont utilisées pour le Wi-Fi, le Bluetooth et le RFID.

Le Wi-Fi est un ensemble de protocole de communication sans fils régi par les normes IEEE 802.11. Ce système permet de relier, par ondes radios, micro-ondes, plusieurs appareils informatiques, afin qu'ils puissent échanger des données. Le Wi-Fi, ainsi que le Bluetooth et la technique RFID utilisent principalement la bande de fréquence dite Industrielle, Scientifique et Médicale, ISM, qui se situe entre 2,4 GHz et 2,4835 GHz.

Le Bluetooth est une technologie de réseau personnel sans fils d'une faible portée, environ 10 m, alors que RFID a une portée encore plus courte. Le RFID (Radio Frequency Identification Device) est un système d'identification des objets. Les cartes à puce qui ont le Pay Pass sont de cette nature. En fait, que ce soit sur une carte ou sur un vêtement, l'étiquette RFID contient une puce qui est reliée à une minuscule antenne. Les données emmagasinées dans la puce sont transmises par un réseau sans fils à partir de l'antenne de l'étiquette à un appareil lecteur qui est sur la même fréquence que l'étiquette. L'étiquette émet des ondes radios, micro-ondes, et la gamme varie de 125 KHz pour les basses fréquences (radios) à 2,45 GHz pour les super hautes fréquences (micro-ondes).

D. Commentaires :

La plupart de sites internet font référence aux fours à micro-ondes lorsqu'on lance une requête, alors que les ondes micro-ondes sont aussi utilisées énormément en communication.

CHAPITRE 2.4 : LES RAYONS INFRAROUGES.

A. Origine :

L'infrarouge est le rayonnement associé à la chaleur; ce rayonnement se confond avec l'extrémité rouge de la lumière. En fait, les ondes infrarouges sont produites par des corps ou objets chauds. La température la plus froide est -273°C ou 0°kelvin . Tout

corps, dont la température est plus élevée que $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$, émet des rayonnements infrarouges; évidemment plus la température est élevée, plus le rayonnement est fort. La chaleur n'est pas une substance, mais une forme d'énergie qui se manifeste par l'agitation des atomes ou des molécules, alors que la température est la mesure de cette agitation.

Les corps chauds émettent de la lumière dont la couleur (ou la longueur d'onde) varie avec la température. Ces rayonnements ne sont pas nécessairement visibles pour nous. Ainsi notre propre corps, qui présente une température moyenne de $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ou $310\text{ }^{\circ}\text{K}$) émet de la lumière infrarouge invisible. Le même rayonnement est produit par tous les objets qui nous entourent et qui sont à la température ambiante. Ce n'est qu'à partir d'une certaine température que les objets commencent à émettre de la lumière visible, en commençant par le rouge pour des températures de plusieurs centaines de Kelvins, puis allant vers l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, etc., pour des températures de plusieurs milliers de Kelvins.

En général, le rayonnement infrarouge n'est pas dangereux pour l'être humain; cependant, vu que c'est une manifestation de la chaleur, un rayonnement très puissant impliquerait une grande quantité de chaleur et, alors, il pourrait causer des brûlures.

B. Caractéristiques :

Les longueurs d'onde (λ) sont plus courtes que celles des micro-ondes et utilisent une plage de 700 nm à 1 mm . Leurs fréquences sont évidemment plus rapides et sont de 300 GHz à $4,3 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$.

C. Applications :

Les caméras à infrarouge permettent de percevoir les mouvements des êtres vivants la nuit, simplement en détectant leur chaleur. Les

ondes de fréquence de 10^{12} Hz peuvent traverser plusieurs matériaux, mais heureusement sans pénétrer dans le corps humain; elles sont utilisées pour détecter le contenu des colis dans les aéroports ou en chirurgie dentaire afin de voir une dent en trois dimensions, etc.

L'élément chauffant d'une cuisinière fonctionne sur le principe de la conversion du courant électrique en chaleur.

Les masers (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) sont surtout utilisés dans les radars et autres radiotélescopes, c'est-à-dire dans les situations où les récepteurs radios doivent être réglés sur une fréquence extrêmement précise. Ils sont moins utilisés que les lasers, car ils sont trop chers à construire et trop difficiles à faire fonctionner. Il y a aussi des télescopes qui étudient l'univers dans le registre des ondes infrarouges.

D. Commentaires :

Les rayons infrarouges ne sont pas visibles pour les êtres humains que nous sommes et heureusement, ils ne nous sont pas nuisibles en général.

CHAPITRE 2.5 : LA LUMIÈRE VISIBLE.

A. Origine :

La lumière visible est la seule onde électromagnétique perceptible par l'œil humain. Elle est émise par des objets chauds tels le soleil, le feu, le filament d'une ampoule, etc. Comme pour les autres ondes électromagnétiques, c'est le photon qui est la particule active.

B. Caractéristiques :

Les longueurs d'onde de la lumière visible varient de 400 nm à 700 nm et leurs fréquences de $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz à $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz. Cette bande de fréquences n'est pas très large, si nous la comparons à celle du rayonnement infrarouge ainsi qu'aux ondes qui vont suivre.

La lumière visible, blanche, se décompose principalement à partir d'un prisme, en lumière rouge, orange, jaune, verte, bleue, indigo et violette. Un arc-en-ciel est formé par une réflexion partielle de la lumière à l'intérieur des gouttes d'eau.

La vitesse de la lumière est de 300 000 km/s dans le vide et la propagation se fait en ligne droite, à moins que la gravitation dévie le rayon. Sa vitesse est un peu moindre dans l'air et encore plus petite dans l'eau. En outre un rayon lumineux peut être dispersé, s'il traverse une ouverture plus petite que sa longueur d'onde.

Lorsque la lumière traverse la matière, elle interagit avec elle et cette interaction dépend de la fréquence de vibration, donc de la couleur. Les rayons de couleur se propagent à des vitesses différentes dans la matière, alors que dans le vide, ces rayons se déplacent tous à la même vitesse.

La lumière peut être déviée, dispersée, réfléchie, réfractée et aussi absorbée. La réflexion est le changement de direction de la lumière qui se produit à la surface de tous les objets éclairés, alors que la réfraction est le changement de direction de la lumière passant d'un milieu à un autre. La diffusion est l'éparpillement de la lumière par des minuscules particules.

Tous les objets, que l'on voit, qui n'émettent pas de lumière par eux-mêmes, réfléchissent la lumière qui provient d'une autre source.

L'intensité lumineuse diminue à mesure qu'augmente sa pénétration dans un milieu et aussi en fonction de la densité du milieu. Dans l'air, l'absorption est très faible et la lumière peut se propager sur de longues distances; cependant l'absorption par certains liquides et solides est très grande et la lumière ne peut aller très loin.

La lumière jaune transporte environ 2.45 eV d'énergie. Cette mesure provient de la formule $E = hf$. La longueur d'onde de cette énergie est de 500 nm et la fréquence est de 6.10^{14} Hz.

La lumière transporte de l'énergie électromagnétique, c'est pourquoi lorsque la lumière éclaire un objet, elle le chauffe directement, sans intermédiaire.

C. Applications :

La lumière visible nous permet de voir le monde qui nous entoure et alors d'entrer en relation avec tous les objets qu'il contient.

La fibre optique provoque très peu de pertes d'intensité lumineuse et permet ainsi le transport de la lumière sur de longues distances; elles sont très utilisées en télécommunications car elles transportent une quantité d'information beaucoup plus grande que les fils électriques. Dans les fils électriques, ce sont des électrons qui se déplacent alors que dans la fibre optique, ce sont des photons qui sont utilisés.

Les lasers (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) sont omniprésents dans nos vies. Ils sont utilisés pour la recherche, la médecine, les télécommunications. C'est aussi un laser qui lit nos disques compacts.

D. Commentaires :

La lumière, que nous apporte le soleil, est essentielle à la vie et source de nombreuses énergies. La vision est le sens le plus développé chez les êtres humains.

CHAPITRE 2.6 : LE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET.

A. Origine :

Le rayonnement ultraviolet se confond avec l'extrémité violette de la lumière visible. Il est émis par des gaz hautement excités à des températures qui vont de 10 000 °C à 100 000 °C. Le soleil est une importante source de ce rayonnement.

B. Caractéristiques :

Les longueurs d'onde vont de 60 nm à 400 nm et leurs fréquences de $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz à $5 \cdot 10^{15}$ Hz.

Par la couche d'ozone, l'atmosphère absorbe une grande partie des rayons ultraviolets venant du soleil et de l'univers. La partie des UV, qui réussit à transpercer l'atmosphère, est responsable du bronzage. Les rayons UV sont des rayons ionisants, c'est-à-dire, qu'ils peuvent modifier des atomes en leur enlevant des électrons et ils sont considérés comme étant dangereux pour l'humain. Les rayons UV sont classés en A, B, C en fonction de leur fréquence. Seuls les rayons A et une partie des rayons B (responsables du bronzage) passent à travers la couche d'ozone et peuvent nous atteindre. Par contre, ces rayons qui font bronzer la peau ne traversent pas le verre.

C. Applications :

La fluorescence est la conversion de la lumière ultraviolette en lumière visible; voici comment cela fonctionne. On sait qu'un atome excité après l'absorption d'un photon peut revenir à son état

fondamental en passant par des états intermédiaires. Les énergies et les fréquences des photons émis sont alors inférieures à celles du photon absorbé et les photons deviennent visibles.

Un matériau fluorescent émet de la lumière visible seulement lorsqu'il est bombardé par des photons ultraviolets; dans ces matériaux, l'atome excité revient très rapidement à son état normal et il faut le bombarder encore et encore pour qu'il continue à émettre de la lumière visible.

Par contre, dans les matériaux phosphorescents, l'atome bombardé, par des photons ultraviolets, peut demeurer excité plusieurs heures avant de revenir à son niveau normal en émettant un photon visible. Ainsi les objets phosphorescents, illuminés dans la journée, peuvent ressortir lumineux la nuit lorsqu'ils reviennent à leur niveau originel. Les aiguilles de nos anciens cadrans étaient recouvertes d'une peinture phosphorescente.

Les rayons UV, en grande quantité, sont dangereux pour nos yeux et notre peau; par contre, ils sont utiles, en petite quantité, vu qu'ils participent aussi à la synthèse de la vitamine D.

Les rayons ultraviolets sont utilisés en alimentation pour faciliter la conservation des aliments. Des lampes au mercure ont été spécialement mises au point pour l'émission des longueurs d'ondes les plus germicides, soit celles de 260 nm à 270 nm. Le principal inconvénient des radiations ultraviolettes est leur faible pouvoir de pénétration dans les aliments. Leur efficacité germicide est ainsi limitée, le plus souvent, à la flore de surface.

D. Commentaires :

Les rayons ultraviolets sont dangereux pour l'homme, s'il s'y expose trop longtemps.

CHAPITRE 2.7 : LES RAYONS X.

A. Origine :

Dans les objets stellaires, les rayons X sont produits par des gaz excités, dont la température varie de 1 million à 100 millions de °C.

L'homme a trouvé le moyen d'en produire aussi en faisant entrer des électrons en collision avec des surfaces métalliques; la décélération brutale des électrons très énergétiques produit alors les fameux rayons X.

B. Caractéristiques :

Le λ de ces rayons s'étend de 10^{-12} m à 10^{-8} m et leurs fréquences varient entre 10^{16} Hz et 10^{21} Hz. Les rayons X sont plus dangereux que les rayons ultraviolets car ils sont plus petits et de fréquences plus grandes.

C. Applications :

Les rayons X sont très utilisés en médecine et cela depuis déjà plusieurs décennies. Les rayons X traversent facilement les cavités de l'organisme contenant de l'air, ainsi que les tissus mous, mais ils sont arrêtés par les dents, les os et les métaux.

Malgré cette grande utilisation pour la détection des fractures, il ressort aujourd'hui que ces rayons ne sont pas les plus efficaces pour lutter contre le cancer. En effet, les photons des rayons X utilisés en radiothérapie conventionnelle ont le défaut de perdre une grande partie de leur énergie tout au long de leur parcours à l'intérieur des tissus; ils endommagent donc les tissus sains avant d'atteindre leur cible, si celle-ci est située à une certaine profondeur dans l'organisme. En outre, vu qu'ils sont ionisants, les techniciens

qui utilisent régulièrement ces rayons doivent s'en protéger au moment de la prise des radiographies.

Par contre, la thérapie hadronique qui utilise des protons, au lieu des photons, est plus efficace et endommage moins les tissus sains. Lorsqu'on utilise les électrons, au lieu des protons, ce n'est pas efficace pour les tumeurs profondes, vu que les électrons perdent pratiquement toute leur énergie à la surface des tissus.

On utilise aussi ces rayons pour étudier les structures cristallines, car leurs longueurs d'onde sont comparables aux distances qui séparent les atomes d'un solide, environ 0.1 nm.

Le scanner ou tomodensitomètre a été inventé en 1972; il utilise les rayons X ou la résonance magnétique des atomes d'hydrogène des molécules d'eau du corps pour construire une image numérisée par ordinateur.

D. Commentaires :

Comme vous le voyez, la dangerosité des rayons augmente avec l'augmentation de fréquence des différents rayons électromagnétiques.

CHAPITRE 2.8 : LES RAYONS GAMMA.

A. Origine :

Les rayons gamma (γ) sont produits par les réactions nucléaires ayant lieu dans les étoiles; ils sont aussi émis par les noyaux des atomes radioactifs; donc on pourrait aussi les classer dans la catégorie des ondes radioactives.

B. Caractéristiques :

La longueur d'onde de ces rayons varie de 10^{-15} m à 10^{-10} m et leurs fréquences entre 10^{19} Hz et 10^{23} Hz. Comme il a été dit auparavant, les catégories ne sont pas exclusives et il y a parfois des chevauchements; un des plus importants chevauchements est la longueur d'onde des rayons gamma qui empiète sur celle des rayons X.

C. Applications :

Les rayons gamma sont encore plus dangereux et plus ionisants que les rayons X. Les rayons γ sont actuellement très utilisés dans la conservation alimentaire; ces rayons sont émis par la désintégration radioactive d'isotopes artificiels, tels que le cobalt 60 ou le césium 137. Alors que les rayons ultraviolets n'agissent qu'en surface, vu leur faible pouvoir, les rayons γ peuvent agir efficacement sur la plupart des produits alimentaires d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Comme pour toutes ondes, le pouvoir décroît avec la profondeur parcourue dans le produit.

D. Commentaires :

Ces rayons sont extrêmement dangereux pour l'homme qui doit s'en protéger ou ne les utiliser qu'à très faible dose.

Tableau des ondes électromagnétiques

Rayonnement	Longueur (λ)	Fréquence (f)	Énergie (eV)
Radio	30 cm à 1 000 km	300 H à 1 GHz	10^{-7} à 10^{-4}
Micro-ondes	1 mm à 30 cm	1 GHz à 300 GHz	10^{-4} à 10^{-3}
Infrarouge	700 nm à 1	300 GHz à $4,3 \cdot 10^{14}$	10^{-3} à 1

	mm	Hz	
Visible	400 nm à 700 nm	$4,3 \cdot 10^{14}$ Hz à $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz	1 à 10
Ultraviolet	60 nm à 400 nm	$7,5 \cdot 10^{14}$ Hz à $5 \cdot 10^{15}$ Hz	10 à 10^2
Rayons X	10^{-12} m à 10^{-8} m	10^{16} Hz à 10^{21} Hz	10^2 à 10^5
Rayon gamma	10^{-15} m à 10^{-10} m	10^{19} Hz à 10^{23} Hz	10^5 et plus

PARTIE 3

ONDES PARTICULIÈRES

CHAPITRE 3.1 : LES ONDES CÉRÉBRALES.

A. Origine :

Les ondes cérébrales sont des oscillations électromagnétiques de très faible amplitude et d'une énergie de l'ordre du microvolt, donc aussi très faible.

B. Caractéristiques :

Les caractéristiques de ces ondes dépendent de l'état psychologique et, le cas échéant, pathologique de la personne chez qui on les enregistre.

Les ondes Delta, dont les fréquences ne dépassent pas 4 Hz, sont normales chez le jeune enfant et peuvent aussi indiquer des lésions

cérébrales chez l'adulte. Elles sont présentes pendant la phase du sommeil profond.

Les ondes Thêta, entre 4 Hz et 8 Hz sont caractéristiques de l'état de somnolence, d'hypnose et semblent apparaître aussi lors du processus de mémorisation.

Les ondes Alpha, entre 8 Hz et 12 Hz, sont principalement émises lorsque la personne a les yeux fermés et est au repos, sans endormissement.

Les ondes Beta, entre 12 Hz et 40 Hz, correspondent à des périodes d'activités intenses, à de fortes concentrations ou de grandes anxiétés. C'est aussi pendant cette phase que l'on détecte le sommeil paradoxal qui est la période où l'on rêve. Ces ondes sont parfois aussi nommées Gamma, lorsque les fréquences se situent entre 25 Hz et 40 Hz.

Donc les fréquences des ondes cérébrales oscillent entre 2-3 Hz et environ 40Hz; les longueurs d'ondes sont très longues et vont de 10 Mm à 100 Mm, en vous rappelant que 1 Mm = 1 000 000 m.

C. Applications :

L'électro-encéphalographie est une technique permettant de recueillir, d'amplifier et d'enregistrer l'activité des champs électriques des neurones du cerveau. Cette technique permet de constater les modifications des divers types d'ondes cérébrales (delta, thêta, alpha et bêta) causées par les excitations sensorielles, l'activité mentale, le sommeil ou certaines maladies cérébrales, telles que l'épilepsie.

Certaines techniques de biofeedback visent la détente et la diminution du stress par la production des ondes Alpha et Thêta.

Le traitement neurologique des mots du langage est spécifique au cerveau de chaque individu. Une équipe de chercheurs a élaboré un test d'identification grâce auquel un ordinateur est capable de reconnaître un individu en détectant les ondes cérébrales correspondant au mot qu'il vient de lire; on n'arrête pas le progrès.

D. Commentaires :

La propagation de l'énergie électrique du cerveau est aussi dépendante des neurotransmetteurs qui, eux, sont de nature chimique.

CHAPITRE 3.2 : LES ONDES GRAVITATIONNELLES.

A. Origine :

La force gravitationnelle est la seule force pour laquelle on n'a pas encore trouvé de particule porteuse. Si un jour, on découvre la présence des ondes gravitationnelles, on prouverait alors aussi l'existence des gravitons.

Einstein a montré que la relativité générale autorise les ondes gravitationnelles (des ondulations dans la courbure de l'espace-temps qui se manifesteraient par de brèves oscillations de la force gravitationnelle causées par leur passage). Ces ondes seraient générées par des sources gravitationnelles en accélération.

B. Caractéristiques :

Les scientifiques sont encore à la recherche de ces ondes qui seraient très grandes et, évidemment, de faibles énergies.

C. Applications :

La gravitation est une force importante et elle nous permet de comprendre la différence entre masse et poids d'un objet. La masse

d'un objet est reliée à sa composition et elle est la même dans l'univers, alors que le poids d'un objet change selon l'attraction gravitationnelle à laquelle cette masse est soumise. Un objet sur la terre est plus lourd que s'il était sur la lune.

D. Commentaires :

La découverte des ondes gravitationnelles serait un argument supplémentaire en faveur de la théorie du Big Bang.

CHAPITRE 3.3 : LES ONDES RADIOACTIVES.

A. Origine :

La radioactivité est la résultante de la désintégration des particules élémentaires du noyau de l'atome. C'est la force faible qui en est responsable et cette force est portée par trois bosons : les bosons W^+ et W^- ainsi que le boson Z qui est neutre.

La radioactivité beta (β) vient d'une émission d'électrons, alors que la radioactivité alpha (α) provient d'une émission de noyaux d'hélium.

Il y a plusieurs sources de radiation. Le Radon est un gaz radioactif produit par la trace d'uranium présente dans certaines roches, comme le granit. Les rayons cosmiques sont également une source notable d'irradiation naturelle, d'autant plus forte que l'on est en altitude; au niveau de la mer et sous des altitudes moyennes, la dose n'est que de 0.3 mSv/an.

10% de l'irradiation reçue par une personne provient de son propre corps, principalement du fait de la désintégration du Carbone 14 et du Potassium 40, éléments présents dans nos os. La dose ne dépasse pas 0.2 mSv/an.

Les travailleurs des mines et ceux des centrales nucléaires sont exposés à plus de radiations et la médecine utilise aussi les rayons radioactifs en radiothérapie, en fluoroscopie et surtout par les scanners.

B. Caractéristiques :

Le Gray est la mesure utilisée pour exprimer les irradiations en radiothérapie. $1 \text{ Gray} = 100 \text{ Rad}$.

Le Sivert (Sv) est utilisé pour mesurer les effets d'une irradiation sur un organisme; cette mesure tient compte de la dangerosité relative des différents rayons (α, β) ainsi que de la sensibilité relative des différents tissus.

Le Becquerel (Bq) mesure l'activité d'une source radioactive, en comptant le nombre de désintégration par seconde.

Les rayons γ sont des ondes radioactives, de type α . La différence d'énergie interne entre un proton et un neutron est de 1.3 MeV.

Les protons sont stables alors que les neutrons sont radioactifs tant qu'ils ne sont pas liés à l'intérieur d'un noyau; leur nombre est divisé par deux tous les quarts d'heure, lorsqu'ils sont radioactifs.

C. Applications :

La scintigraphie est une technique qui permet d'observer des organes à l'aide de substances radioactives. La mammographie qui permet la détection des tumeurs au sein fut inventée en 1965, soit quatre ans plus tard que la scintigraphie.

D. Commentaires :

La puissance de la désintégration du noyau d'un atome est énorme et cette technique est utilisée dans les centrales nucléaires qui produisent énormément d'énergie, mais qui nous laissent aussi des

déchets dangereux, dont l'homme n'a pas encore réussi à se débarrasser.

CONCLUSION

Au départ nous voulions faire connaître les différentes sortes d'ondes ainsi que leurs applications. Malheureusement nous avons perdu beaucoup d'informations lors de la destruction de la première version de cette étude. Nous avons alors décidé de recommencer l'étude, mais de mettre l'accent sur la description des ondes plutôt que sur leurs applications. Malgré cela, nous espérons que cette petite synthèse vous a été instructive et facile à lire.

BIBLIOGRAPHIE

- Allègre, Claude. Un peu de science pour tout le monde. Fayard, 2003.
- Benkirane, Réda. La complexité, vertiges et promesses. Le Pommier, 2006.
- Cohen, Laurent. Pourquoi les filles sont si bonnes en maths. Odile Jacob, 2013.
- Gagnon, Pauline. Qu'est-ce que le boson de Higgs mange en hiver. MultiMondes, 2015.
- Gilmore, Robert. Alice au pays des quanta. Le Pommier, 2006.
- Lacasse, Denise. Introduction à la microbiologie alimentaire. Saint-Martin, 1995.

- Landry, Bruno et Mercier, Michel. Notion de géologie. Modulo Éditeur, 1984.
- Morissette, Gaétan. Astronomie, premier contact. Le Griffon d'argile, 2003.
- Parsons Paul. Einstein en 3 minutes. Hurtubise, 2012.
- Perdijon, Jean. La matière noire. Désiris, 2015.
- Quéva, Régine. La science est un jeu. Libro, 2007.
- Rosmorduc, Jean et L'Elchat, Dominique. 25 mots de la culture scientifique. Maxi-livres, 2004.
- Serway, Raymond. Optique et physique moderne. Études Vivantes, 1992.
- Thouin, Marcel. Notions de culture scientifique et technologique. MultiMondes, 2001.
- Thouin, Marcel. Tester et enrichir sa culture scientifique et technologique. MultiMondes, 2008.
- Xuan Thuan, Trinh. Le chaos et l'harmonie. Folio, essais, 1998.
- Xuan Thuan, Trinh. Les voies de la lumière. Folio, essais, 2007.

SITES INTERNET

Nous avons consultés de nombreux sites mais nous avons décidé de ne pas les préciser vu leur grand nombre.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos.....	2
Partie 1 : Ondes mécaniques.....	3
-Chapitre 1.1 : Généralités.....	3
-Chapitre 1.2 : Les ondes sismiques.....	4
-Chapitre 1.3 : Les ondes à la surface de l'eau.....	8
-Chapitre 1.4 : Les ondes sonores.....	11

Partie 2 : Ondes électromagnétiques.....	14
-Chapitre 2.1 : Généralités.....	14
-Chapitre 2.2 : Les ondes radio.....	16
-Chapitre 2.3 : Les ondes micro-ondes.....	18
-Chapitre 2.4 : Les rayons infrarouges.....	20
-Chapitre 2.5 : La lumière visible.....	22
-Chapitre 2.6 : Le rayonnement ultraviolet.....	24
-Chapitre 2.7 : Les rayons X.....	26
-Chapitre 2.8 : Les rayons gamma.....	28
Partie 3 : Ondes particulières.....	30
-Chapitre 3.1 : Les ondes cérébrales.....	30
-Chapitre 3.2 : Les ondes gravitationnelles.....	31
-Chapitre 3.3 : Les ondes radioactives.....	32
Conclusion :.....	34
Bibliographie :.....	35
Sites internet :.....	36
Table des matières :.....	36

Étude recommencée en novembre 2015 et complétée en janvier 2016.