
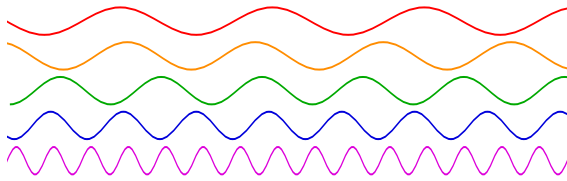


Fréquence

 Pour les articles homonymes, voir [Fréquence](#) (homonymie).

En physique, la **fréquence** est le nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de mesure du temps^[1].



Ondes sinusoïdales de fréquences différentes : celle du bas a la plus haute fréquence et celle du haut, la plus basse.

La notion de fréquence s'applique de deux façons aux phénomènes périodiques ou non. D'une part, la fréquence peut désigner le nombre d'occurrences par unité de mesure, et d'autre part, la fréquence est la variable indépendante dans l'analyse spectrale.

Lorsque le phénomène peut être décrit mathématiquement par une fonction périodique du temps, c'est-à-dire une fonction $f(t)$ telle qu'il existe des constantes Ti pour lesquelles, quel que soit t , $f(t+Ti)=f(t)$, alors la plus petite des valeurs positives de ces constantes Ti est la période T de la fonction, et la fréquence est l'inverse de la période^[2].

$$f = \frac{1}{T}$$

Dans plusieurs domaines technologiques, on parle de fréquence spatiale. Dans cet usage, une dimension de l'espace prend la place du temps. S'il existe une variation périodique dans l'espace, la fréquence spatiale est l'inverse de la distance minimale à laquelle on retrouve la forme identique, par exemple en imprimerie la linéature. Qu'il en existe ou pas, on peut appliquer à l'espace les règles de l'analyse spectrale, comme on le fait dans les systèmes de compression numérique des images. Dans le cas des ondes progressives, la fréquence spatiale est le quotient de la fréquence par la vitesse de l'onde.

1 L'idée de répétition et le temps

La fréquence, dans ce qu'elle a de plus accessible intuitivement, mesure un phénomène périodique.

Exemple :

Un rameur fait avancer son bateau en plongeant son aviron dans l'eau dans un mouvement cyclique qui se répète régulièrement 40 fois par minute. « 40 fois par minute » est l'expression de la fréquence de ce mouvement périodique en cycles par minute.

Inversement, pour mesurer le temps, on fait appel à des phénomènes périodiques qu'on sait stables.

Exemple :

Une horloge à balancier fait avancer ses engrenages d'un pas égal à chaque oscillation d'un pendule.

C'est ainsi que le système international d'unités définit la seconde comme « la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133^[3] ».

En conséquence, on peut définir une fréquence comme le rapport entre deux unités de temps différentes, exprimée en général par le nombre d'unités de l'une pour une de l'autre^[4].

1.1 L'analyse spectrale

Article détaillé : analyse spectrale.

L'analyse spectrale montre que tout signal décrivant un phénomène périodique peut se décomposer en une somme de sinusoïdes, dont la fréquence est un multiple entier de la fréquence du phénomène. Pour les phénomènes non périodiques, on peut considérer que leur période s'étend à l'infini, que leur fréquence est nulle, et que leur spectre est continu.

La transformation de Fourier permet de passer de la description d'un phénomène en fonction du temps à sa description en fonction des fréquences qu'il contient, appelée *spectre* de fréquences, et inversement.

La transformation de Fourier est un procédé mathématique qui suppose que la valeur qui décrit le phénomène est connue en tous temps et le temps existe de moins l'infini à plus l'infini. De même, elle suppose que les valeurs de la fréquence peuvent être quelconques, de moins l'infini à plus l'infini. Elle connaît donc des fréquences négatives.

1.2 Relation entre temps et fréquence

Les phénomènes ont à la fois une extension dans le temps, entre un début et une fin, et une dimension fréquentielle, dans la mesure où ils se répètent périodiquement entre ce début et cette fin. On peut les décrire par l'évolution de leur amplitude dans le temps, ou par les fréquences de leur spectre.

Une description temporelle ne contient aucune information fréquentielle ; une description fréquentielle ne contient aucune information temporelle. La transformation suppose qu'on connaisse le signal à l'infini.

Pour décrire adéquatement un phénomène, on peut le découper dans le temps en segments dont on puisse déterminer à peu près le spectre. La relation d'incertitude

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq \frac{1}{4\pi}$$

décrit le fait que plus la durée Δt du segment est longue, et donc plus l'incertitude sur la durée est grande, plus l'incertitude sur la fréquence Δf est faible, et vice-versa^[5].

Cette approche mathématique décrit avec précision des faits connus de l'expérience. Pour définir avec précision une fréquence, il faut observer l'oscillation pendant une longue durée. C'est ainsi que l'horloger, pour régler la fréquence du balancier, doit observer la pendule, qui compte ces oscillations, pendant une longue durée. En procédant ainsi, il obtient la moyenne de la durée des balancements, mais perd toute information sur les éventuelles irrégularités. Inversement, en observant le mouvement pendant une brève période, en soumettant l'horloge à divers mauvais traitements comme le remontage du ressort, des courants d'air ou des vibrations, il reconnaît leur conséquence éventuelle sur le balancement, mais n'acquiert aucune notion précise de sa fréquence. En acoustique musicale, on a depuis longtemps remarqué qu'on ne peut définir la tonie des sons brefs. Identifier un ton implique de discriminer précisément une fréquence fondamentale, ce qui n'est possible qu'avec un minimum de temps d'écoute.

2 Pulsation

Article détaillé : Vitesse angulaire.

Parmi les phénomènes périodiques, le mouvement de rotation a un intérêt particulier. La vitesse angulaire d'un mouvement de rotation s'exprime souvent, en mécanique industrielle, en *tours par minute*. En physique, on utilise généralement pas le tour, mais le radian comme unité d'angle, et la seconde comme unité de temps. Un tour, considéré comme unité d'angle, vaut $2 \times \pi$ radians ; par conséquent, un tour par minute équivaut à $\frac{2\pi}{60}$, soit à peu près $0,105 \text{ rd}\cdot\text{s}^{-1}$.

Quand le phénomène périodique est une rotation, la fréquence est liée à la vitesse angulaire, dite aussi *pulsation* ou *fréquence angulaire*.

$$\omega = 2 \pi f$$

où ω (la lettre grecque *omega*) est la pulsation en radians par seconde, π , la constante Pi et f , la fréquence en hertz.

Les coordonnées d'un point en rotation décrivent en fonction du temps des sinusoides de la forme

$$x = a \sin(\omega t) = a \sin(2 \pi f t)$$

où x est l'ordonnée, ω , la pulsation, f la fréquence et t le temps.

Dans le plan de la rotation, les coordonnées par rapport au centre du point en rotation sont $x = \cos t$ et $y = \sin t$. Dans de nombreux domaines de la physique, il est plus simple d'utiliser les nombres complexes pour cet usage. On considère que x est la partie réelle, et y , la partie imaginaire. D'après la formule d'Euler, $e^{ix} = \cos(x) + i \sin(x)$, où e est la constante de Neper, base du logarithme naturel et i l'unité imaginaire. Avec cette notation, la formule de De Moivre permet de traiter avec élégance les élévations à une puissance, nécessaires dans de nombreux calculs. La position d'un point en rotation en fonction du temps peut ainsi s'écrire

$$p = e^{-i\omega t}$$

où p est un nombre complexe, dont la partie réelle est l'abscisse et la partie imaginaire l'ordonnée du point, ω est la pulsation (dite aussi fréquence angulaire, ou fréquence tout court quand il n'y a pas d'ambiguïté), et t , le temps.

Dans cette expression, ω est un nombre complexe, ce qui rend compte de la phase de la rotation, c'est-à-dire de la possible différence de position entre deux points tournant à la même vitesse.

Cette notation est fréquente en analyse spectrale.

3 Ondes

Quand le phénomène périodique est une onde, la fréquence temporelle et la longueur d'onde sont liées par la vitesse de propagation (célérité) de l'onde.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

où f est la fréquence de l'onde (en hertz), c la célérité de l'onde (en mètres par seconde) et λ , la longueur d'onde (en mètres).

Exemple :

On peut mesurer la période temporelle T d'une ondulation sur l'eau (des vagues) en se plaçant en un point de la surface de l'eau et en mesurant la durée nécessaire à une crête de vague (ou à un creux de vague) pour être remplacée par la crête suivante (ou le creux suivant) en ce point. Cette durée donne la période et en prenant son inverse on obtient la fréquence de l'ondulation.

En mesurant la durée de trajet d'une crête entre deux points de distance connue, on peut mesurer la vitesse de propagation de l'onde.

La fréquence spatiale est la distance entre deux crêtes.

4 Fréquence et énergie

Article détaillé : Photon.

Le rayonnement électromagnétique peut se définir soit en termes d'onde de propagation d'une perturbation électromagnétique) la vitesse de la lumière, caractérisée par une fréquence et dont l'énergie dépend de l'amplitude, soit en termes de particules sans masse appelées photon, se déplaçant à la vitesse de la lumière.

Dans ce contexte, on désigne la fréquence par la lettre grecque ν (*nu*).

L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence :

$$E = h \cdot \nu$$

où h est la constante de Planck.

5 Symboles et unités

Fréquence

En électromagnétisme, physique quantique et relativité, on désigne la fréquence par ν , la lettre nu de l'alphabet grec. On y parle aussi de fréquence pour la quantité $\omega = \frac{2\pi}{T}$, avec la lettre grecque oméga.

Dans la technologie et l'ingénierie, on utilise plus couramment la lettre f , et on appelle la grandeur $2\pi f$ *pulsation* ou *vitesse angulaire*.

Dans le système international d'unités dit SI, l'unité de temps est la seconde dont le symbole est s . La fréquence est alors en hertz dont le symbole est Hz (unité SI), et on a $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

Le hertz ne s'utilise que pour les signaux périodiques. Lorsque le compte d'occurrences par seconde concerne un phénomène aléatoire, on le note explicitement ; par exemple en physique statistique ou en thermodynamique,

on compte les « collisions par seconde ». Ainsi, le nombre de désintégrations d'un radionucléide par seconde, représentant son activité, s'exprime en becquerels, et non en hertz^[6].

En mécanique, en médecine, en musique, et en général dans des domaines où la mesure de la fréquence ne sert qu'à des comparaisons, on exprime souvent la fréquence « par minute » : tours par minute (voir vitesse angulaire), pouls en battements par minute, comme la graduation du métronome.

6 Applications

Dans le domaine de la physique ondulatoire on parlera d'une fréquence :

- d'oscillation mécanique
- de vibration (ressort, corde vibrante, vibration du réseau cristallin, vibration de molécules, etc.),
- d'oscillation acoustique dans le domaine audible (sonore) ou inaudible (infrasons, ultrasons, hypersons, etc.)
- d'oscillation électromagnétique (lumière visible, infrarouge, ultraviolet, etc.).

Dans le traitement du signal numérique, la fréquence d'échantillonnage détermine la bande passante admissible pour le système.

Dans les technologies numériques synchrones, les circuits communiquent entre eux en suivant un signal d'horloge dont la fréquence détermine les capacités de transfert du système, toutes choses étant égales par ailleurs.

6.1 Mesure de la fréquence

Article détaillé : Fréquence-mètre.

Un **fréquence-mètre** est un instrument de laboratoire destiné à mesurer la fréquence de signaux électriques périodiques simples. L'appareil détecte les occurrences d'une transition caractéristique de ces signaux, et compare leur fréquence à celle d'un oscillateur aussi stable que possible appelé *base de temps* :

- soit en comptant les occurrences dans un intervalle de temps correspondant à un nombre déterminé de périodes de la base de temps,
- soit en comptant le nombre de périodes de la base de temps dans l'intervalle entre un nombre déterminé de transitions,

- soit, indirectement, en mélangeant un signal dérivé des transitions caractéristiques à un autre, de fréquence proche, constitué à partir de la base de temps, et en mesurant ensuite, par l'un ou l'autre des moyens précédents, la fréquence des battements qui s'ensuivent.

6.2 En musique

6.2.1 Tempo

Article connexe : Tempo.

La musique se caractérise par un déroulement assez régulier dans le temps ; les notes reviennent à des instants particuliers. La fréquence de ces instants est déterminée par une grandeur appelée *tempo*, qui est une fréquence exprimée en battements par minute.

6.2.2 Hauteur

Articles connexes : Hauteur (musique) et Gamme naturelle.

En musique, les sons sont caractérisés par la hauteur, une perception dont on a depuis l'Antiquité remarqué qu'elle correspond à la longueur des cordes ou des tuyaux des instruments de musique, dont l'étude est à l'origine de l'acoustique.

La théorie de la musique résume ces recherches en affirmant :

« La hauteur est le résultat du plus ou moins grand nombre de vibrations produites dans un temps donné : plus il y a de vibrations, plus le son est aigu^[7] »

Les recherches psychoacoustiques ont montré le caractère schématique de cette définition^[8], mais la correspondance entre la fréquence d'un son pur et la perception d'une hauteur est indiscutée.

Le solfège note les hauteurs sur la portée ; on peut aussi indiquer une note de musique par son nom, avec éventuellement une altération, en précisant l'octave.

Par convention, la note de musique La₃, le « la » de la troisième octave correspond à la fréquence de 440 Hz.

Selon le modèle présenté par la théorie de la musique, les intervalles musicaux correspondent à des rapports harmoniques, c'est-à-dire que le quotient des fréquences est proche de rapports de nombres entiers : l'octave correspond à un rapport 2, la quinte juste à un rapport de 3/2, la tierce majeure à un rapport de 5/4, etc.

Il est ainsi possible de déterminer les fréquences fondamentales des notes musicales de proche en proche. Une

fréquence doublée donne une octave, tandis qu'ajouter à une fréquence celle de son octave inférieure donne une quinte. Ensuite, l'addition d'une fréquence de 2 octaves inférieures donne une tierce majeure :

Ces intervalles sont purs et non-tempérés. En tempérament égal, les fréquences des demi-tons sont espacés régulièrement en progression géométrique dans une octave. La petite différence entre ces calculs peut s'exprimer en cents.

Les humains perçoivent les sons de quelques hertz à 20 000 Hz, mais la plage dans laquelle une personne entraînée peut distinguer les tons s'étend d'environ 20 Hz à environ 4 500 Hz. Hors de ces limites, qui correspondent au registre du piano, la sensation de hauteur est de moins en moins précise^[9].

7 Voir aussi

7.1 Articles connexes

- Fonction périodique
- Phénomène périodique
- Signal périodique
- Période
- Pulsation
- Série de Fourier
- Transformée de Fourier
- Analyse harmonique (mathématiques)
- Analyse spectrale
- Densité spectrale de puissance
- Cepstre
- Ordre de grandeur (fréquence)

7.2 Notes et références

- [1] Richard Taillet, Loïc Villain et Pascal Febvre, Dictionnaire de physique, Bruxelles, De Boeck, 2013, p. 297.
- [2] C'est la définition retenue par la Commission électrotechnique internationale (Electropedia 103-06-02, dépendant de 103-06-01 pour la période.
- [3] BIPM, Définition de la seconde.
- [4] G.M. Clemence, « Unités de mesure du temps et de la fréquence », *Ciel et terre*, vol. 73, 1957, p. 257-278 (lire en ligne), indique les phénomènes périodiques ayant servi pour la définition de la seconde, avant cette réflexion sur les fréquences (p. 258) ; cet auteur évoque aussi la mesure du temps par la décroissance exponentielle d'un

phénomène, comme la désintégration d'un radionucléide. Cette mesure par rapport à un phénomène non périodique, bien qu'elle soit basée sur une conception fondamentale du temps, fournit cependant difficilement des unités précises, en raison de son caractère statistique.

- [5] (en) Dennis Gabor, « Theory of communication : Part 1 : The analysis of information », *Journal of the Institute of Electrical Engineering*, London, vol. 93-3, n° 26, 1946, p. 429-457 ([lire en ligne](#)). Lire aussi Patrick Flan-drin, « Représentations temps-fréquence des signaux non stationnaires », *Traitement du Signal*, vol. 6, n° 2, 1989, p. 89-101 ([lire en ligne](#)).
- [6] Bureau international des poids et mesures (BIPM) Unités ayant des noms spéciaux...
- [7] Adolphe Danhauser (auteur) et H. Rabaud (révision), *Théorie de la musique*, Lemoine, 1929, note (a), p. 119 *apud* Pierre Schaeffer, *Traité des objets musicaux : Essai interdisciplines*, Paris, Seuil, 1977, 2^e éd. (1^{re} éd. 1966), 713 p., p. 164.
- [8] Schaeffer 1977 ; Laurent Demany, « Perception de la hauteur tonale », dans Botte & alii, *Psychoacoustique et perception auditive*, Paris, Tec & Doc, 1999.
- [9] Demany 1999, p. 50.



- [Portail de la physique](#)



- [Portail de la musique](#)

8 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

8.1 Texte

- **Fréquence** *Source* : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fréquence?oldid=108237714> *Contributeurs* : Tarquin, Curry, Suisui, Youandme, Vargenau, Nataraja, Looxix, Yves, Fab97, Phido, Orthogaffe, Kelson, F5ZV, Cdang, Dilbert, HasharBot, R, Raph, Pulsar, Lucronde, Catmas, Alkarex, Archibald, Phe, Marc Mongenet, MedBot, Iznogood, VIGNERON, Jeanjean, Phe-bot, Fylyp22, Jef-Infojef, Darkoneko, Leag, Xerwer, Sherbrooke, BrightRaven, Laurent Jerry, DocteurCosmos, Korg, Chobot, RobotE, Stendhalconques, David Berardan, Mandrak, Gzen92, MagnetiK, RobotQuistnix, Gpvosbot, FlaBot, YurikBot, Eskimbot, Nicolas.herve, SoCreate, 16@r, Airyn, Mutatis mutandis, Babskwal, Chlewbot, Hautbois, SashatoBot, Pld, Malta, Liquid-aim-bot, Guérin Nicolas, PieRRoBoT, Macassar, Sguerin, Escarbot, Kyle the bot, Kropotkine 113, RémiH, JAnDbot, BOT-Superzerocool, Zedh, Fidibus, Alchemica, M-le-mot-dit, LeGéantVert, Pierre Chanial, Salebot, Gerakibot, AlnoktaBOT, Idioma-bot, Ninety, TXiKiBoT, Metalheart, Tooony, VolkovBot, AmaraBot, Lylvic, Chicobot, Godix, Ptbotgourou, AlleborgoBot, BotMultichill, SieBot, Laddo, MystBot, JLM, Berpi, Ibou02, PipepBot, DumZiBoT, Madevilts, Botrells, DragonBot, Ghandy, BOTarate, PN-EU, BodhisattvaBot, HerculeBot, ElMeBot, ZetudBot, Linedwell, 230 k, LaaknorBot, Luckas-bot, GrouchoBot, Nakor, Xqbot, Jagd, RibotBOT, Rubinbot, Smic 13, LairepoNite, Coyote du 86, Lomita, Xiglofre, TobeBot, Tinou62, EmausBot, Kiliith, ZéroBot, Gyrostat, Hugotin, WikitanvirBot, Olimparis, Monoyoann, MerIwBot, Indeed, Le pro du 94 :), Pano38, Elopash, PolBr, Kuzap, Nochnix, Enrevseluj, Bobidu34, Housterdam, DiliBot, Ytrezq, Aaddbot et Anonyme : 82

8.2 Images

- **Fichier:Disambig_colour.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Disambig_colour.svg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Bub's
- **Fichier:Logo_physics.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Logo_physics.svg *Licence* : CC-BY-2.5 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Musical_notes.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Musical_notes.svg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Sine_waves_different_frequencies.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Sine_waves_different_frequencies.svg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?

8.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0