

FRANÇOIS BONIN

PANOPLIE DE VITESSES

Étude sur les vitesses dans différents domaines

## Avant-propos

La vitesse\*, selon notre ami Larousse, représente une action ou une capacité de parcourir une grande distance ou d'accomplir une tâche en peu de temps. À partir de cette définition générale, nous allons examiner la rapidité d'accomplissement d'actions de certaines espèces vivantes, la célérité\* de processus biologiques, la vélocité\* d'objets célestes, la rapidité et les capacités d'objets fabriqués par l'homme, etc. Dans chacune des parties, nous donnerons une description des principaux outils utilisés pour mesurer les vitesses.

### PARTIE 1

#### Les vitesses dans notre monde

##### Chapitre 1.1 : Vitesses dans le monde animal.

Nous avons décidé de présenter la vitesse, dans ce monde, en kilomètre par heure (km/h) vu que les animaux se déplacent assez rapidement et que c'est une mesure que nous connaissons tous bien. Voici quelques exemples.

Chez les poissons, les dauphins voyagent à 40 km/h, les baleines à 48 km/h, le thon rouge jusqu'à 75 km/h et l'espadon-voilier peut atteindre une vitesse de 110 km/h.

Chez les oiseaux, l'aigle atteint 214 km/h en piqué, le martinet brun 300 km/h et le faucon pèlerin peut aller jusqu'à 350 km/h dans la même situation.

Chez les mammifères, le léopard court à la vitesse de 56 km/h lorsqu'il poursuit une cible, le lièvre se sauve à la vitesse de 70 km/h et l'antilope peut atteindre 95 km/h pour échapper à son agresseur. Le guépard est un vrai sprinteur, car il peut atteindre 110 km/h.

Chez les insectes, les moucheron volent à 35 km/h alors que les libellules peuvent atteindre 50 km/h. Les fourmis argentées du Sahara seraient les fourmis les plus rapides du monde avec des pointes de 3,078 km/h, soit 108 fois leur propre longueur corporelle.

Chez l'homme, Usain Bolt a déjà atteint la vitesse de 44,72 km/h lors de l'établissement du record du monde du 100 m.

Parmi les animaux les plus lents, nous retrouvons l'araignée qui se déplace à 2 km/h, le boa à 0,35 km/h, la tortue à 0,25 km/h et l'escargot à près de 0,005 km/h.

La rapidité d'attaque de certains prédateurs marins ou terrestres est de l'ordre de centièmes et de millièmes de secondes; à titre d'exemple, la vipère du Gabon frappe à la vitesse de 1 millième de seconde; elle plante alors ses crocs dans sa victime, pour l'empêcher de fuir et lui injecte ensuite un venin mortel en ½ seconde.

La vitesse de croissance des cheveux chez les humains dépend, entre autres, de sa génétique, de son ethnie et des sécrétions des hormones sexuelles véhiculées par le sang. Pour un type africain, la moyenne de cette vitesse tournerait autour de 0,8 cm/mois, pour les caucasiens, la vitesse serait de 1 cm/mois et pour un asiatique environ 1,5 cm/mois.

## Chapitre 1.2 : Vitesses dans le monde végétal.

### Vitesse de croissance de certains arbres

Arbres/ Année	5 ans	15 ans	adulte
Bouleau	2m	10m	21m
Chêne rouge	3m	7,5m	25m
Érable	2,5m	10m	30m

La vitesse de croissance de ces arbres dépend de la terre dans laquelle ils sont plantés, de la température et autres facteurs naturels.

La capacité de migration des arbres varie en fonction des espèces et les changements s'échelonnent sur de longues périodes. Au Canada, on estime que le climat changera de 10 à 100 fois plus rapidement que la capacité des arbres à migrer.

Dans les montagnes du Vermont, les érables gagnent du terrain à mesure que le climat se réchauffe. En 40 ans, ils ont progressé de près de 100 mètres en altitude. Au Bas-Saint-Laurent, certains peuplements, jadis dominés par des conifères, sont maintenant sous le règne de l'érable.

### Chapitre 1.3 : Vitesses dans le monde minéral.

Les roches s'altèrent et se désagrègent avec le temps mais la vitesse de l'érosion varie selon la composition des roches et les effets du climat. Les roches subissent les variations de température, l'action de l'eau et de la glace; elles sont aussi modifiées par l'oxygène de l'air, la pression exercée par les racines des arbres et autres.

Les roches sont faites de minéraux et les minéraux sont constitués d'éléments chimiques. Chaque roche a sa propre minéralogie et chaque minéral sa propre composition chimique. L'eau et les sels minéraux sont les seuls nutriments que les végétaux peuvent assimiler.

Certains minéraux, comme le talc et le gypse, sont très tendres alors que d'autres, comme le diamant, sont très durs.

### Chapitre 1.4 : Vitesses des objets produits par l'homme.

La vitesse d'un objet et son accélération sont deux réalités différentes. La vitesse est le résultat d'une distance divisée par le temps et elle s'exprime souvent en mètres par seconde (m/s). Nous parlons d'accélération lorsque la vitesse varie avec le temps et l'accélération s'exprime en mètres par seconde carrée (m/s<sup>2</sup>).

La vitesse des trains commerciaux en Europe se situe entre 300 et 320 km/h et l'objectif est d'atteindre 360 km/h, ce qui reviendrait à dire que le train parcourrait 100 m/s. Même si la vitesse record des trains avoisine les 600 km/h, il est très difficile d'aménager les infrastructures pour permettre à un train de voyager à cette vitesse sur rails.

La moto de course RSV4 1100 Factory 2019 d'Aprilia peut atteindre 300 km/h.

Une automobile, la Bugatti Chiron, a atteint en août 2019 une vitesse de 490 km/h sur un anneau de vitesse en Allemagne.

Dans un article publié le 26 juin 2018, Usine Nouvelle indique que les États-Unis ont repris la première place, devant la Chine, pour la vitesse de calcul par ordinateur. Le Summit, supercalculateur américain, peut effectuer 122,3 pétaflops par seconde et un pétaflop correspond à un million de milliards d'opérations par seconde.

Chapitre 1.5 : Outils pour mesurer ces vitesses.

L'indicateur de vitesse d'une automobile ou d'une bicyclette fonctionne à l'aide d'un capteur électromagnétique chargé de compter le nombre de passages d'un aimant situé sur une roue. Le compteur calcule alors la vitesse à partir du nombre de tours de roue à la minute et du périmètre de cette roue.

La vitesse de rotation du moteur de nos automobiles nous est révélée par un compte-tour qui indique la fréquence de rotation du vilebrequin, généralement en nombre de tours par minutes. Le vilebrequin transforme le mouvement linéaire rectiligne du piston en un mouvement de rotation continue.

Les policiers utilisent un cinémomètre laser, qui remplace de plus en plus l'ancien radar. Le cinémomètre émet une lumière laser à une longueur d'onde de 0,904 micromètres (proche de l'infra-rouge) et calcule la vitesse du mobile à partir du train d'onde réfléchi qui est couplé à une mesure de temps. La vitesse du mobile, souvent une automobile, est alors mesurée avec une précision de 0,1 km/h.

Le tube de Pitot est utilisé pour mesurer le débit d'un gaz ou d'un liquide dans une tuyauterie. Le tube est constitué en fait de deux tubes coudés concentriques dont les orifices sont en communication avec le fluide. Le tube extérieur s'ouvre perpendiculairement à l'écoulement du fluide, alors que le tube intérieur est parallèle à l'écoulement du fluide. Un manomètre

mesurant la différence de pression dans les deux tubes permet de calculer la vitesse d'écoulement du fluide.

## PARTIE 2

### Les vitesses dans l'univers

#### Chapitre 2.1 : Vitesses des objets célestes.

À titre d'exemple, une étoile de la constellation de la Vierge, qui était à une distance de  $78 \cdot 10^6$  années-lumière\* (a.l.) de la Terre en 2005, s'éloignait de notre planète à la vitesse 1 200 km/s, alors qu'une autre étoile dans la constellation de l'Hydre, qui était alors à  $4 \cdot 10^9$  a.l. de la Terre, s'éloignait de nous à la vitesse fabuleuse de 61 200 km/s. Cet exemple va dans le sens que l'expansion de l'univers s'accélère, étant donné que les objets les plus distants s'éloignent les plus rapidement.

La vitesse de révolution de la Terre autour du Soleil est de 107 218 km/h alors que Mars, qui en est plus éloignée, tourne à une vitesse de 86 676 km/h. La vitesse de révolution des planètes du système solaire décroît avec l'augmentation de leur distance de notre étoile.

La vitesse orbitale du système solaire dans la Voie lactée est approximativement de 828 000 km/h et la vitesse de notre Voie lactée dans son amas galactique grimpe à 2 268 000 km/h.

La vitesse de rotation d'un objet céleste correspond à la rotation de l'objet sur lui-même. La vitesse de rotation de la Terre à l'équateur atteint 1 670 km/h.

L'accélération gravitationnelle terrestre mesure l'accélération subie par un objet en chute libre et s'exprime par la lettre  $g$ . L'accélération gravitationnelle dépend de la masse de l'astre sur lequel l'objet se trouve et de la distance qui sépare cet objet du centre de l'astre. L'accélération gravitationnelle terrestre est de  $9,8 \text{ m/s}^2$  au niveau du sol et de  $9,74 \text{ m/s}^2$  au sommet de l'Éverest, vu que la distance reliant le sommet de l'Éverest au centre de la Terre est plus grande que celle qui part du sol. Sur la Lune,

l'accélération gravitationnelle est seulement de  $1,63 \text{ m/s}^2$ , vu que sa masse est presque six fois plus faible que celle de la Terre.

Les vents que nous retrouvons dans l'atmosphère terrestre sont mesurés par l'échelle anémométrique de Beaufort qui est composée de 17 degrés. Les degrés 12 à 17 révèlent la classification des ouragans dont le premier niveau stipule que les vents sont d'au moins 118 km/h. La vitesse des vents sur Terre peut atteindre plus de 400 km/h dans le cas des grosses tornades.

La station spatiale internationale (SSI) tourne autour de la Terre à une vitesse d'environ 28 000 km/h. Il en est de même pour les satellites en orbite basse.

La comète interstellaire  $I_2/2019 Q_4$ , découverte le 30 août 2019 par Gennady Borison, file à la vitesse de 110 000 km/h, soit sensiblement la même vitesse que celle de la Terre qui tourne autour du Soleil.

Chapitre 2.2 : Vitesses de la lumière et des ondes.

La vitesse de la lumière est généralement décrite comme étant de 300 000 km/s; si nous mettons cela en km/h, nous arrivons à 1 080 000 000 km/h. En réalité, la mesure la plus précise, avant le laser, était de 299 792, 5 km/s et, depuis le laser, la précision nous amène à considérer que sa vitesse est de 299 792, 458 km/s. Einstein a expliqué en 1905 qu'un objet, qui voyagerait à cette vitesse, verrait sa masse augmentée, sa longueur diminuée et le temps ralentir.

La lumière est formée d'ondes électromagnétiques. La vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air sec est la même pour toutes les couleurs qui composent la lumière blanche. Néanmoins, plus la fréquence lumineuse d'une couleur est élevée, plus cette couleur lumineuse est énergique et plus elle interagit avec les électrons de la matière qu'elle rencontre. De ce fait, une lumière à la fréquence élevée, comme le bleu, va moins vite qu'une lumière à la fréquence moins élevée, comme le rouge. C'est ce phénomène qui provoque la dispersion de la lumière blanche en traversant un prisme.

La couleur des objets est reliée à la partie de la lumière qui est réfléchiée par cet objet.

L'intrication quantique\* lie les particules les unes aux autres à travers n'importe quelle distance. Par exemple, lorsqu'une paire de photons est intriquée, les deux grains de lumière font partie d'un tout, indépendamment de leur distance et alors, une mesure sur l'un des photons produit instantanément une action sur l'autre. Vu que l'intrication quantique est instantanée, il a été supposé que ce processus était plus rapide que la vitesse de la lumière. Cependant, comme le processus implique tant l'intrication quantique instantanée que l'envoi de données par des moyens classiques, tel que la radio ou l'internet, en pratique ce processus ne franchit pas la barrière de la vitesse de la lumière.

À la différence de la lumière, le son ne peut se propager dans un espace vide et sa vitesse y est faible en comparaison avec elle; en effet, la vitesse du son dans l'air est d'environ 1 234 km/h. Le tonnerre est causé par l'expansion brusque de l'air chauffé à 30 000°C par le passage d'un éclair.

Le son voyage à peu près quatre fois plus vite dans l'eau que dans l'air, vu la densité de l'eau, et plus de dix fois plus vite dans un solide, étant donné que les atomes sont encore plus rapprochés dans un solide que dans l'air et même que dans l'eau.

Lorsqu'un concert est retransmis en direct à la radio, la musique parvient plus vite aux auditeurs qu'aux spectateurs, car les ondes radio, qui véhiculent le son à la vitesse de la lumière, sont plus rapides que les vibrations sonores qui se propagent dans une salle de concert.

Chapitre 2.3 : Vitesse de l'univers.

La vitesse à laquelle les gaz s'engouffrent dans les trous noirs au centre des quasars\* a été évaluée à 18 millions de km/h.

Chapitre 2.4 : Outils pour mesurer ces vitesses.

La vitesse des vents est mesurée par un anémomètre; l'anémomètre à coupelles se compose de trois demi-coquilles situées sur des bras



horizontaux disposés à 120 degrés et elles sont montées sur un axe vertical qui est équipé d'un dispositif de comptage de tours; la vitesse de rotation de l'anémomètre est proportionnelle à la vitesse du vent. L'organisation météorologique mondiale indique que l'appareil doit être placé sur un mat à une distance de 10 mètres du sol.

Un accéléromètre est un capteur qui, fixé à un objet mobile, permet d'en mesurer l'accélération linéaire; en fait, l'appareil de mesure comporte habituellement trois accéléromètres qui calculent les accélérations linéaires selon nos trois axes spatiaux.

L'effet Doppler se manifeste pour les ondes sonores dans la perception de la hauteur du son; le son perçu est plus aigu lorsque le véhicule s'approche de l'observateur et plus grave lorsqu'il s'en éloigne, même si les deux mesures ont été prises à égale distance de l'observateur.

Dans le cas des ondes électromagnétiques, nous parlons de l'effet Doppler-Fizeau; lorsqu'un mobile s'approche de l'observateur, le spectre des fréquences est décalé vers le bleu alors que le spectre est décalé vers le rouge, ondes plus longues, lorsque le mobile s'éloigne de l'observateur. Vu que le spectre des ondes électromagnétiques de l'univers se déplace vers le rouge, par rapport à un observateur terrestre, les scientifiques en concluent que l'univers est en expansion et s'éloigne de nous.

## PARTIE 3

### Les vitesses dans le monde microscopique

#### Chapitre 3.1 : Vitesses dans les processus biologiques.

La vitesse des signaux électriques voyageant le long des fibres nerveuses de la moelle épinière tourne autour de 432 km/h.

Les premières étapes de la vision se produisent dans les photorécepteurs et des chercheurs ont réussi à mesurer, en 2015, le temps de réaction de la rhodopsine, pigment de ces récepteurs. La vitesse phénoménale serait de 30 femto-secondes ou 30 millièmes d'un milliard de secondes. Cette

vitesse semble représenter une limite de vitesse moléculaire et est considérée comme un record de vitesse en chimie.

En 2018, d'autres chercheurs ont mesuré l'apoptose, qui est une mort cellulaire programmée. L'apoptose se propagerait à travers une cellule à une vitesse de 30 micromètres par minutes.

La pression sanguine, au voisinage de l'aorte, est d'environ 180 mm de mercure et elle descend jusqu'à 100 mm lorsque le sang est rendu dans les capillaires. La vitesse du sang est aussi plus rapide près du cœur qu'à distance et la vitesse moyenne de la circulation sanguine est de 200 mm/s.

Le cœur pompe environ 5 litres de sang par minute, ce qui équivaut à la totalité du sang contenu dans le corps; la vitesse tourne autour de 2 km/h. Il semble que ça prend 13 secondes pour que le sang aille d'une main à l'autre et environ 2 secondes pour voyager de la cuisse au pied.

L'influx nerveux qui voyage dans les fibres de type A-delta, de grosseur de 1 à 5  $\mu\text{m}$  et qui nous transmet la sensation de douleur, va à la vitesse de 40 à 120 km/h. Celui qui est dans les fibres de type A-beta, de grosseur de 6 à 12  $\mu\text{m}$  et qui nous signale la sensation du toucher, montre une vitesse qui se situe entre 120 et 300 km/h. L'influx nerveux qui parcourt les fibres A-alpha de grosseur de 13 à 20  $\mu\text{m}$  et qui véhicule de l'information sur notre posture, se déplace à la vitesse de 300 à 400 km/h.

L'influx nerveux est la propagation d'un potentiel d'action des cellules le long des fibres nerveuses. Le potentiel d'action d'une cellule est mesuré par un courant électrique qui augmente puis chute rapidement. L'influx nerveux est transmis par un message électrique créé par le flux d'ions, et non d'électrons, à travers la membrane de la cellule. L'influx nerveux se transmet de neurones en neurones alors que le message électrique véhiculé par le premier neurone est converti en message chimique pour traverser la fente synaptique; ce message chimique capté par le deuxième neurone est de nouveau transformé en message électrique et il peut alors poursuivre son chemin vers le troisième neurone et ainsi de suite.

Chapitre 3.2 : Vitesses des particules élémentaires.

La masse de l'électron au repos est :  $m_e = 9.1093.10^{-31}$  kg.

La charge de l'électron est :  $e = 1.60218.10^{-19}$  C

La vitesse d'une réaction chimique correspond à la variation de la quantité de produits ou de réactifs par unité de temps. Pour comprendre pourquoi certaines réactions sont lentes et d'autres rapides, et quels sont les facteurs qui influent sur la vitesse de réaction, il faut s'intéresser aux interactions entre les particules des réactifs.

Plus il y a de collisions efficaces entre les particules, plus la vitesse de réaction est grande et plus la réaction est rapide. Une collision est efficace lorsque les particules, qui se rencontrent, ont suffisamment d'énergie pour entraîner une réaction, alors que parfois lors des collisions les particules ne font que rebondir.

Les principaux facteurs influençant la vitesse d'une réaction chimique sont :

- La nature des réactifs : Par exemple, les réactions entre les réactifs gazeux sont plus rapides que celles entre les réactifs solides, vu que les particules des réactifs gazeux voyagent plus aisément et que les liens à briser y sont plus faibles.

- La surface de contact : En général, plus on augmente la surface de contact des réactifs, plus le nombre de collisions augmente et plus la réaction est rapide.

- Concentration des réactifs : Plus la concentration des réactifs est élevée, plus il y a de collisions et alors plus la réaction est rapide.

- Température : Avec l'augmentation de la température, l'énergie cinétique des particules augmente favorisant ainsi une réaction plus rapide.

- Présence d'un catalyseur : Les catalyseurs sont des substances qui augmentent aussi la vitesse des réactions, car ces substances abaissent l'énergie qu'il faut pour activer une réaction. Il y a aussi des substances qui

diminuent la vitesse des réactions et ces substances sont appelées des inhibiteurs.

La vitesse estimée d'un neutron est de 36 000 000 km/h et celle d'un électron dans un tube cathodique grimpe à 100 000 000 km/h.

### Chapitre 3.3 : Vitesses dans les technologies nanométriques.

À l'échelle macroscopique, les propriétés d'un matériau dépendent uniquement de sa composition et de sa structure atomiques. Ce n'est pas le cas des objets de taille nanométrique dont les propriétés dépendent également de la taille et de la forme de l'objet.

La science des matériaux, qui étudie les propriétés d'ensembles d'atomes ou de molécules, se trouve ainsi profondément renouvelée puisque les propriétés d'un objet de taille nanométrique vont différer des propriétés des entités qui le forment (atomes ou molécules) mais également des propriétés du matériau macroscopique dont l'objet est issu.

La problématique principale actuelle des objets nanométriques est leur usure. Vu que ces objets sont constitués d'un faible nombre d'atomes et que leur surface est grande en comparaison de leur volume, il suffit qu'ils perdent quelques atomes pour qu'ils ne réussissent plus à accomplir la tâche pour laquelle l'objet a été fabriqué. Le mécanisme d'usure est actif lorsque les atomes d'une surface sont transférés à une autre surface, par un jeu de créations et de destructions de liaisons chimiques.

Lors d'une réaction chimique, le passage d'un état initial à un état final demande un temps plus ou moins long. La cinétique chimique définit trois grandes catégories. Premièrement, les réactions quasi-instantanées dont la durée d'évolution est inférieure ou égale à la durée de la persistance rétinienne, qui est d'environ 1/10 de seconde. Pour la deuxième catégorie, les réactions sont plus lentes; elles peuvent se réaliser en quelques secondes mais aussi prendre quelques heures. Les réactions extrêmement lentes forment la troisième catégorie et la durée de leur réaction est supérieure à une journée, comme nous le voyons dans le processus de formation de la rouille.

### Chapitre 3.4 : Outils pour mesurer ces vitesses.

Le potentiel d'action d'une cellule peut être mesuré dans les fibres nerveuses et musculaires grâce à l'emploi d'électrodes intracellulaires.

Le grand collisionneur de hadrons (LHC), situé entre la France et la Suisse, est actuellement le plus puissant accélérateur de particules. C'est grâce à lui, qu'en 2012, les scientifiques ont pu confirmer l'existence du boson de Higgs. Dans le LHC, les protons sont accélérés jusqu'à une énergie de 7 TeV, soit près de 7 500 fois leur énergie de masse. L'énergie totale produite lors de la collision entre deux protons est alors de 14 TeV.

### CONCLUSION

Dans le monde animal, ce sont les oiseaux qui se déplacent le plus rapidement alors qu'au niveau de la rapidité d'attaque, plusieurs espèces se font la lutte.

Même s'il existe une migration chez les arbres, c'est la vitesse de leur croissance qui est plus étudiée.

Les vitesses mesurées dans le monde minéral ne tiennent pas au déplacement, comme dans le monde animal, ni à leur croissance, comme dans le monde végétal, mais sont en rapport avec leur altération dont la vitesse dépend surtout de leur composition chimique.

L'homme, qui n'est pas très rapide dans ses déplacements, a conçu d'innombrables machines pour l'aider à aller plus vite, comme il a fabriqué des outils pour amplifier sa force, etc. Les ordinateurs sont une de ses belles réussites et ces machines dépassent largement notre capacité de calcul.

Dans notre monde, les outils pour mesurer les vitesses sont nombreux et presque tous les éléments peuvent être mesurés avec une grande précision, car ils sont à notre échelle.

Les objets célestes filent à des vitesses fantastiques; en outre, vu l'expansion de l'univers, les objets les plus distants de notre planète s'éloignent plus rapidement de nous que les objets qui sont près de nous.

Les vitesses dans l'univers sont faramineuses et la vitesse de la lumière en est encore la limite supérieure, malgré le mystère de l'intrication quantique.

La vitesse de la circulation sanguine est petite en regard de celle de l'influx nerveux qui peut aller jusqu'à 400 km/h. Le temps de réaction des récepteurs visuels est extrêmement court.

L'électron voyage plus rapidement que le neutron.

L'usure des objets nanométriques est rapide et diminue la stabilité et le fonctionnement de ces machines.

## ANNEXES

Annexe 1 : Généralités et mesures.

Une année lumière : Elle correspond à la distance parcourue par un photon, dans le vide, en une année. En kilomètre, cela donne 9 460, 730 milliards de kilomètres.

Un mach : vitesse du son, 1 234 km/h dans l'air.

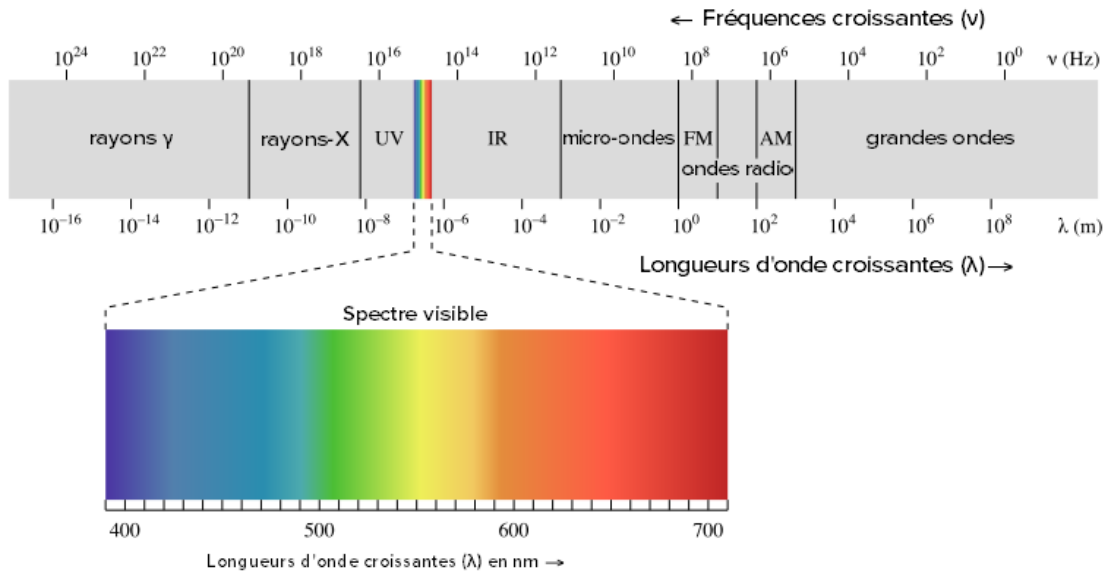
Un nœud : Unité de vitesse marine qui correspond à 1,852 km/h sur terre.

Seconde : Elle est déterminée à partir de la fréquence de transition hyperfine de l'atome de césium 133 fixée à 9 192 631 770 hertz.

Vitesse de la lumière : 299 792, 458 km/s.

Annexe 2 : Spectre des ondes électromagnétiques.

Image issue de UC Davis ChemWiki.



Annexe3 : Multiples et diviseurs des nombres.

Rapport	Préfixe	Symbole
$10^{24}$	yotta	
$10^{21}$	zetta	
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto	h
10	deca	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	
$10^{-24}$	yocto	

GLOSSAIRE

Célérité : Promptitude dans l'exécution d'une action. Vitesse de propagation d'une onde.

Intrication quantique : Phénomène par lequel un état de deux particules est inséparable, bien que les deux particules puissent être spatialement séparées.

Quasar : Région compacte entourant un trou noir super massif au centre d'une galaxie massive.

Vélocité : Grande rapidité dans le mouvement.

Vitesse : Action ou capacité de parcourir une grande distance, d'accomplir une tâche en peu de temps.

## BIBLIOGRAPHIE

- Allègre, Claude. Un peu de science pour tout le monde. Fayard, 2003.
- Babin, Jean-Louis. Quelle est la vraie vitesse de la lumière? Le Pommier, 2004.
- Casoli, Fabienne et Encrenaz, Thérèse. Planètes extrasolaires. Belin, 2005.
- Clegg, Brian. La physique quantique en un clin d'œil. Hurtubise, 2018.
- Collectif. Comment. Sélection du Reader's Digest, 1991.
- Cyr, Marie-Danielle. Chimie, option science. Pearson, 2016.
- Didier, Marcel. Guide visuel du corps humain. MD, 2018.
- Durward L., Allen et al. ABC de la nature. Sélection du Reader's Digest, 1984.
- Leboeuf, Michel. Grande vitesse ferroviaire. Cherche-midi, 2013.
- Michine, Irène. Mini encyclopédie. Québec Loisirs, 1997.
- Morissette, Gaétan. Astronomie, premier contact. Le Griffon d'argile, 2003.
- Müller, Pierre et Leroy, Frédéric. Nanosciences et nanomatériaux. Ellipses, 2018.
- Petit, Jean-Pierre et Bourret, Jean-Claude. Contacts cosmiques. Guy Trédaniel, 2018.
- Sverdrup-Thygeson, Anne. Insectes: un monde secret. Arthaud, 2019.
- Thiry, Marc. Biologie cellulaire. Dunod, 2016.
- Thouin, Marcel. Tester et enrichir sa culture scientifique et technologique. MultiMondes, 2008.
- Xuan Thuan, Trinh. Les voies de la lumière. Fayard, 2007.
- Xuan Thuan, Trinh. Dictionnaire amoureux illustré du ciel et des étoiles. Plon|Gründ, 2018.



## SITES INTERNET

[Cifar.ca/fr](http://Cifar.ca/fr)  
[Doctissimo.fr](http://Doctissimo.fr)  
[Fr.wikipedia.org](http://Fr.wikipedia.org)  
[Futura-sciences.com](http://Futura-sciences.com)  
[Ici.radiocanada .ca](http://Ici.radiocanada.ca)  
[Lecerveau.mcgill.ca](http://Lecerveau.mcgill.ca)  
[Lapresse.ca](http://Lapresse.ca)  
[Mcan.gc.ca](http://Mcan.gc.ca)  
[Mern.gouv.qc.ca](http://Mern.gouv.qc.ca)  
[Plandejardin-jardinbiologique.com](http://Plandejardin-jardinbiologique.com)  
[Unpointcinq.ca](http://Unpointcinq.ca)  
[Usinenouvelle.com](http://Usinenouvelle.com)

## TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos :.....	2
PARTIE 1 : Les vitesses dans notre monde.....	2
Chapitre 1.1 : Vitesses dans le monde animal.....	2
Chapitre 1.2 : Vitesses dans le monde végétal.....	3
Chapitre 1.3 : Vitesses dans le monde minéral.....	4
Chapitre 1.4 : Vitesses des objets produits par l'homme.....	4
Chapitre 1.5 : Outils pour mesurer ces vitesses.....	5
PARTIE 2 : Les vitesses dans l'univers.....	6
Chapitre 2.1 : Vitesses des objets célestes.....	6
Chapitre 2.2 : Vitesses de la lumière et des ondes.....	7
Chapitre 2.3 : Vitesse de l'univers.....	8
Chapitre 2.4 : Outils pour mesurer ces vitesses.....	8
PARTIE 3 : Les vitesses dans le monde microscopique.....	9
Chapitre 3.1 : Vitesses dans les processus biologiques.....	9
Chapitre 3.2 : Vitesses des particules élémentaires.....	10
Chapitre 3.3 : Vitesses dans les technologies nanométriques.....	12
Chapitre 3.4 : Outils pour mesurer ces vitesses.....	13
CONCLUSION :.....	13
ANNEXES :.....	14
Annexe 1 : Généralités et mesures.....	14

Annexe 2 : Spectre des ondes électromagnétiques.....	14
Annexe 3 : Multiples et diviseurs des nombres.....	15
GLOSSAIRE :.....	15
BIBLIOGRAPHIE :.....	16
SITES INTERNET :.....	17
TABLES DES MATIÈRES :.....	17