



Andrea Danani

LES ONDES ET NOUS

Ce que nous savons
des ondes électromagnétiques





Andrea Danani

LES ONDES ET NOUS

Ce que nous savons
des ondes électromagnétiques

© copyright 2022 par Carocci editore, Rome

Titre original: *Le onde e noi. Cosa sappiamo sulle onde elettromagnetiche* (Carocci, 2019)

Conception graphique d'Ulderico Iorillo et Valentina Pochesci



05 Préface

07 PREMIÈRE PARTIE LES ONDES ET NOUS

08 Introduction

10 Qu'est-ce qu'une onde?

13 Les ondes sonores: avoir une bonne oreille!

15 Caractéristiques du son

17 L'effet Doppler: capteurs et angiographies

18 Les ondes électromagnétiques

25 Exemples du quotidien: four à micro-ondes et Wi-Fi

35 Champ magnétique terrestre: la magnétoréception

38 Odorat: encore une question d'ondes?

41 Conclusions

43 DEUXIÈME PARTIE ONDE APRÈS ONDE...

57 Glossaire



PRÉFACE

Dans quelle mesure sommes-nous conscients des retombées de la recherche scientifique et de la pratique médicale sur notre vie quotidienne? Quelles sont les “passions” et les motivations qui animent les chercheurs et les professionnels de la santé? Que savons-nous de leur profession?

Nombreux sont les efforts déployés par la société pour faire connaître à tous la science et ses implications. Nous pensons par exemple aux diverses brochures mettant en avant l'importance d'un style de vie sain et, en général, le bien-être. Naturellement, l'école aussi joue un rôle important, à travers des principes d'alphabétisation scientifique et la sensibilisation à une série de thèmes favorisant la construction d'une culture scientifique pour nos jeunes.

Le projet *Let's Science!* – réalisé par la Fondation IBSA pour la recherche scientifique en collaboration avec le Département de l'éducation, de la culture et du sport du Canton du Tessin (DECS) – est le fruit de ces réflexions. Ce partenariat a permis d'identifier d'intéressants domaines thématiques qui ont été affrontés en impliquant les scientifiques actifs sur le territoire cantonal. C'est ainsi que deux réalités souvent distantes ont été rapprochées – la recherche scientifique et l'école – en favorisant le dialogue entre professionnels et élèves à travers des ateliers thématiques, dans le but de développer une sensibilité aussi bien au thème qu'à sa communication.

Mais quel a été l'horizon thématique du projet et quelles sont les réflexions qui ont conduit à certains choix stratégiques? La science et la recherche, notamment en biomédecine et dans les disciplines connexes, avancent rapidement et l'élargissement continu des domaines d'investigation nécessite un effort constant de mise à jour afin de maintenir une perspective historique et d'accueillir les nombreuses nouveautés. Pouvoir disposer d'informations scientifiquement correctes, proposées à travers un langage accessible, offre la possibilité aux jeunes de se passionner pour des questions jugées en général “difficiles” et de s'en approcher.

C'est ainsi que naît la collection *Let's Science!*, qui se propose d'élargir le champ des sujets scientifiques pouvant être approfondis à l'école. Les thèmes, de nature interdisciplinaire et directement liés à la santé et au bien-être de la

personne, sont présentés de façon innovante: le texte scientifique est en effet accompagné d'une histoire réalisée à partir de l'expérience de classes des écoles secondaires cantonales qui, accompagnées par leurs professeurs, ont élaboré des scénarios originaux transposés en bandes dessinées par des professionnels du secteur.

Nous n'avons plus qu'à inviter le jeune lecteur à se laisser surprendre par les domaines de recherche tous plus passionnants les uns que les autres de *Let's Science!*, qui favorisent à leur tour la possibilité de nouvelles questions et de nouveaux approfondissements. Et qui sait... Parmi ces lecteurs se trouve peut-être celui ou celle qui, un jour, réalisera des découvertes fondamentales dans la compréhension de la complexité de la vie et du délicat équilibre qui nous permet de vivre heureux et en bonne santé. Bonne lecture!

SILVIA MISITI

Directrice de la Fondation IBSA pour la recherche scientifique

NICOLÒ OSTERWALDER

Conseiller didactique de la division scolaire pour les sciences naturelles (DECS)

Les ondes
et nous

PREMIÈRE PARTIE





INTRODUCTION

Dans le monde moderne, les moyens de communication comme la radio, la télévision, le téléphone et Internet nous permettent de recevoir ou transmettre des informations avec une facilité et une rapidité considérables. Nous y sommes tellement habitués, que le moindre problème de transmission nous irrite.

Mais comment fonctionne cette transmission d'informations dont nous ne pouvons plus nous passer? La réponse se trouve dans le titre de ce volume: tout est une question d'ondes.

Voici un exemple de la façon dont les messages étaient transmis autrefois, sans les moyens de communication modernes. En 1742, pour transmettre à Saint-Pétersbourg la nouvelle du couronnement de l'impératrice Élisabeth à Moscou, des soldats portant des drapeaux ont été positionnés de façon à former une chaîne le long du trajet entre les deux villes. Au moment du couronnement, le premier soldat a agité son drapeau, le deuxième a fait de même, et ainsi de suite. De cette façon la nouvelle est arrivée jusqu'à Saint-Pétersbourg où, alors que flottait le dernier drapeau, un coup de canon a été tiré. Il s'agit là d'un exemple de transmission ondulatoire.

Le terme **onde**, avant d'être un terme scientifique, est un mot commun à l'histoire très ancienne. Il vient du mot latin *unda* qui, comme en français, indique les ondulations à la surface de l'eau. Mais le lien avec l'eau est bien plus profond. En effet, le terme latin renvoie à la racine grecque *hyd-* qui apparaît dans le mot *hydor*, qui signifie justement "eau", et qu'on retrouve en français dans tous les mots qui commencent par "hydr-", comme hydraulique, hydrique, etc. Toutefois, la racine est encore plus ancienne et remonte à l'indo-européen, c'est-à-dire à une époque où presque toutes les langues européennes (et certaines langues asiatiques) n'étaient encore qu'une langue unique. La racine indo-européenne *vud-*, ou *vad-*, est reconnaissable dans de très nombreuses langues et indique l'eau ou des concepts y étant étroitement liés. Bien que les ondes dans l'eau ne soient en réalité, comme nous le verrons, qu'une typologie spécifique d'onde, un concept physique bien plus vaste et important est lié à ce mot très ancien.

En règle générale, nous pouvons dire que pour transmettre des informations, nous devons transporter de l'énergie. Ce transport a lieu d'une source vers un récepteur. Pour communiquer avec quelqu'un, nous pouvons par exemple parler directement à cette personne, lui téléphoner, lui envoyer une lettre ou lui écrire un e-mail. Ou bien nous pouvons utiliser le klaxon pour l'avertir d'un danger.

Dans tous ces exemples sont présents une **source** (cordes vocales, téléphone, lettre, ordinateur, klaxon), un **milieu de transmission** (air, câble téléphonique, services postaux, fibre optique) et un **récepteur** (oreilles, téléphone, yeux, ordinateur) [figure 1 ]. Lorsque le transport de l'énergie a lieu sans transport ou échange de matière, on parle de propagation sous forme ondulatoire.

 **Figure 1** Schéma de transmission



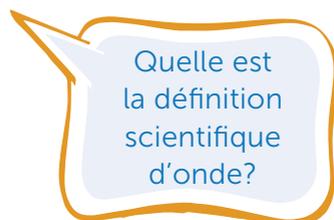
Sans en être pleinement conscients, nous vivons dans un monde remplis d'ondes: les ondes **naturelles**, comme justement celles de l'eau ou des tremblements de terre, comme également la lumière, les ondes radio et les radiations infrarouges que l'atmosphère terrestre laisse passer; mais aussi les ondes **artificielles** créées par l'homme (télécommunications, Wi-Fi, rayons X, four à micro-ondes etc.). Notre perception du monde passe de manière fondamentale à travers nos organes sensoriels qui recueillent les stimuli et les envoient au cerveau qui s'occupe de leur traitement; de cette façon, différents types d'ondes sont traités (et deviennent, à tous les effets, des signaux).

L'objectif de ce volume est d'expliquer le concept d'onde et d'illustrer la relation des êtres vivants, hommes et animaux, avec certains phénomènes ondulatoires essentiels. En partant des organes sensoriels et de la typologie d'onde, différents exemples d'interaction seront analysés, aussi bien en tant que source

qu'en tant que récepteur. En outre, nous nous attarderons sur certains exemples d'applications technologiques des ondes, qui démontrent que l'homme a parfois su apprivoiser et exploiter certains types d'ondes de façon contrôlée.

QU'EST-CE QU'UNE ONDE?

En physique, l'onde est définie comme une **perturbation** qui se propage dans l'espace et peut transporter de l'énergie d'un point à un autre. Pour que tout cela se produise, la présence d'un milieu qui, au passage de l'onde se déforme par vibration locale, est nécessaire. Les particules du milieu ne voyagent donc pas avec l'onde; seule la perturbation subie par ces dernières voyage. C'est ce qui se produit dans ce qu'on appelle les ondes mécaniques. Cette idée du milieu de propagation est restée en vigueur jusqu'au début du XXe siècle, lorsqu'il a été démontré que les ondes électromagnétiques avaient la propriété extraordinaire de se propager dans le vide, entendu comme absence de matière. Dans ce cas, c'est un organisme immatériel et un peu mystérieux, appelé **champ électromagnétique**, qui vibre. Cependant, il produit, comme nous le verrons par la suite, une multiplicité d'effets réels bien connus sur la matière.



À l'origine de l'onde, il y a toujours une série d'impulsions de nature oscillatoire. Les cordes vocales vibrent, la membrane du haut-parleur vibre, les électrons oscillent dans une antenne radio ou une ampoule.

Les ondes peuvent être divisées en deux grandes catégories: les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques.

Pour permettre la propagation de l'énergie dans les ondes mécaniques, trois éléments sont nécessaires:

- ⊙ une source de la perturbation;
- ⊙ un support qui subit la perturbation;
- ⊙ une connexion de type élastique qui relie la matière perturbée à celle adjacente.

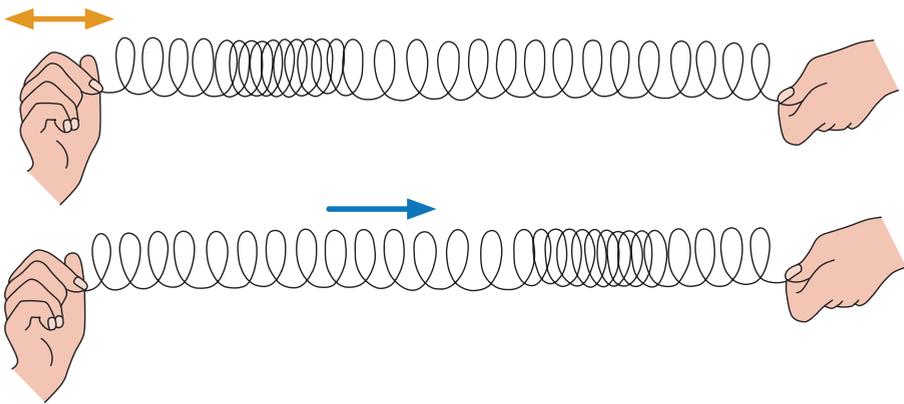
Les ondes mécaniques sont à leur tour de trois types, selon la façon dont vibre localement le milieu de propagation: longitudinales, transversales ou mixtes.

Dans les ondes **longitudinales**, les particules du milieu dans lequel se propage l'onde oscillent le long de la direction de propagation. Le son, un ressort qui se tend et se détend horizontalement ou encore une barre d'acier frappée par un marteau, sont autant d'exemples de propagation d'une onde longitudinale [figure 2 ].

Dans les ondes **transversales**, les particules du milieu oscillent perpendiculairement à la direction de propagation. Dans un ressort qui se tend et se détend verticalement, ou bien dans la corde d'un instrument, c'est une onde transversale qui se propage. La fameuse ola des stades est un exemple macroscopique d'onde transversale, étant donné que les spectateurs se lèvent et s'assoient sur place [figure 3 ].

Dans les ondes **mixtes**, les deux mouvements se superposent. L'exemple le plus connu est celui des ondes qui se propagent dans un liquide. En observant attentivement une bouée à la surface de l'eau, on note que celle-ci a un mouvement non seulement vertical, mais aussi horizontal, entraînant une rotation des particules d'eau autour d'un point. Cela est dû au caractère incompressible de l'eau qui, en effet, n'est pas un véritable milieu élastique, et complique l'analyse du mouvement de la houle qui s'y développe [figure 4 ].

 **Figure 2** Onde longitudinale

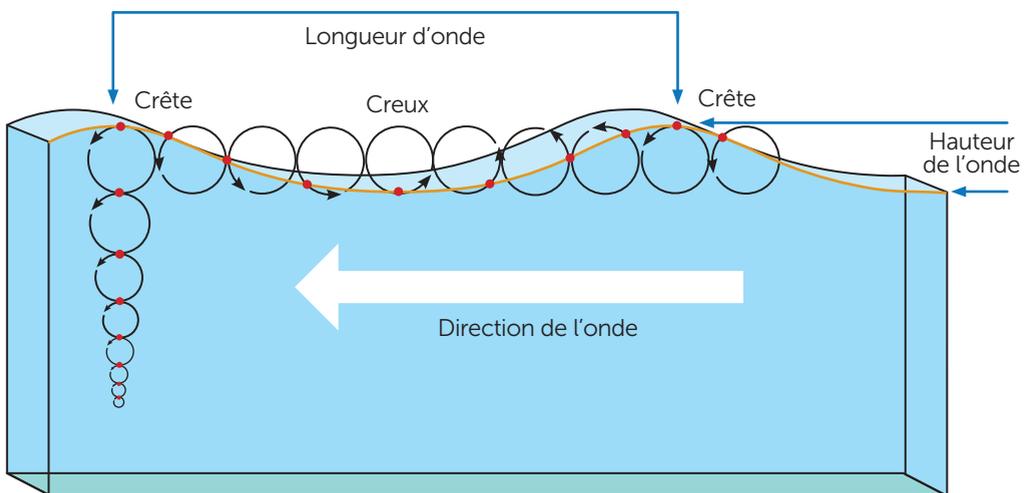


 **Figure 3** Onde transversale



Comme nous le verrons plus loin, ce qui se propage par oscillation dans les ondes électromagnétiques, c'est l'intensité d'un champ électromagnétique, qui résulte de la combinaison d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Il est généré par une distribution de charges immobiles ou en mouvement, et sa propagation peut aussi avoir lieu dans le vide.

 **Figure 4** Onde mixte



Les ondes concernent dans la pratique tous les aspects de la science moderne. Dans les pages suivantes, nous analyserons notre capacité de perception du monde qui nous entoure à travers les ondes. Différentes typologies d'ondes seront présentées, ainsi que la **relation** très étroite qu'il existe **avec nos capacités sensorielles**.

LES ONDES SONORES: AVOIR UNE BONNE OREILLE!

Le son est un exemple d'onde mécanique. En effet, c'est une onde dont la source est un corps qui vibre, comme les cordes d'une guitare, les cordes vocales ou une feuille de métal. Le milieu de propagation est en principe un gaz, souvent l'air [figure 5 ].

Par exemple, la vibration d'une feuille de métal crée des zones de compression et de raréfaction de l'air qui se propagent: la grandeur qui oscille dans ce cas est la pression de l'air (ou la densité). Le son qui en résulte est une onde longitudinale formée par des compressions et des raréfactions ultérieures du milieu, et c'est pour cette raison qu'on l'appelle **onde de pression** ou onde de densité. Nous entendons le son, car l'onde sonore fait vibrer notre tympan [figure 6 ].

Observons maintenant plus en détail la structure de l'oreille humaine, et plus particulièrement ses trois sous-structures: l'oreille externe, moyenne et interne [figure 7 ].

- ⊙ **Oreille externe** (pavillon et conduit auditif): le conduit auditif (1 ~ 25 mm) joue un rôle de résonateur à une fréquence d'environ 3 500 Hz.
- ⊙ **Oreille moyenne** (tympan, osselets et fenêtre ovale): le système d'osselets (levier de type I) transmet les vibrations du tympan à l'oreille interne par l'intermédiaire de la fenêtre ovale.
- ⊙ **Oreille interne** (cochlée et nerf auditif/canaux semi-circulaires): c'est un système hydrodynamique complexe (cochlée), contenant un fluide (périmylphe) et des récepteurs nerveux (cellules ciliées). C'est là que les impulsions mécaniques sont converties en signaux nerveux.

Figure 5 Ondes sonores

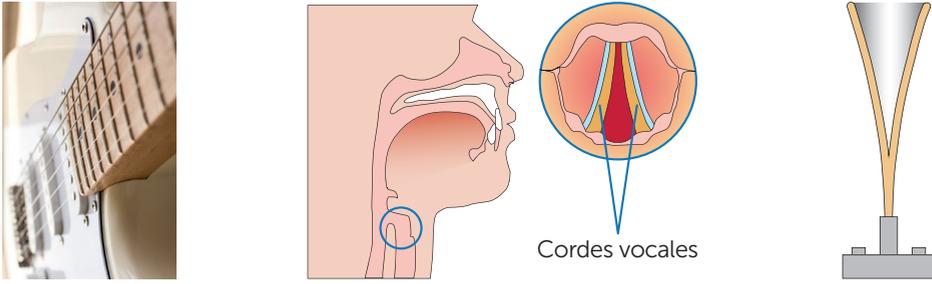


Figure 6 La perception du son

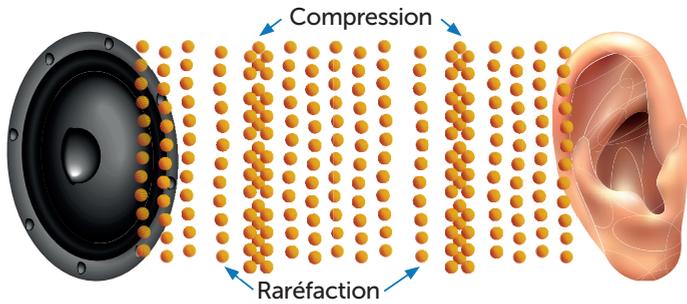
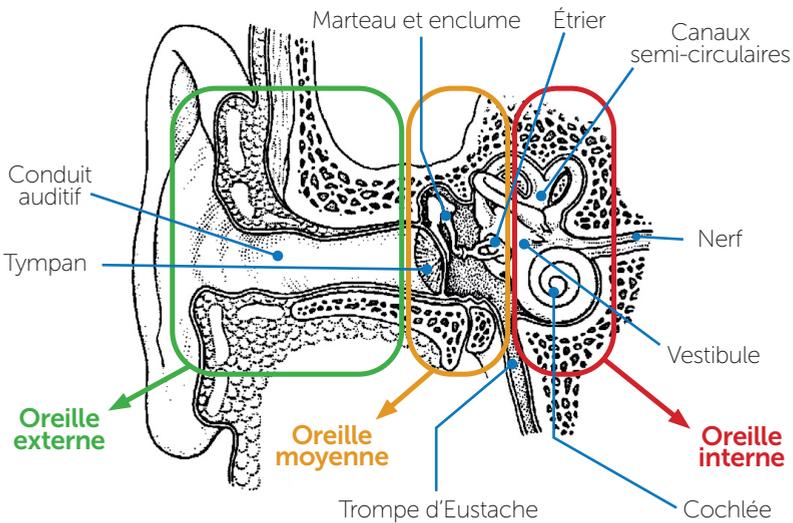


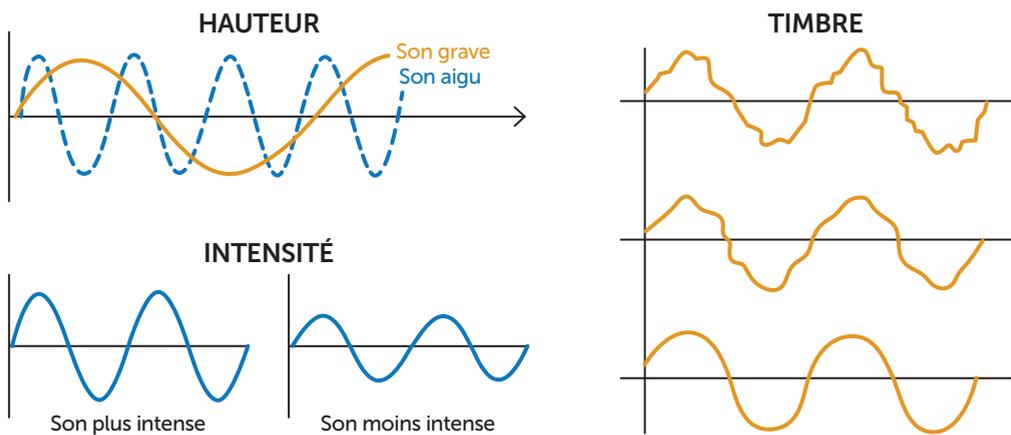
Figure 7 Structure de l'oreille humaine



CARACTÉRISTIQUES DU SON

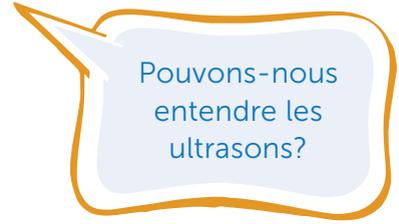
- ⊙ **Hauteur**: permet de distinguer un son aigu d'un son grave et dépend de la fréquence fondamentale de la vibration. Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu; plus la fréquence est basse, plus le son est grave.
- ⊙ **Intensité**: permet de distinguer un son à haut volume d'un son à faible volume et dépend de l'amplitude de l'oscillation, c'est-à-dire de l'énergie de la perturbation; une amplitude plus élevée équivaut à un son plus puissant et une amplitude plus faible à un son plus léger.
- ⊙ **Timbre**: dépend de la loi périodique spécifique selon laquelle l'onde sonore oscille. C'est un signe caractéristique de toute source du son. Plus les fréquences sont élevées, plus le son est strident [figure 8 ].

 **Figure 8** Caractéristiques du son



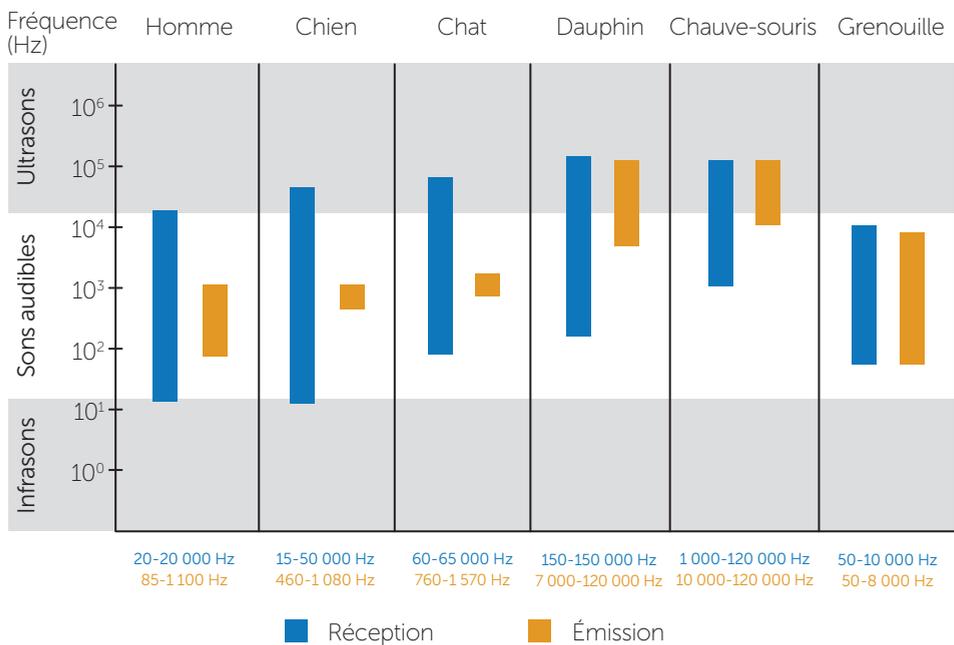
La fréquence du son se mesure en Hertz (Hz), du nom du physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz. Un Hertz équivaut à une oscillation complète dans le laps de temps d'une seconde: si un son est de 500 Hz, cela signifie que le corps qui le produit vibre 500 fois par seconde. Dans la nature, les sons varient d'un minimum de 1 Hz à un maximum d'environ 1 000 000 Hz.

L'oreille humaine perçoit les sons compris entre 20 Hz et 20 000 Hz. Les sons avec une fréquence <20 Hz sont appelés **infrasons**; ceux >20 000 Hz sont appelés **ultrasons**. De nombreux animaux sont à même d'entendre ces types de son, car ils sont dotés d'une ouïe dont le champ de fréquence est plus étendu que celui de l'homme [figure 9 ].

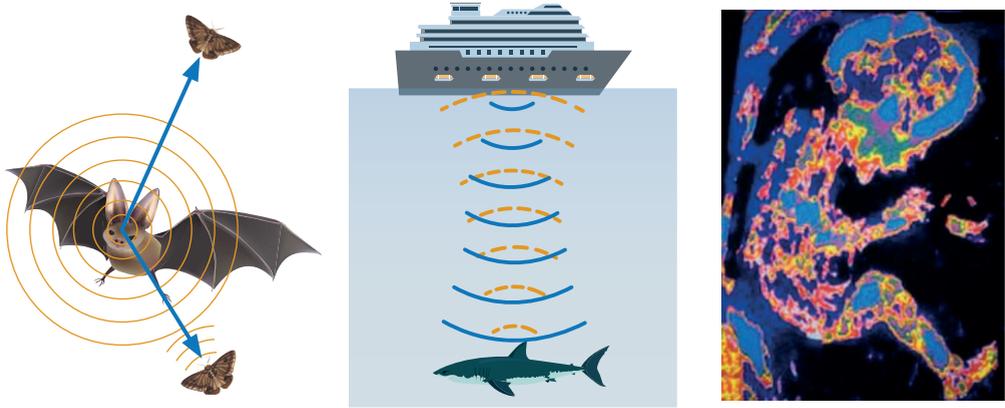


Les propriétés des ultrasons sont exploitées dans de nombreux domaines [figure 10 ]. Les **chauves-souris**, par exemple, parviennent à percevoir l'environnement autour d'elles et à s'orienter même dans le noir grâce à un système sophistiqué appelé **écholocalisation** (*biosonar*): en émettant de brefs ultrasons dans l'environnement et en écoutant l'écho de retour, elles peuvent localiser et estimer la distance des objets, y compris de petites dimensions.

 **Figure 9** Fréquence du son



 **Figure 10** Exemples d'utilisation des ultrasons



Utilisé dans le domaine naval, le **sonar** est un dispositif qui, en mesurant le temps d'aller et retour des ultrasons réfléchis, permet de mesurer la profondeur des océans et la distance des objets au-dessous de leur surface.

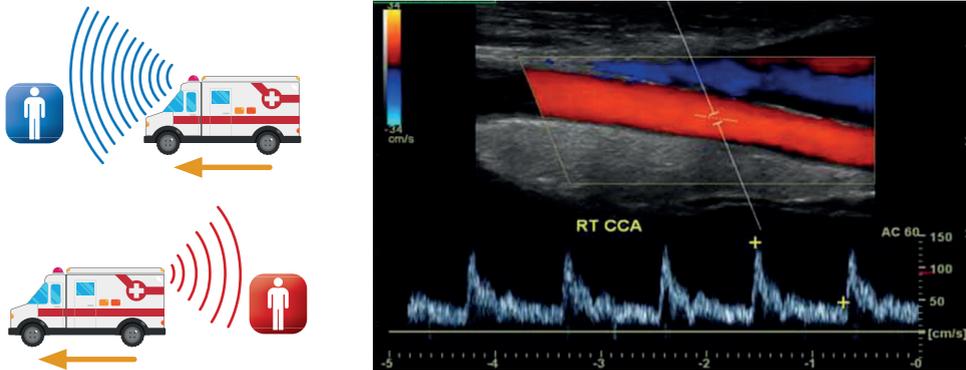
En médecine, l'application la plus connue des ultrasons est l'**échographie**. Grâce à cet instrument de diagnostic qui mesure les délais de réflexion des ultrasons qu'il génère, on obtient par exemple l'image du fœtus dans le ventre de sa mère.

L'EFFET DOPPLER: CAPTEURS ET ANGIOGRAPHIES

La fréquence d'une onde périodique détectée par un récepteur en mouvement par rapport à la source est différente de celle d'un récepteur immobile par rapport à la source. Lorsque nous entendons la sirène d'une ambulance qui s'approche de nous puis s'éloigne, nous entendons d'abord un son plus aigu, puis un son plus grave. La même chose se produit avec les voitures de Formule 1 qui filent à grande vitesse sur la piste.

De nombreux capteurs de mouvement exploitent cet effet, appelé **effet Doppler**: l'onde réfléchie a une fréquence plus ou moins importante selon que

 **Figure 11** L'effet Doppler



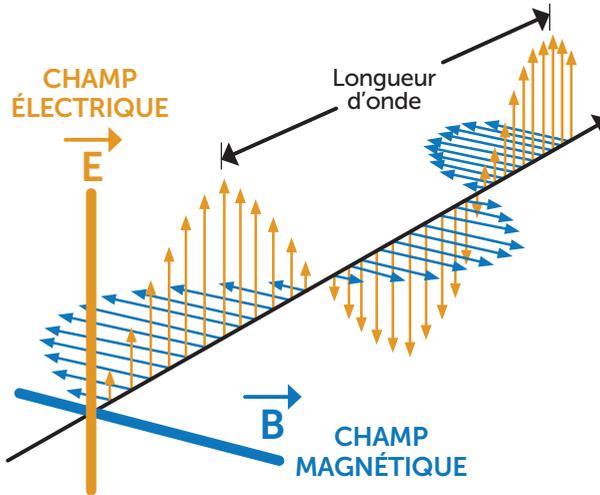
l'objet en mouvement s'éloigne ou s'approche. En médecine, l'effet Doppler des ultrasons permet de mesurer également la vitesse du sang dans les veines et dans les artères [figure 11 .

LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

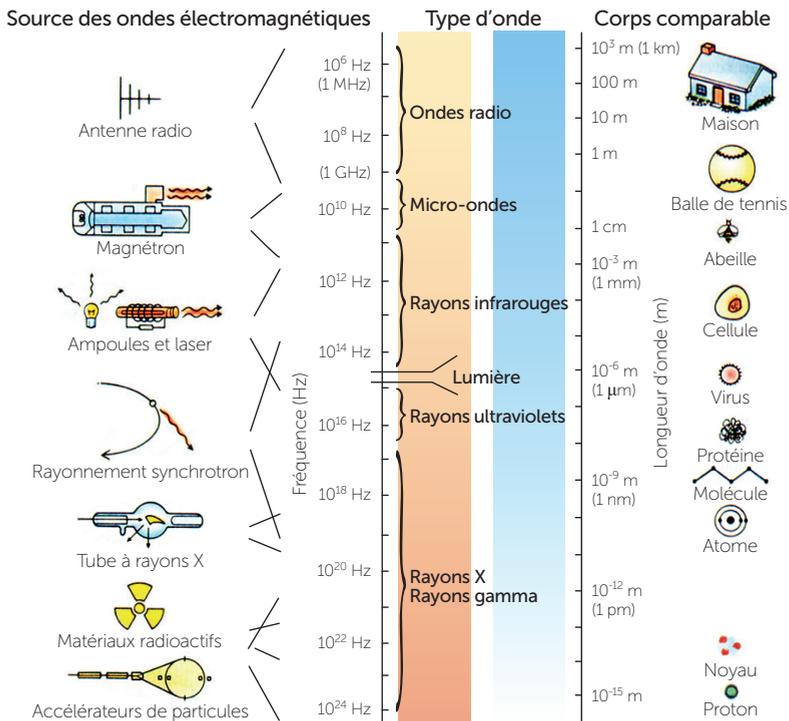
Les ondes électromagnétiques sont la combinaison de champs électriques et magnétiques qui se propagent perpendiculairement entre eux dans l'espace avec des caractéristiques ondulatoires [figure 12 ]. Leur vitesse de propagation est indiquée par la lettre "c" et correspond à environ 300 000 km/s.

La particularité des ondes électromagnétiques est que, contrairement aux ondes mécaniques, elles n'ont pas besoin d'un milieu de transmission, mais parviennent à se propager également dans le vide. Autrement dit, nous ne pouvons pas les voir directement, mais nous savons qu'elles existent, qu'elles sont quasiment partout autour de nous et que nous pouvons mesurer leurs effets indirects. L'ensemble des ondes électromagnétiques constitue ce qu'on appelle le **spectre électromagnétique**. À l'intérieur du spectre, les ondes électromagnétiques sont classées selon leur longueur d'onde et leur fréquence [figure 13 .

 **Figure 12** Ondes électromagnétiques



 **Figure 13** Spectre électromagnétique



Une **antenne émettrice** est un dispositif à même de diffuser des ondes électromagnétiques, en convertissant un signal électrique. Inversement, si l'antenne reçoit des ondes en les transformant en signal électrique, on parle d'**antenne réceptrice**.

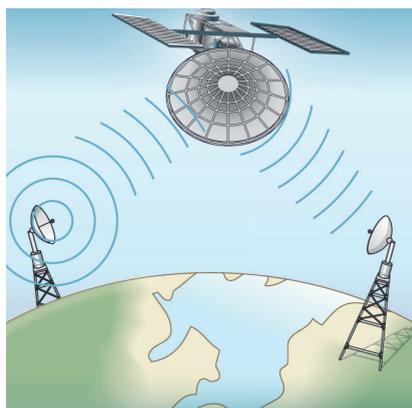
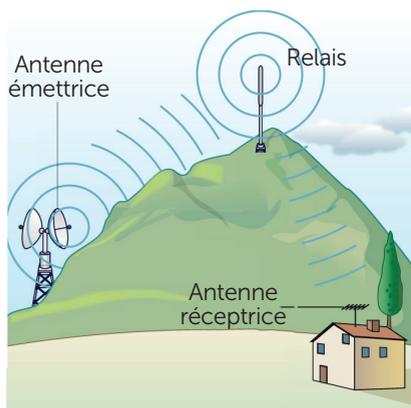
L'effet des ondes électromagnétiques sur la matière, sur l'homme et, en général, sur les systèmes biologiques, dépend de leur fréquence et de la quantité d'énergie transportée.

L'atmosphère laisse passer seulement le rayonnement visible, les ondes radio et une partie du rayonnement infrarouge. Pour observer les émissions gamma, X et ultraviolettes des astres, nous devons aller dans l'espace.

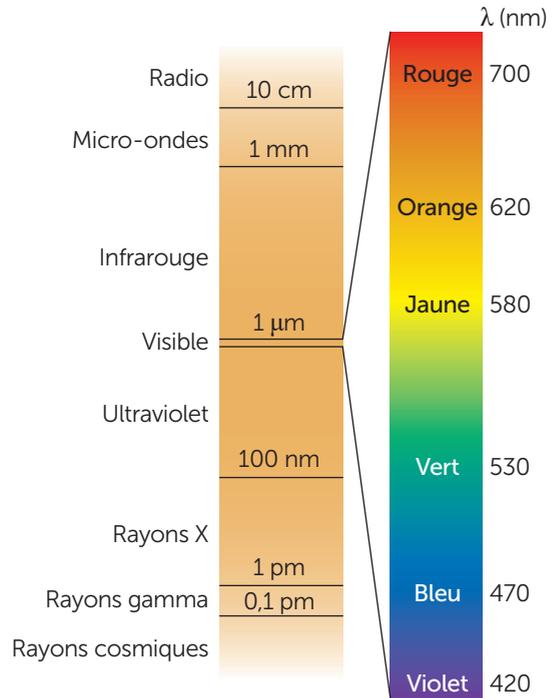
Les ondes permettent d'étudier des phénomènes distants dans l'espace et dans le temps: l'astronomie et l'astrophysique basent leurs observations sur l'étude du spectre des rayonnements électromagnétiques provenant des corps célestes, de la matière interstellaire et de l'espace profond. Les rayonnements étudiés occupent tout le spectre des ondes électromagnétiques et proviennent de distances telles que leur origine peut être très ancienne, voire remonter aux premiers instants de vie de l'univers.

Les **ondes radio** occupent la partie à basse fréquence du spectre, avec des longueurs d'onde comprises entre 10 cm et 10 km. Les signaux télévisuels, par exemple, voyagent sur des ondes présentant une longueur d'onde d'environ 1 mètre [figure 14 ].

 **Figure 14** Les ondes radio



 **Figure 15** Le rayonnement visible



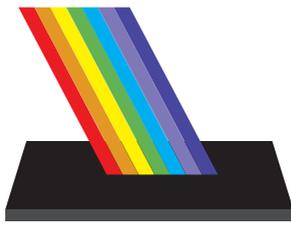
La longueur d'onde des **micro-ondes** est comprise entre 1 millimètre et quelques dizaines de centimètres. Elles sont utilisées dans les communications radar et téléphoniques, et dans des applications comme le four à micro-ondes, que nous analyserons plus en détail par la suite.



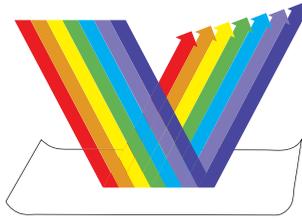
Le rayonnement **visible** est constitué des ondes électromagnétiques que nous percevons sous forme de **lumière**. Cette partie du spectre électromagnétique est comprise entre la longueur d'onde de 7×10^{-7} m (rouge) et celle de 4×10^{-7} m (violet) [**figure 15** ].

La **couleur** est une sensation qui naît dans notre système visuel lorsqu'il est stimulé par des ondes d'une longueur spécifique et la plupart des couleurs que nous observons sont dues à la façon dont les corps éclairés réagissent à la lu-

 **Figure 16** La couleur



Si le corps absorbe tous les rayonnements incidents et n'en diffuse aucun, il apparaît NOIR



Si le corps diffuse tous les rayonnements incidents et n'en absorbe aucun, il apparaît BLANC



Si le corps diffuse uniquement les rayonnements incidents qui correspondent à une couleur spécifique et absorbe tous les autres, il apparaît COLORÉ

mière des sources. La lumière émise par une source lumineuse qui couvre tout le spectre visible est composée de toutes les couleurs [figure 16 .

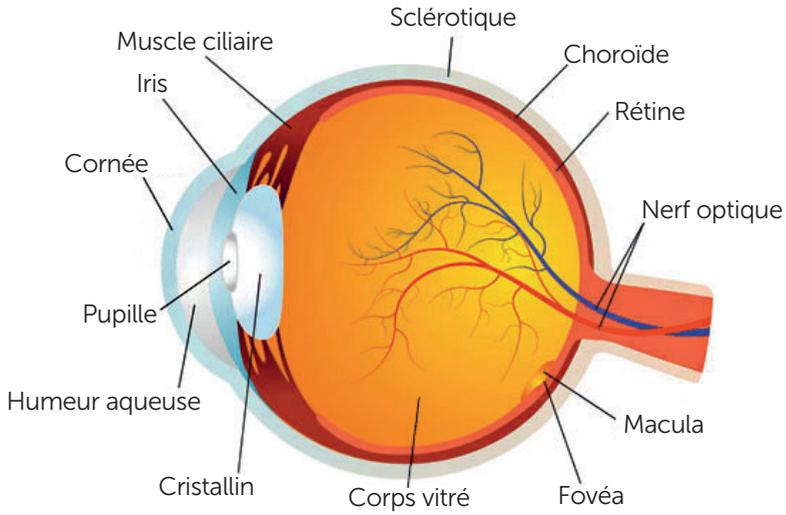
Grâce à l'œil, nous pouvons transformer la lumière en informations qui, sous forme d'impulsions électriques, arrivent au cerveau. L'homme traite environ 70 % des informations provenant de l'environnement externe à travers la vision.

Lorsque nous fixons un objet, la lumière qui provient de ce dernier entre dans nos yeux, traverse une série de lentilles naturelles, appelées milieux dioptriques, qui sont dans l'ordre la **cornée**, le **cristallin** et le **corps vitré** – qui correspondent aux lentilles de l'objectif d'un appareil photo – et “impressionne” la **rétine** (en photographie, la pellicule ou le capteur numérique). La **rétine**, excitée par la lumière à laquelle elle est exposée, transmet des informations au cerveau en envoyant des impulsions électriques à travers un câble biologique: le **nerf optique** [figure 17 .

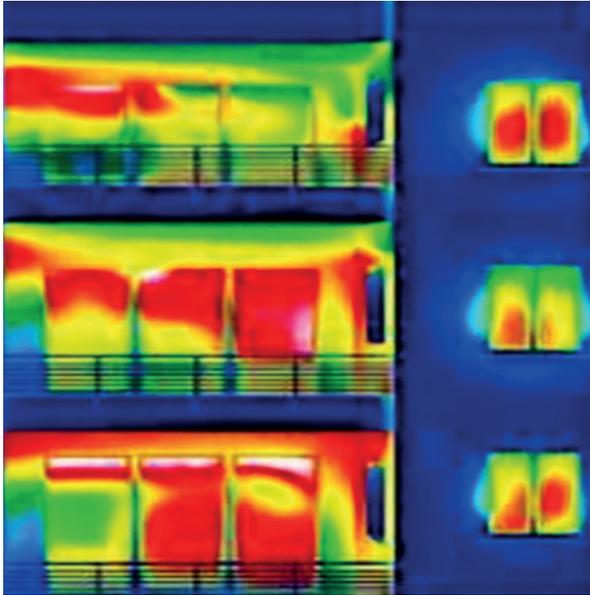
Le domaine des longueurs d'onde comprises entre 7×10^{-7} m et 1 mm correspond au **rayonnement infrarouge**, appelé également rayonnement thermique étant donné que notre corps le perçoit sous forme de chaleur [figure 18 .

Grâce à ces rayonnements, il est possible d'observer des corps célestes qui autrement sont invisibles.

 **Figure 17** L'œil

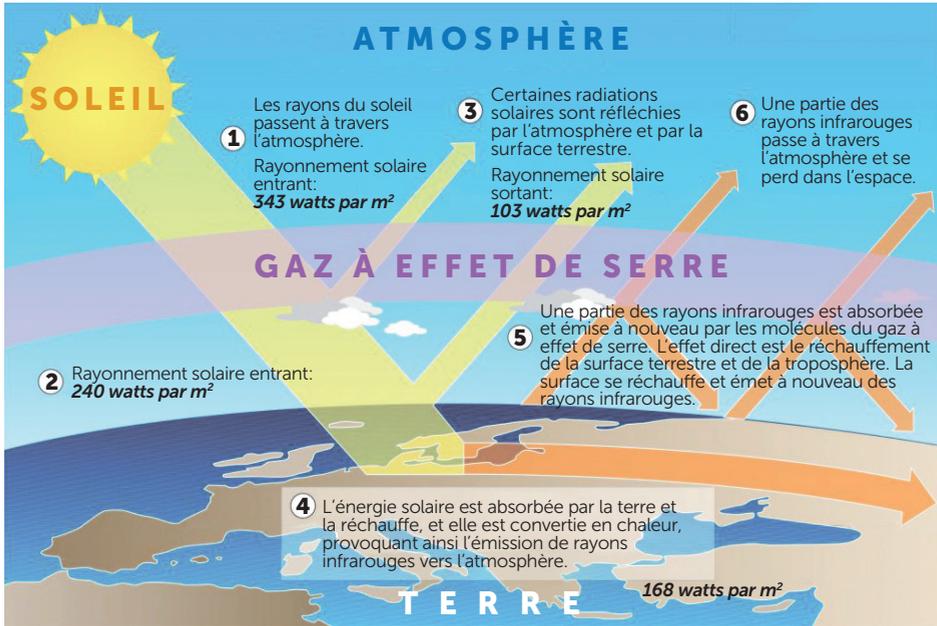


 **Figure 18** Le rayonnement infrarouge



Grâce au rayonnement infrarouge, il est possible d'observer des corps célestes "froids" qui autrement sont invisibles.

 **Figure 19** L'effet de serre



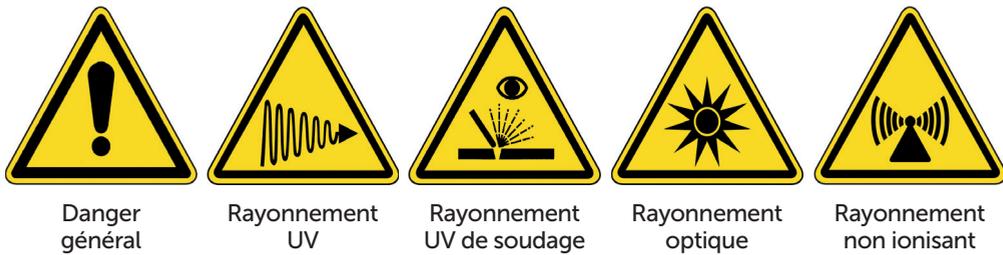
Le **figure 19**  illustre le fonctionnement de l'**effet de serre**, un phénomène de régulation naturelle de la température dû à la présence dans l'atmosphère de certains gaz (notamment le méthane, le dioxyde de carbone, le protoxyde d'azote).

Si jusqu'à présent l'effet de serre a créé le climat idéal pour la présence et le développement de la vie sur notre planète, l'augmentation excessive de ces gaz au cours des dernières décennies est en train de conduire à un réchauffement mondial qui génère une grande préoccupation.

Le domaine des longueurs d'onde inférieures à 4×10^{-7} m et jusqu'à 10^{-8} m correspond au **rayonnement ultraviolet**. Les rayons ultraviolets ont la faculté de favoriser diverses réactions chimiques, comme la production de mélatonine dans la peau, mais une exposition excessive peut causer des lésions graves à la peau et aux yeux [**figure 20** ].

Les **rayons X** ont des longueurs d'onde comprises entre 10^{-8} m et 10^{-11} m. Les applications des rayons X les plus connues sont sans aucun doute la radiogra-

 **Figure 20** Signaux de danger



phie et la tomographie axiale calculée par ordinateur (TACO, appelé aussi scanner). Les rayons X produits par l'appareil radiologique traversent le corps du patient en perdant de leur intensité de façon différenciée selon les éléments corporels (par exemple, l'eau et l'os) et forment sur un système photosensible (de façon similaire à un système photographique) l'image du segment étudié. L'image obtenue est traitée, interprétée (rapport du radiologue), archivée et remise au patient sur CD ou DVD.

Le domaine des longueurs d'onde inférieures à 10^{-11} m correspond aux **rayons gamma** qui sont transmis naturellement par les noyaux pendant les transformations radioactives et les réactions nucléaires.

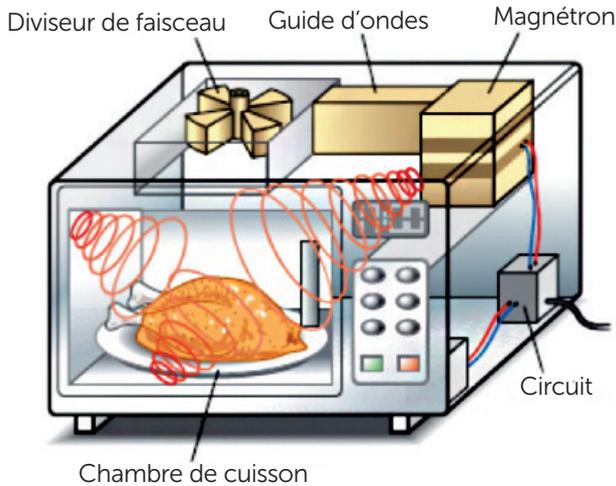
Les rayons gamma ont la capacité d'ioniser les atomes et peuvent être dangereux pour les êtres vivants. En médecine, ils sont utilisés dans la thérapie contre les tumeurs.

EXEMPLES DU QUOTIDIEN: FOUR À MICRO-ONDES ET WI-FI

LE FOUR À MICRO-ONDES

Il s'agit d'un appareil électroménager de cuisine de très large diffusion, dans lequel la cuisson est obtenue grâce à l'effet chauffant dû à l'interaction entre les champs électromagnétiques émis dans le spectre des micro-ondes et la nourriture [**figure 21** ].

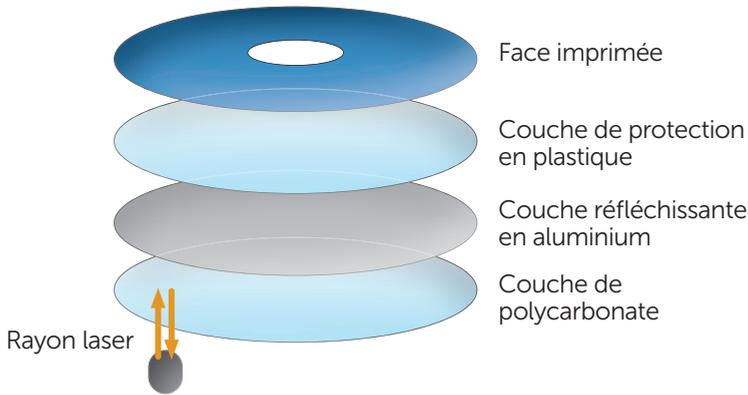
 **Figure 21** Le four à micro-ondes



Les micro-ondes réagissent en effet avec certains composants alimentaires, comme l'eau et les graisses. Dans les molécules d'eau, composées de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, l'oxygène attire davantage les électrons que l'hydrogène. Cela signifie que la distribution de charge n'est pas neutre, ce qui crée un dipôle électrique qui a naturellement tendance à s'aligner sur le champ électrique de la micro-onde. Étant donné que le four émet des ondes avec une fréquence d'oscillation égale à 2,45 GHz, on compte 4,9 milliards de changements de direction du dipôle par seconde! Avec cet effet du champ, les molécules d'eau en agitation ont tendance à toucher les molécules qui leur sont proches, en les réchauffant. Plus les micro-ondes durent longtemps, plus les molécules diffusent de la chaleur et plus la nourriture est chaude. Les micro-ondes sont produites par un dispositif spécifique, le **magnétron**, qui convertit le courant en micro-ondes, avec une puissance comprise entre 400 et 1 000 W. Le guide d'ondes dirige ensuite les micro-ondes produites par le magnétron vers le diviseur de faisceau, qui répartit les ondes de façon homogène dans la chambre de cuisson. Le plateau tournant améliore davantage la répartition des micro-ondes dans la nourriture. Le premier modèle de micro-ondes (Radarange) est apparu en 1946, mais il mesurait 1,8 mètre et pesait 340 kg!

Comment fonctionne le four à micro-ondes?

 **Figure 22** Le CD-ROM



◎ MÉMOIRES OPTIQUES (CD, DVD, BLU-RAY)

Les mémoires optiques font partie des mémoires de masse (dites aussi secondaires); elles sont de type numérique et peuvent mémoriser une grande quantité de données. Elles sont appelées mémoires optiques, car les informations sont lues et écrites grâce à des rayons laser sur un support appelé disque optique.

La première mémoire optique est le disque compact (CD) qui contient de la musique, proposé par Philips et Sony en 1982. Quelques années plus tard apparaît le CD-ROM (*Read Only Memory*) qui permet l'enregistrement d'autres formes de données comme les vidéos [figure 22 

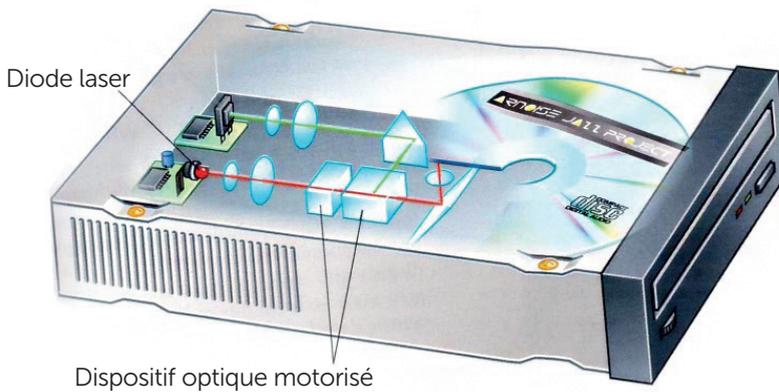
Le CD-ROM est un disque en plastique de 12 centimètres de diamètre et d'environ un millimètre d'épaisseur, composé de quatre couches.

Comment
fonctionne un
CD-ROM?

La mémorisation des données sur un CD a lieu en effectuant de minuscules cavités (*bumps* ou *pits*) sur une surface de polycarbonate le long d'une piste en spirale qui part du centre et se déploie vers l'extérieur du disque.

De cette façon, les bits de chaque octet sont écrits, la surface plate (*land*) représentant 0 et le creux (*pit*) représentant 1.

 **Figure 23** Le lecteur CD



Une fois que le disque en plastique a été marqué avec des millions de *bumps*, une fine couche d'aluminium réfléchissant est imprimée pour les couvrir et les protéger. Une couche d'acrylique et enfin l'étiquette complètent le tout. Il convient de souligner la dimension de la spirale: elle présente une largeur d'environ un demi-micron et la distance entre un cercle et l'autre est d'environ 1,6 micron. Les creux effectués sur la piste ont une largeur d'un demi-micron, une longueur de 0,83 micron et une profondeur de 125 nanomètres (1 nanomètre = 1 milliardième de mètre). Si on pouvait retirer la spirale du CD et la dérouler, nous obtiendrions une ligne d'une largeur de 0,5 micron et d'une longueur d'environ 5 km!

Pour pouvoir lire les données imprimées dans un format aussi miniaturisé, un mécanisme de lecture très précis est nécessaire, le **lecteur CD**, qui se base sur les lois de la réflexion et de la réfraction, qui sont à la base de l'optique. Un lecteur CD est composé de trois composants fondamentaux: la diode laser, la photodiode et un système optique [figure 23 ].

La **diode laser** émet un faisceau laser infrarouge et est associée à un dispositif optique motorisé qui dirige le faisceau émis par la diode vers le CD et permet de pointer le laser le long de toute la piste en spirale, du centre vers le bord. Le rayon laser, en passant à travers la couche de plastique, réfléchit la couche d'aluminium et la lumière réfléchie est redirigée vers la photodiode qui mesure

l'intensité du faisceau réfléchi, en émettant un signal électrique proportionnel à la quantité de lumière reçue. Cette sensibilité aux changements de lumière de la photodiode permet de déterminer la présence de creux et de zones plates, qui ont une intensité réfléchie différente, et de reconstruire le code binaire original qui a été numérisé sur le disque.

La partie la plus délicate consiste à maintenir le laser centré sur la spirale. Cette tâche est effectuée par le système de tracking qui contrôle le mouvement du laser vers l'extérieur et, par conséquent, régule la vitesse de rotation du disque. En effet, il est important de noter que le nombre de *bumps* est lié à la spirale: les *bumps* pouvant être mémorisés sont beaucoup moins nombreux au début de la spirale (où le rayon est minime) qu'à la fin (où le rayon est à son maximum), par conséquent, c'est seulement en synchronisant la rotation et le mouvement du laser qu'il est possible de lire les données à une vitesse constante.

Outre le CD-ROM, il existe d'autres types de disques compacts, comme le CD-R et le CD-RW. Le **CD-R** doit son nom au terme anglais *recordable*, c'est-à-dire enregistrable. Il est appelé aussi CD vierge et possède une structure différente du CD-ROM. En effet, il ne présente aucun *pit* ni *land*, mais une couche de colorant organique (c'est-à-dire des molécules à base de carbone) emprisonnée entre une couche de plastique et une couche métallique. Comme dans le CD-ROM, la couche métallique est protégée par une couche acrylique recouverte par l'étiquette.

Pour comprendre comment les informations sont enregistrées sur ce CD sans structure, l'expression anglaise *to burn a CD* est très parlante. Pendant l'enregistrement, le laser brûle le colorant organique qui réagit à la lumière, un peu comme la peau qui bronze au soleil. De cette façon, pendant la phase de lecture, la couche organique brûlée absorbe la lumière laser qui n'est pas réfléchi par la couche métallique, tandis que le colorant non brûlé réfléchit une grande partie de la lumière du laser. Le colorant utilisé (en général trois types différents) et les métaux employés (or ou argent) déterminent les différentes couleurs dans lesquelles existent les CD-R. La nécessité d'effacer des données et de répéter à volonté l'opération d'enregistrement a entraîné la création du CD-RW (en anglais *ReWritable*). Sans entrer dans les détails, la couche de

colorant du CD-R est remplacée par trois couches de matériau modifiant certaines de ses propriétés optiques selon l'intensité du laser. L'opération se base sur le passage d'une phase amorphe à une phase cristalline ordonnée du matériau par l'application d'un rayon laser à intensité variable. Cette modulation de l'intensité n'est en revanche pas présente dans un lecteur CD classique.

Le DVD constitue l'évolution naturelle du CD, avec un fonctionnement et une dimension très similaires. Les principales différences sont la distance entre les pistes qui est réduite à 0,74 micron, et la longueur des creux, réduite à environ 400 nanomètres (c'est-à-dire 250 fois inférieure au diamètre d'un cheveu). Cela permet d'emmagasiner une quantité de données bien supérieure: un DVD peut en effet contenir jusqu'à 20 fois les données présentes sur un CD. Contrairement aux CD, qui disposent d'une seule couche de données et d'une capacité d'environ 800 Mo, les DVD peuvent être à une ou deux couches, d'un seul côté ou des deux, avec une capacité évidemment supérieure, comprise entre 4,38 et 15,9 Go.

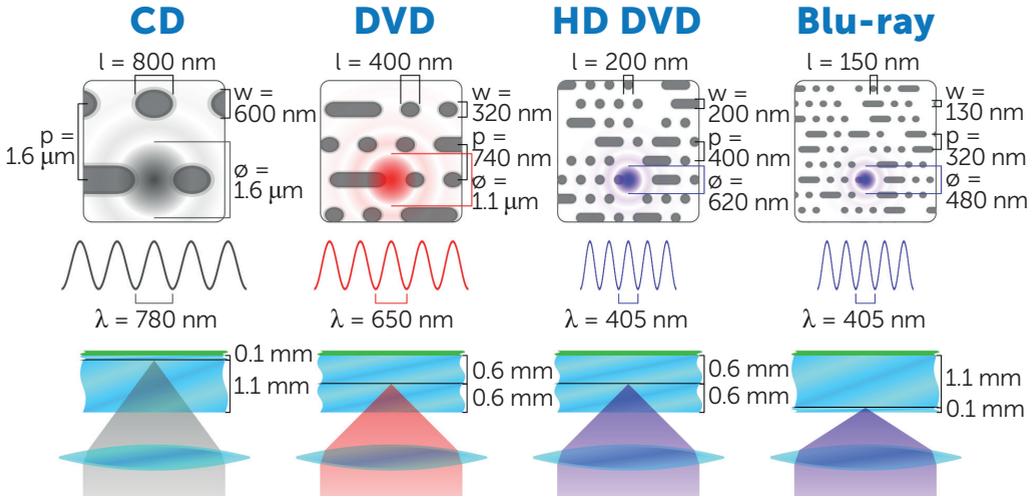
Grâce aux améliorations continues dans la technique d'impression sur le métal des CD et DVD, il a été possible de réaliser des pistes encore plus rapprochées que celles des DVD, autour de 0,3 micron. Pour lire ces pistes, il est nécessaire de diminuer la longueur d'onde du laser de 405 nanomètres, en exploitant ainsi la couleur bleue. C'est pour cette raison que ces disques lancés en 2004 ont pris le nom de disques Blu-Ray. Ils permettent d'emmagasiner entre 25 et 128 Go de données par couche, une quantité nécessaire pour enregistrer des films haute définition. Depuis 2015, il existe le format Blu-Ray Ultra HD qui prend en charge la technologie 4K [figure 24 .

© LE WI-FI

La nécessité d'être toujours connectés en mobilité a demandé de nouvelles technologies permettant la connexion au réseau sans l'utilisation de conducteurs électriques, c'est-à-dire **sans fil**.

En général, la transmission sans fil utilise des ondes radio de faible puissance; cependant, la définition s'étend également aux dispositifs, moins répandus, qui exploitent le rayonnement infrarouge ou le laser. Dans les années 90, la diffusion d'Internet a poussé le développement de la technologie vers le trans-

 **Figure 24** CD, DVD, HD DVD, Blu-Ray



fert des données sans l'utilisation d'un réseau fixe, en favorisant aussi bien le développement de technologies comme le protocole WAP ou le GPRS, qui permettaient la réalisation de réseaux de données à longue portée, que le développement de standard sans fil à moyenne et courte portée: ces résultats ont conduit en 1997 à la naissance des WLAN [tableau 1 .

Les principaux avantages des réseaux sans fil, outre le fait d'être l'architecture de choix dans les situations où le câblage est ardu, peuvent être résumés à travers les points suivants:

- ⊙ *Mobilité*: les utilisateurs peuvent se déplacer tout en continuant à utiliser leur terminal et se connecter dans des espaces publics (hotspot).
- ⊙ *Connectivité à court terme*: il est possible de créer des réseaux ad hoc, par exemple pour une réunion ou un événement particulier.
- ⊙ *Rapport qualité/prix*: un réseau sans fil s'installe en peu de temps sans travaux de maçonnerie et a des coûts d'entretien quasiment nuls.

On distingue deux familles de réseaux sans fil:

- ⊙ *les réseaux radio mobiles*, grâce auxquels les utilisateurs peuvent se déplacer sur le territoire sans perdre la connectivité avec le réseau;

Tableau 1 Sigles

GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>	Système de transmission des données par commutation de paquets
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>	Système global de communications mobiles
LAN	<i>Local Area Network</i>	Réseau informatique local
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>	Système mobile universel de télécommunications (évolution du GSM)
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>	Protocole de connexion à Internet pour téléphones mobiles
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>	Réseau local sans fil

- ⊙ *le Wireless LAN*, des réseaux sans fil qui fournissent des couvertures et des services typiques d'un LAN.

Une des caractéristiques de la téléphonie mobile est la possibilité de maintenir active une communication tout en se déplaçant librement sur le territoire. Cela peut comporter de fréquents changements de cellule ou de canal de transmission pour avoir une qualité de transmission optimale. Cette commutation est appelée *handover*.

Une classification sur la base de la distance géographique “de la zone de couverture” est également réalisée pour les réseaux sans fil:

- ⊙ BAN (jusqu'à 2 mètres);
- ⊙ PAN (jusqu'à 10 mètres);
- ⊙ WAN (jusqu'à 500 mètres);
- ⊙ WWAN (jusqu'à quelques dizaines de kilomètres).

En 2007, le nombre d'abonnements de téléphonie mobile en Suisse a dépassé celui des habitants. Fin 2010, 124 abonnements de téléphonie mobile étaient enregistrés tous les 100 habitants et presque 14 500 sites avec antennes pour la téléphonie mobile étaient recensés [figure 25 ].

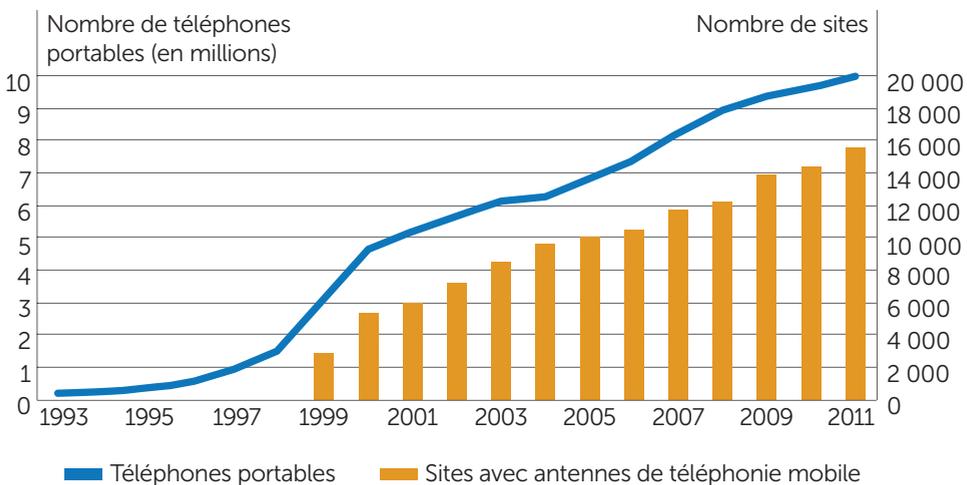
L'absorption des ondes électromagnétiques par le corps humain se mesure grâce à un indice appelé **DAS**, c'est-à-dire débit d'absorption spécifique. Il est calculé en unité de puissance par masse et la limite autorisée en Europe est de 2 watts par kilogramme (2 W/kg) dans un échantillon de 10 grammes de tissu, tandis qu'aux États-Unis la valeur doit être inférieure ou égale à 1,6 W/kg.

La **figure 26**  illustre la chaleur générée par le téléphone cellulaire sur le visage au bout de 15 minutes de conversation, en raison du rayonnement électromagnétique émis.

Les valeurs de DAS peuvent varier beaucoup selon la marque du téléphone, par conséquent il convient de vérifier la valeur officielle de DAS avant d'acheter un modèle.

Dans cette optique, il est fortement recommandé d'utiliser des oreillettes qui diminuent considérablement l'absorption du rayonnement auquel on est ex-

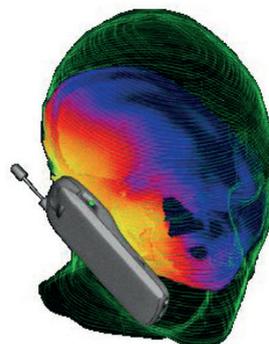
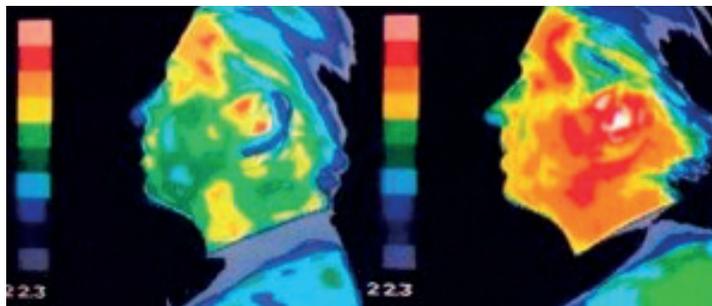
 **Figure 25** Abonnements et sites avec antennes en Suisse



Source: Office fédéral suisse de la communication.

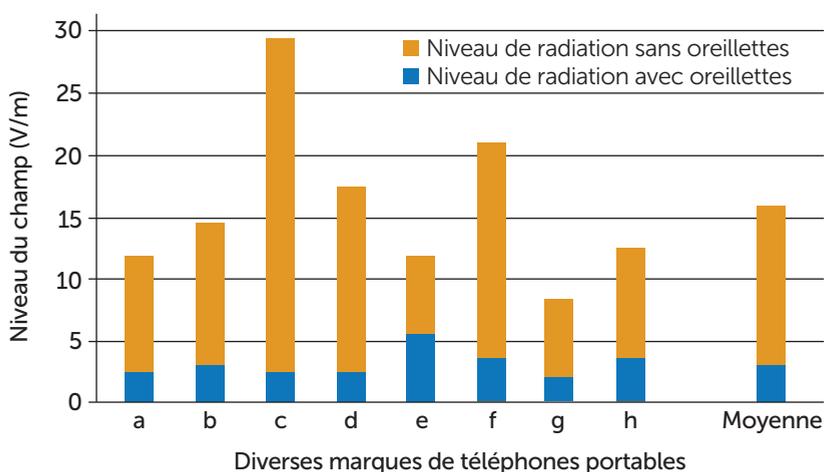
 **Figure 26** Images thermographiques pendant une conversation au téléphone portable

Avant la conversation Après 15 minutes de conversation



posé. En Suisse, par exemple, l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) a examiné l'usage de certaines oreillettes Bluetooth, en démontrant que les niveaux de DAS diminuaient jusqu'à 0,01 W/kg. Une étude du WWF a prouvé que l'utilisation des oreillettes réduisait de 70 à 90 % environ l'exposition aux rayonnements non ionisants [figure 27 ].

 **Figure 27** Niveau d'exposition au champ magnétique des téléphones portables avec et sans oreillettes



Source: WWF.

Toutefois, le téléphone portable n'est pas la seule source de champ électromagnétique qui nous entoure. À la maison, par exemple, des dispositifs comme le routeur Wi-Fi (2,4 GHz; 100 mW), le téléphone sans fil (1 900 MHz; 150-250 mW) ou encore le répéteur sans fil (2,4 GHz et 433 MHz; 10 mW) sont souvent présents.

⊙ AUTRES APPLICATIONS

En utilisant le même principe à la base de nombreuses techniques diagnostiques modernes en médecine, comme, nous l'avons vu, les rayons X en radiographie et les ultrasons en échographie, la plupart des propriétés de la matière au niveau moléculaire ou atomique sont mesurées en irradiant un échantillon avec des ondes (en général électromagnétiques comme la lumière visible, le rayonnement ultraviolet, les rayons X, les rayons gamma, mais aussi les faisceaux d'électrons ou de neutrons), et en observant la réaction de l'échantillon.

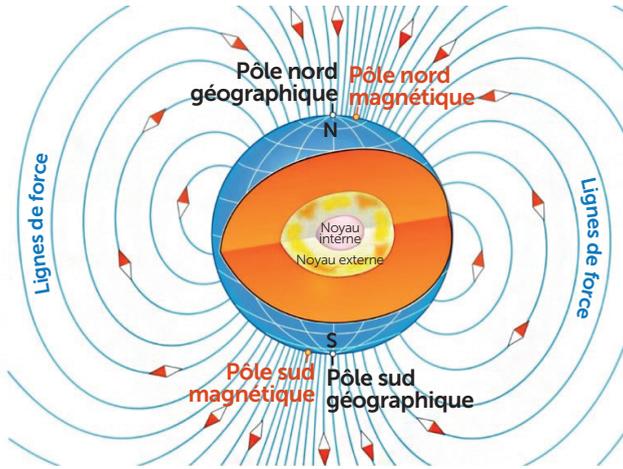
La science de la conservation et de la restauration des œuvres d'art se sert, par exemple, de techniques basées sur l'utilisation de spectroscopies appropriées: fluorescence, absorption, transmission dans la bande optique, infrarouge, ultraviolet, X.

Grâce à certaines séries TV bien connues, les enquêtes scientifiques, aujourd'hui fondamentales pour les forces de l'ordre, sont devenues très populaires. En se basant sur un ensemble de techniques d'investigation physico-chimico-biologiques, il est possible d'acquérir des éléments pour reconstruire une scène de crime. Ces derniers se révèlent souvent déterminants aux fins de l'enquête. Par exemple, les départements scientifiques de la police utilisent des méthodes similaires pour mettre en évidence des traces organiques invisibles sur la scène d'un crime.

CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE: LA MAGNÉTORÉCEPTION

La découverte du champ magnétique terrestre et, par conséquent, de la boussole est attribuée aux Chinois qui, au début, l'utilisaient cependant comme spectacle d'attraction: des aiguilles magnétisées étaient lancées comme on le fait avec des dés et, à la grande stupeur des spectateurs présents, elles finissaient

 **Figure 28** Le champ magnétique terrestre



toujours par indiquer le nord. C'est seulement vers le XI^e siècle qu'elle a commencé à être utilisée pour la navigation. La boussole est ensuite introduite en Europe au XII^e siècle par le biais des Arabes et des Amalfitains: la première référence à l'usage de la boussole dans la navigation en Europe occidentale est le *De nominibus utensilium* d'Alexander Neckam (1180-1187) [figure 28 .

La **magnétoréception** est une sorte de boussole biologique interne qui permet de percevoir le champ magnétique terrestre et qui caractérise de nombreuses espèces animales [figure 29 ]. Nous indiquons ci-après les dates des découvertes les plus importantes relatives à certains animaux migrateurs réalisées par des chercheurs.

 **Figure 29** Animaux migrateurs

Papillon
monarque



Rouge-gorge
(*Erithacus rubecula*)



Tortue de mer
(*Caretta caretta*)



Pigeon
voyageur



- ⊙ 1850: Alexander Theodor Middendorf déduit de ses recherches que les oiseaux migrateurs suivent des flux vers le nord magnétique.
- ⊙ 1947: Henry Lincoln Yeagley démontre que la route des pigeons voyageurs change si on leur attache un aimant.
- ⊙ 1965: Wolfgang Wiltschko montre que le comportement des rouges-gorges est influencé par le champ magnétique.
- ⊙ 1976: les époux Fred et Norah Urquhart identifient les mouvements migratoires des papillons monarques, en découvrant que ce papillon rejoint depuis le sud du Canada et le centre et l'est des États-Unis une petite vallée située au Mexique à 3 000 m d'altitude, où pendant l'hiver plus de 14 millions de papillons se concentrent sur un hectare et demi de superficie. Au printemps suivant, après les accouplements, les mâles et les femelles entament leur voyage de retour, pendant lequel certaines femelles s'arrêtent pondre leurs œufs; dans certains cas, c'est la génération suivante qui termine le voyage en recolonisant les régions les plus au nord. Les migrations au nord vers le Canada ont lieu sur trois générations, tandis que le retour au Mexique a lieu sur une seule génération. Il s'agit d'un rare cas de migration sur plusieurs générations.

Au cours des dernières décennies, de nouvelles expériences ont confirmé que les oiseaux migrateurs étaient effectivement à même de capter et d'utiliser le champ magnétique de la Terre pour réussir à s'orienter.

La magnétoréception est désormais envisagée chez de nombreuses autres espèces animales, comme les langoustes, les tortues, les raies mantas, les requins, les dauphins, les abeilles, les micro-organismes, qui montrent des comportements influencés par le champ magnétique terrestre.



Comment fonctionne la magnétoréception?

Mais quels sont les processus physiologiques impliqués? Comment un champ magnétique assez faible, comme celui généré par la Terre, peut-il se traduire en un signal nerveux à même de modifier le comportement de l'animal? De nom-

breux experts en biophysique ont commencé à s'intéresser à cette question, et se sont mis à la recherche de magnétorécepteurs.

Actuellement, il existe deux hypothèses. D'après la première, lorsque les yeux de l'oiseau captent la lumière, le champ magnétique terrestre déclenche des réactions chimiques dans un type de protéine spécifique présente dans la rétine, les **cryptochromes**. La seconde suggère en revanche la présence dans le corps de cellules contenant de petites "boussoles" formées de molécules de magnétite, à même, en bougeant, d'*ouvrir* ou de *fermer* les circuits neuronaux. Aucune de ces deux hypothèses n'a jusqu'à présent permis d'obtenir des preuves scientifiques irréfutables, ne serait-ce que parce que les expériences sont difficiles à reproduire en raison des interférences magnétiques.

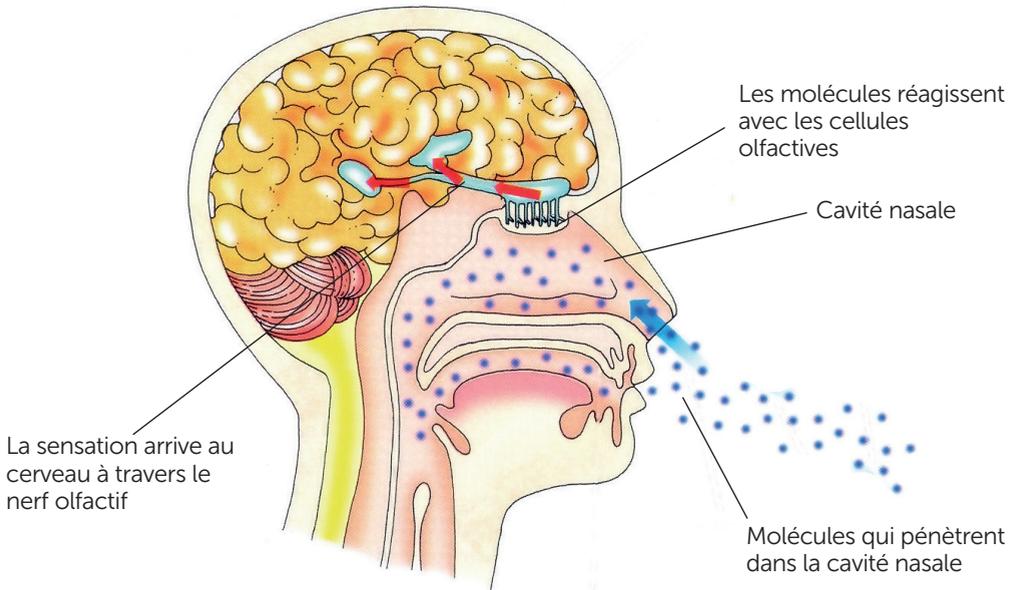
Récemment, une équipe de recherche internationale guidée par des chercheurs du California Institute of Technology (Caltech) et de l'université de Tokyo a réalisé des expériences, selon lesquelles l'Homo sapiens aussi aurait eu la capacité de percevoir le champ magnétique de la Terre. En effet, il ressort de leurs tests que la fréquence des ondes alpha dans le cerveau de certains participants s'est écroulée dès que les chercheurs ont lancé une stimulation magnétique qui reproduisait celle terrestre, pour ensuite se rétablir immédiatement. Quoiqu'il en soit, il y a encore beaucoup à faire et à apprendre sur le phénomène de la magnétoréception!

ODORAT: ENCORE UNE QUESTION D'ONDES?

Le rôle du nez est seulement de canaliser l'air. L'odorat et le goût, qui sont étroitement liés, reçoivent des informations directement du contact avec l'objet détecté (molécule) par le biais des récepteurs olfactifs qui sont plusieurs centaines. Les instruments de mesure utilisés pour d'autres sens, par exemple le son (fréquence, hauteur, chromaticité, timbre, tonalité), n'existent pas pour la molécule odorante [figure 30 

Les interrogations relatives à l'odorat ont toujours éveillé la curiosité des hommes, et ce depuis l'Antiquité. Démocrite a été le premier à théoriser la nature atomique des parfums, et nous savons aujourd'hui que les molécules sont

 **Figure 30** L'odorat



composées d'atomes. Pour lui, l'odorat était l'instrument responsable des sentiments, des désirs et des pulsions. Par la suite, Platon, bien que reconnaissant l'apport esthétique de l'odorat, en a dénoncé les dérives charnelles, "symbole de décadence et de perversion sexuelle". Il est curieux de noter que le lien entre odeurs corporelles et sexualité est aujourd'hui une réalité scientifique, notamment depuis la découverte des phéromones, des substances qui agissent sur les individus de la même espèce en déterminant certains comportements. Par exemple, le chien mord, car il sent l'odeur de la peur.

Plus tard, Aristote, qui avait décrit les caractéristiques des substances odorantes, élabore une théorie sur les parfums de base à partir desquels dérivent tous les autres, faisant loi pendant plusieurs siècles. Pour lui, il existe six classes d'odeurs de base: douces, austères, acides, grasses, acerbes et fétides. Le Pompéien Lucrezio, lui aussi atomiste, estime en revanche que l'univers des parfums joue un rôle important dans la vie des hommes et, poussé par son désir de connaissance, il théorise le concept de clé-serrure selon lequel les odeurs sont captées par les récepteurs. Une théorie que le chimiste autrichien Hermann

Emil Fischer met au point en 1894, en se concentrant sur l'interaction spécifique enzyme-substrat. Il imagine qu'en se volatilisant, les substances odorantes "produisent des atomes de la même forme et de la même dimension qui, en atteignant les pores à l'intérieur du nez, donneraient vie à la perception olfactive; les pores auraient différentes formes et la nature de l'odeur dépendrait du type de pore que les atomes parviendraient à occuper".

Par la suite, de nombreux autres chercheurs en la matière ont tenté d'établir une classification des odeurs afin de déterminer s'il était possible de partir d'un nombre limité d'odeurs dites de base pour produire le très large éventail des parfums. En 1756, le célèbre botaniste Linné, en suivant la doctrine aristotélicienne, propose une classification de sept odeurs de base: ambrosiaques, aromatiques, fragrances, alliées, fétides, repoussantes, nauséuses. Plus tard, d'autres tentatives d'appliquer la théorie des couleurs de base aux odeurs ont eu lieu, mais sans succès. Il suffit de penser qu'avec trois couleurs de base il est possible de décrire tout l'univers chromatique, tandis que dans le cas de l'odorat, étant donné qu'il existe des millions de fibres nerveuses fonctionnant séparément, décrire l'univers olfactif est pratiquement impossible.

Actuellement, il existe deux théories:

- ⊙ clé-serrure: les molécules odorantes s'emboîtent de façon complémentaire dans les récepteurs correspondants. C'est-à-dire forme similaire, odeur similaire;
- ⊙ théorie des vibrations (Dyson et Turin): c'est la fréquence à laquelle vibrent certaines liaisons moléculaires entre les atomes de la molécule qui détermine l'odeur.

Le fait que le remplacement de certains atomes par des isotopes plus lourds n'entraîne pas la modification de la structure de la molécule concernée, mais de la fréquence de vibration de certaines liaisons, vient soutenir cette théorie. Et, en effet, la perception de l'odeur change.

Cependant, il n'y a pour l'instant aucune certitude scientifique permettant d'affirmer qu'une des deux théories est viable. Il n'est pas exclu qu'il existe une concomitance des deux effets.



CONCLUSIONS

Nous arrivons à la fin de notre voyage dans l'univers des ondes qui nous a permis d'étudier les principes à la base de nombreux phénomènes naturels liés à la perception que les êtres vivants ont du monde qui les entoure.

Parallèlement, nous avons aussi abordé la façon dont l'être humain, grâce à son ingéniosité, a été capable de tirer profit de la connaissance des vibrations de la matière pour développer toute une série de technologies qui exploitent les ondes et qui, aujourd'hui, nous sont utiles: de la transmission des données au diagnostic médical, en passant par la cuisine.

Nous vivons donc plongés dans une réalité peuplée d'ondes, aussi bien naturelles que générées par les hommes, des ondes qui se propagent dans un milieu de transmission et qui transportent de l'énergie, des ondes qui sont à même de générer des effets plus ou moins importants sur la matière. La nature des effets dépend de l'énergie transportée par l'onde et par la dimension de la cible avec laquelle elle interagit, ainsi que d'autres caractéristiques d'intensité du flux. Connaître la nature de ces ondes peut en fin de compte nous aider à avoir une vie meilleure, en nous permettant de faire des choix éclairés et réfléchis.

La prochaine fois que nous parlerons d'odeurs, que nous commenterons les effets d'un tremblement de terre ou bien que nous aborderons la question des antennes-relais, nous disposerons des outils nécessaires pour mieux saisir les problématiques et imaginer de meilleures solutions.

Onde après
onde...

DEUXIÈME PARTIE



TEXTES

Textes rédigés par les élèves de la classe 3A de l'école secondaire Caslano:

Filippo Bassi	Shania Donnicola	Moe Pasquali
Luana Berbasconi	Eleonora Fattorini	Alissa Pellizzari
Maura Berbasconi	Elena Grassi	Edoardo Ratti
Andrea Carulli	Enea Maina	Eleonora Roscia
Tommaso Colaciuri	Lia Maina	Nicolò Sürder
Maya Corradina	Andrea Martilotta	Alan Tobler
Gabriele Della Ca'	Marika Masciale	Leonardo Zaccarelli

Sous la coordination des professeurs:

Erika Longhi Gygax (professeure de sciences et de mathématiques)

Lavinia Anzalone (professeure d'italien)

Luca Montanaro (professeur d'éducation artistique)

École secondaire Caslano

Via Industria 27 - 6987 Caslano

Tessin - Suisse

www.smcaslano.ti.ch

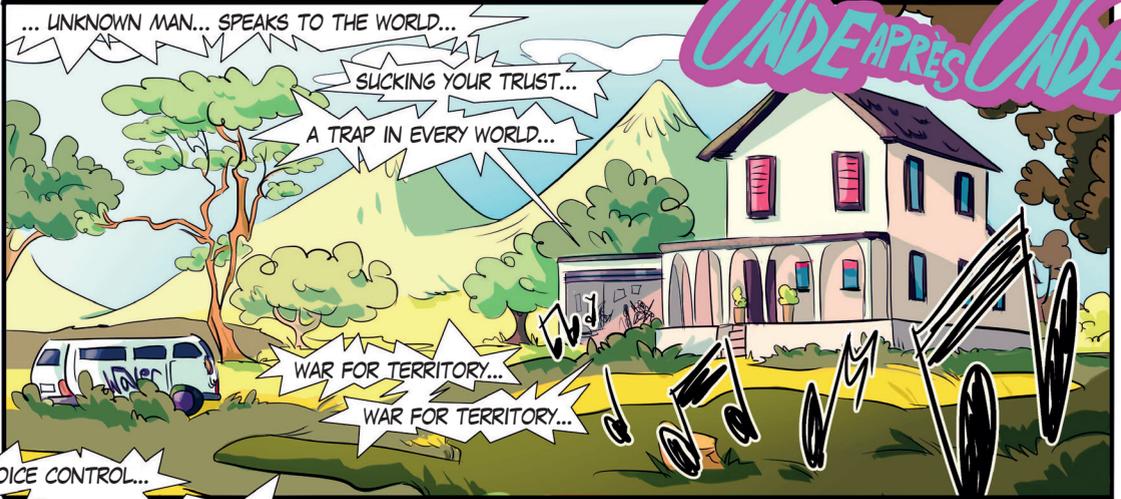
decs-sm.caslano@edu.ti.ch

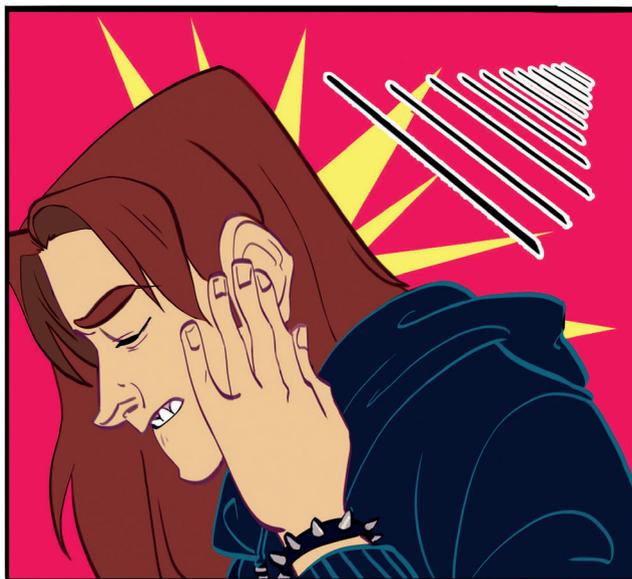
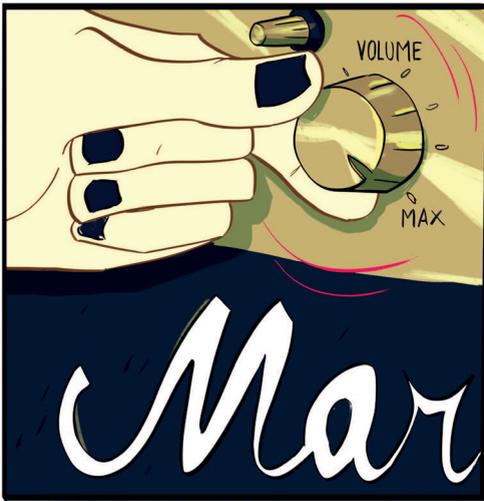
Directrice: Lara Pfyffer Gianocca

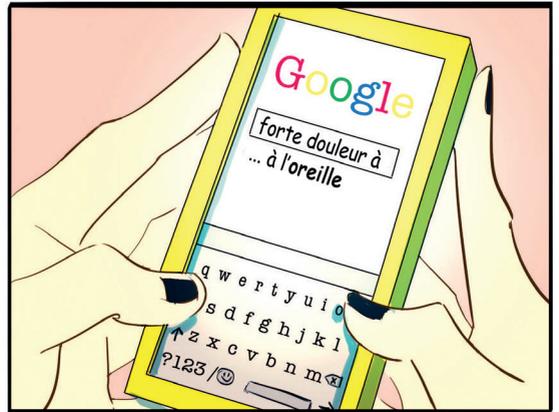
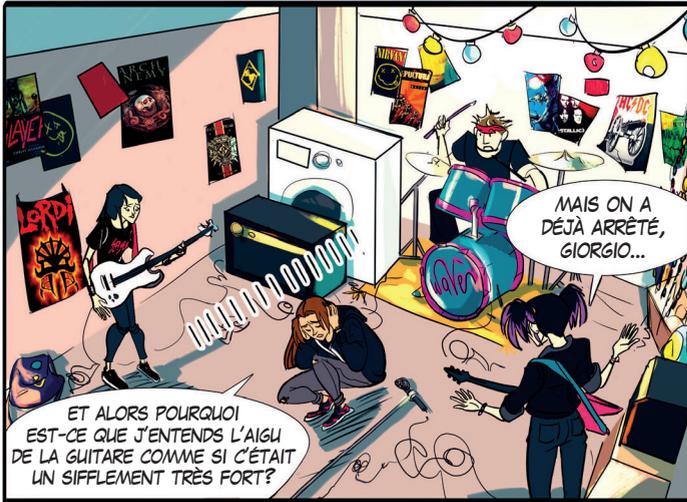
DESSINS

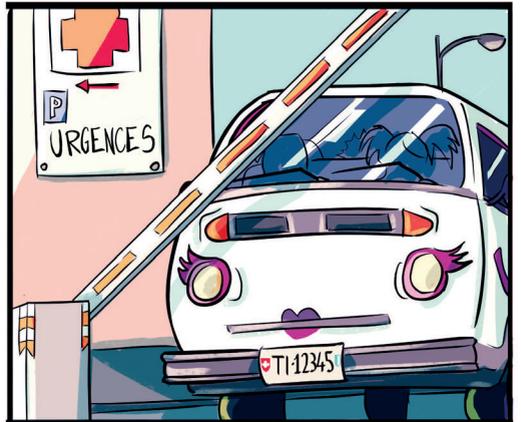
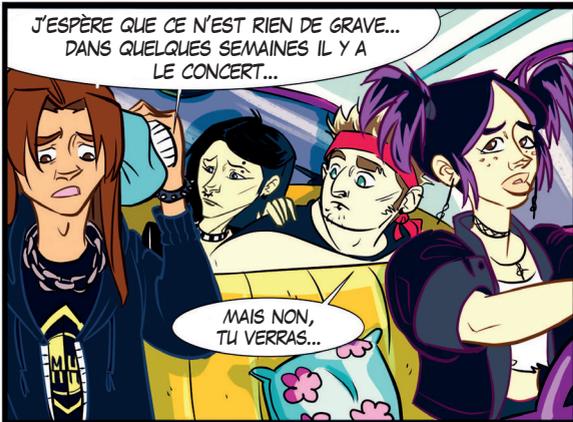
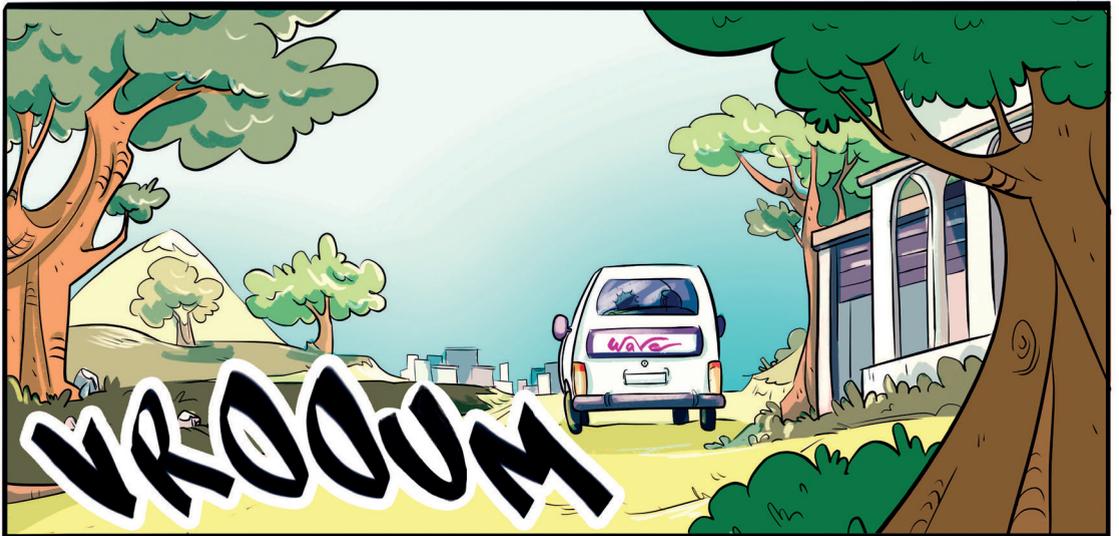
Réalisation de Angela Piacentini, pour la Scuola Romana dei Fumetti.

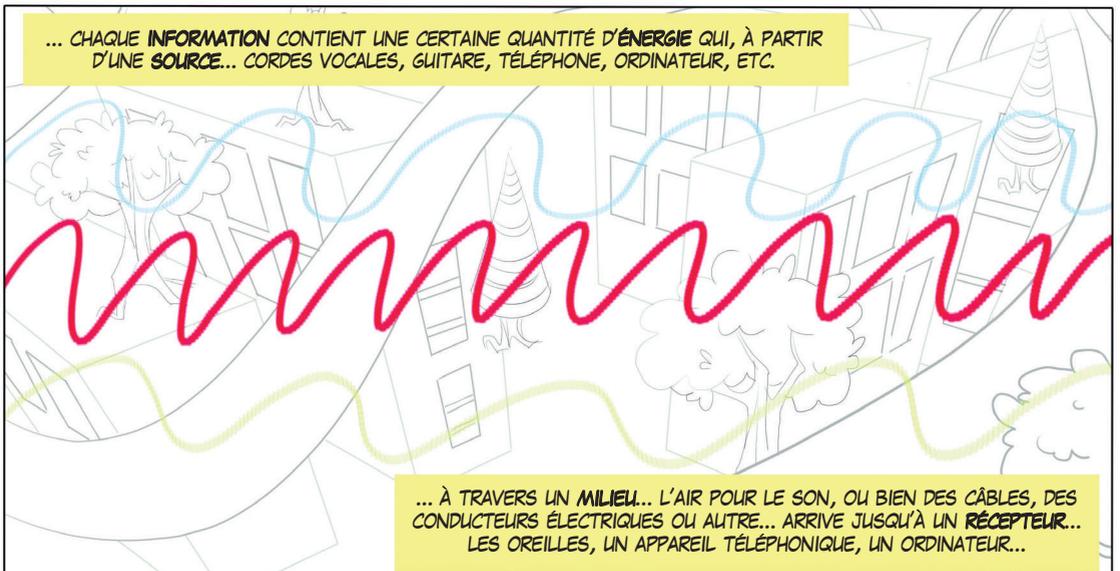
ONDE APRES ONDE...



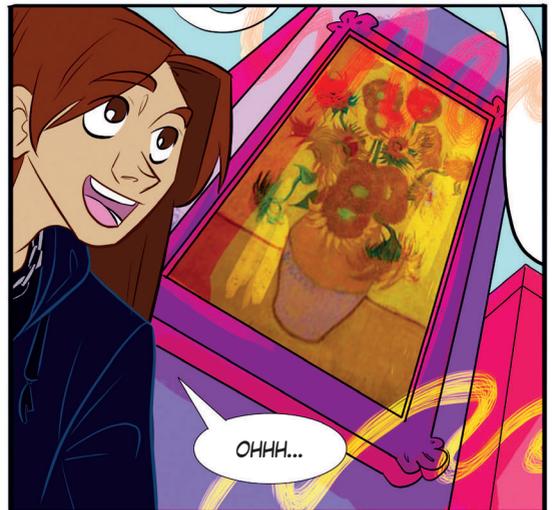
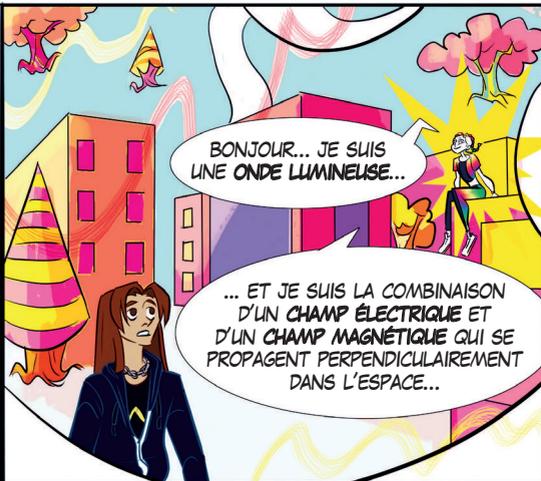


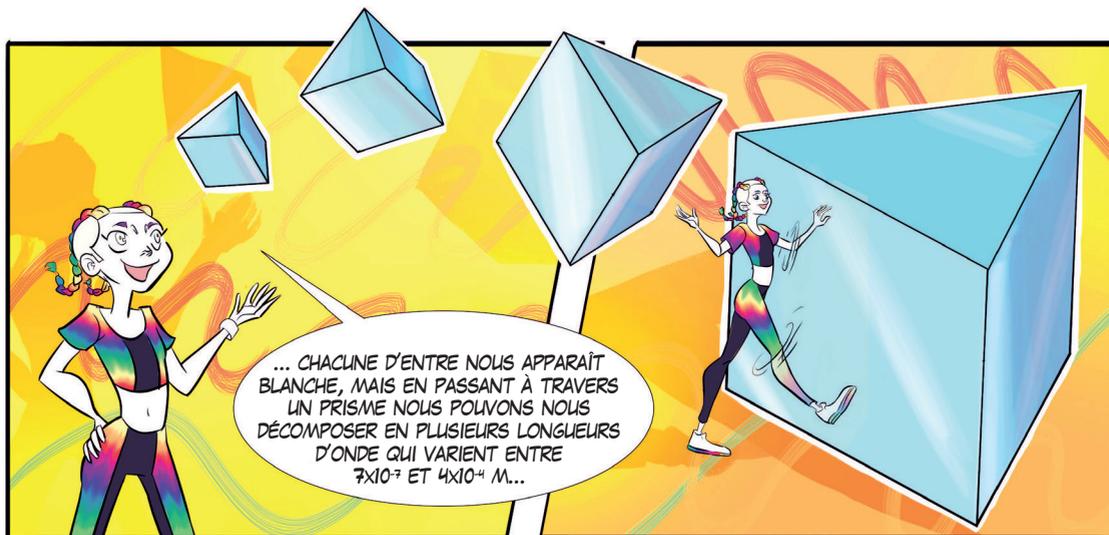






... SI LE TRANSPORT D'ÉNERGIE EST ACCOMPAGNÉ D'UN TRANSPORT DE MATIÈRE, ON PARLE DE TRANSMISSION MÉCANIQUE, SI EN REVANCHE IL N'Y A PAS DE TRANSPORT DE MATIÈRE, ON PARLE DE TRANSMISSION PAR ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES...



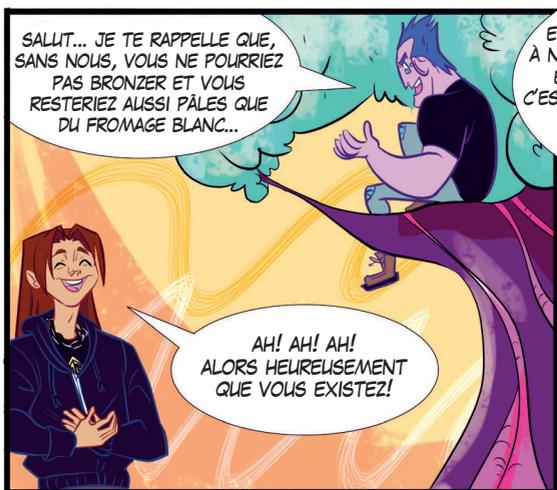


... EN EFFET, LES COULEURS DES OBJETS QUE TU VOIS SONT LE RÉSULTAT DE L'INTERACTION DE CES DERNIERS AVEC LES ONDES LUMINEUSES: LA COMBINAISON ENTRE LES ONDES DE LONGUEURS D'ONDE QUI SONT RÉFLÉCHIES PAR L'OBJET ET LES ONDES DE LONGUEURS D'ONDE QUI SONT ABSORBÉES EST RESPONSABLE DE LA COULEUR QUE TU PERÇOIS...





... NOS VOISINS DE LONGUEUR D'ONDE SONT LES ONDES ULTRAVIOLETTES...



SALUT... JE TE RAPPELLE QUE, SANS NOUS, VOUS NE POURRIEZ PAS BRONZER ET VOUS RESTERIEZ AUSSI PÂLES QUE DU FROMAGE BLANC...

AH! AH! AH! ALORS HEUREUSEMENT QUE VOUS EXISTEZ!



OUI, MAIS SI VOUS VOUS EXPOSEZ PENDANT TROP LONGTEMPS À NOTRE RAYONNEMENT, NOUS POUVONS ENTRAÎNER UN CANCER DE LA PEAU, C'EST POURQUOI NOUS VOUS CONSEILLONS DE METTRE DE LA CRÈME SOLAIRE OU DE LIMITER VOTRE EXPOSITION DIRECTE AU SOLEIL...

MAIS POURQUOI ÊTES-VOUS AUSSI NOCIVES?



CAR NOTRE LONGUEUR D'ONDE EST INFÉRIEURE AUX AUTRES... ENTRE 4×10^{-7} M ET 10^{-8} M... ET NOUS RÉUSSISSONS AINSI À PÉNÉTRER DANS LES CELLULES DE VOTRE PEAU JUSQU'À L'ADN...



MAINTENANT QUE JE LE SAIS, JE FERAI PLUS ATTENTION...

... ET PUIS IL Y A LES ONDES INFRAROUGES...

BONJOUR! MOI JE SUIS L'ONDE INFRAROUGE... NOUS SOMMES LES ONDES QUI DÉPENDENT DE LA CHALEUR ÉMISE PAR LES CORPS ET NOTRE LONGUEUR D'ONDE EST COMPRISE ENTRE 7×10^{-7} M ET 1 MM...



RAVI DE VOUS RENCONTRER...

NOUS, NOUS SOMMES RESPONSABLES DE L'EFFET DE SERRE, QUI GARANTIT LA VIE SUR TERRE... NOUS SOMMES LÉGÈREMENT VISIBLES PAR VOUS LES HUMAINS ET NOUS SOMMES, COMME TU PEUX LE VOIR, DE COULEUR ROUGE...



... POUR MIEUX NOUS VOIR, VOUS POUVEZ UTILISER UNE CAMÉRA INFRAROUGE, GRÂCE À LAQUELLE VOUS POUVEZ NOUS DÉTECTER POUR SAVOIR QUELS OBJETS SONT PLUS CHAUDS QUE D'AUTRES...



NOUS DEVONS Y ALLER...

LES ONDES MÉCANIQUES ARRIVENT...



SALUT! NOUS SOMMES LES ONDES MÉCANIQUES... ET NOUS NOUS DÉPLAÇONS À TRAVERS LA MATIÈRE QUI, EN SE DÉFORMANT LOCALEMENT, NOUS TRANSMET À SON TOUR...



ENCHANTÉ! MAIS VOUS NE DEVRIEZ PAS AVOIR UN MOYEN DE TRANSPORT?



NON, LES PARTICULES DU MILIEU NE VOYAGENT PAS AVEC NOUS... SEULE LA PERTURBATION SUBIE PAR CES DERNIÈRES VOYAGE...



... JUSQU'À FAIRE VIBRER LE TYMPAN DE TON OREILLE...

LE SON, PAR EXEMPLE, EST UNE ONDE MÉCANIQUE PROVOQUÉE PAR UNE SOURCE QUI VIBRE, COMME LA CORDE D'UNE GUITARE OU LA PEAU D'UN TAMBOUR, ELLE SE PROPAGE DE FAÇON LONGITUDINALE... EN VOYAGEANT GRÂCE À DES RAREFACTIONS ET À DES COMPRESSIONS DE L'AIR...

LE SON PEUT ÊTRE AIGU OU GRAVE SELON LA FRÉQUENCE D'ONDE, LA DENSITÉ DU MILIEU QUI LE TRANSPORTE ET SA TEMPÉRATURE... EN GÉNÉRAL, PLUS LA FRÉQUENCE EST ÉLEVÉE ET PLUS LE SON EST AIGU... ET INVERSEMENT...



LE SON PRÉSENTE DONC CERTAINES CARACTÉRISTIQUES... LA FRÉQUENCE QUI SE MESURE EN HZ (CYCLES PAR SECONDE) ET NOUS PERMET DE DISTINGUER UN SON AIGU (HAUTE FRÉQUENCE) D'UN SON GRAVE (BASSE FRÉQUENCE)... ET L'INTENSITÉ QUI CORRESPOND AU VOLUME SONORE ET QUI SE MESURE EN DB (DÉCIBEL)...



... ET CELA DÉPEND DE L'AMPLITUDE D'ONDE QUI PEUT ÊTRE GRANDE, C'EST-À-DIRE CORRESPONDRE À UN SON FORT... OU PETITE... ET CORRESPONDRE PAR CONSÉQUENT À UN SON FAIBLE...



GIORGIO...



GIORGIO, TU M'ÉCOUTES?

HEIN?! EN EFFET, J'ÉTAIS UN PEU PERDU...

CE N'EST PAS GRAVE. POUR RÉSUMER, L'OREILLE HUMAINE EST SENSIBLE À UNE GRANDE GAMME D'AMPLITUDES SONORES, DES VOLUMES SONORES LES PLUS FAIBLES (SON LÉGER) AUX VOLUMES SONORES LES PLUS ÉLEVÉS (SON FORT)...



... LES PLUS PETITES AMPLITUDES, QUE NOUS QUALIFIONS AUSSI DE FAIBLES, SONT APPELÉES SEUILS INFÉRIEURS D'AUDIBILITÉ; LES PLUS GRANDES, QUI TRANSMETTENT PLUS D'ÉNERGIE ET SONT DONC PLUS PUISSANTES ET SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER DES LÉSIONS PERMANENTES, COMME DANS TON CAS LA PERFORATION DU TYMPAN, CORRESPONDENT AU SEUIL DE LA DOULEUR...

... POUR MESURER L'INTENSITÉ DES ONDES SONORES, ON UTILISE LE DÉCIBEL... LA MUSIQUE NE DEVRAIT PAS DÉPASSER 60 DÉCIBELS PENDANT 60 MINUTES PAR JOUR MAXIMUM... MAIS NE T'INQUIÈTE PAS MON GARÇON, J'AI UNE SOLUTION À TON PROBLÈME...



SUPER! JE VOUS ÉCOUTE...

TOUT D'ABORD, SACHE QUE PENDANT QUELQUE TEMPS TU NE POURRAS PAS JOUER AVEC TON GROUPE DE MUSIQUE...

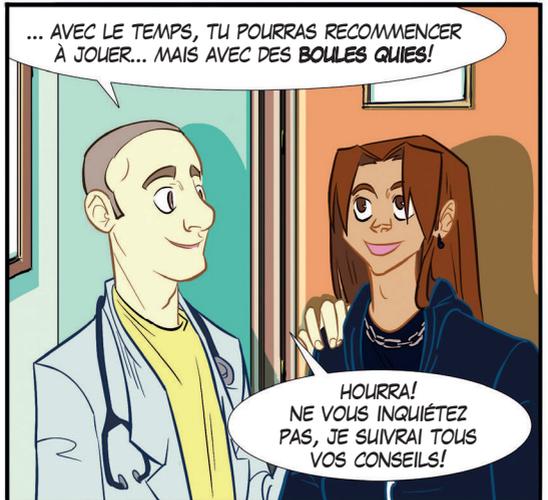


OH NON...



... TU DEVRAS AUSSI ÉVITER L'EAU... CAR TU RISQUES D'ENDOMMAGER COMPLÈTEMENT TON OÛIE... POUR ÉVITER LES INFECTIONS, JE T'AI CEPENDANT PRESCRIT UN ANTIBIOTIQUE ET, POUR SUPPORTER LA DOULEUR, UN ANTIDOULEUR...

... AVEC LE TEMPS, TU POURRAS RECOMMENCER À JOUER... MAIS AVEC DES BOULES QUIES!



HOURRA! NE VOUS INQUIÉTEZ PAS, JE SUIVRAI TOUS VOS CONSEILS!



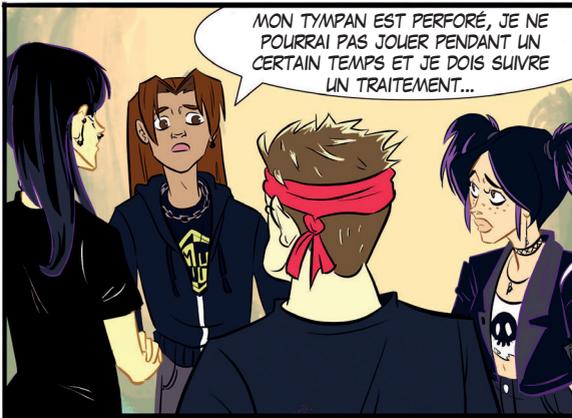
... ET RAPPELLE-TOI DE NE PAS ÉCOUTER LA MUSIQUE TROP FORT!



QU'À DIT LE DOCTEUR?

COMMENT ÇA S'EST PASSÉ?

TOUT VA BIEN?



MON TYMPAN EST PERFORÉ, JE NE POURRAI PAS JOUER PENDANT UN CERTAIN TEMPS ET JE DOIS SUIVRE UN TRAITEMENT...



... MAIS LE JOUR DU CONCERT, JE SUIS SÛR QUE JE SERAI SUR SCÈNE AVEC VOUS!



I AM DEATH... ARMS HELD OUTSTRETCHED...
I AM HELL... BORN THIS MORTAL SHELL...

I AM WRATH...
TAKE THIS
BLOODBATH...

GOD SENT ME
TO KILL YOU...

Angela

GF



GLOSSAIRE

Antenne Dispositif électrique qui permet de transmettre et/ou recevoir des ondes électromagnétiques; on parle d'antenne émettrice et/ou réceptrice. Ce dispositif permet le fonctionnement des télécommunications, c'est-à-dire les communications à distance non câblées.

Champ électromagnétique Combinaison du champ électrique et du champ magnétique. Le champ électrique et le champ magnétique se définissent comme une propriété ou perturbation de l'espace, produite par la présence de charges électriques et du mouvement d'une charge électrique.

Champ magnétique terrestre Le champ magnétique terrestre est généré par un dipôle magnétique situé au centre de la Terre et est également appelé champ géomagnétique. Le champ géomagnétique terrestre joue le rôle primordial de bouclier électromagnétique qui a une importance fondamentale pour la vie sur Terre, étant donné qu'il protège les organismes vivants contre les rayons solaires les plus chargés d'énergie et les plus dangereux.

Cryptochrome Les cryptochromes sont des protéines présentes dans les animaux, dans les plantes et dans les bactéries, qui agissent comme des récepteurs pour la lumière bleue et ultraviolette. Ils sont impliqués dans la régulation de diverses fonctions de l'organisme liées à la photoréception.

Diode Laser Les diodes laser sont des dispositifs optoélectroniques à même d'émettre un faisceau lumineux cohérent très intense depuis la région active du semi-conducteur avec lequel le dispositif est réalisé. Elles sont à la base de nombreuses applications fondamentales dans le domaine électronique.

Échographie Technique diagnostique non invasive qui, à l'aide d'ultrasons émis par des sondes spécifiques placées sur la peau du patient, permet de visualiser les organes, les structures sous-cutanées, les structures musculaires et tendineuses dans de nombreuses parties du corps.

Écho-localisation L'écholocalisation, dite aussi *biosonar*, est la capacité que présentent certains animaux (les odontocètes, comme les dauphins, et certaines chauves-souris en particulier) de caractériser le milieu environnant. Elle fonctionne à travers l'émission d'ondes sonores qui, en rebondissant sur les objets, restituent les informations utiles à l'animal.

Effet Doppler Changement apparent de la fréquence ou de la longueur d'onde d'une onde perçue par un observateur mobile par rapport à la source des ondes.

Effet de serre Phénomène naturel qui réchauffe la Terre et rend possible la vie sur notre planète. Il est dû à la présence de certains gaz dans l'atmosphère terrestre, comme le dioxyde de carbone, le méthane et la vapeur d'eau. Le réchauffement causé par l'émission de gaz à effet de serre d'origine humaine est l'un des principaux problèmes environnementaux actuels.

Fréquence Dans un phénomène périodique, la fréquence correspond au nombre d'événements qui se répètent dans l'unité de temps.

Hauteur La hauteur d'un son dépend de la fréquence de l'onde sonore qui l'a généré et permet de déterminer si le son est aigu ou grave. Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu, plus elle est basse et plus le son apparaît grave.

Intensité	L'intensité acoustique ou sonore est une grandeur physique comme l'énergie qui, dans l'unité de temps, traverse l'unité de surface établie perpendiculairement à la direction de propagation du son.
Magnéto-réception	Il s'agit d'un sens qui permet à un organisme de détecter un champ magnétique pour percevoir la direction, l'altitude ou la position. Ce sens est utilisé par différents animaux pour l'orientation et la navigation.
Magnétron	Dispositif qui, grâce à un mouvement spécifique des électrons à l'intérieur d'un tube à vide, permet la production de micro-ondes.
Micro-ondes	En physique, les micro-ondes sont des radiations électromagnétiques de longueur d'onde comprise entre les gammes supérieures des ondes radio et le rayonnement infrarouge. Le spectre des micro-ondes est en principe défini dans l'intervalle de fréquence compris entre 1 GHz et 1 000 GHz.
Onde de pression	Type d'onde longitudinale qui se propage dans un gaz et est caractérisée par la variation locale de la pression du gaz: c'est ce qui se produit dans les ondes sonores.
Onde électromagnétique	Les ondes électromagnétiques sont des ondes à même de se propager aussi bien dans les milieux élastiques que dans le vide, puisque ce n'est pas un milieu matériel qui oscille, mais les champs électriques et magnétiques qui varient dans l'espace et dans le temps, produits par des charges électriques en mouvement.
Onde longitudinale	Une onde longitudinale est caractérisée par une oscillation du milieu de propagation qui se fait dans la même direction que la propagation de l'onde.
Onde mécanique	Une onde mécanique est le transport d'énergie par propagation d'une perturbation dans un milieu gazeux, liquide ou solide.

Onde mixte Une onde mixte est le résultat de la superposition d'une onde transversale et d'une onde longitudinale. L'exemple le plus connu est celui de l'onde de l'eau.

Onde radio Les ondes radio sont des rayonnements électromagnétiques appartenant à la bande de fréquence comprise entre 0 et 300 GHz, soit une longueur d'onde supérieure à 1 mm.

Onde transversale Une onde transversale est caractérisée par une oscillation du milieu de propagation perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

Photodiode Les photodiodes sont des capteurs de la lumière qui génèrent un courant ou une tension lorsque la jonction dans le semi-conducteur à l'intérieur de la diode est éclairée par la lumière.

Rayonnement infrarouge Rayonnement électromagnétique dont la bande de fréquence est inférieure à celle de la lumière visible, mais supérieure à celle des ondes radio, c'est-à-dire avec une longueur d'onde comprise entre 700 nm et 1 mm. Il est souvent associé aux concepts de chaleur ou de rayonnement thermique, étant donné que chaque objet émet spontanément un rayonnement dans cette bande.

Rayonnement ultraviolet Appelé aussi UV, il s'agit d'un intervalle du rayonnement électromagnétique, d'une longueur d'onde immédiatement inférieure à celle de la lumière visible par l'œil humain et immédiatement supérieure à celle des rayons X, située donc entre 100 et 400 nm.

Rayons gamma Les rayons gamma sont une radiation électromagnétique aux longueurs d'onde extrêmement courtes, comprises entre 10^{-10} et 10^{-14} mètres. Les fréquences correspondantes sont par conséquent très hautes, supérieures à 300 milliards de GHz! Les rayons gamma sont essentiellement produits par des transitions nucléaires ou du moins subatomiques.

Rayons X Les rayons X (ou Röntgen) sont un rayonnement électromagnétique avec une longueur d'onde comprise approximativement entre 10 nanomètres et 1/1 000 de nanomètre (c'est-à-dire un picomètre). Les rayons X sont principalement utilisés à des fins médicales (radiographies), dans l'analyse chimique et dans l'analyse de la structure des matériaux.

Son On entend par son toutes les vibrations qui se propagent dans un milieu. Les vibrations peuvent être excitées dans le milieu (solide, liquide ou gazeux) ou lui être transmises par les vibrations d'un corps, qui représente la source sonore.

Sonar Acronyme de l'expression anglaise *Sound Navigation and Ranging*, il s'agit d'une technique qui utilise la propagation du son dans l'eau pour la navigation, la communication ou pour détecter la présence et la position de bateaux.

Spectre électromagnétique Le spectre électromagnétique comprend l'ensemble des fréquences des ondes électromagnétiques, réparties en différents types de rayonnement selon leur fréquence et leur longueur d'onde.

Timbre Caractéristique permettant de distinguer les sons émis par différentes sources, même s'ils présentent la même fréquence et la même intensité. Par exemple, chaque instrument musical possède un timbre différent, même en jouant la même note, et par conséquent est perçu différemment par l'oreille.

Transmission sans fil Dans le domaine de l'informatique et des télécommunications, la transmission sans fil (de l'anglais *wireless*) indique une communication entre dispositifs électroniques sans l'usage de câbles. Par extension, les systèmes ou dispositifs de communication qui mettent en œuvre cette modalité de communication sont dits "sans fil". Généralement, la transmission sans fil utilise des ondes radio de faible puissance.

Ultrason Les ultrasons sont des ondes mécaniques sonores. Les fréquences qui caractérisent les ultrasons sont supérieures à celles généralement audibles par une oreille humaine et se situent dans un intervalle compris entre 20 kHz et 1 GHz (au-delà, on parle d'hyperson).

Wi-Fi Acronyme anglais de *Wireless Fidelity*, signifie “fidélité sans fils” et comprend toute la technologie utilisée pour la connexion d’un appareil électronique (ordinateur portable, PC, tablette, etc.) à un réseau public ou privé.



Notre environnement et notre quotidien sont peuplés d'ondes, qu'elles soient naturelles ou générées par l'homme. Des ondes qui se propagent à travers un milieu de transmission en transportant de l'énergie, et des ondes à même de générer des effets plus ou moins importants sur la matière.

L'auteur nous accompagne dans un voyage fascinant au cœur de l'univers des ondes, en nous dévoilant les phénomènes ondulatoires naturels et artificiels, et en nous montrant comment l'homme a réussi à exploiter certains types d'ondes de façon contrôlée, comme en témoignent les télécommunications, le Wi-Fi, les rayons X ou encore le four à micro-ondes.

Andrea Danani, Institut Dalle Molle de recherche en Intelligence Artificielle (IDSIA); Haute école spécialisée de la Suisse italienne (SUPSI); Université de la Suisse italienne (USI), Lugano.

À l'intérieur, la BD:

Onde après onde...

Textes rédigés par les élèves de la classe 3A de l'école secondaire Caslano, Tessin, Suisse.

Dessins réalisés par Angela Piacentini, pour la Scuola Romana dei Fumetti.