

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Culture libre, sciences ouvertes

Nicolas Micallef, Steven Vallée, Maxime Woringer

- 2008 -

Table des matières

Table des matières.....	2
Préface.....	6
Introduction.....	7
Chapitre 1 – Nature des rayonnements électromagnétiques	8
I - Notion d'onde.....	9
II - Généralités sur le rayonnement.....	10
III - Modèles.....	11
1 - Modèle ondulatoire.....	11
1.1 - Modèle décomposé de la théorie ondulatoire.....	11
1.2 - Spectre.....	12
2 - Modèle corpusculaire.....	13
2.1 - Rayonnement ionisant.....	14
IV - Production.....	14
V - Propagation.....	15
Chapitre 2 – Effets des ultraviolets sur le vivant.....	17
I - Synthèse de la vitamine D.....	17
1 - Structure et métabolisme de la vitamine D.....	18
2 - Synthèse de la vitamine D.....	18
3 - Problèmes rencontrés quand il y a une carence en vitamine D.....	19
4 - Avantages de la vitamine D.....	19
II - Interactions avec l'ADN.....	20
III - Bronzage, coups de soleil, vieillissement	21
IV - Cancer.....	22
1 - Mélanome malin.....	22
2 - Carcinome basocellulaire.....	22
3 - Épithélioma spinocellulaire.....	22
V - Conséquences sur les yeux.....	23
Chapitre 3 – Effets des rayons X sur le vivant.....	24
I - Principe d'une radiographie.....	24
II - Effets.....	25
Chapitre 4 – Effets des rayons gammas sur le vivant.....	27
I - Historique.....	27
II - Utilisations.....	27
III - Dangers.....	28
Chapitre 5 - Effets des ondes radio sur le vivant	29
I - Le cas du téléphone mobile.....	30

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

1 - Principe de fonctionnement d'un téléphone mobile.....	30
2 - Effets.....	30
2.1 - L'étude sur les glandes parotides.....	30
2.2 - L'étude sur la fertilité des cigognes et leur répartition.....	31
II - Le cas du four à micro-ondes.....	32
1 - Structure du four.....	32
2 - Action sur les cellules.....	32
Conclusion.....	34
ANNEXES.....	35
Annexe 1 : Expérience des fentes de Young.....	35
Interférence.....	35
Expérience.....	35
Interprétation.....	36
Annexe 2 : La vision.....	37
Annexe 3 : Polarisation d'une onde.....	39
Annexe 4 : Expérience de l'effet photoélectrique.....	40
Expérience originelle.....	40
Interprétation.....	40
Annexe 5 : Expérience sur les interactions des ultraviolets avec l'ADN.....	41
Matériel utilisé :.....	41
Protocole établi :.....	41
Résultats :.....	41
Interprétation :.....	41
Conclusion.....	45
Annexe 6 : Applications des rayonnements électromagnétiques.....	46
SOURCES.....	47
Iconographie.....	49
Outils utilisés pour réaliser ce document.....	51

Préface

Ce document est le produit de nos recherches sur les effets des rayonnements électromagnétiques sur le vivant. Il a été écrit dans le cadre de nos Travaux Personnels Encadrés (TPE), entre novembre 2007 et février 2008. Nous avons pour objectifs d'écrire un document qui soit la synthèse de nos recherches et de nos connaissances de base, ceci dans le but d'expliquer le plus objectivement et le plus simplement possible quels sont les impacts des rayonnements électromagnétique sur le vivant. La démarche de recherche ayant été effectuée au préalable, nous ne présentons pas ici toutes les hypothèses qui nous sont venues à l'esprit. Cet ouvrage se présente comme un texte vulgarisateur mettant notre discours -nous l'espérons- à la portée du plus grand nombre. Nous avons pour cela rencontré des spécialistes, mais aussi fait usage de ce formidable outil de recherche qu'est internet. Ce document est organisé en deux parties ; la première, la plus générale, donne des informations sur la nature des rayonnements électromagnétiques, ainsi que leurs modes de production. Elle contient aussi bien des informations de culture générale que des parties ne servant qu'à mettre en place des notions pour le second chapitre. Le second traite de différents types de rayonnements en particulier, tels les rayons X ou le rayonnement ultraviolet, en détaillant le plus possible leurs effets au niveau moléculaire, cellulaire, mais aussi à l'échelle humaine.

Il n'est pas impossible que des erreurs d'analyse ou des fautes d'orthographe se soient glissées dans notre travail ; veuillez nous en excuser.

le 12 Décembre 2007,

Nicolas Micallef, Steven Vallée et Maxime Woringer

Introduction

Les rayonnements électromagnétiques étaient présent avant votre naissance, bien avant en fait. Pour dire vrai, ils seraient apparus au plus tard quelques heures après la création de l'univers, c'est à dire il y a environ 15 milliards d'années, plus de 10 milliards d'années avant la formation de la Terre, plus de 10 milliards d'années avant l'apparition de la vie sur celle-ci. Depuis leur apparition, les rayonnements électromagnétiques n'ont eu de cesse d'inonder l'univers, dont certains nous parviennent encore à l'heure actuelle. Dans notre vie quotidienne, nous sommes envahis par une gigantesque quantité de rayonnements, certains venant du soleil, d'autres de nos téléphones portables. Aujourd'hui, ils sont utilisés dans un nombre considérable de domaines ; de la télécommunication à la médecine en passant par la cuisine, ils nous entourent. Bref, tout ça pour dire que le rayonnement électromagnétique n'est pas une invention des scientifiques. On serait tenté de se dire que l'immense majorité des rayonnements de notre environnement est d'origine artificielle ; nous verrons ce qu'il en est.

Face à la profusion de ces étranges rayonnements venus du fin fond de l'espace, nous nous sommes demandés quels étaient leurs effets sur le vivant.

Chapitre 1

Nature des ondes électromagnétiques

Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ?

Une onde ? Des grains ?

Pourtant, on dit bien ONDES électromagnétiques...

Et les rayonnements ionisants, c'est électromagnétique ?

Qu'est-ce que le spectre ?

Pourquoi c'est dangereux ?

La lumière et les rayons X, c'est la même chose ?

En quoi sont-elles importantes ?

Comment on en produit ?

Comment elles se propagent ?

Peut-on représenter les ondes électromagnétiques ?

C'est vrai qu'il y en a partout ?

C'est quoi la différence entre l'infrarouge et les ultraviolets ?

Fig. 1: Entrée en matière

Effets des ondes électromagnétiques sur le vivant... C'est une erreur ; en effet, quand on dit « onde » électromagnétique, on parle de la *représentation*¹ du rayonnement² électromagnétique. Le rayonnement est le phénomène physique, il est réel, tandis que l'onde est une forme de représentation, un *modèle* qui rend le réel compréhensible. Tout comme on peut dire *globe* terrestre, on peut dire *onde* électromagnétique. De manière simplifiée, on pourrait dire que tout ce qui n'est pas réel est une représentation du phénomène réel en question. Lors de ce chapitre, on essaiera de poser les bases indispensables à la compréhension de la suite de l'exposé, et l'on



Fig. 2: Une représentation de la Terre : Le globe terrestre



Fig. 3: Une photo de la Terre (cela reste une représentation)

abordera aussi des notions de culture générale. Avant de parler des effets des rayonnements électromagnétiques, il faudrait savoir de quoi on parle, c'est à dire définir un peu les différents concepts d'onde électromagnétique, de rayonnement, de photon. Nous aborderons ensuite les différentes manières de classer les rayonnements ; on abordera ici les notions de rayonnement ionisant et non ionisant (RNI), et de spectre électromagnétique. Puis l'on apprendra les méthode de production, essentiellement à l'échelle atomique et subatomique. Nous aboutirons à des notions sommaires de mécanique quantique et arriverons à la notion d'énergie. En guise de conclusion, nous traiterons de notions d'optique en étudiant la propagation des rayonnements.

Notion d'onde

Une première question nous vient alors à l'esprit :

Qu'est-ce qu'une onde ?

Prenons l'exemple d'un plan d'eau ; lorsqu'on y laisse tomber un

galet, on peut observer des vagues qui forment des cercles concentriques³ autour du point d'impact (cf. Fig. 4). On observe aussi que la perturbation s'étend plus ou moins rapidement. On appelle cette perturbation une *onde*.

On peut définir cette onde par trois paramètres : sa vitesse de propagation, qui dépend du milieu qu'elle traverse⁴, son amplitude, qui est la hauteur de la vague et sa longueur d'onde, ou sa fréquence⁵. On dit que l'onde oscille à une certaine fréquence.



Fig. 4: Corps tombant dans un liquide

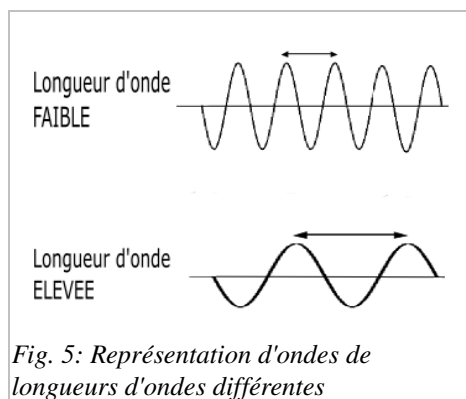


Fig. 5: Représentation d'ondes de longueurs d'ondes différentes

- 1 Cette notion est très importante et constitue la base du chapitre « Modèles du rayonnement ».
- 2 Ou de la radiation. Les deux termes sont équivalents.
- 3 On parle de *perturbation*.
- 4 Par exemple, une onde se propage plus vite dans la gélatine que dans l'eau. Ce paramètre est - entre autres - fonction de la densité du milieu.

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Une onde est une perturbation d'un support -l'eau dans notre exemple- qui se produit de manière répétée -les vagues-. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, c'est un transfert d'énergie -de mouvement dans le cas de l'eau- sans transfert de matière -les molécules d'eau gardent globalement⁶ la même place tandis que la vague peut se propager très loin-. Pour visualiser le phénomène, on peut penser à un ressort (cf Fig. 7), lorsqu'on comprime celui-ci, une onde se crée et se propage, cependant, les spires ont juste une agitation qui varie, elles ne se déplacent en aucun cas.

Pour visualiser l'amplitude, on peut relier tous les pics des motifs et tracer ainsi l'enveloppe de l'onde (cf Fig. 6).

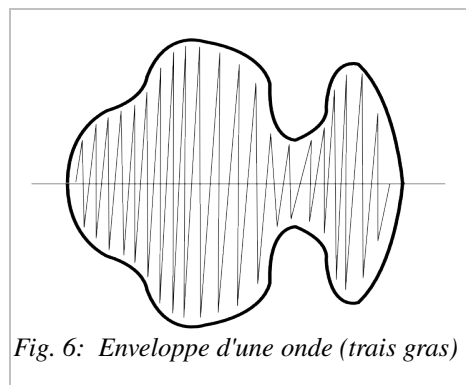


Fig. 6: Enveloppe d'une onde (traits gras)

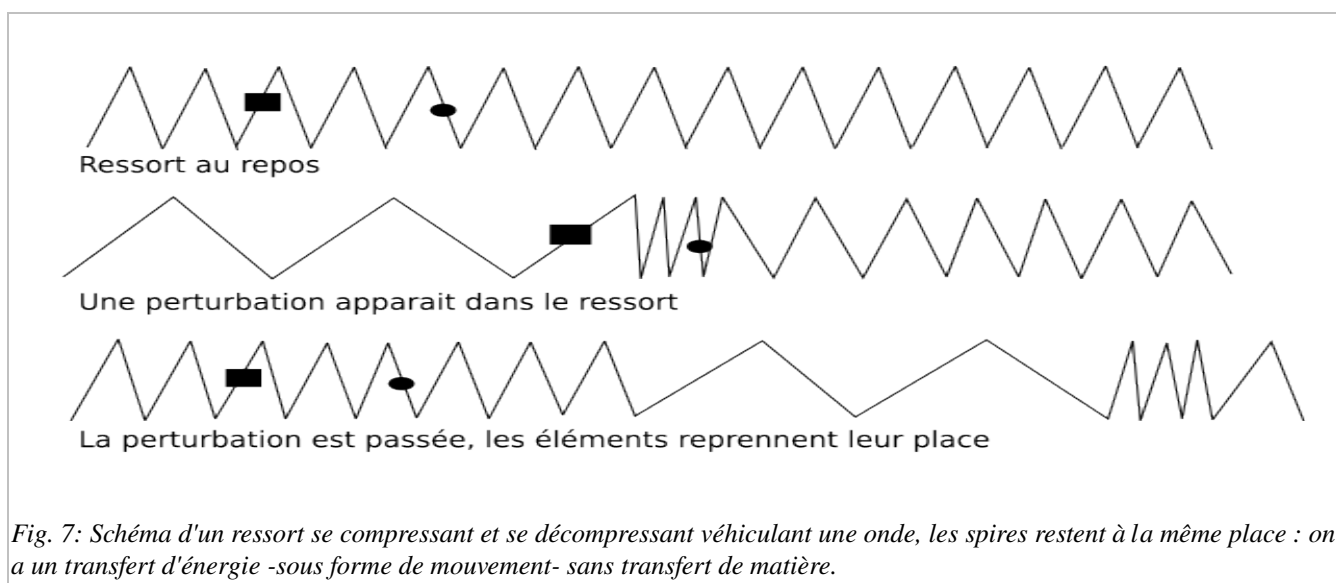


Fig. 7: Schéma d'un ressort se comprimant et se décompressant véhiculant une onde, les spires restent à la même place : on a un transfert d'énergie -sous forme de mouvement- sans transfert de matière.

Généralités sur le rayonnement

Un rayonnement électromagnétique se déplace à une vitesse variant en fonction du milieu qu'il traverse ; il est en général plus freiné par un milieu dense que par un milieu ayant une masse volumique plus faible. Il atteint cependant sa vitesse maximale dans le vide ; sa vitesse est alors proche de 300000 km.s^{-1}

⁷. On appelle cette vitesse c ⁸. Selon la relativité d'Einstein, c est la vitesse maximale que peut atteindre toute particule dans l'univers⁹.

INTERFÉRENCE DESTRUCTIVE

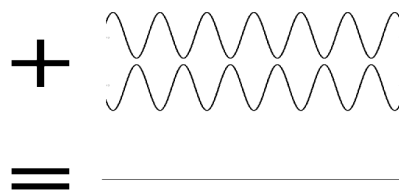


Fig. 8: Interférence destructive : les ondes s'annulent

INTERFÉRENCE CONSTRUCTIVE

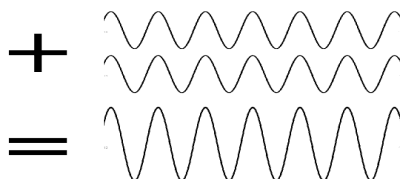


Fig. 9: Interférence constructive : l'onde a une amplitude double et une fréquence identique

5 La longueur d'onde λ est inversement proportionnelle à la fréquence f , on a donc : $f = \frac{c}{\lambda}$.

6 C'est à dire que la molécule d'eau a la même position avant et après le passage de la perturbation. On notera qu'elle se déplace lors du passage de la perturbation, mais que la distance parcourue par la molécule est souvent négligeable au vu de la distance parcourue par l'onde.

7 En réalité $299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$, elle a été fixée en 1983 par le bureau international des poids et mesures, en redéfinissant le mètre.

8 C'est à dire célérité. En effet, pour une onde -ou un rayonnement- on ne parle pas de vitesse, mais de célérité (du latin *celeritas*, « vitesse »).

9 En gros, plus la vitesse v (donc l'énergie) d'une particule augmente, plus sa masse m augmente et tend vers l'infini, on a

Modèles

Notre seul moyen de comprendre les rayonnements électromagnétiques est de les représenter. On utilise pour cela des modèles, représentations simplifiées de la réalité. Nous parlerons des deux principaux modèles du rayonnement électromagnétique : le modèle -ou théorie- ondulatoire et le modèle corpusculaire.



Fig. 10: Une photo de la Terre (cela reste une représentation)

Tout d'abord, il faut savoir qu'un modèle reste un modèle, c'est à dire une vision simplifiée de la réalité. tout comme on peut représenter la Terre par une sphère (cf fig. 11), on peut modéliser un rayonnement électromagnétique. Mais ce modèle ne peut pas être parfait ; dans l'exemple de la Terre, la Terre n'est pas une sphère parfaite, elle est aplatie aux pôles. (cf Fig. 10). Dans notre cas, il serait illusoire de vouloir créer un modèle « réel » d'un rayonnement électromagnétique qui nous soit compréhensible.

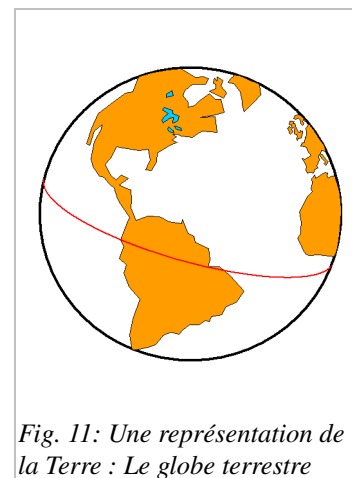


Fig. 11: Une représentation de la Terre : Le globe terrestre

Modèle ondulatoire

Jusqu'au début du XXe siècle, les physiciens étaient persuadés que les rayonnements électromagnétiques étaient des ondes, comme celles produites par un caillou tombant dans l'eau.

Cette onde est définie par deux paramètres : son amplitude et sa longueur d'onde. Il n'est pas idiot du tout de faire le parallèle avec une onde sonore, où l'amplitude représente le volume du son et la longueur d'onde sa tonalité, c'est à dire s'il est aigu ou grave. Pour les rayonnement électromagnétique, l'amplitude représente la quantité de rayonnement émise et la longueur d'onde sa position sur le spectre électromagnétique. Cet état ondulatoire des rayonnements électromagnétiques a été mis en évidence par l'expérience de Young (cf Annexe 1).

Modèle décomposé de la théorie ondulatoire

On peut décomposer l'onde électromagnétique en deux composantes : le champ électrique¹⁰ et le champ magnétique. Nous savons tous que des particules chargées électriquement s'attirent ou se repoussent mutuellement conformément à la loi de Coulomb¹¹ ; Le champ électrique est un objet physique qui permet de définir ou de mesurer l'influence exercée à distance par des particules chargées électriquement¹².

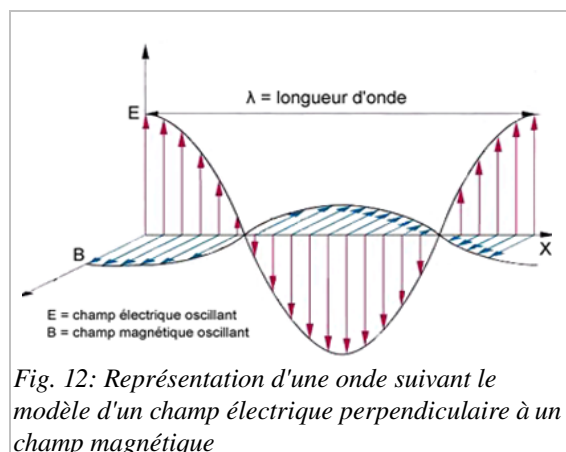


Fig. 12: Représentation d'une onde suivant le modèle d'un champ électrique perpendiculaire à un champ magnétique

donc : $\lim_{v \rightarrow c} e = \infty$ avec v la vitesse de la particule, et e son énergie. Cette constatation découle de l'équation

$$E = mc^2.$$

10 Le champ électrique s'exprime en volt par mètre (V.m⁻¹) ou en newton par coulomb (N.C⁻¹) d'après le Système International.

11 Loi de Coulomb : $f = G \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$ – où d est la distance, q_1 et q_2 les charges des particules, G une constante valant : $9 \cdot 10^9$

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Le champ magnétique¹³ est quant à lui un objet physique qui permet de définir l'influence d'un aimant, d'un électroaimant ou d'un déplacement d'électrons sur un autre corps.

On représente dans ce cas le rayonnement électromagnétique par un champ magnétique alternatif perpendiculaire au champ électrique. Ces deux ondes étant en phase, on peut se contenter de n'en représenter qu'une seule, généralement le champ électrique. Les variations du champ électrique et magnétique sont liées par les équations de Maxwell¹⁴.

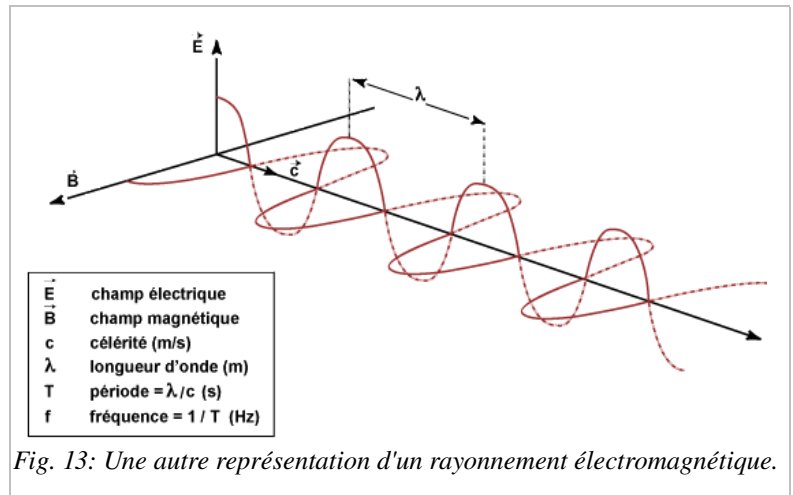


Fig. 13: Une autre représentation d'un rayonnement électromagnétique.

Spectre

Avant de parler du second modèle, celui corpusculaire, beaucoup plus complexe, nous allons parler du spectre électromagnétique. Tout le monde a déjà vu un spectre lumineux. Selon le modèle ondulatoire, chaque couleur représentée sur le spectre correspond à un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde précise ; par exemple la couleur bleue a une longueur d'onde de 300 nanomètres¹⁵, alors que la couleur rouge a une longueur d'onde de 700 nanomètres.

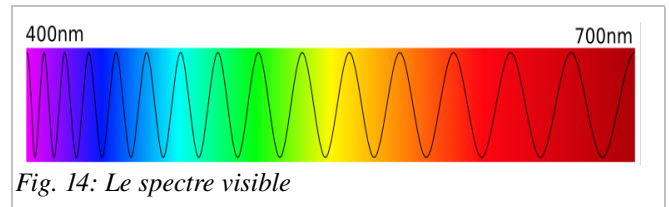


Fig. 14: Le spectre visible

La question qui nous vient à l'idée est : Pourquoi le spectre électromagnétique se limite-il à ça ? Pourquoi n'y a-t-il rien plus à gauche que le bleu ou plus à droite que le rouge ? Et bien en fait nous n'avons représenté ici que ce qu'on appelle le spectre visible, c'est à dire que ce sont les seules longueurs d'ondes auxquelles nos yeux sont sensibles. Les autres ne sont pas détectés par les cônes de nos yeux¹⁶. Mais revenons à notre spectre¹⁷, il continue donc à gauche et à droite. Par longueur d'onde décroissante, on voit apparaître les ondes radio, les microondes, les ondes radar, le rayonnement infrarouge, le fameux rayonnement visible, l'ultraviolet et les rayons gammas ; on a ici un spectre à peu près complet des rayonnements électromagnétiques.

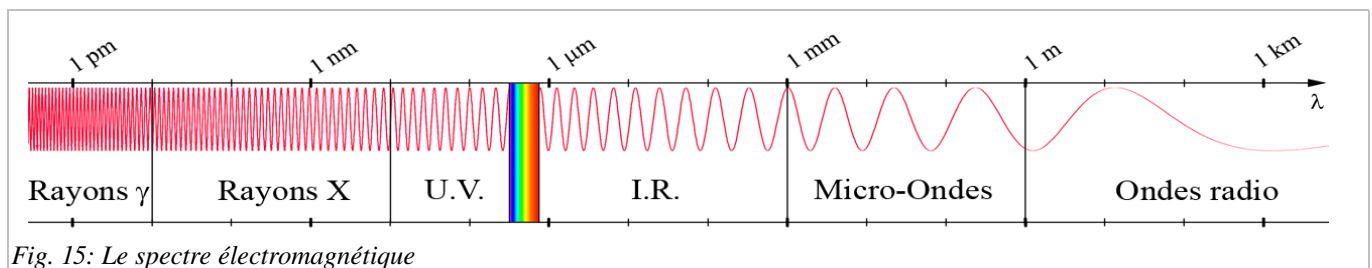


Fig. 15: Le spectre électromagnétique

$N.m^2.C^{-2}$

12 Il s'exprime en volt par mètre ($V.m^{-1}$) ou en newtons par coulomb ($N.C^{-1}$) selon le Système International d'unités (SI).

13 L'unité moderne utilisée pour quantifier l'intensité du champ magnétique est le tesla, défini en 1960. C'est une unité dérivée du système international.

14 Vers 1865, **James Clerk Maxwell** (1831-1879) a réalisé une synthèse des diverses lois expérimentales découvertes par ses prédécesseurs (lois de l'électrostatique, du magnétisme, de l'induction...) en les exprimant sous la forme d'un système de quatre équations.

15 $1nm = 10^{-9}m$

16 Pour plus d'informations, référez vous à l'annexe 2 : La vision

17 Une expérience interactive est disponible à l'adresse : <http://www.gel.ulaval.ca/~mbusque/spectre/>

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

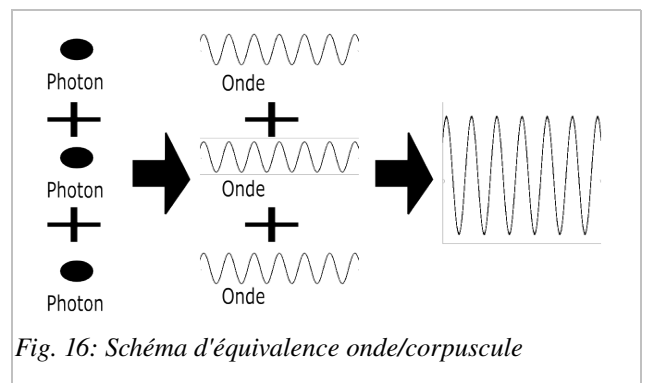
On se rend compte que tous ces rayonnements sont de même nature, seul un paramètre change : la longueur d'onde. Plus on diminue la longueur d'onde, plus l'énergie de ces rayonnements augmente et plus ces rayonnements sont potentiellement dangereux.

Le modèle ondulatoire permet d'expliquer la parenté entre tous les rayonnements électromagnétiques, il a cependant ses limites ; montrées par exemple par l'expérience de l'effet photoélectrique¹⁸. La question posée était : Comment des rayonnements dépourvus de masse peuvent-ils interagir avec la matière. C'est notamment à partir de ces interrogations qu'un autre modèle a vu le jour. On l'appelle théorie -ou modèle- corpusculaire du rayonnement électromagnétique.

Modèle corpusculaire

La théorie corpusculaire affirme que les rayonnements sont de minuscules grains appelés *photons*, qui seraient des particules d'énergie pure dépourvue de masse. Ce modèle est très dépendant d'une autre théorie, appelée mécanique quantique, extrêmement complexe, qui permet d'expliquer le comportement de particules telles que les électrons ou encore les quarks.

D'une manière outrageusement simplifiée, on dira que la mécanique quantique affirme que tout paramètre doit être quantifié, c'est à dire qu'il ne peut pas prendre n'importe quelle valeur. Dans le cas de notre photon, il ne peut pas avoir n'importe quel niveau d'énergie -ou n'importe quelle longueur d'onde dans le modèle ondulatoire-. Ceci s'explique très facilement par la méthode de production des rayonnements électromagnétiques que nous verrons plus tard. On constate qu'on peut assimiler le niveau d'énergie d'un photon à la longueur d'onde dans le modèle ondulatoire. Quant à l'amplitude de l'onde, elle est déterminée par la quantité de photons émis ; plus celle-ci est élevée, plus l'amplitude de l'onde sera importante. On voit donc que l'amplitude de l'onde ne peut pas prendre n'importe quelle valeur. La longueur d'onde et l'amplitude d'un rayonnement dans le modèle ondulatoire -ou son niveau d'énergie et le nombre de photons considérés dans le modèle corpusculaire- sont donc quantifiés.



Nous avons vu que les deux modèles actuels du rayonnement électromagnétique, le modèle ondulatoire et le modèle corpusculaire, sont nécessaires pour le représenter. Il faut cependant garder à l'esprit qu'il ne s'agit que de modèles du rayonnement, deux manières de représenter une seule et même chose, deux manières de représenter un rayonnement électromagnétique. Bien que les résultats obtenus durant les expériences précédentes puissent paraître contradictoires, il faut savoir que le rayonnement ne va pas se transformer en onde ou en photon suivant la situation qu'il rencontre. Ces modèles ne sont qu'une simplification de la réalité pour la rendre compréhensible. Tout comme on peut voir un cylindre comme un cercle ou comme un rectangle suivant l'angle d'observation, on peut voir un rayonnement électromagnétique comme une onde ou une particule, or il se trouve qu'un modèle explique un certain phénomène

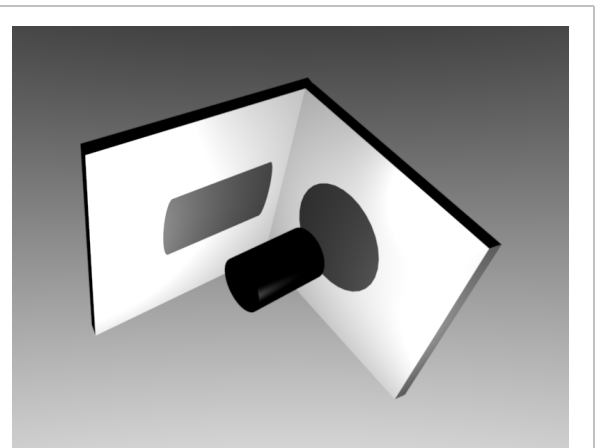


Fig. 17: Deux manières de représenter un cylindre, par un rectangle (projection de gauche) et par un cercle (projection de droite)

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

tandis que l'autre ne donne pas d'explication satisfaisante. Dans le cas de notre cylindre, le modèle « cercle » permet d'expliquer pourquoi il roule sur une pente -ou passe à-travers un trou en forme de cercle-, et le modèle rectangle explique pourquoi il ne roule pas dans une pente -ou pourquoi il passe à-travers d'un trou en forme de cercle.

Rayonnement ionisant

On appelle rayonnement ionisant un rayonnement qui a assez d'énergie pour arracher des électrons à un matériau, et donc transformer les atomes en ions. Les Rayons X et les rayonnement γ font partie des rayonnements ionisants. On notera que les UV-A¹⁹ s'en rapprochent beaucoup. Par leur capacité à arracher des électrons aux matériaux, ils sont considérés comme très dangereux.

Production

Parlons maintenant des différentes manières de produire des rayonnements électromagnétiques. Tout d'abord, il faut savoir qu'au niveau atomique²⁰, il n'existe que deux modes de production : soit par la desexcitation du noyau de l'atome²¹, soit par la desexcitation des électrons de cet atome. On peut donc classer les rayonnements suivant leur mode de production. On constate alors que seuls les rayons les plus énergétiques que l'on connaisse, les rayons gammas, sont produits par la desexcitation du noyau de l'atome ; tous les autres rayonnements sont produits par la desexcitation de l'atome. Il faut aussi savoir que tout corps à une température supérieure à 0°K (zéro absolu²²) émet des radiations électromagnétiques. Nous sommes donc entourés d'un flot continu de radiations électromagnétiques, sans que cela nous affecte le moins du monde.

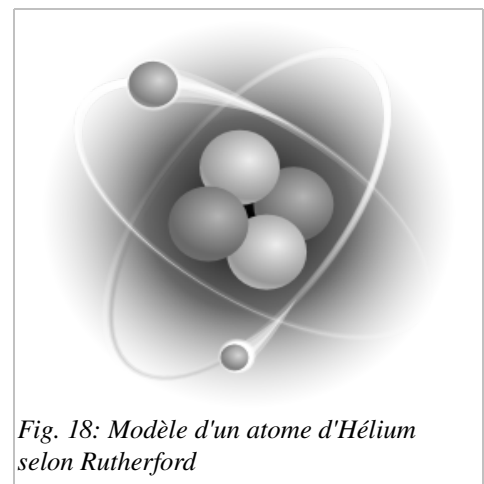


Fig. 18: Modèle d'un atome d'Hélium selon Rutherford

Dans un atome, les électrons sont organisés en orbites autour du noyau. Le rayon de ces orbites est quantifié, ainsi que le nombre d'électrons qu'elle peut contenir ; par exemple, la couche la plus proche du noyau, c'est à dire celle qui correspond au niveau d'énergie le plus faible est appelée K et peut contenir au maximum deux électrons tandis que la couche de rayon supérieur, notée L peut en contenir huit. Les électrons vont toujours sur les orbites d'énergie les plus faibles, c'est à dire les couches les plus proches du noyau, lorsque celle-ci sont pleines, les électrons s'ajoutent sur l'orbite supérieure et ainsi de suite. Bien que les orbites aient un rayon fixe et très précis, la mécanique quantique veut que ce ne soit qu'une valeur statistique, ce qui veut dire que les électrons ont juste plus de chance de se trouver sur les orbites qu'ailleurs²³. Un atome a un nombre défini d'électrons, celui-ci étant déterminé par le nombre de protons

19 Voyez la partie correspondante page 15 pour plus d'informations.

20 On représente généralement l'atome comme un noyau constitué de protons - de charge positive- et de neutrons -de charge négative - autour duquel gravitent des électrons de charge négative. Il y a autant de charges électriques positives que négatives, on dit que l'atome est électriquement neutre. Le noyau est 100000 fois plus petit que l'atome, les schémas ne sont donc pas à l'échelle.

21 On considérera ici le modèle de l'atome de Rutherford. **Ernest Rutherford** (1871-1937) est un physicien anglais et est considéré comme le père de la physique nucléaire. Il a été le premier à présenter le modèle planétaire de l'atome. Il affirme aussi que l'atome est constitué à 99,9 % de vide.

22 Ce que nous percevons comme de la chaleur est en réalité l'agitation des atomes ; plus ceux-ci sont agités, plus nous avons l'impression qu'ils dégagent de la chaleur. Si on les refroidit jusqu'à rendre les atomes parfaitement immobile - ce qui est impossible dans la réalité - on obtient ce que l'on appelle le *zéro absolu*, c'est à dire la température minimale que peut avoir tout corps. En effet, on ne peut pas rendre plus immobile - refroidir - un atome à l'arrêt. Le zéro absolu vaut -273,15°C et s'exprime en degré Kelvin (°K). Ainsi, -273,15°C = 0°K. Il n'existe bien évidemment pas de température négative dans le système Kelvin.

23 Dans notre cas, les électrons ont près de 95% de chances de se trouver sur l'orbite. Dans le cas où ils n'y sont pas, ils sont en

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

du noyau ; cependant, il peut en gagner ou en perdre pour que sa couche supérieure d'électrons -appelée couche externe- soit pleine -on dit aussi *saturée*-.

Lorsqu'on donne de l'énergie à un atome, par exemple en le soumettant à une tension électrique, en lui faisant absorber un photon ou tout simplement lorsque sa température est supérieure au zéro absolu, celui-ci passe dans un état dit excité, c'est à dire qu'il a un niveau d'énergie supérieur au niveau d'énergie minimum précédent. Ceci se traduit par le fait qu'un ou plusieurs électrons des couches les plus basses vont sauter sur une couche d'énergie plus élevée. Ces électrons qui ne sont plus à leur place sont appelés électrons excités. L'état d'excitation n'est pas un état stable, c'est pourquoi l'électron reprend sa place en émettant un photon. L'énergie du photon est déterminée par la différence de niveaux d'énergie entre les couches électroniques. Par exemple lorsqu'un électron revient de la couche L à la couche

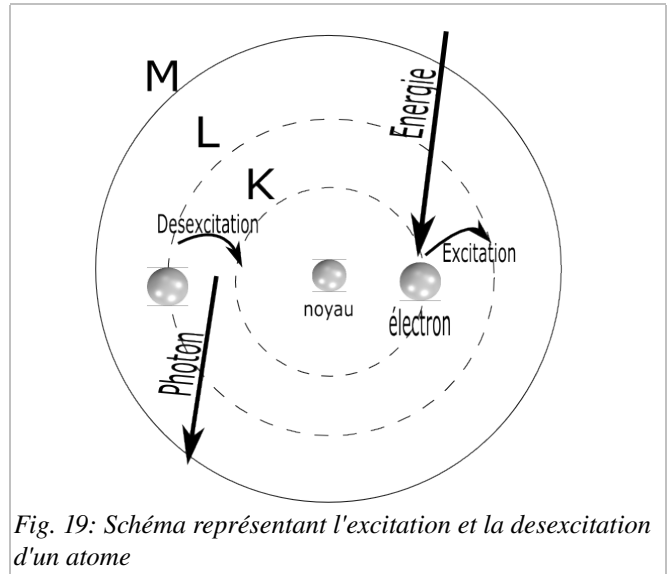


Fig. 19: Schéma représentant l'excitation et la désexcitation d'un atome

K, il émet un photon dont l'énergie est la différence entre les niveaux d'énergie des deux couches. Plus la différence est grande, donc plus l'électron « est allé haut », plus le photon aura une énergie élevée²⁴. On notera que plus l'atome est gros, plus il pourra produire des rayonnements d'énergie élevée.

Pour ce qui est de l'excitation du noyau, il faut savoir que les protons et les neutrons du noyau sont eux aussi organisés en couches d'énergies différentes. Lorsqu'on excite ce noyau -en le bombardant avec un neutron par exemple²⁵-, les protons et les neutrons vont se réorganiser, et un ou plusieurs nucléons vont passer sur une orbite supérieure à celle qu'ils avaient à l'origine, le noyau de l'atome est dit excité. Lorsque l'atome va se désexciter, les nucléons vont reprendre leur place originelle et relâcher l'énergie qu'ils avaient emmagasinée sous forme d'un photon. Cependant, ce photon sera beaucoup plus énergétique que lorsqu'un électron se désexcite, car il faut plus d'énergie au noyau pour que ses nucléons se réorganisent. Le photon émis sera un rayonnement gamma, c'est à dire un photon de la plus haute énergie que l'on connaisse²⁶.

Propagation

Les rayonnements visibles faisant partie des rayonnements électromagnétiques, les règles d'optiques s'appliquent²⁷ à tous les rayonnements (réflexion, réfraction, diffraction, interférence...). Les rayonnements électromagnétiques se propagent en ligne droite à une vitesse proche de $300000\text{km.s}^{-1} - c$ - Cette propagation forme une « bulle » dont le diamètre augmente à la vitesse de $600000\text{km.s}^{-1} - 2c$ -. Tout ce qui est hors de la « bulle » ne voit pas le rayonnement. La quantité de rayonnement reçue par une surface donnée décroît avec la distance au carré. Si on multiplie par deux la distance à une source de rayonnements, on reçoit quatre fois moins de rayonnements. Comme toute onde se propage sur un

train de changer d'orbite, passant par exemple de l'orbite K à l'orbite L.

24 On définit l'énergie de ce photon par l'équation $\Delta E = h \cdot \nu$, où ΔE est la différence entre le niveau d'énergie du photon au départ et à l'arrivée, h est la constante de Planck, et ν est la fréquence du rayonnement émis. En physique quantique, la constante de Planck joue un rôle fondamental. Elle a été nommée du nom du physicien allemand **Max Planck** (1848-1947). Elle s'exprime en J.m et vaut approximativement $6,626068 \times 10^{-34}$ J.m

25 C'est ce qui se passe lors d'une réaction nucléaire.

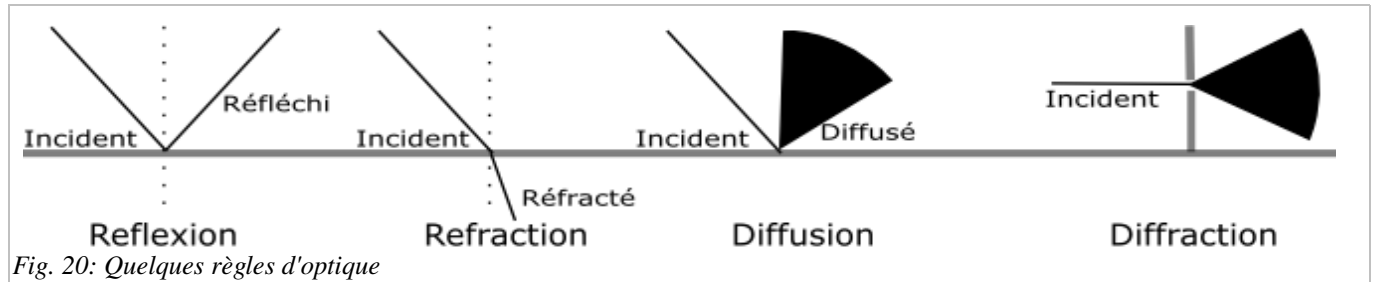
26 Sa longueur d'onde sera inférieure à 5 picomètres (10^{-12} m).

27 Avec quelques restrictions liées à la longueur d'onde, en effet, un rayonnement gamma ne se propage pas de la même manière que de l'infrarouge ou des rayonnements radio.

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

support, Einstein a énoncé dans une de ses théories que les rayonnements électromagnétiques se propageaient en suivant les courbes d'espace-temps, et donc qu'elles étaient déviées par les corps très massifs²⁸.

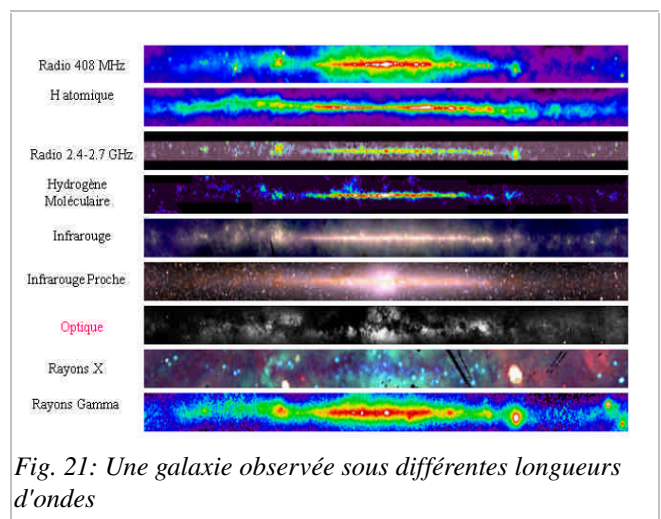
Un rayonnement électromagnétique peut être réfléchi sur un miroir, de l'eau – tout comme les rayonnements lumineux- mais aussi sur un mur ou encore les couches de l'atmosphère²⁹, tout dépend de la longueur d'onde du rayonnement. La réfraction et la diffusion s'appliquent aussi mais l'effet varie en fonction de la longueur d'onde.



Conclusion

Tenter de définir les rayonnements électromagnétiques est une tâche extrêmement complexe qui fait sans cesse appel aux toutes dernières théories. Il serait donc illusoire de présenter totalement les rayonnements électromagnétiques lors de cette introduction. Nous avons tenté de développer à la fois des notions de culture générale et les bases essentielles pour la suite de notre exposé.

Il faut donc différencier *onde électromagnétique* et *rayonnement électromagnétique*, l'un n'est qu'un *modèle* de l'autre. Un rayonnement électromagnétique est un *phénomène physique* que l'on tente de représenter par des modèles. Il est impossible d'avoir un modèle réel du rayonnement. Dans notre cas, deux modèles existent et sont complémentaires, c'est à dire que l'un explique des phénomènes que l'autre n'explique pas. Un modèle -appelé modèle *corpusculaire*- montre que la lumière est constituée de grains ; les photons. L'autre modèle -appelé modèle *ondulatoire*- représente le rayonnement comme une onde composée d'un *champ magnétique* et d'un *champ électrique*. On classe les rayonnements électromagnétiques selon leur *fréquence*³⁰ -c'est à dire selon leur *énergie*- et on représente ces rayonnements, classés par niveau d'énergie sur un *spectre électromagnétique*. Différents phénomènes tels que la lumière visible, les rayons X ou encore les ondes radio sont des rayonnements électromagnétiques notamment car ils sont produits de la même manière -la désexcitation d'un électron ou d'un noyau d'atome-. La seule différence entre ces rayonnements qui semblent très différents est leur longueur d'onde. Tous les rayonnements ayant une énergie supérieure ou égale à celle des rayons X sont appelés rayonnements *ionisants*, ce qui signifie qu'ils peuvent arracher des électrons aux atomes. Ils respectent les règles d'optique (réflexion, réfraction, diffusion, diffraction et interférence).



28 Par exemple par les trous noirs. Cette effet sert aussi à détecter des corps peu lumineux dans l'espace grâce au phénomène de lentille gravitationnelle.

29 Les rayonnements radios sont réfléchis -ils subissent en fait une suite continue de réfractions- sur la ionosphère, ce phénomène permet les communications transcontinentales. La ionosphère est une région de l'atmosphère située entre la mésosphère et la magnétosphère, c'est-à-dire entre 60 et 800 km d'altitude. Elle est constituée de gaz fortement ionisé à très faible pression (entre 2.10^{-2} mb et 1.10^{-8} mb) et à haute température (-20 à +1000°C).

30 Ou selon leur longueur d'onde, voyez la note 6 pour plus d'explications.

Chapitre 2

Effets des rayonnements ultraviolets sur le vivant

Les ultraviolets, rayonnements électromagnétiques situés juste après le violet de la lumière visible, (d'où leur nom signifiant « au-delà du violet »), sont des rayonnements invisibles et imperceptible par nos sens. Pourtant ils sont omniprésents et nous sommes y sommes quotidiennement exposés. Émis en plus grosse partie par le soleil (5 % de son énergie) ils peuvent être aussi émis par des lampes. Ils ont été découverts par le physicien allemand Johann Wilhelm Ritter³¹ d'après leur action chimique sur le chlorure d'argent. Les rayons ultraviolets sont décomposés en trois types distincts en fonction de leur position et longueur d'onde sur le spectre électromagnétique. On trouve ainsi les UV-A, les UV-B et les UV-C.

- Les UV-A sont les plus faibles des UV au niveau de l'énergie, mais ils pénètrent plus profondément dans la peau, jusqu'au derme superficiel. Ce sont les UV qui se rapprochent le moins des ionisants. Ils se trouvent à la limite de la lumière visible, à une longueur d'onde de 400 à 315 nm.
- Les UV-B eux, ne sont que partiellement filtrés par l'atmosphère et, arrivant à la surface du corps, ils sont arrêtés par la couche cornée et ne traversent que l'épiderme ; ils n'atteignent pas le derme et ont une longueur d'onde allant de 315 à 280 nm.
- Les UV-C, situés juste après les rayon X ont une longueur d'ondes de 280 à 100 nm, ils sont les plus nocifs, les plus énergétiques (longueur d'onde plus faible) mais sont arrêtés presque en totalité par la couche d'ozone qui les absorbe. D'où l'importance de celle-ci.

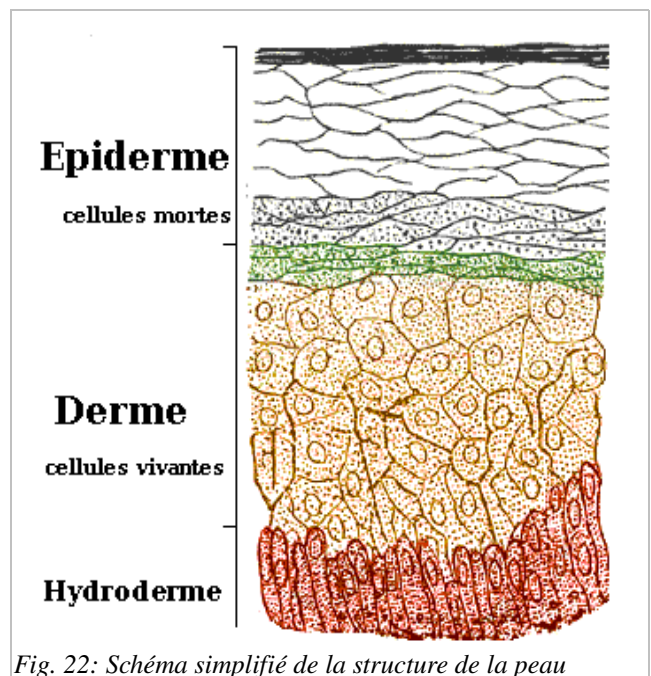


Fig. 22: Schéma simplifié de la structure de la peau

Nous sommes amené a savoir en quoi ces rayonnements peuvent affecter notre vivant.

Effets

Synthèse de la vitamine D

La vitamine D est nécessaire à la croissance et pour cela de faibles doses d'ultraviolets sont nécessaires à sa synthèse. Les ultraviolets qui interviennent ici principalement sont les UV-B. La vitamine D est une vitamine liposoluble³² synthétisée par l'organisme lorsque les stérols³³, composants alimentaires courants, migrent vers la peau et sont transformés sous l'effet des rayons ultraviolets de la lumière.

31 **Johann Wilhelm Ritter** (1776-1810) est un physicien allemand. Il fit d'importantes découvertes sur électrochimie et la lumière ultraviolette.

32 C'est à dire soluble dans les graisses – dans les lipides -

33 Groupe de lipides

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

La vitamine D est synthétisée à partir d'un dérivé du cholestérol sous l'action des rayonnements ultraviolets du soleil. Elle existe sous deux formes: D₂ (ergocalciférol) et D₃ (cholécalficérol). La vitamine D intervient dans l'absorption du calcium et du phosphore par les intestins, ainsi que dans leur réabsorption par les reins, sous l'influence de la PTH³⁴. Ses effets sont contrebalancés par la calcitonine³⁵.

Structure et métabolisme de la vitamine D.

La vitamine D se forme surtout quand nous exposons notre corps au soleil (héliothérapie). Au niveau de la peau, les rayons ultraviolets permettent la formation de vitamine D₃ à partir de dérivés du cholestérol présents normalement dans l'organisme. Cette source est donc très variable selon l'exposition au soleil (saisons, brouillard, région, habillement), l'épaisseur et la pigmentation de la peau. Il n'y a, en théorie, jamais de surdosage en vitamine D lors d'une exposition au soleil.

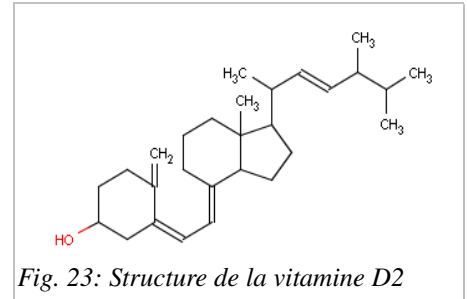


Fig. 23: Structure de la vitamine D2

La vitamine D₂ ou ergocalciférol est un produit d'irradiation de l'ergostérol par les rayons ultraviolets. La vitamine D apportée par l'alimentation, est partiellement absorbée dans la partie terminale de l'intestin grêle, en émulsion avec les sels biliaires. Après absorption, elle est transportée par l'alimentation au niveau de certains organes où elle est stockée. On peut souffrir de carences vitaminiques en cas d'obstruction de la voie biliaire ou de malabsorption des graisses alors qu'il est possible de prévenir le rachitisme³⁶ par des doses discontinues de vitamine D.

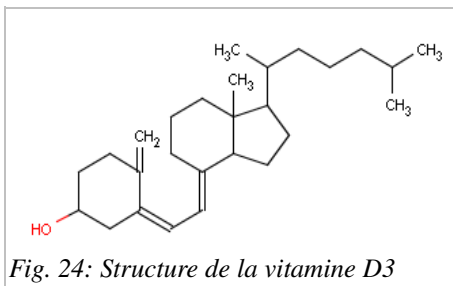


Fig. 24: Structure de la vitamine D3

Synthèse de la vitamine D

Si l'apport extérieur est insuffisant, l'organisme synthétise lui-même la vitamine D à partir de dérivés du cholestérol. Grâce à l'action des ultra-violets de la lumière, un des cycles du 7-déhydro-cholestérol est cassé. La molécule s'isomérise spontanément en cholécalficérol encore inactif. S'ensuit (au niveau du foie) une première hydroxylation sur le carbone 25 par l'enzyme 25-hydroxylase, ce qui donne du 25-hydroxy-cholécalficérol qui est toujours inactif. La véritable vitamine D résulte d'une nouvelle hydroxylation (au niveau du rein) de la molécule sur le carbone 1. Cette dernière réaction est catalysée par l'enzyme 1-alpha-hydroxylase. On obtient alors le 1,25 dihydroxy-cholécalficérol ou vitamine D. C'est donc un alcool auquel on a rajouté deux groupement hydroxyles, donc un triol: le calcitriol.

De façon simple, si l'apport extérieur en vitamine D est insuffisante, l'organisme la synthétise lui-même. En effet, notre peau contient le précurseur de la vitamine D : le 7-déhydrocholestérol. Ce précurseur thyroïdien, sous l'action des rayons solaires, se convertit en cholécalficérol. Celui-ci est inactif. Deux étapes sont nécessaires pour le rendre actif. La première a lieu dans le foie où il obtient un groupement hydroxyle (=OH). La deuxième transformation se déroule dans les reins où la molécule reçoit un deuxième groupement hydroxyle régulé par la parathormone (hormone peptidique) La molécule formée est le calcitriol, forme active de la vitamine D.

34 La parathormone ou hormone parathyroïdienne (PTH = Parathyroid hormone (anglais) ou PTHi = PTH intacte) est une hormone peptidique, hypercalcémiant, sécrétée par les glandes parathyroïdes.

35 La calcitonine est une hormone (peptide de 32 acides aminés) hypocalcémiant (diminue le taux de calcium dans le sang) et hypophosphorémiant (diminue le taux de phosphore dans le sang) qui participe au métabolisme du calcium et du phosphore.

36 Le rachitisme est une maladie de la croissance et de l'ossification observée chez le nourrisson et le jeune enfant. Elle est caractérisée par une insuffisance de calcification des os et des cartilages et est due à une carence en vitamine D (on parle alors d'avitaminose D). Le rachitisme se voit dans les pays faiblement ensoleillés, ou dans les pays où les enfants vivent couramment cloîtrés. Il touche les enfants entre 6 et 18 mois

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

En résumé, pour obtenir la structure de la vitamine D₃, ajoutez un groupement hydroxyle (-OH) sur les carbones 1 et 25, ainsi, vous aurez du 1,25 alphadihydroxycholécalférol, alias vitamine D3 ou calcitriol. La vitamine D₃ ou cholécalférol est la vitamine naturelle: elle est concentrée dans les huiles de foie comme le poisson. Tous les laits en sont pauvres.

Problèmes rencontrés quand il y a une carence en vitamine D

Une exposition régulière au soleil garantit, chez la plupart des personnes, une bonne réserve en vitamine D; une carence en vitamine D peut toutefois survenir dans certaines situations dans lesquelles la vitamine D sera utilisée en usage préventif. Les principaux groupes à risque sont les suivants:

- Les personnes âgées séjournant en institution et les personnes très âgées en général.
- Les personnes à peau foncée ou noire.
- Les enfants nourris au sein. Le lait maternel contient en effet relativement peu de vitamine D. Les laits artificiels sont toujours enrichis en vitamine D.
- Les personnes peu exposées au soleil pour des raisons médicales ou religieuses.
- Les mois d'hiver pour les latitudes froides car les UVA responsables de la synthèse de la vitamine D sont absents ou plus assez nombreux.

La vitamine D obtenue par l'exposition au soleil est toutefois présente durant les 2 mois suivant l'exposition grâce à des réserves faites par l'organisme. Il est à noter que cette caractéristique fait que beaucoup de personne ressentent une faiblesse musculaire entre janvier et avril car durant les mois d'octobre à avril, les UVA responsables de la synthèse de vitamine D ne sont plus assez présents. Une carence en vitamine D provoque une faiblesse et des douleurs musculaires ou de la fatigue et, à un stade plus avancé, une ostéomalacie³⁷ chez l'adulte et un rachitisme chez l'enfant. Elle pourrait augmenter le risque de fracture bien que la supplémentation en vitamine ne semble diminuer que marginalement ce risque.

Dans certaines situations comme une insuffisance rénale, il est nécessaire d'augmenter artificiellement les apports alimentaires de vitamine D. Ceci se fait à partir des préparations pharmaceutiques qui permettent un dosage précis des apports de vitamines D (1 mg de vitamine D = 40 000 unités, correspondant, suivant les marques, soit à de la vitamine D2, soit à de la vitamine D3). Une personne en bonne santé ayant une alimentation variée et une exposition normale au soleil n'a habituellement pas besoin de supplément en vitamine D, sauf si elle a la peau noire ou foncée.

Avantages de la vitamine D

Les femmes qui ont le plus de vitamine D dans le corps auraient des télomères³⁸ plus longs que celles qui manquent de cette vitamine ce qui pourrait avoir des effets bénéfiques sur le vieillissement.

Autre information: Les autorités sanitaires françaises estiment qu'il suffit de 200 UI³⁹ de vitamine D par jour pour être en bonne santé, un niveau jugé ridicule par les spécialistes internationaux.

37 L'ostéomalacie est l'équivalent chez l'adulte du rachitisme de l'enfant.

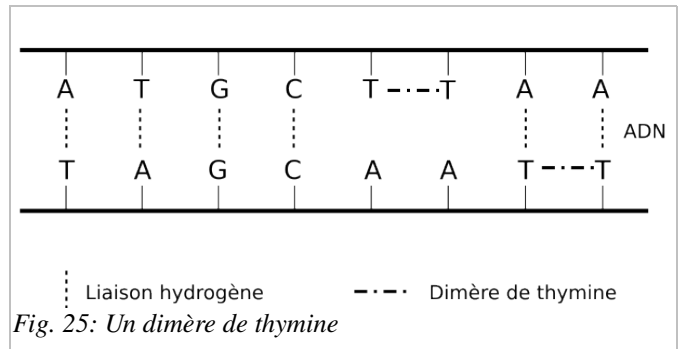
38 Un télomère est une région hautement répétitive, donc non codante, d'ADN à l'extrémité d'un chromosome.

39 En pharmacologie, Unité internationale (UI, abréviation couramment utilisée sur les emballages des médicaments) est une unité de mesure pour la quantité d'une substance, basée sur l'activité biologique mesurée (ou son effet). L'unité internationale est utilisé pour les vitamines, hormones, beaucoup de médicaments, vaccins, produits sanguins ou autres substances actives biologiques.

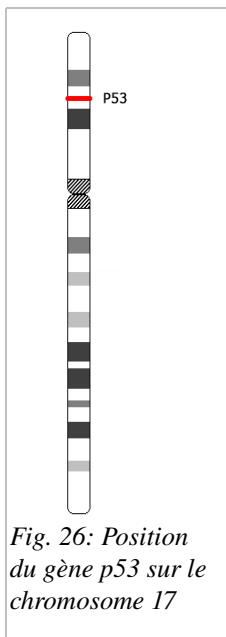
EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Interactions avec l'ADN⁴⁰

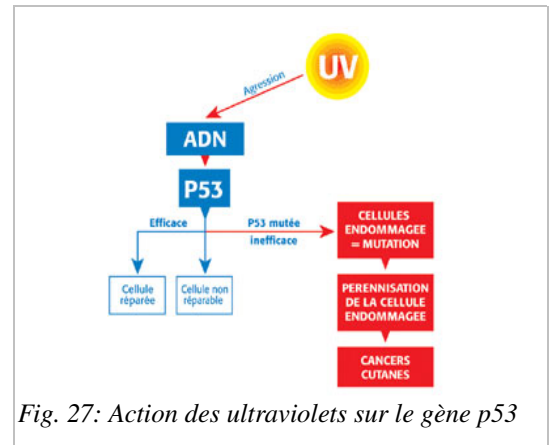
Les radiations ultraviolettes peuvent altérer l'ADN⁴¹ des cellules. C'est l'absorption des photons par l'ADN qui conduit à la formation d'une lésion de la double hélice. En effet, le photon ultraviolet apporte suffisamment d'énergie pour créer un dimère de thymine^{42 43} (cf fig 23). Mais cette liaison ne se produit pas par hasard le long de l'ADN. Sa localisation semble dépendre de l'ordre et de l'enchaînement des bases azotés. Il faut également savoir que les ultraviolets agressent plus facilement les bases de l'ADN -en les oxydant- lorsque ces dernières sont intégrées dans la structure en double hélice que lorsqu'elles sont isolées. La présence de ces dimères perturbe le fonctionnement cellulaire et provoque la mort de cellules, c'est à dire l'apoptose⁴⁴.



Les UVA, s'ils ne lèsent pas directement l'ADN, contribuent à la venue de mutations par l'intermédiaire de la formation de radicaux libres oxydants⁴⁵. Ceux ci sont donc responsables de la détérioration des lipides, des protéines ainsi que de la destruction des fibres de collagène⁴⁶ et d'élastine⁴⁷ entre autres.



De nombreuses études ont été menées et ont montré que plusieurs gènes peuvent être mutés suite à une exposition prolongée aux ultraviolets. C'est notamment le cas du gène *p53* ou encore le gène *p16*. Le gène *p53* du chromosome 17 est le gène le plus fréquemment muté dans tous les cancers de la peau et dans la moitié des cancers de la peau non mélaniques. Gardien du génome, *p53* est capable d'arrêter le cycle cellulaire pour permettre la réparation et d'orienter la cellule vers la mort cellulaire si elle est trop endommagée. Les mutations de ce gène causées par les UV sont très précoces; elles surviennent avant même l'apparition du cancer et on les retrouve dans les lésions précancéreuses. La mutation du gène *p16* situé sur le chromosome 4 est le deuxième événement retrouvé dans les cancers cutanés. Ce gène est impliqué dans le mélanome familial et joue un rôle important dans les autres tumeurs de la peau, notamment dans les cancers épithéliomas spino cellulaires. Concernant la réparation de l'ADN, les rayons UV peuvent affecter les enzymes qui aident à sa réparation ce qui engendre alors l'altération.



40 Un protocole permettant de mettre en évidence ces interactions est disponible en Annexe 5.

41 Acide désoxyribonucléique

42 L'énergie apportée par les photons sera celle nécessaire pour provoquer par exemple formation d'une liaison entre deux thymines successives. Ces deux thymines liées par une liaison de covalence forment alors un dimère de thymine.

43 Thymine : formule $C_5N_2O_2H_6$ (symbole T)

44 C'est à dire l'autodestruction de la cellule.

45 Un radical libre est une espèce chimique qui ne respecte pas la règle chimique de l'octet, c'est à dire qu'elle a un électron non apparié sur sa couche externe. Les radicaux libres ont un haut pouvoir oxydant et sont très instables.

46 Le collagène donne à la peau sa fermeté.

47 Fibre qui assure la souplesse et l'élasticité de la peau.

Bronzage, coups de soleil, vieillissement

Le bronzage est à la fois une *protection* et une *cicatrice*. Le bronzage est le signal de certaines cellules à cause d'une forte exposition aux UV. En effet cela est dû à la multiplication des mélanocytes de la peau et des grains de mélanine. Les mélanocytes sont des cellules qui barrent la route aux UV en sécrétant de la mélanine, pigment protecteur. Cette photoprotection qu'est le bronzage est à peu près efficace essentiellement pour les personnes produisant de la mélanine noire - qui permet le brun de la peau bronzée -. Pour les roux par exemple, ayant la peau la claire la protection est beaucoup plus faible... L'exposition au soleil engendre également l'épaississement de l'épiderme par l'action des UV-B. Ce qui fait une protection de plus. Cette protection est relativement faible face aux UV-A qui traversent la peau bronzée et peuvent causer des dommages cellulaires importants. A chaque exposition solaire, le capital solaire diminue entamant sa capacité à se protéger. La capacité à bronzer n'est donc pas infinie.

Le coup de soleil est le plus connu et le plus immédiat des effets du rayonnement ultraviolet sur la peau. L'absorption des ultraviolets par les cellules les endommage. À cause de cela, notre corps cherche à réparer les dégâts. Il y a donc plus de sang qui parvient dans la zone où le Soleil a frappé. C'est donc d'une inflammation causée par un accroissement du débit sanguin sous la peau à cause des cellules qui libèrent des molécules. Ces molécules vont finalement dilater les vaisseaux sanguins. De plus la production de radicaux libres (molécules instables produites en permanence par le corps) joue aussi un rôle fondamental dans les dégâts provoqués par le soleil. Ces radicaux libres agressent les cellules et provoquent également le coup de soleil. La réaction n'est habituellement pas instantanée, mais la peau prend une coloration rouge vif dans les 15 à 20 heures qui suivent l'exposition. Les coups de soleil peuvent être douloureux et, éventuellement, entraîner la desquamation⁴⁸ de la peau. Une exposition brève et intense peut causer un coup de soleil grave chez les personnes qui n'ont pas l'habitude de s'exposer à une lumière solaire intense. Il est d'ailleurs prouvé que de telles expositions, tout comme les expositions prolongées, peuvent être liées à la manifestation de formes graves de cancer de la peau, plus tard, au cours de la vie.

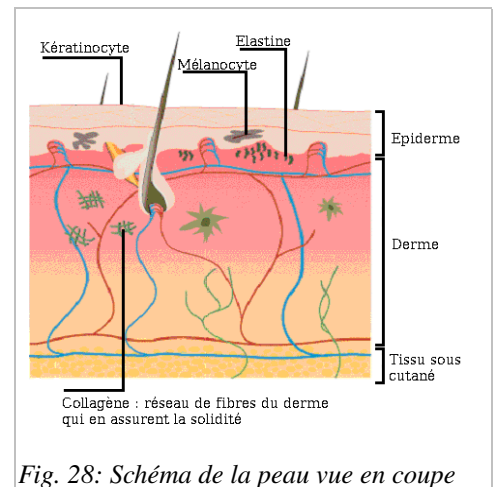


Fig. 28: Schéma de la peau vue en coupe

La lumière solaire est responsable en partie de l'apparition des rides ; En effet, les rayons UV peuvent briser le collagène⁴⁹ du derme en endommageant ses fibres. La cicatrisation sera réalisée par l'accumulation excessive de l'élastine, fibre qui assure la souplesse et l'élasticité de la peau, la privant ainsi de sa surface lisse et formant des rides. Les fibres du collagène désorganisées témoignent une « cicatrice solaire » et au fil des années, les élastines se cassent littéralement et ne se réparent pas, d'où la peau qui vieillit malheureusement.

Cancer

Tout d'abord il semble bon de définir ce qu'est un cancer, donc ce n'est autre qu'un groupe de cellules qui refusent de mourir et qui persistent à se reproduire malgré que leur patrimoine génétique soit abîmé. Il faut savoir que les UV sont le cancérigène le plus puissant chez l'homme. Les cancers apparaissent généralement sur les parties du corps surexposées au rayonnement solaire, soit le front, les joues, le nez, la lèvre inférieure et l'extrémité supérieure des oreilles. Nous allons approfondir sur le mélanome malin qui est le plus redoutable. L'exposition au soleil peut engendrer trois principaux types

⁴⁸ lorsque l'on pèle

⁴⁹ Le collagène donne à la peau sa fermeté, cette molécule est très abondante dans le corps humain

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

distincts de cancer qui sont le résultat de l'altération des cellules :

- Le mélanome malin, qui est le plus dangereux en dépit de sa rareté
- le carcinome basocellulaire
- l'épithélioma spinocellulaire

Même s'ils sont capables d'envahir les tissus voisins, ces cancers ne donnent que très exceptionnellement naissance à des métastases (cellules cancéreuses) et se guérissent à 98 % - à l'exception du mélanome malin-. Ce sont les principalement les UV-B qui provoquent ces cancers.

Mélanome malin

Il est le résultat des mélanocytes qui se mettent à proliférer de façon anarchique, d'abord dans l'épiderme, puis dans le derme, d'où elles gagnent la circulation sanguine générale et entraînent en dernier lieu la formation de métastases. Il se présente souvent sous la forme d'un grain de beauté ou d'une tache pigmentaire qui se met soudainement à saigner ou change de couleur, de forme ou de texture. En l'absence d'un traitement précoce, le mélanome malin va généralement se propager. La nature exacte du lien entre le mélanome malin et la lumière solaire n'est pas entièrement élucidée. Cependant, il semble que, chez les personnes qui n'ont pas l'habitude de s'exposer au soleil, le risque de contracter un mélanome malin soit accru à la suite d'expositions brèves et intermittentes à une lumière solaire intense. Le mélanome malin peut être traité et guéri s'il est diagnostiqué à un stade précoce. En revanche, si le traitement est amorcé à un stade avancé de la maladie, ce cancer est souvent mortel.

Carcinome basocellulaire

Le carcinome basocellulaire est le plus répandu de tous les cancers en Amérique du Nord et en Europe. Il s'attaque généralement aux parties de la peau exposées fréquemment au soleil, mais il arrive aussi qu'il se manifeste en d'autres endroits. Ce type de cancer ressemble à une plaie saillante, dure, d'un rouge franc ou grisâtre et d'aspect perlé, qui se forme le plus souvent sur le front, les paupières, les joues, le nez et les lèvres. Même s'il subsiste un risque qu'il s'aggrave, en général, le carcinome basocellulaire ne se propage pas et, dans la plupart des cas, il se traite et se guérit facilement.

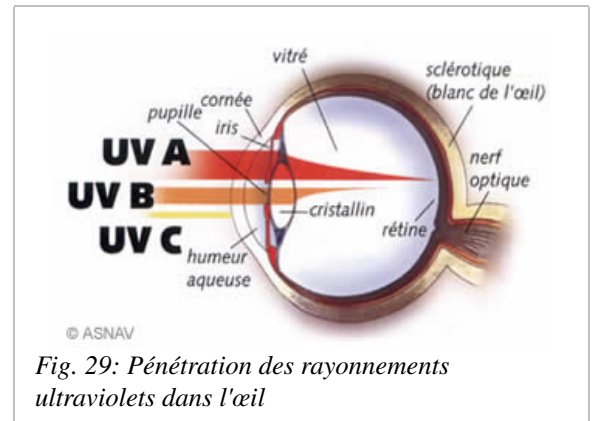
Épithélioma spinocellulaire

L'épithélioma spinocellulaire se manifeste le plus souvent lorsque la peau a été exposée au soleil pendant de longues périodes. Ainsi, ce type de cancer de la peau apparaît généralement sur les parties du corps surexposées au rayonnement solaire, soit le front, les joues, le nez, la lèvre inférieure et l'extrémité supérieure des oreilles. En outre, il prend généralement naissance là où la peau a subi des lésions dues au soleil, c'est-à-dire là où des imperfections et des taches de rousseur causées par le soleil sont présentes. Les imperfections évoluent, prenant l'aspect de plaques rugueuses et squameuses présentant de petites lésions qui ne cicatrisent pas et qui, éventuellement, s'agrandissent et deviennent croûteuses. *L'épithélioma spinocellulaire* peut être extirpé et, s'il est décelé à temps, les chances de guérison totale sont bonnes. Dans sa forme la plus grave, il s'attaque aux muqueuses telles les lèvres.

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Conséquences sur les yeux

Les UV-A sont les plus dangereux pour les yeux car ils atteignent le cristallin chez l'adulte et peuvent atteindre la rétine chez l'enfant, les UV-B eux endommagent les cellules de la cornée et du cristallin. Plus généralement les UV, en opacifiant le cristallin, provoquent des cataractes. La cataracte est donc une opacification du cristallin, la lentille qui permet la formation de l'image sur la rétine. C'est la première cause de cécité dans le monde, car pour y remédier il faut recourir à une intervention chirurgicale coûteuse. Le cristallin, cette lentille biologique, possède une structure en pelure d'oignon, dont chaque feuillet est constitué d'un réseau de protéines dites " cristallines " qui glissant les unes sur les autres et permettent l'accommodation, c'est à dire le réglage de notre vue en fonction de la distance de l'objet regardé. Une irradiation UV solaire trop importante, en solidifiant les ponts chimiques entre ces protéines, empêche l'accommodation et cause des presbyties de plus en plus nombreuses.



Conclusion

Comme nous l'avons vu les ultraviolet ont des conséquences diverses, autant positives que négatives. Mais il faut surtout retenir qu'ils sont indispensables à la vie, en effet le rôle qu'ils jouent sur la synthèse de la vitamine D est très important et en outre, des recherches approfondies suggèrent aussi que l'exposition solaire joue un rôle crucial dans la prévention voire l'inhibition de certains cancers tels ceux du sein, de la prostate, des ovaires, du côlon et du sang...

Si le trou de la couche d'ozone s'agrandit de plus en plus⁵⁰, les UV-C n'auront plus de mal à passer à travers et nous aurons des craintes à avoir sur la protection. Il faut donc préserver la couche d'ozone et se protéger des UV à l'aide de lunettes, tee-shirts et crème solaire avec indice adaptés.

Effets positifs :

- Photoprotection (bronzage)
- Synthèse de la vitamine D
- Photosynthèse (non détaillé ici car nous l'étudions en classe de seconde et aurions pu y consacrer un TPE entier)

Effets négatifs :

- Brûlures superficielles, conjonctivites, cataractes
- Maladies du système immunitaire
- Cancers
- Accélération du vieillissement de la peau

⁵⁰ Ce qui n'est -heureusement – plus le cas actuellement

Chapitre 3

*Effets des rayonnements X sur le vivant*⁵¹

Les Rayons X appartiennent à la famille des rayonnements électromagnétiques, au même titre que les ultraviolets ou les rayons γ . Ce sont des rayonnements ionisants. Ils ont été découverts en 1895 par le professeur allemand Wilhelm Conrad Röntgen⁵², qui fit état de leur découverte dans un article intitulé «Sur une nouvelle sorte de rayonnement». Le nom de Rayon X leur a été donné en référence à x , l'inconnue en mathématiques. En effet, ces rayons sont si étranges qu'ils traversent sans être aucunement déviés toute sorte de matériaux. De plus, aucun champ électrique ou magnétique ne peut les dévier. Röntgen suppose alors que ces rayonnements sont de même nature que la lumière ; il affirme cependant qu'ils sont beaucoup plus énergétiques, ce qui explique leurs propriétés différentes. Les effets des rayons X étant alors inconnus, faisant fi du principe de précaution, on utilisa énormément la radiographie pour divers usages plus ou moins utiles. Les doses d'exposition n'étant pas du tout maîtrisées, ce n'est que quelques années après que les premiers cancers se déclarèrent. Les rayons X sont des rayonnements très énergétiques de longueur d'onde comprise entre 5 picomètres et 10 nanomètres. Malgré leur haute énergie, ils sont produits naturellement par certains sols, par exemple en Bretagne ou en Inde. Les principales applications des Rayons X sont la radiographie -dans un but médical ou non- et la thérapie. L'expansion des rayons X a été très rapide et on a oublié dès le début le principe de précaution qui aurait dû prévaloir dès le début. En effet, sans aucune connaissance des doses maximales ou des durées d'exposition, on a utilisé les rayons X pour divers usages non médicaux plus ou moins justifiés.

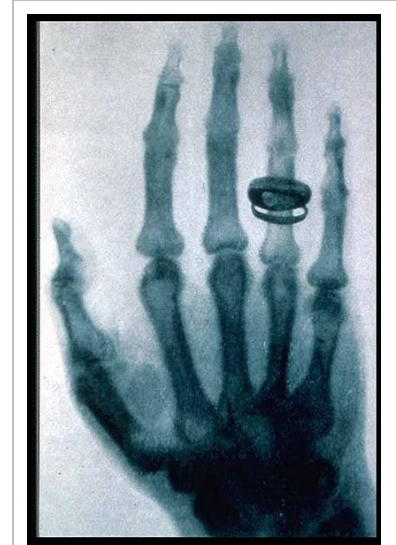


Fig. 30: Une des premières radiographie aux Rayons X, la main d'Anna Bertha Röntgen (22 décembre 1895, pose de 20 minutes.)

Principe d'une radiographie

Lorsqu'on réalise une radiographie d'un organe, nous avons d'un côté de celui-ci une source de rayons X⁵³, et de l'autre côté une plaque photographique. Lorsqu'on fait passer un faisceau de rayons X à-travers l'organe, certains vont être arrêtés par la « matière dure », c'est à dire les éléments le plus lourds. A l'inverse, les rayons X vont traverser la « matière molle », c'est à dire les éléments légers comme le carbone l'oxygène et l'azote⁵⁴. Après avoir traversé l'organe, les rayons X vont venir impressionner la plaque photographique, qui va fournir une image négative de l'organe. En effet, les os sont plus sombres

51 Une partie de ces informations est tirée de l'interview du professeur Vernhet-Kovacsik, Chef du service de Radiologie du CHU de Montpellier Arnaud de Villeneuve. L'interview est jointe à cet ouvrage sous la forme d'un DVD-vidéo.

52 **Wilhelm Conrad Röntgen** (1845-1923) est un physicien allemand. Il a reçu le premier prix Nobel de physique en 1901 pour la découverte des rayons X, après avoir reçu la Médaille Rumford.

53 Généralement un tube de Crookes ou de Coolidge.

54 Respectivement de formule : ${}_{12}^6\text{C}$ ${}_{16}^8\text{O}$ et ${}_{14}^7\text{N}$

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

car les rayonnements ont été plus absorbés que par les tissus. Dans le cas où l'on réalise une radiographie vasculaire, on peut injecter au patient un produit de contraste iodé qui va empêcher le passage des rayons X dans les vaisseaux, et ainsi créer une cartographie des vaisseaux sanguins.

Effets

Il est très difficile de connaître les effets des rayons X à faibles doses, car ils sont infimes. On connaît cependant les effets des rayons X pour des très fortes doses, par exemple grâce à Nagasaki ou à Tchernobyl⁵⁵. Comme on ne connaît pas les effets pour de faibles doses, on a extrapolé les courbes de la manière la plus négative possible et fait comme s'il y avait un effet linéaire, cependant, on ne sait pas s'il n'y a pas par exemple un effet de seuil. Le principe de précaution prévalant aujourd'hui dans ce domaine, on irradie les patients à des doses les plus inférieures possibles à ce seuil.

Tout d'abord, il faut savoir que dans le milieu médical, les effets secondaires liés aux rayons X sont extrêmement rares, et ils sont presque inexistants dans le cas où l'on fait de la radiographie diagnostique⁵⁶ car l'énergie délivrée au patient est infime. Par contre, les risques sont accrus lorsqu'on fait de la radiographie à but thérapeutique car les doses sont beaucoup plus élevées. A titre d'exemple, les doses de rayons X émises par le sol indien sont deux cent fois supérieures à celles délivrées lors d'une radiographie du poumon. On sépare les effets des rayons X en deux types d'effets : les effets *stochastiques* -ou aléatoires- et *non-stochastiques* -ou déterministes-.

Dans le cas des effets stochastiques, ils se produisent -comme leur nom l'indique- de manière aléatoire, c'est à dire qu'ils peuvent se produire n'importe quand et à n'importe quelle dose. L'effet n'est généralement pas visible car des mécanismes de réparation au niveau cellulaire existent. Ces effets sont notamment dûs à l'instabilité génétique⁵⁷, L'hypersensibilité à faibles doses⁵⁸ ou encore l'effet de proximité⁵⁹. Ces effets sont très difficiles à estimer⁶⁰, mais on peut cependant affirmer que ces effets sont extrêmement rares.

Les effets non-stochastiques ou déterministes sont des effets liés directement à la dose, c'est à dire à la quantité de rayonnement absorbée⁶¹, c'est à dire qu'à partir d'un certain seuil, il est obligatoire qu'un effet se produise. A titre d'exemple, lors d'une exposition localisée de 4 à 5Gy, on observe un phénomène de dépilation, alors qu'à une dose supérieure à 25Gy, la nécrose apparaît. Les lésions déterministes liées aux rayons X sont très longues à guérir et peuvent continuer à s'étendre longtemps après l'irradiation.

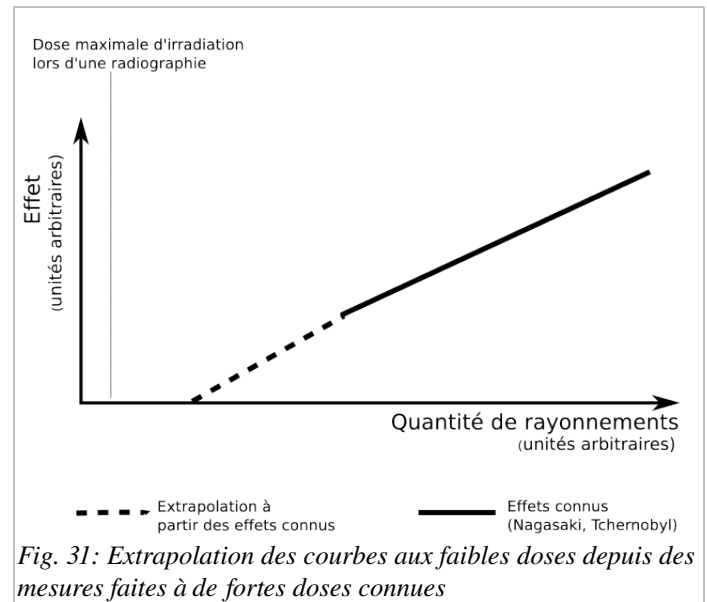


Fig. 31: Extrapolation des courbes aux faibles doses depuis des mesures faites à de fortes doses connues

55 Dans ce cas il s'agit principalement de rayons γ , mais les effets sont similaires.

56 C'est à dire pour diagnostiquer une pathologie, et non pour la traiter.

57 Apparition de modification génétique plusieurs divisions cellulaires après l'irradiation.

58 La cellule n'arrive pas à s'auto-réparer, même après avoir été faiblement lésée,

59 Une cellule mutée entraîne d'autres par sa simple proximité.

60 Pour réaliser ce type d'étude, il faut suivre pendant plusieurs années plusieurs centaines -voire milliers- de patients soumis à des rayons X ainsi qu'un groupe témoin et observer les différences entre les deux.

61 On exprime la quantité de rayonnement absorbée en énergie par unité de masse, c'est à dire en $J.kg^{-1}$. On l'exprime en Gray (symbole Gy). $1Gy = 1J.kg^{-1}$.

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Au niveau moléculaire, les rayons X peuvent provoquer l'ionisation ou l'excitation⁶² des atomes ou encore la formation de radicaux libres. Au niveau cellulaire, les rayons X entraînent principalement des lésions au niveau de l'ADN, créant des cassures des ponts ou des brins. Il faut savoir que des cassures dans l'ADN se produisent très quotidiennement, mais des mécanismes de réparation sont mis en place très rapidement, ce qui fait que l'effet ne se voit pas dans l'immense majorité des cas. Une cellule mature est très peu sensible au rayon X, mais les cellules jeunes ou en cours de mitose y sont très sensibles. Si la cellule ne se répare pas, la mutation peut affecter la descendance de la cellule, et ainsi provoquer un cancer. A noter que si la mutation affecte l'ADN d'une cellule reproductrice, la mutation pourra se transmettre à la descendance.

Au niveau macroscopique, on constate que tous les tissus n'ont pas la même radiosensibilité. Par exemple, la peau, les yeux, les organes génitaux ou encore les organes respiratoires sont particulièrement sensibles aux rayons X.

Conclusion

Malgré des débuts contestables, notamment dûs au non-respect du principe de précaution, les rayons X ont permis et permettent encore à l'heure actuelle de sauver des vies. Bien qu'il s'agisse de rayonnements extrêmement dangereux à forte dose, on les utilise quotidiennement pour soigner les patients. En effet, les doses employées en radiographie comme en thérapie sont bien en deçà des seuils extrapolés. De plus, en Inde où le sol émet des rayons X à un seuil plusieurs centaines de fois supérieures à celles utilisées actuellement pour faire de la radiographie diagnostique, on n'a jamais constaté que le taux de cancer ou de malformations était plus élevé. Grâce aux continuelles recherches sur ce sujet, on peut aujourd'hui affirmer que la radiographie dans un but médical est presque sans danger.

⁶² L'excitation se produit dans le cas où le rayonnement n'a pas assez d'énergie pour ioniser l'atome. Dans le cas où le rayonnement n'est pas assez énergétique pour exciter l'atome, on constate des effets thermiques (échauffement du tissu).

Chapitre 4

Effets des rayonnements gamma sur le vivant

Historique

Les rayons gamma, symbolisés par la lettre grecque γ , sont une forme de rayonnement électromagnétique de grande énergie dû à une désexcitation d'un noyau atomique⁶³. Ils possèdent une longueur d'onde très courte inférieure à 5 picomètres. Ils ont d'abord été observés en 1900 par le chimiste français Paul Ulrich Villard (1860-1934) comme l'émission par un échantillon de radium de rayons au pouvoir pénétrant très supérieur à celui des rayons β . Henri Becquerel (1852-1908) confirme très rapidement cette découverte dans son laboratoire du Jardin des Plantes. Villard remarque que ces nouveaux rayons ne sont pas déviés par un champ magnétique. En 1914, Ernest Rutherford et Edward Andrade observent la réflexion des rayons γ par des surfaces cristallines et établissent ainsi leur nature électromagnétique et donc leur étroite parenté avec la lumière et les rayons X. De façon simple : Les rayons gamma sont très pénétrants et peuvent traverser un coffre-fort. Ils sont constitués de photons (particules de lumière) de haute énergie. Ils ne sont que pure énergie sans aucune masse. Ces photons gamma émis par le noyau sont dus au réarrangement interne des nucléons du noyau. Ces nucléons sont organisés en couches concentriques (type oignon), un peu comme les électrons le sont autour du noyau. Dès qu'un nucléon glisse d'une couche nucléaire externe vers une couche plus interne (et donc moins énergétique), ce dernier cède de l'énergie sous forme de photon gamma.

Ces rayons sont positionnés sur le spectre entre 10^{-14} m et 10^{-11} m (en dehors de toute onde visible à l'œil nu). A titre d'exemples les ultraviolets sont positionnés entre 400 et 100 nanomètres.

Utilisations

Parce que la longueur d'onde du rayonnement gamma est si courte, un seul incident peut répandre des photons et créer d'importants dommages à une cellule vivante. Cette propriété implique que les rayons gamma sont souvent utilisés pour tuer les organismes vivants, dans un processus appelé ionisation. L'application de cette technique comprend la stérilisation du matériel médical et permet, en éliminant les bactéries qui causent la désintégration de nombreux produits alimentaires ou de prévenir les fruits et les légumes de se dégrader afin de conserver la fraîcheur et toute leur saveur.

En raison de leur bonne pénétration tissulaire, les rayons gamma ont une grande variété d'applications médicales comme le CT Scans⁶⁴ et la radiothérapie⁶⁵. Toutefois, comme toute forme de rayonnements ionisants, ils ont la capacité d'effectuer des changements moléculaires, en provoquant éventuellement des cancers lorsque l'ADN est touché. Les changements moléculaires peuvent également être utilisés pour modifier les propriétés de pierres semi-précieuses, et sont souvent utilisés pour changer le blanc topaze en bleu topaze.

En dépit de leurs propriétés cancérogènes, les rayons gamma sont aussi utilisés pour traiter certains types de cancer. Dans la procédure appelée gamma-couteau de chirurgie, de multiples faisceaux concentré



Fig. 32: Paul Ulrich Villard



Fig. 33: Henri Becquerel (1852-1908)

63 Produits par la désintégration γ ou d'autre processus nucléaire ou subatomique tel que l'annihilation d'une paire électron-positron.

64 scanner

65 voir rayons X

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

de rayons gamma sont dirigés vers les cellules cancéreuses pour les tuer. Les rayons sont émis à partir de différents angles pour concentrer le rayonnement sur la croissance tout en minimisant les dommages aux tissus environnants. Pour l'émission gamma, des radio-isotopes sont utilisés, dont l'un est le technétium-99m. Lorsqu'il est administré à un patient, une caméra gamma peut être utilisée pour former une image des radio-isotopes en détectant le rayonnement gamma émis. Cette technique peut être employée pour diagnostiquer une large gamme de pathologies.

Les rayons gamma sont aussi utilisés dans tout ce qui observation spatiale car ils sont aussi émis dans l'espace⁶⁶, on peut ainsi en ne focalisant que sur ces rayons gamma voir certaines planètes, étoiles ou satellites naturels comme la Lune vu en rayons gamma par le Compton Gamma Ray Observatory. Étonnamment, la Lune est en fait plus brillante que le soleil. Les détecteurs de rayons gamma sont également prêts à être utilisés au Pakistan dans le cadre de la Container Security Initiative (CSI). Ces machines de 5 millions de dollars américain sont annoncées pour numériser 30 conteneurs par heure. L'objectif de cette technique est d'effectuer un pré-écran pour navire marchand conteneurs avant qu'ils entrent dans les ports américains basés au Pakistan.

Dangers

Les rayons gamma provenant de retombées radioactives seraient probablement le plus grand danger dans le cas d'une guerre nucléaire. Si les rayons gamma sont moins ionisants que les rayons alpha ou bêta, ils demandent des épaisseurs de blindage beaucoup plus importantes pour s'en protéger. Ils produisent des dégâts similaires à ceux produits par les rayons X ou les ultraviolets, tel que brûlures, cancers et mutations génétiques.

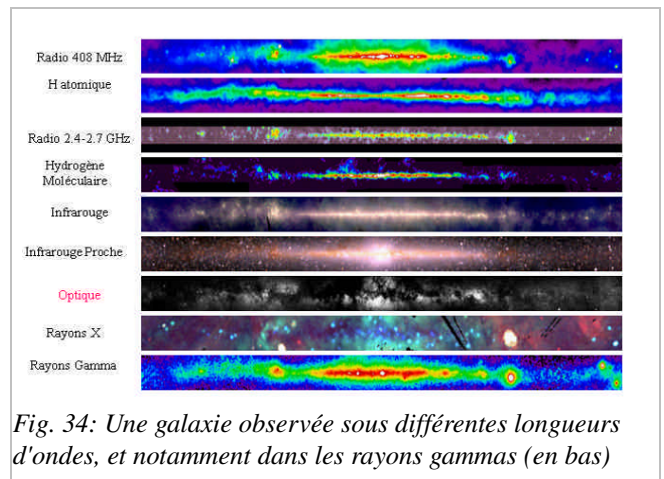


Fig. 34: Une galaxie observée sous différentes longueurs d'ondes, et notamment dans les rayons gammas (en bas)

Les rayons gamma sont la forme la plus dangereuse de radiations émises par une explosion nucléaire en raison de la difficulté à les arrêter. Les rayons gamma ne sont pas arrêtés par la peau. Ils peuvent induire des altérations de l'ADN en interférant avec le matériel génétique de la cellule. Des cassures des doubles brins de l'ADN sont généralement reconnues comme les lésions les plus biologiquement significatives par lesquels les rayonnements ionisants provoquent le cancer et les maladies héréditaires.

Une étude réalisée sur des travailleurs nucléaires russes exposés sur l'ensemble du corps à de hautes doses cumulées de rayonnements gamma montre le lien entre l'exposition aux rayonnements ionisants et la mort de leucémie, du cancer du poumon, du foie, du squelette et d'autres cancers solides. A côté de l'irradiation, les rayons gamma produisent également des brûlures thermiques et ont un effet immunosuppresseur.

Après irradiation gamma, et la rupture des brins doubles d'ADN, les cellules peuvent réparer les dégâts du matériel génétique à la limite de leur capacité. Toutefois, une étude de Rothkamm et Lobrich a montré que le processus de réparation fonctionne bien après exposition à haute dose, mais est beaucoup plus lent dans le cas d'une exposition à faible dose. Cela pourrait signifier qu'une exposition courante à faible dose ne peut être combattue par le corps. La probabilité de détection de petites modifications ou d'un défaut se produisant est probablement assez léger pour que la cellule se reproduise avant de lancer une réparation intégrale. Certaines cellules ne peuvent pas détecter leurs propres défauts génétiques.

⁶⁶ Appelés rayonnements gammas cosmiques. Ils ont notamment été produit en très grandes quantités lors de la formation de l'univers.

Chapitre 5 – en construction

Effets des micro-ondes sur le vivant

Les micro-ondes sont des rayonnements électromagnétiques situés après l'infrarouge dans le spectre. Ce sont les seuls rayonnements dont la longueur d'onde est supérieure à celle du visible que nous ayons traité. La gamme des micro-ondes va donc de 1GHz à 300GHz⁶⁷, ce ne sont donc pas de rayonnements ionisants. Il faut savoir qu'il n'existe pas de délimitations précises pour les gammes de fréquences. On les fixe généralement suivant le contexte. On subdivise les micro-ondes en trois parties suivant leur longueur d'onde : UHF⁶⁸, les SHF⁶⁹ et les EHF⁷⁰. Nous avons choisi cette gamme car aujourd'hui, beaucoup d'interrogations se posent sur la nocivité de ces rayonnements, notamment dans le cas du téléphone mobile. Les micro-ondes englobent notamment la plage de fréquence des fours à micro-ondes et celle des téléphones portables⁷¹. Les micro-ondes peuvent avoir deux types d'effets sur le vivant : un premier type appelé effet *thermique*⁷² et un second type nommé par opposition effet *non thermique*.

Parmi toute la gamme des ondes électromagnétiques, les ondes radio sont avec les ondes du spectre visible, les seules à ne pas être arrêtées par l'atmosphère. On sait fabriquer des récepteurs sensibles aux ondes radio, celles qui nous sont envoyées par le soleil mais aussi celles que l'on fabrique avec des antennes et qu'on utilise pour communiquer entre-nous. La gamme des ondes radio est très utilisée et l'attribution des fréquences est étroitement surveillée et réglementée.

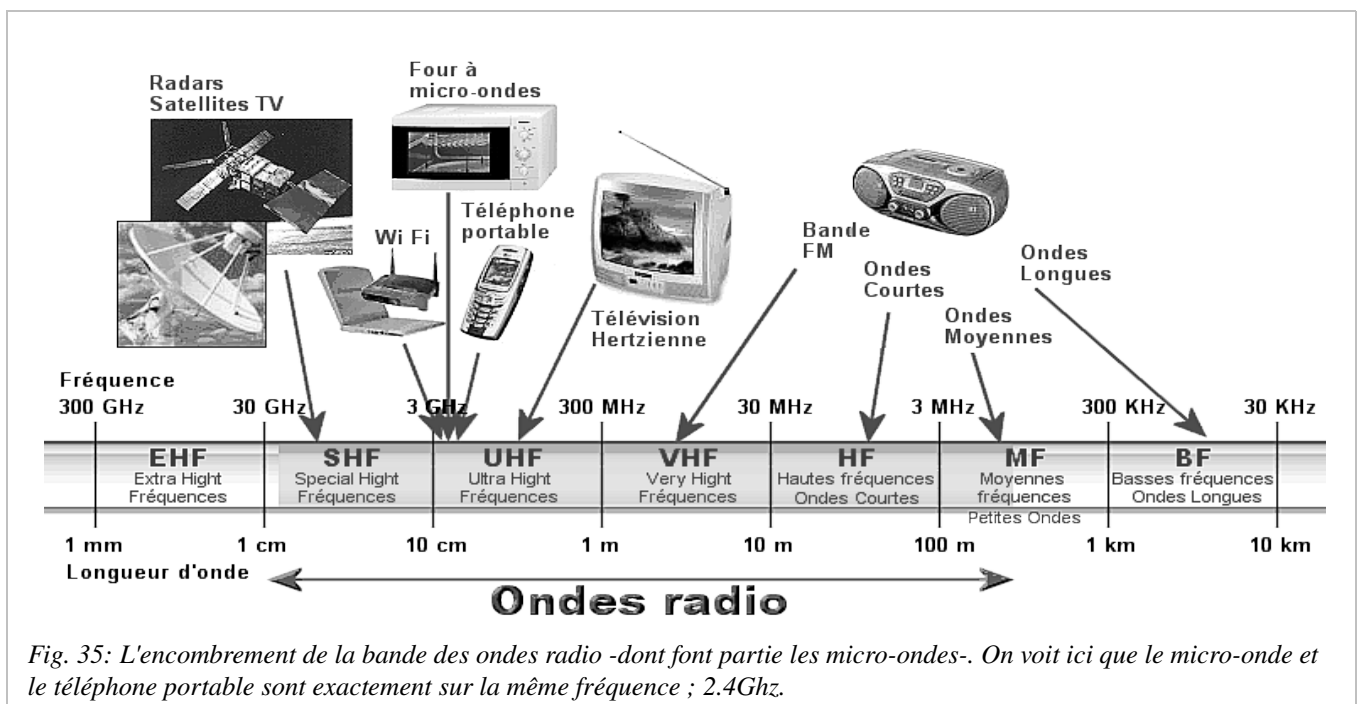


Fig. 35: L'encombrement de la bande des ondes radio -dont font partie les micro-ondes-. On voit ici que le micro-onde et le téléphone portable sont exactement sur la même fréquence ; 2.4Ghz.

67 Leur longueur d'onde est donc comprise entre 30cm et 1mm

68 Ultra hautes fréquences (de 1 GHz à 3 GHz)

69 Supra hautes fréquences (de 3 GHz à 30 GHz)

70 Extrêmement hautes fréquences (de 30 GHz à 300 GHz)

71 Pour comprendre la différence fondamentale en images, vous pouvez consulter la bande-dessinée *Les femmes en blanc*, -- Album N°23, Perle rares, page 31 : « portables interdits ».

72 C'est à dire du à la production de chaleur des micro-ondes. C'est l'effet qui est mis en oeuvre dans les fours éponymes.

Le cas du téléphone mobile

Le téléphone portable est apparu à la fin des années 90, et cela pourrait expliquer que l'on ait peu d'études à ce sujet. Cependant le nombre de téléphones mobile utilisés a considérablement augmenté et on voit sortir aujourd'hui les toutes premières études concernant leurs effets sur l'organisme. Bien que non vérifiable par le faible recul que l'on a par rapport à cette technologie montante, une tendance semble se dégager. Nous allons tenter d'analyser et de hiérarchiser le peu d'études fiables sous notre main.

Les ondes radio sont omniprésentes dans notre environnement et c'est pour cette raison que les chercheurs d'aujourd'hui se penchent sérieusement sur le problème : les ondes radio sont-elles vraiment nocives ? Quels sont les risques dus à une utilisation prolongée du portable ou encore au fait d'habiter près d'une antenne relais ?

Principe de fonctionnement d'un téléphone mobile

Le téléphone mobile est un appareil servant à transmettre de la voix via un réseau spécifique. Son principal avantage est qu'il permet de communiquer partout où la couverture réseau est suffisante. Pour cela, le téléphone mobile va numériser la voix pour l'émettre sur une fréquence de l'ordre du gigahertz. Grâce à un procédé extrêmement ingénieux utilisant la compression, l'utilisation de multiples antennes relais très puissantes, un réseau hexagonal et le multiplexage, on a réussi à faire passer toutes les communications mobiles françaises sur seulement 500 fréquences. Cependant, l'émetteur, -c'est à dire le téléphone portable- a une puissance d'environ 2 Watts ; puissance négligeable en temps normal, mais qui devient potentiellement dangereuse lorsqu'on l'approche de l'encéphale.

Effets

Tout d'abord, il faut savoir que l'intensité d'un champ électromagnétique diminue à mesure que l'on s'éloigne de la source et donc le soucis rencontré avec ces ondes serait un problème de proximité avec la source ; c'est chose sûre mais il faut savoir que ce sujet est très délicat à traiter car aujourd'hui peu d'études fiables sont effectuées, et que malgré les recommandations et les mesures des spécialistes, on ne respecte pas le principe de précaution qui voudrait que l'on ait des études fiables avant de commercialiser la technologie. Ce non respect est principalement dû à la pression des industriels qui veulent réaliser toujours plus de profit et à la pression des consommateurs qui, mal informés, souhaitent toujours plus de technologie.

Bien que nous ayons très peu de sources fiables, nous pouvons en parler dans le cadre de notre TPE qui nous le rappelons avait pour objectif de passer en revue les différents types de rayonnement électromagnétiques et leurs conséquences sur le vivant.

L'étude sur les glandes parotides

Il a été observé par des chercheurs israéliens financés par l'OMS que, « téléphoner longtemps avec son portable augmenterait nettement le risque de cancer des glandes salivaires plus particulièrement des glandes parotides et ce risque est d'autant plus élevé pour les utilisateurs qui téléphonent plus de 22h par mois et en plus sur la même oreille. ».

En effet, une très grande étude a été effectuée à partir de 67 millions de personnes dans les pays baltiques âgés entre 20 et 69 ans concernant le lien

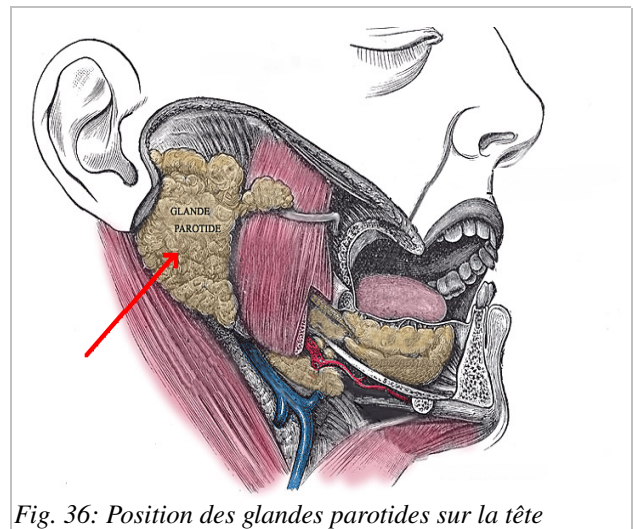


Fig. 36: Position des glandes parotides sur la tête

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

entre cancer des glandes parotides qui est un cancer très rare (1 personne atteinte sur 100 000 par an) et la téléphonie mobile.

L'objectif de cette étude était de tester les hypothèses qu'une exposition aux radiofréquences du portable (450-1800 MHz) à long terme augmentait fortement le risque d'un cancer aux glandes parotides. Pour mener à bien cette tâche, les chercheurs ont interviewé les personnes non atteintes et étudié les dossiers médicaux de tous les patients atteints de cette tumeur. Les questions portaient sur le train de vie, la durée d'utilisation du téléphone, la fréquence etc.

Il a été aussi différencié dans l'étude le NMT (Nordique mobil téléphone) et le GSM (Global System Mobil), ce dernier ayant une puissance de signal inférieur au NMT.

Après 5 ans d'études, il a été établi qu'en effet il peut y avoir un fort lien entre cette tumeur et l'utilisation du mobile mais aussi des problèmes de peau peuvent apparaître. Plus précisément, l'étude publiée dans *American Journal of Epidemiology* en décembre 2007 révèle que les risques de développer une

tumeur cancéreuse de ces glandes sont près de 50% plus élevés auprès d'utilisateurs fréquents de téléphones cellulaires (22 heures par mois). L'étude montre aussi que le risque est encore plus grand si les utilisateurs placent toujours l'appareil sur la même oreille, s'ils ne disposent pas d'un écouteur, ou s'ils se trouvent dans des zones rurales.

L'étude sur la fertilité des cigognes et leur répartition

Une étude de Balmori et Hallberg est une des deux études montrant une incidence significative des micro-ondes sur la fertilité animale (l'autre étant celle de Magras en 1997). L'étude de Balmori et Hallberg a été réalisée à Valladolid en Espagne entre octobre 2002 et mai 2006. La population de cigognes a été comptée sans différencier les oiseaux par âge ou par sexe. Ils ont aussi mesuré la puissance moyenne des champs électromagnétique de terrain.

Cette étude prouve qu'il y a une corrélation entre la présence d'antennes diffusant des ondes radios et une baisse de la population de cigognes. Si cette baisse de la population de cigognes continue à hauteur de 5% par an comme maintenant, la race risque de s'éteindre à Valladolid vers 2020. Cette corrélation est d'autant plus prouvée car entre janvier 2005 et mars 2005, ils ont enlevé une antenne à proximité de la population de cigognes et la population a augmenté jusqu'au moment où ils ont remis l'antenne, là la population a diminué à nouveau. Une baisse significative de la fertilité a aussi été notée.

Les micro-ondes émises par le portable auraient donc des effets négatifs à long terme sur l'utilisateur. Toutefois très peu sont scientifiquement prouvés. On pense -entre autres- que les ondes radio provoquent :

- La migraine : les ondes de portables projetées par l'appareil en contact avec la tête peuvent provoquer une diminution de l'imperméabilité d'une membrane entourant le cerveau : la barrière Hémato céphalique. Cette protection devenant beaucoup plus perméable, elle permet le passage des microbes et ainsi une inflammation de la dure-mère, ce qui constitue une des caractéristiques des migraines. Cependant, même si des études ont été faites auprès de rats, aucune preuve scientifique n'a encore pu être apportée, les études se contredisant toutes les unes les autres.
- Les ondes du téléphone portable excitent nos cellules nerveuses entraînant un « effet speed » ou stress sur l'organisme et cela menant à des spasmes ou malaises.
- D'autres études montrent notamment des effets de perturbation du sommeil, de fatigue, d'irritabilité, de maux de têtes, de dépression, de nausées, de pertes d'appétit, de perturbations visuelles, de problèmes cardiovasculaires, de changements au niveau de la formule sanguine, de modifications de l'électroencéphalogramme.
- Des augmentations significatives de taux de cancer autour d'antennes relais ont été mises en évidence dans deux études distinctes en Allemagne et en Israël. Deux autres études montrent une incidence

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

significative et importante sur la fertilité animale. Une expérience grandeur nature en Suisse indique clairement une baisse de la sécrétion de la mélatonine liée à l'activité d'une antenne. La mélatonine est une hormone essentielle sécrétée par la glande pinéale. Anti-oxydant puissant neutralisant les radicaux libres, elle intervient dans les réparations de brins d'ADN et joue un rôle important au niveau immunitaire et cardiovasculaire, ainsi que dans le contrôle du cancer. Elle interviendrait également dans la maladie d'Alzheimer.

Conclusion

Bien qu'on soupçonne les téléphones mobiles de nombreux maux, bien peu sont scientifiquement prouvés par des études fiables. Il faut cependant savoir que toutes les études récentes à ce sujet tendent à montrer que les téléphones portables ne sont pas inoffensifs pour la santé. L'usage d'un « kit main libre » ne fait en effet que déplacer le problème. En l'absence d'études fiables sur une nouvelle technologie, le principe de précaution voudrait que l'on limite leur utilisation en attendant des conclusions fermes à ce sujet ; ce n'est pas le cas aujourd'hui.

Le cas du four à micro-ondes

Pour ce qui est du four à micro-ondes, nous sommes principalement intéressés par les effets dits thermique des micro-ondes. En effet, ce sont eux qui permettent de cuire les aliments. Contrairement au téléphone portable, dont la principale vocation est de propager les ondes pour communiquer, le micro-ondes a pour objectif de les garder confinées. De ce fait, il n'y a actuellement pas d'effet connu sur l'Homme.

Le nom « micro-onde » vient du fait que les micro-ondes sont de longueur d'onde plus courte que celle des ondes radar utilisées lors de la seconde guerre mondiale. Leur existence a été prédite par Maxwell et démontrée par Hertz en 1888. La légende veut que pendant la seconde guerre mondiale, un ouvrier assis près d'un radar en fonctionnement ait senti une étrange impression de chaleur et aurait découvert l'effet thermique des micro-ondes.

Structure du four

Un four à micro-ondes est constitué d'une enceinte métallique imperméable aux micro-ondes et d'un *magnétron* qui permet de produire ces rayonnements. Alimenté à très haute tension -plusieurs milliers de Volts-, le magnétron va produire des micro-ondes qui vont être réfléchies par les parois du four et être absorbées par les aliments.

Action sur les cellules

Lorsque le four à micro-onde est en fonctionnement, il va émettre des rayonnements polarisés⁷³ à la fréquence de 2,4GHz, c'est à dire que le vecteur de polarisation de l'onde va changer de sens environs deux milliards de fois par seconde. Les cellules sont composées essentiellement d'eau⁷⁴, or, la molécule

73 Voir l'Annexe 3 pour plus d'explications

74 Composition d'une cellule :

Eau 70%

Protéines 18%

Lipides 5%

ADN 0,25%

ARN 1,1%

Polyosides 2%

Molécules simples (acides aminés, acides gras, glucose) 3%

Ions minéraux 1%

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

d'eau -de formule H_2O - est une molécule dite *polaire*, ce qui signifie que le barycentre des charges négatives et positives ne sont pas confondus. De ce fait, il y a des endroits plus électro-négatifs que d'autres. Cette particularité rend la molécule d'eau sensible aux variations de champ électrique produites par le micro-onde. Concrètement, les molécules d'eau vont suivre la polarisation de l'onde, et ainsi changer de sens plusieurs milliards de fois par seconde. C'est cette agitation des molécules qui va faire chauffer les aliments⁷⁵.

L'énergie absorbée par les molécules d'eau se propage par conduction dans tout l'aliment, et ce même dans les parties sèches, mais à une vitesse bien moindre. La vapeur d'eau produite par le chauffage peut parfois ne pas être contenue par l'aliment ; il explose alors.

Conclusion

Les micro-ondes produites par le micro-onde mettent en mouvement les molécules d'eau contenues dans les cellules, et créent ainsi de la chaleur. Aujourd'hui, les enceintes qui confinent le magnétron sont efficaces et résistantes. De ce fait, il n'y a pas d'effets connus sur l'être humain. On peut cependant imaginer les principaux effets dans le cas d'une défaillance de l'enceinte de protection...

⁷⁵ Pas exactement en fait. En effet, à une fréquence supérieure à 1GHz, la molécule d'eau n'arrive plus à suivre la polarisation de l'onde. Il s'ensuit donc un déphasage entre le vecteur de polarisation de l'onde et l'orientation de la molécule. La conséquence est ce que l'on appelle une perte diélectrique, génératrice de chaleur, et dû à un phénomène que l'on appelle "relaxation" des molécules d'eau.

Conclusion

Comme nous l'avons vu tout au long de ce dossier, traiter des rayonnements électromagnétiques dans leur ensemble est une tâche extrêmement complexe qui nous a amené à faire des choix et à ne pas tous les traiter ; nous avons donc omis le rayonnement visible, l'infrarouge... Les rayonnements électromagnétiques, qu'ils soient d'origine naturelle ou pas, sont omniprésents dans notre environnement. De par leur extrême diversité, ils ont des effets qui sont tantôt positifs, tantôt néfastes. Leurs effets sont bien sûr une question de dose et de durée d'exposition, comme nous l'avons vu pour les ultraviolets. Vitaux, les rayonnements électromagnétiques permettent la synthèse de la vitamine D, la photosynthèse ou encore le diagnostic de fractures, ils peuvent aussi s'avérer dangereux en interagissant avec l'ADN ou encore en provoquant le vieillissement de la peau.

Aujourd'hui encore, les effets de certains rayonnements sont mal connus ou peu étudiés, suscitant de nombreux débats et polémiques, c'est le cas notamment des rayons X et des micro-ondes. Dans ce cas, le principe de précaution devrait prévaloir.

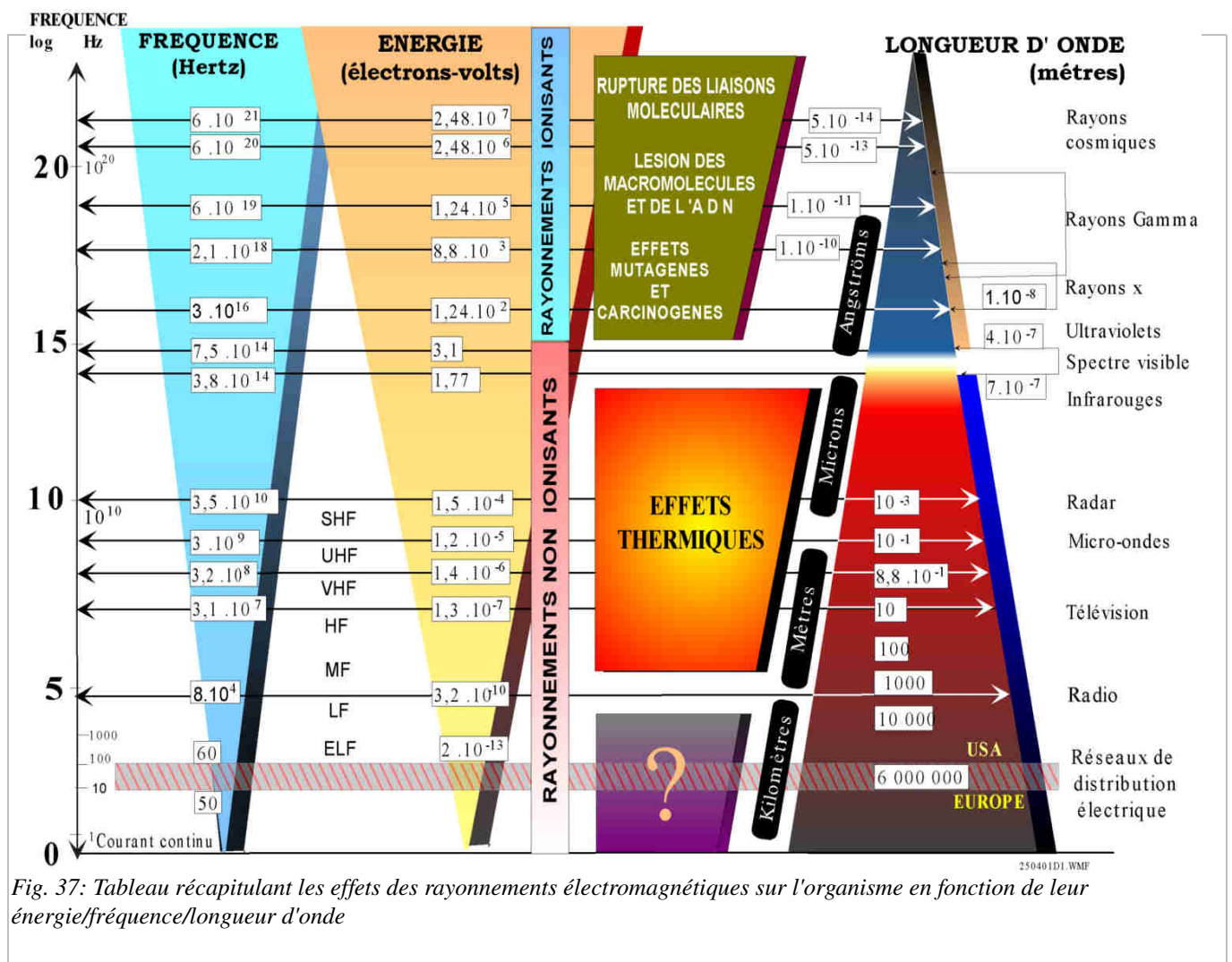


Fig. 37: Tableau récapitulatif des effets des rayonnements électromagnétiques sur l'organisme en fonction de leur énergie/fréquence/longueur d'onde

ANNEXES

Annexe 1 : Expérience des fentes de Young⁷⁶

Thomas Young a mis en évidence en 1801 la nature ondulatoire du rayonnement électromagnétique en montrant une *interférence* entre deux faisceaux lumineux. Or l'interférence est un phénomène caractéristique d'une onde.

Interférence

Une interférence se produit lorsque deux ondes se rencontrent et se « mélangent », ce qui signifie que les ondes vont s'additionner (cf Fig.8 et 9). Les interférences varient suivant la fréquence de l'onde et leur déphasage l'une par rapport à l'autre. Ainsi, en faisant varier le déphasage des ondes, on peut obtenir toutes sortes d'interférences.

Expérience⁷⁷

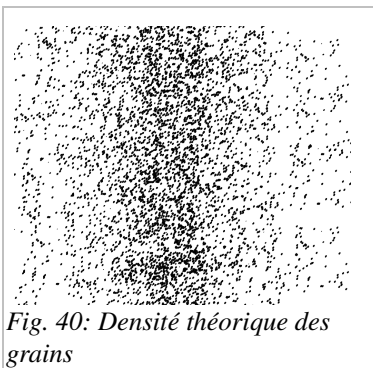


Fig. 40: Densité théorique des grains



Fig. 39: Résultat supposé de l'expérience de Young

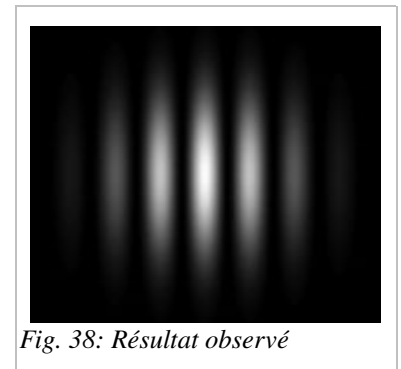


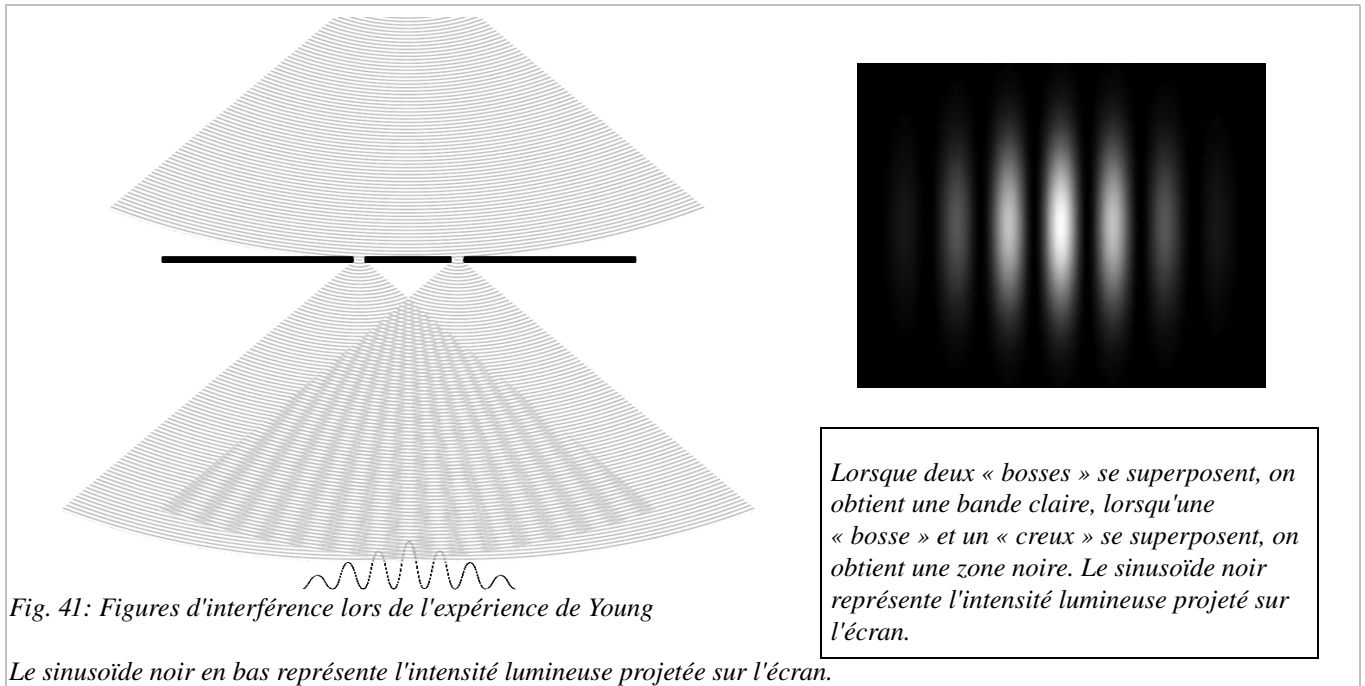
Fig. 38: Résultat observé

On place devant une source lumineuse une plaque percée de deux fines fentes très rapprochées et on observe la projection lumineuse sur un écran (cf Fig. 41). En passant à travers les fentes, le faisceau est diffracté, c'est à dire dispersé. On pourrait penser que l'on obtiendra un dégradé (cf Fig.39 et 40) car les deux faisceaux se superposent, donc la zone est plus lumineuse. C'est ce que propose un modèle corpusculaire du rayonnement, car la densité des grains de matière augmente vers le centre, la zone est plus lumineuse. Or, on constate une alternance de bandes claires et sombres (cf Fig. 38), ce qui est contraire à nos hypothèses.

⁷⁶ **Thomas Young** (1773-1829), est un physicien, médecin et égyptologue britannique.

⁷⁷ Une expérience interactive est disponible à l'adresse <http://vsg.quasihome.com/interf.htm>

Interprétation



La théorie des grains de lumière ne permet pas d'expliquer les résultats observés (cf Fig. 14 et 12). Cependant, Young a supposé que la lumière était une onde, L'alternance de bandes claires et sombres étant le résultat d'interférence entre les deux faisceaux. L'addition et le léger déphasage des ondes provoque les zones d'ombres et les zones claires (cf Fig. 15).

Annexe 2 : La vision

Certains êtres vivants sont capables de percevoir une certaine gamme de rayonnements électromagnétiques. L'être humain est sensible aux rayonnements infrarouge par le biais de la peau qui la détecte comme de la chaleur. Mais, grâce à nos yeux, nous sommes aussi sensibles à des rayonnements que l'on appelle des rayonnements visibles. Ce mécanisme est rendu possible grâce aux cellules qui tapissent le fond de notre oeil⁷⁸. Lorsqu'elles reçoivent un rayonnement visible, elles transmettent l'information au cerveau qui l'interprète et reconstitue l'image. Nous sommes dotés de deux types de cellules dans notre oeil : les bâtonnets qui sont sensibles à l'intensité des rayonnements. Par leur nombre très élevé, ils permettent de voir la nuit, mais seulement en nuances de gris et les cônes qui permettent de voir la couleur et qui sont subdivisées en trois types, un type sensible à la couleur rouge, un type sensible à la couleur verte et un troisièmes type sensible à la couleur bleue⁷⁹. Grâce aux informations recueillies par ces quatre types de récepteurs, le cerveau reconstitue l'image vue par nos yeux. Quant aux autres rayonnements électromagnétiques, ils ont beau atteindre les cellules photosensibles de la rétine, les cellules ne réagissent pas à ce stimulus, nous ne les voyons tous simplement donc pas. Pour cela, il faudrait que nous soyons dotés d'un autre type de récepteur.

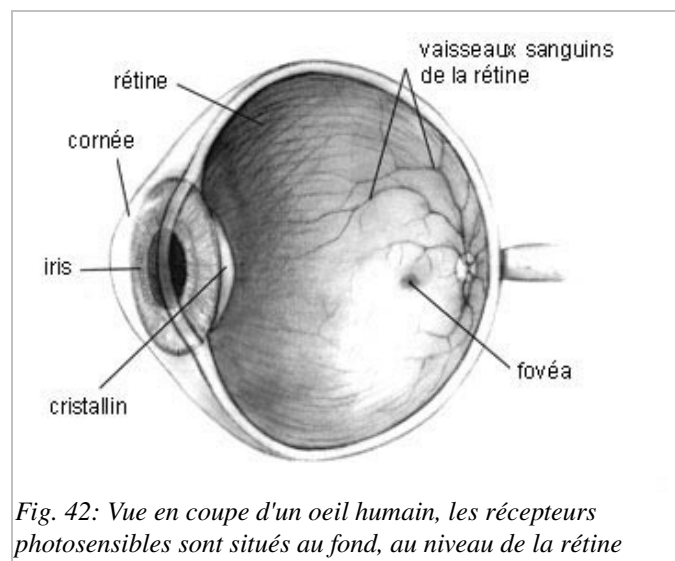


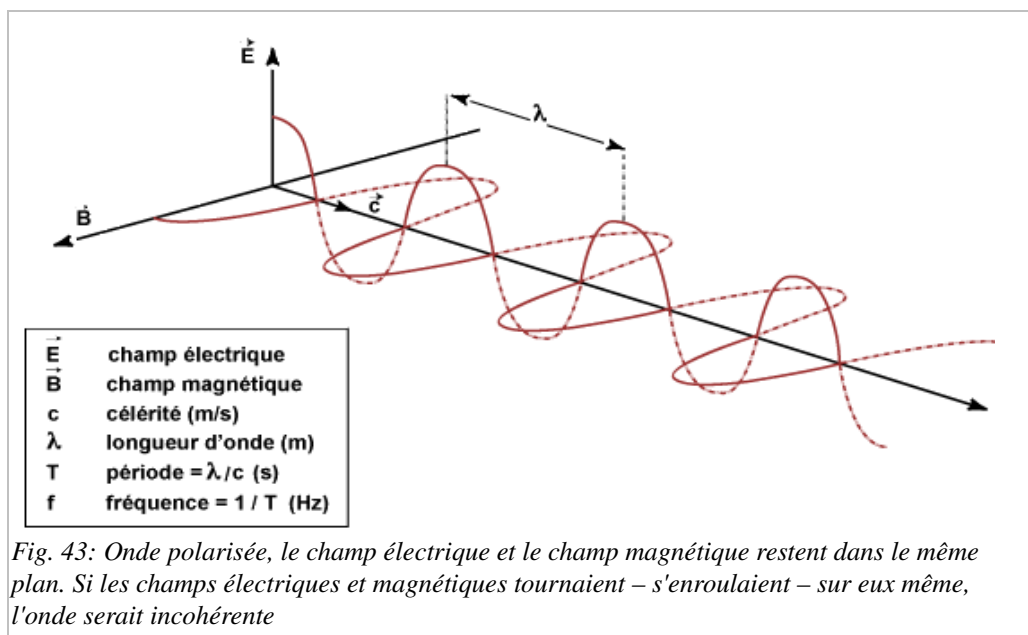
Fig. 42: Vue en coupe d'un oeil humain, les récepteurs photosensibles sont situés au fond, au niveau de la rétine

⁷⁸ C'est à dire la rétine

⁷⁹ Lorsque, suite à une anomalie génétique, un type de récepteur n'est pas présent, le malade est daltonien et ne voit pas la couleur correspondant au type de récepteur, mais aussi tous ses composés que le cerveau aurait reconstitué grâce à un processus de synthèse colorée.

Annexe 3 : Polarisation d'une onde⁸⁰

De manière simplifiée, lorsqu'une onde électromagnétique se propage, il est possible que le champ électrique de l'onde -ainsi que son champ magnétique- s'enroulent autour d'eux-même de manière aléatoire. Quand ce phénomène se produit, on dit que l'onde n'est pas *polarisée*, on dit aussi incohérente. A l'inverse, quand l'onde est dite *polarisée*, cela signifie que le champ électrique -et donc le champ magnétique- se propagent toujours dans le même plan.



⁸⁰ Pour simplifier, on passera sous silence les cas de la polarisation elliptique et consorts.

Annexe 4 : Expérience de l'effet photoélectrique

Il a été découvert en 1887 par Heinrich Rudolf Hertz⁸¹. Dans l'expérience de l'effet photoélectrique, on constate que lorsqu'on éclaire une plaque métallique à l'aide de rayonnements d'énergie élevée, des électrons sont arrachés de celle-ci. La quantité d'électrons dépend de l'énergie du rayonnement, avec cependant un effet de seuil⁸². Les physiciens de l'époque constatent que le niveau de seuil ne dépend que de la nature du matériau.

Expérience originelle

A l'origine, Hertz a découvert l'effet en exposant une plaque de zinc fraîchement polie chargée négativement. Il constate que cette plaque perd sa charge négative lorsqu'elle est exposée à une lumière monochromatique de la fréquence des ultraviolets.

Interprétation

Si on considère les ultraviolets comme des ondes, les ondes apportant progressivement l'énergie aux atomes, il suffirait d'éclairer le métal pendant une longue durée pour que le phénomène se produise. Or, on constate le phénomène à partir du moment où l'on expose la plaque, ce qui contredit le modèle ondulatoire. Ce n'est qu'en 1905 qu'Albert Einstein arrive à expliquer le phénomène⁸³. Il affirme –théorie révolutionnaire pour l'époque– que les rayonnements ne sont pas des ondes mais des corpuscules, c'est à dire de minuscules grains d'énergie. Ainsi, ce sont ces grains de matière qui, propulsés à la vitesse de $300000\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, vont venir arracher des électrons à la plaque métallique. Plus le grain de matière –appelé *photon*– aura d'énergie, plus il pourra arracher d'électrons sur une plaque ayant un seuil d'énergie élevé. Pour vulgariser, on pourrait dire qu'on laisse tomber une boule –un photon- d'une hauteur définie –sa vitesse c – et d'un diamètre donné –son énergie- dans un récipient rempli de balles –la plaque métallique-. On aura beau lancer autant de boules de petit diamètre que l'on veut, on ne provoquera que peu de mouvement ; on retrouve l'effet de seuil. Par contre, lorsqu'on lance une boule d'un diamètre suffisant, on peut éjecter une ou plusieurs balle du récipient ; l'intensité du phénomène dépend de l'énergie du photon. On notera que si l'on change la taille des balles du récipient, en les remplaçant par exemple par des balles, des cubes ou simplement en changeant la masse de ces solide, on obtiendra des résultats différents ; l'intensité de l'effet dépend du type de balle du récipient –d'atome de la plaque-.

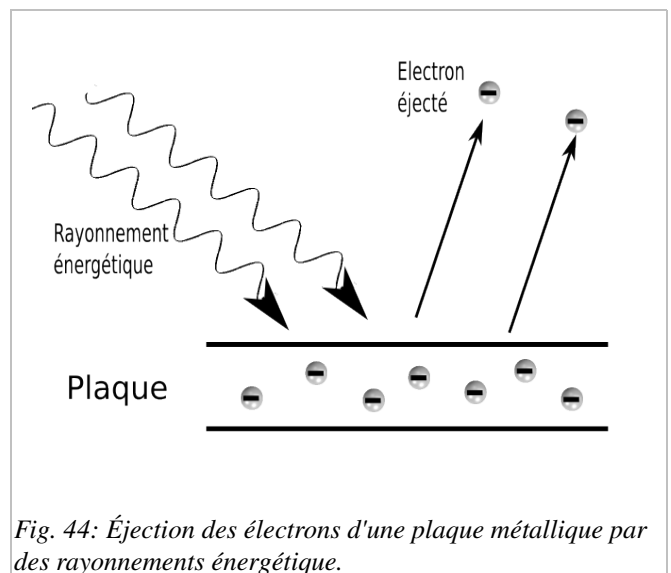


Fig. 44: Éjection des électrons d'une plaque métallique par des rayonnements énergétiques.

81 **Heinrich Rudolf Hertz** (1857 - 1894), était un ingénieur et physicien allemand. Hertz mit en évidence en 1887 l'existence des ondes électromagnétiques imaginées par James Maxwell en 1873. L'unité de fréquence usuelle porte son nom : le Hertz (symbole Hz)

82 C'est à dire qu'il n'y a pas d'effets lorsque les rayonnements ont une énergie inférieure à un certain seuil.

83 Il recevra d'ailleurs le prix Nobel de physique pour cette découverte. Ce sera d'ailleurs son seul prix Nobel.

Annexe 5 : Expérience sur les interactions des ultraviolets avec l'ADN

Bien que nous ayons raté notre expérience à cause de la manifestation étudiante dans notre lycée, nos résultats étant inexploitable, nous vous proposons tout de même le protocole établi et les résultats que l'on aurait du obtenir. Cette expérience vise à montrer que les ultraviolets provoquent des mutations sur la séquence génétique des levures, -c'est à dire que ce sont des agents mutagènes-.

Matériel utilisé :

- 5 boîtes de pétri avec de la gélose,
- Une culture de levures rouge,
- Une lampe à alcool pour stériliser l'espace et les instruments
- Masques, blouse, pinces,
- Lampe à ultraviolets.

Protocole établi :

Nous avonsensemencé les levures dans 5 boites de pétri. Prenant bien soin d'être rapide et de laisser le milieu stérile grâce à la flamme, nous avons ensuite fermé chaque boîte et les avons numéroté avec le temps d'exposition à la lumière ultraviolette prévu. Soit 0 secondes pour la boîte témoin, 15 pour la boîte 2, 30 pour la boîte 3, 60 pour la boîte 4 et 120 secondes pour la boîte 5. Puis nous avons exposé chaque boîte en fonction du temps établi aux rayons ultraviolets

Résultats :

Suite à l'exposition et au bout d'environ 5 jours d'incubation, nous aurions dû remarquer :

- Concernant la boîte témoin (0 sec) les cellules se seraient normalement développées.
- De 15 sec à 120 sec nous aurions remarqué que les colonies de levures rouges se font de plus en plus rare mais il serait apparu des colonies de levures blanches à la place .Cela est normal car une courte durée d'irradiation, donc une faible dose d'ultraviolets peut provoquer une mutation non létale : l'absence de synthèse du pigment rouge.
- Au delà de 2 minutes d'exposition, il y a une irradiation totale et les cellules sont normalement toutes mortes.

Interprétation :

Les cellules de levure rouges étant invisibles à l'oeil nu, il est nécessaire qu'elles se reproduisent et forment des colonies. Lorsqu'on irradie ces colonies, une majorité de cellules va mourir, mais certaines vont résister ; soit parce qu'elles sont moins exposées (recouvertes), soit parce qu'elles sont mutantes et de ce fait plus résistantes. Ces cellules résistantes vont former une nouvelle colonie en se divisant. Si les mécanismes réparateurs de la cellule ont bien fonctionné, la cellule est soit morte (apoptose), soit réparée. Dans le cas contraire, la cellule mutée va transmettre la mutation à ses descendantes, d'où l'apparition de colonies blanches.

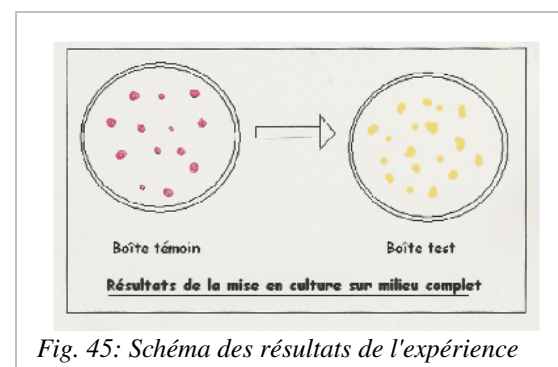


Fig. 45: Schéma des résultats de l'expérience

Conclusion

Cette expérience nous a permis de constater que des cellules vivantes telles que les levures ne sont pas insensibles aux UV : lorsqu'elles sont exposées aux UV, beaucoup d'entre elles sont mutées ou meurent or, ces levures étant relativement proches des cellules humaines, on peut donc craindre les mêmes effets sur les cellules humaines.

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

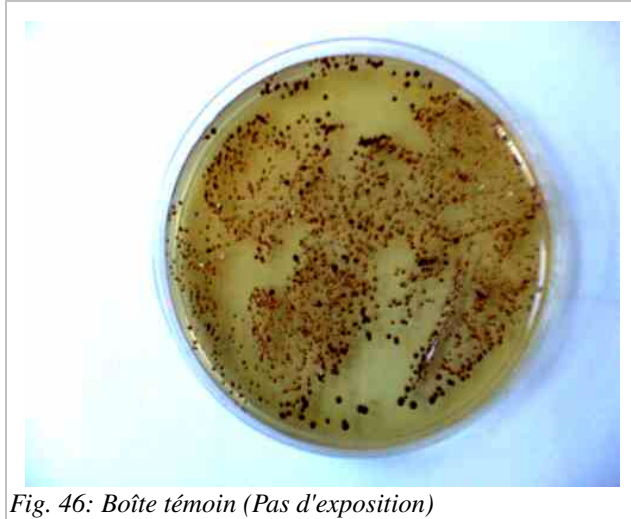


Fig. 46: Boîte témoin (Pas d'exposition)



Fig. 47: Irradiation de 15 secondes



Fig. 48: Irradiation de 30 secondes

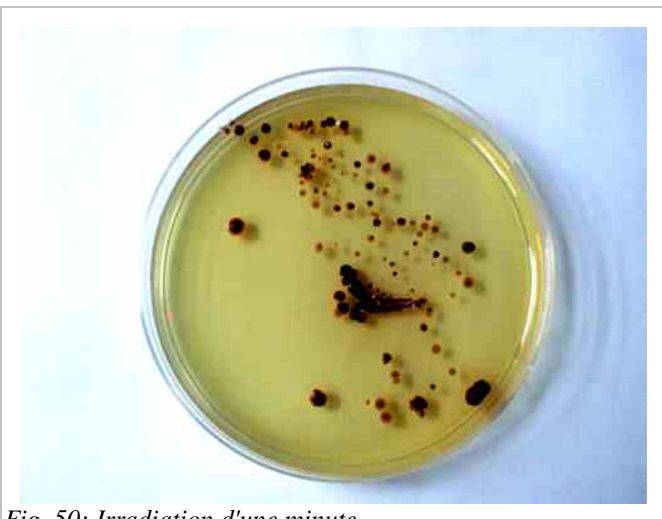


Fig. 50: Irradiation d'une minute



Fig. 49: Irradiation de deux minutes

Annexe 6 : Applications des rayonnements électromagnétiques

Onde électromagnétique	Fréquence	Longueur d'onde	Application
Rayons X	>3000 THz	<100 nm	Imagerie médicale Radiographie
Rayons UV	750 à 3000 THz	400 nm à 100 nm	Banc solaire
Lumière visible	385 THz à 750 THz	780 à 400 nm	Vision humaine, photosynthèse
Infrarouges	0,3 THz à 385 THz	1 mm à 780 nm	Chauffage
Fréquences extrêmement hautes (EHF)	30 GHz à 300 GHz	0.01 m à 1 mm	Radars, communication par satellite
Fréquences superhautes (SHF)	3 à 30 GHz	0.1 m à 0.01 m	Radars, alarmes anti- intrusion
Fréquences ultrahautes (UHF)	0.3 à 3 GHz	1 à 0.1 m	Télévision, radars, téléphones mobiles, fours à micro-ondes, hyperthermie médicale
Très hautes fréquences (VHF)	30 à 300 MHz	10 à 1 m	Télévision, radio FM
Hautes fréquences (HF)	3 à 30 MHz	100 à 10 m	Soudage, collage
Fréquences moyennes (MF)	0.3 à 3 MHz	1 km à 100 m	Radiodiffusion MO-PO, diathermie médicale
Basses fréquences (LF)	30 à 300 KHz	10 à 1 km	Radiodiffusion GO, fours à induction
Très basses fréquences (VLF)	3 à 30 kHz	100 Km à 10 km	Radio-communications
Fréquences audio (VF)	0.3 à 3 kHz	1000 Km à 100 km	Transmission de données vocales, métallurgie, chauffage par induction
Extrêmement basses fréquences (EBF-ELF)	3 Hz à 300 Hz	100 000 à 1000 km	Transport et distribution de l'électricité, électroménager
	50 Hz	6000 Km	
Champ magnétique terrestre	0 Hz (continu)	infinie	Boussole

Source: Duchêne, A., & Jousset-Dubien, J. (2001). Les effets biologiques des rayonnements non ionisants. Médecine-Sciences, Flammarion.

SOURCES

Chapitre 1 : *Nature des rayonnements électromagnétiques*

- Divers ouvrages traitant de la mécanique quantique et de la relativité pour la partie traitant de la production des rayonnements et les généralité sur ceux-ci
- Revue Science et Vie Juniors, articles parus entre 2001 et 2007, notamment pour les modèles
- L'Encyclopédie libre Wikipédia pour la production des rayonnements.
- Notre professeur de physique-chimie pour des précisions concernant la production des rayonnements et les ondes polarisées.
- Cours de physique de seconde pour les notions basiques sur le spectre.
- Cours de physique de première pour les notions de molécule polaires
- Duchêne, A., & Jousot-Dubien, J. (2001). Les effets biologiques des rayonnements non ionisants. Médecine-Sciences, Flammarion.
- Document « Les ondes électromagnétique » de Joëlle Pire de l'UCL, librement disponible à l'adresse <http://www.sc.ucl.ac.be/e-mediasciences>

Chapitre 2 : *Effets des rayonnements ultraviolets sur le vivant*

Généralités

- <http://www.space.gc.ca/asc/fr/educateurs/ressources/scisat/6annee-fiche-ozone.asp>, site internet de la fédération française de montagne et d'escalade)
- http://www.ffme.fr/fiches.technique/protection/soleil/vue/ultra_violet.htm
- <http://www.who.int/uv/fr/>
- <http://Tasante.com>, site généraliste sur la médecine
- http://perso.orange.fr/jacques.prestreau/tortues/pdf/09_physique_des_uv.pdf
- <http://www.teteamodeler.com/sante/soleil/vichy/soleil6.htm>

Biologie / Physique

- http://pedagogie.ac-toulouse.fr/sc_phy/docum/phy/ter/sms/ptsmco05.htm (physique)
- <http://www.didier-pol.net/5SOMM.html> (expérience)
- <http://www.chez.com/drolshy/rayonuv.html> (ultraviolets et cancers)
- http://www.cchst.ca/reponsessst/diseases/skin_cancer.html (cancers de la peau)
- <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doschim/decouv/peau/> (peau)
- <http://www.skin-science.fr>
- http://www-drfmc.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_visu.php?id_ast=140 (ADN)
- http://www.ac-grenoble.fr/svt/old_site/oral/I3s2/I3s2.doc (ADN)
- <http://www.ac-reims.fr/datice/svt/docpedagacad/lycee/sciencvie/cellule/numeratcellu/sordalab2b.htm>
- Journal du cnrs n° 198-199, n° 173

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Chapitre 3 : *Effets des rayonnements X sur le vivant*

- L'Encyclopédie libre Wikipédia pour les généralités
- L'Interview du Pr. Vernhet pour les effets sur l'ADN
- <http://ead.univ-angers.fr/~jaspard/Page2/COURS/5RayonIONISANT/Cours4/1Cours4.htm>
- <http://ead.univ-angers.fr/~jaspard/Page2/COURS/5RayonIONISANT/Cours4/1Cours4.htm>

Chapitre 4 : *Effets des rayonnements γ sur le vivant*

- Divers livres traitant d'Hiroshima, de Nagasaki et de Tchernobyl
- Divers ouvrages traitant des rayonnements gammas
- L'Encyclopédie libre Wikipédia pour les généralités et quelques exemples spécifiques
- <http://www.bbemg.ulg.ac.be/FR/2Notions/spectreem.html#>

Chapitre 5 : *Effets des micro-ondes sur le vivant*

- L'Encyclopédie libre Wikipédia pour le fonctionnement général du micro-onde
- Divers autres articles sur le web
- Site internet de l'*Organisation mondiale de la santé* (OMS)
- Cours de SVT pour la composition des cellules
- *American Journal of Epidemiology of Oxford*, Mobile Phone Use and Risk of Parotid Gland Tumor

Iconographie

Chapitre 1 : Nature des rayonnements électromagnétiques

Fig. 1, 5, 6, 7, 8, 9, 16, 17, 19, 20 : © PPPP – Maxime Woringer 2007 – Creative Commons by (autorisation de copier, de modifier suivant la licence CC). Illustrations créées pour le TPE

Fig. 2, 11 : © Alain Gallien : Professeur de SVT au lycée du Clos Maire à Beaune (Côte d'Or)

Banque d'images | Académie de Dijon, http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php?id_article=269

Fig. 3, 10 : © All rights reserved <http://rsd.gsfc.nasa.gov/rsd/bluemarble/BlueMarble1Kx1K.jpg>

Cette image a nécessité la contribution de 3 satellites: les nuages avec NOAA-GOES, les océans par SeaWiFS et le sol fut calculé à partir des données de l'instrument de NOAA/AVHRR. Les nuages furent photographiés le 9 septembre 1997 à 17h45 UTC. Tandis que pour les satellites ce fut pendant 10 jours pour NOAA et 18 jours pour SeaWiFS, car ils balaient une petite largeur de Terre.

Fig. 4 : Picture taken by Roger McLassus (improved by DemonDeLuxe, Sep 2006) , licence GFDL-self. via Wikipedia

Fig. 12 : © All rights reserved, <http://www.bioinformatics.org/oeil-couleur/dossier/lumiere.html>

Fig. 13, 43 : © All rights reserved, <http://www.radioamateur.org>

Fig 14 : By Tatoute, modifié par PPPP pour le TPE, placé sous double licence : GFDL (Gnu Free Documentation Licence ET Creative Commons Attribution ShareAlike license versions 2.5, 2.0, and 1.0), via Wikipédia

Fig. 15 : By ploufandsplash, modifiée par PPPP pour le TPE, placé sous double licence : GFDL (Gnu Free Documentation Licence ET Creative Commons Attribution ShareAlike license versions 2.5, 2.0, and 1.0), via Wikipédia.

Fig 18 : Icônes LanthysForWikipédia par Adrien Facéline. <http://perso.wanadoo.fr/eriollsdessigns/>, placé sous licence : LGPL (Lesser Gnu Public License), via Wikipédia.

Fig. 21, 34 : © All rights reserved, tiré du document « Les ondes électromagnétique » de Joëlle Pire de l'UCL, librement disponible à l'adresse <http://www.sc.ucl.ac.be/e-mediasciences>.

Chapitre 2 : Effets des rayonnements ultraviolets sur le vivant

Fig. 22 : Domaine public, de Serephine. Traduction des légendes par PPPP pour le TPE, via Wikipédia

Fig. 23-24

Fig. 25 : © PPPP – Maxime Woringer 2007 – Creative Commons by (autorisation de copier, de modifier suivant la licence CC). Illustrations créées pour le TPE

Fig. 26 : © All rights reserved, modifié par PPPP pour le TPE

<http://acces.inrp.fr/acces/ressources/sante/dynamique/cancer/html/chromosomes/images/Chr17.gif>

Fig. 27

Fig. 28 : © All rights reserved : http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doschim/decouv/peau/images/voir_chimie_cosm_400.jpg

Fig. 29 : © All rights reserved ASNAV

Chapitre 3 : Effets des rayonnements X sur le vivant

Fig. 30 : Domaine public, de Wilhelm Röntgen

Fig. 31 : © PPPP – Maxime Woringer 2007 – Creative Commons by (autorisation de copier, de modifier suivant la licence CC). Illustrations créées pour le TPE

EFFETS DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LE VIVANT

Chapitre 4 : *Effets des rayonnements γ sur le vivant*

Fig. 32-33 : Domaine public

Fig. 34 : cf supra

Chapitre 5 : *Effets des micro-ondes sur le vivant*

Fig. 35 : © All rights reserved Académie de Rennes ; <http://www.ac-rennes.fr/>

Fig. 36

Conclusion

Fig. 37 : © All rights reserved <http://www.bbemg.ulg.ac.be/FR/2Notions/spectreem.html#>

ANNEXES

Fig. 38, 39, 40, 44 : © PPPP – Maxime Woringer 2007 – Creative Commons by (autorisation de copier, de modifier suivant la licence CC). Illustrations créées pour le TPE

Fig. 41 : Via Wikipédia, modifiée par PPPP pour le TPE

Fig 42 : Domaine public, de <http://www.nei.nih.gov/health/macularhole/>. Traduction des légendes par Nataraja, via Wikipédia

Fig 43 : cf supra

Fig. 45 :

Fig. 46-49 : Académie de. Extrait d'un TPE

Outils utilisés pour réaliser ce document

- L^AT_EX 2_ε pour la mise en page des formules
- OpenOffice.org pour la mise en page
- Inkscape The Gimp et gThumb pour la création des illustrations 2D
- Blender pour la création des illustrations 3D
- Cinelerra, ffmpeg pour le traitement du film
- ainsi que beaucoup d'autres outils, libres pour la plupart.