Quelles sont les caractéristiques physique du son ?

Domaine délaissé par beaucoup de musiciens, **la physique du son est pourtant une discipline qui permet de mieux comprendre la musique**, et d'ouvrir ses recherches à de nombreuses possibilités. Plus avant, l'omniprésence de l'amplification implique qu'aujourd'hui, à de rares exceptions près, **même les musiciens 'acoustiques' sont impactés par le travail de sonorisation**. Le but de cette page est de présenter les concepts fondamentaux liés à cette physique.

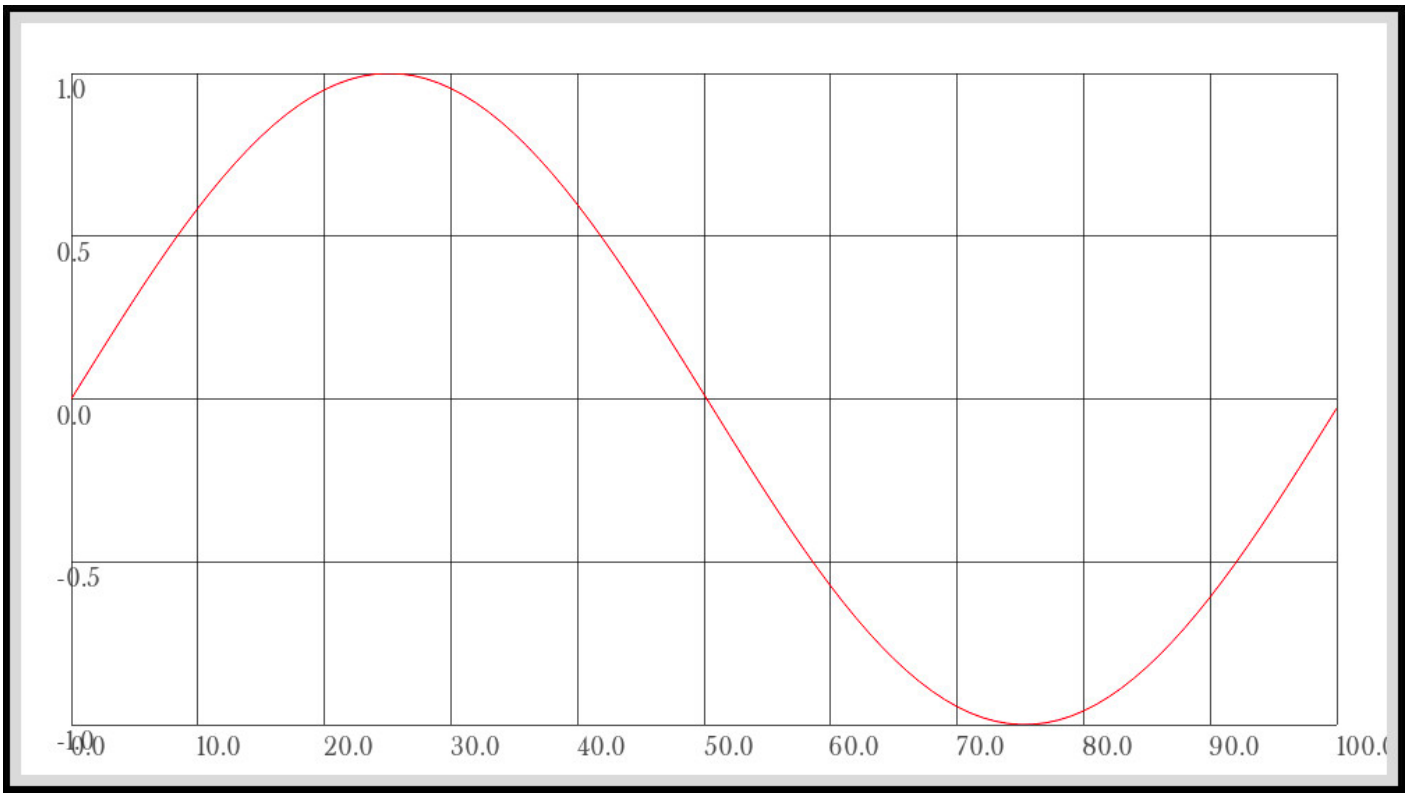
Fait plutôt connu, **le son est par nature une onde**. Contrairement au photon, qui est une onde en quelque sorte par lui-même et peut donc se déplacer dans le vide, **le son est une onde qui s'inscrit en fait en creux au sein d'un milieu donné**, en général dans l'air qui nous entoure. Cela explique que, contrairement aux batailles tonitruantes de vaisseaux spatiaux que l'on peut voir dans les films, le son ne se propage pas dans l'espace (l'espace dont on parle étant ici ce qui se trouve hors de l'atmosphère, et qui est en fait le vide).

La propagation de cette onde nécessite une origine, et, traditionnellement, **c'est l'action du musicien de faire vibrer une corde ou une membrane** qui la déclenche. Aujourd'hui, **ce peut également être un signal électrique qui fait vibrer des enceintes**. Lors de cette vibration, la membrane va commencer par pousser l'air qui se trouve directement à côté d'elle, puis revenir en arrière. L'air déplacé de cette manière va lui-même pousser la masse d'air qui le suit, puis revenir en arrière du fait de la dépression d'air créée derrière lui par le retour de la membrane. Cette action va alors se répéter en s'amenuisant et, si l'oreille d'un auditeur se trouve sur le chemin de ce mouvement d'air, cela fera vibrer son tympan, provoquant chez lui l'impression subjective d'un son. **Le son est donc un mouvement de surpressions et de dépressions qui se transmet dans un milieu ambiant**, à une vitesse donnée, dite vitesse du son. Au niveau de la mer, celle-ci est égale à 340,29 m / s.



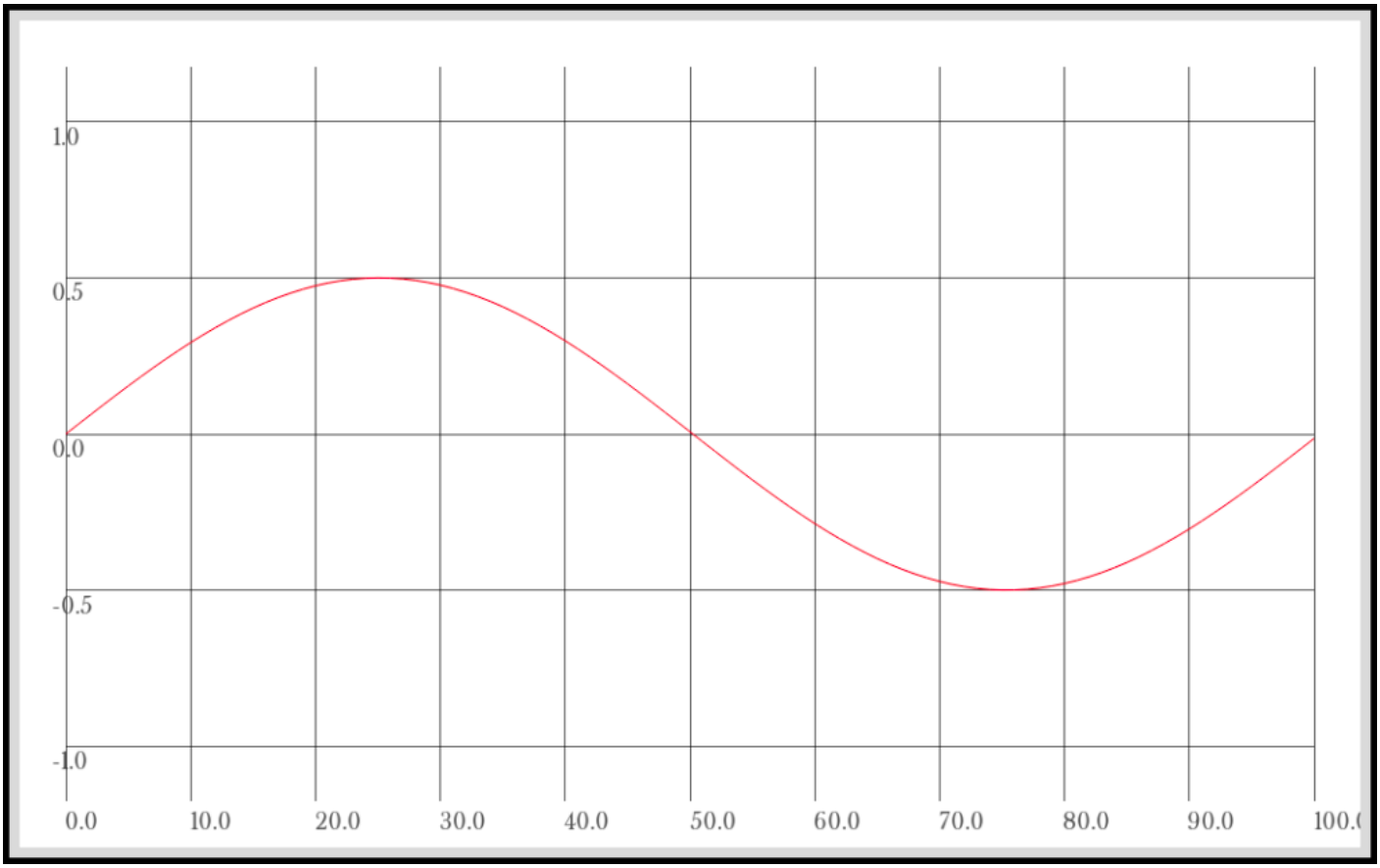
Fig a : musicien faisant vibrer l'air ambiant.

Comment peut-on décrire cette onde ? La représentation commune de l'onde sonore est la suivante :



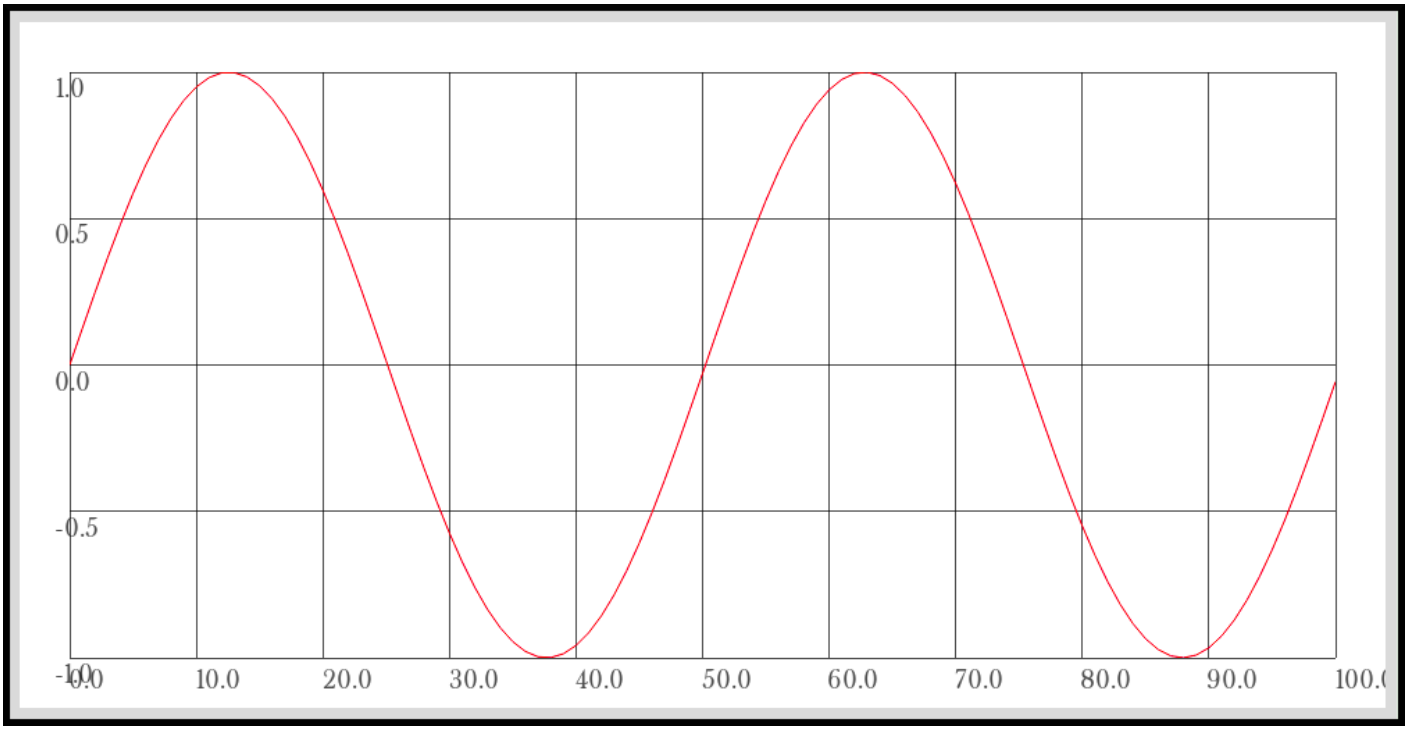
Il s'agit d'un tableau en deux dimensions, et donc définit par deux axes : **en Y**, verticalement, il s'agit de **l'amplitude de l'onde**, c'est-à-dire le déplacement de l'air par rapport à l'endroit où il se trouvait à l'origine. Horizontalement, **en X**, il s'agit **du temps qui passe**, dont nous mentionnerons les échelles un peu plus tard. Le tableau montre donc **la variation de la position de l'air dans le temps par rapport à sa position initiale**.

Deux paramètres peuvent varier si nous gardons cette forme d'onde :



Ici, l'onde met autant de temps que précédemment à revenir à sa position initiale, mais **l'amplitude est deux fois moins grande**. De la manière dont nous percevons un son, **cette amplitude correspond au volume sonore : le son que nous avons ici serait donc perçu deux fois moins fort que le son précédent**.

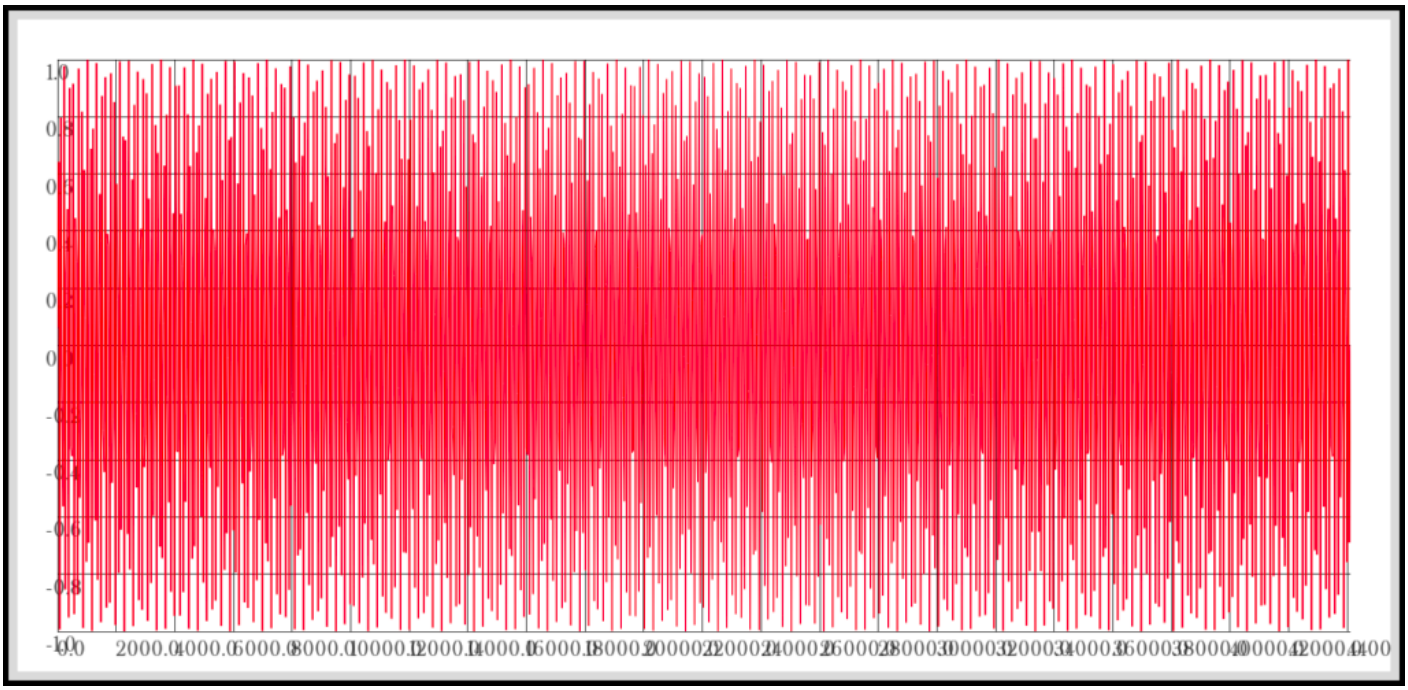
Le second paramètre qui peut varier est la fréquence à laquelle cette onde oscille :



Ici, **dans le même temps qu'au premier exemple, l'onde a effectué deux oscillations**. Il s'agit du paramètre nommé **fréquence** et **qui correspond à notre perception du grave et de l'aigu**. Le son ci-dessus, ayant une fréquence deux fois plus rapide que le premier exemple, **il nous paraîtrait deux fois plus aigu**.

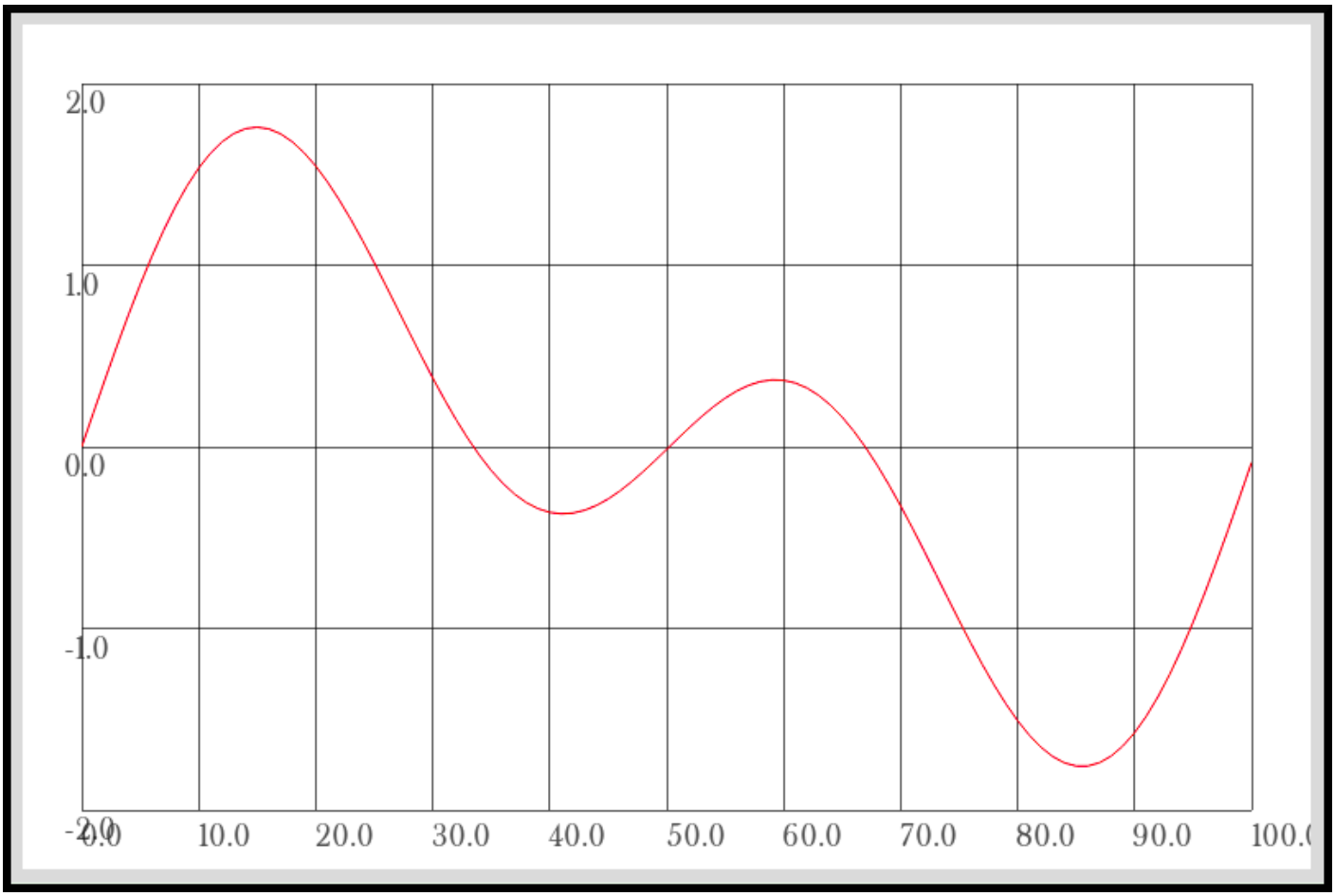
En terme de sémantique, nous avons vu que **la variation verticale de l'onde s'appelle l'amplitude**. Elle peut être négative ou positive. **Horizontalement, nous parlons de la fréquence** de l'onde, qui est **mesurée en Hertz**, c'est-à-dire en nombre d'oscillations par seconde. Une seule oscillation, c'est à dire le mouvement que fait l'onde pour monter, puis descendre et revenir à son point de départ se nomme une **phase**. **La fréquence est donc égale au nombre de phases de l'onde par seconde.**

Le premier exemple que j'ai pris oscille à une fréquence de 440 Hz, c'est-à-dire qu'il dure environ 0.002 seconde ! Le même tableau sur une seconde entière ne permet plus de discerner les ondes, puisqu'il y en a 440 :



Vous noterez par ailleurs que l'échelle en bas n'est en fait pas indiquée en secondes. Le tableau est une représentation numérique d'un signal sonore, qui ne peut être continue, comme dans le monde réel. Le son est donc constitué d'un certain nombre de points par seconde, ici 44 100. On appelle ce nombre **la fréquence d'échantillonnage**, donnée en mesures par seconde, c'est donc également en **Hertz** que cette mesure est exprimée.

Que se passe-t-il lorsque deux musiciens jouent ensemble ? L'air qui vibre à endroit donné est à la fois déplacé par la vibration qu'émet l'un, et par la vibration qu'émet l'autre. En d'autres termes, **lorsqu'il y en a plusieurs, les ondes s'additionnent**.

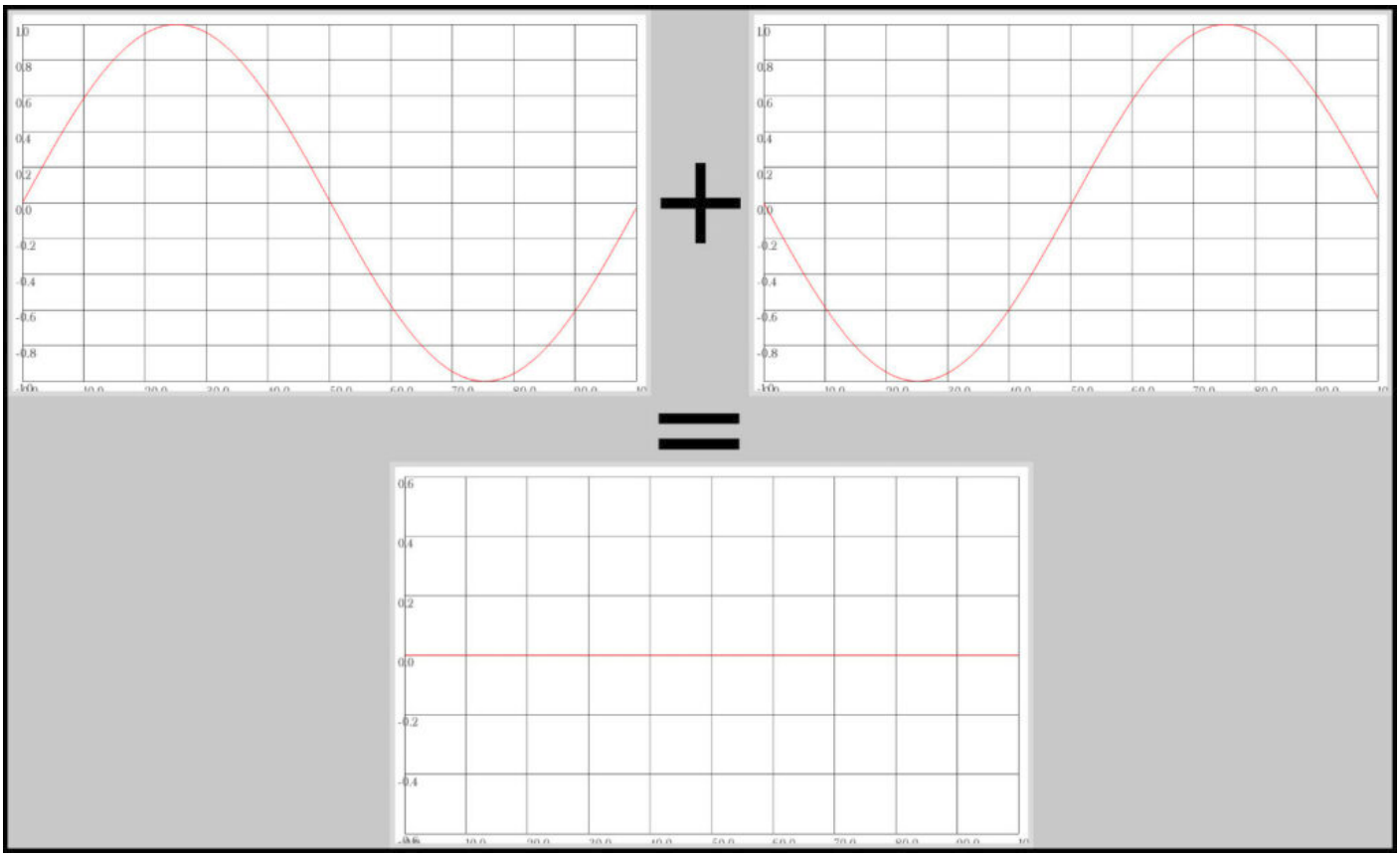


Ci-dessus l'onde résultante de **l'addition d'une onde à 440 Hz et d'une onde à 880 Hz**. Les amplitudes s'étant additionnées, on dépasse maintenant l'amplitude de 1 que nous avions avant. En d'autres termes, ajouter des sons augmente le volume sonore. **Les deux fréquences**, par contre, **restent audibles**, car l'addition à fait émerger une crête qui correspond à chaque onde que nous avions au départ. **Créer de nouveaux sons en en additionnant s'appelle la synthèse sonore additive**.



Fig b : principe de synthèse sonore additive.

Une conséquence directe de ce principe, assez déroutante, est la suivante :



Émettre une onde en même temps qu'une onde de même fréquence dont la phase est décalée de 180°, c'est-à-dire commençant vers le bas (vers une amplitude négative) **ne produit aucun son** ! Ce qui est logique puisque les ondes étant les même excepté le signe de leur amplitude, **la somme de leurs valeurs est toujours égale à zéro** !

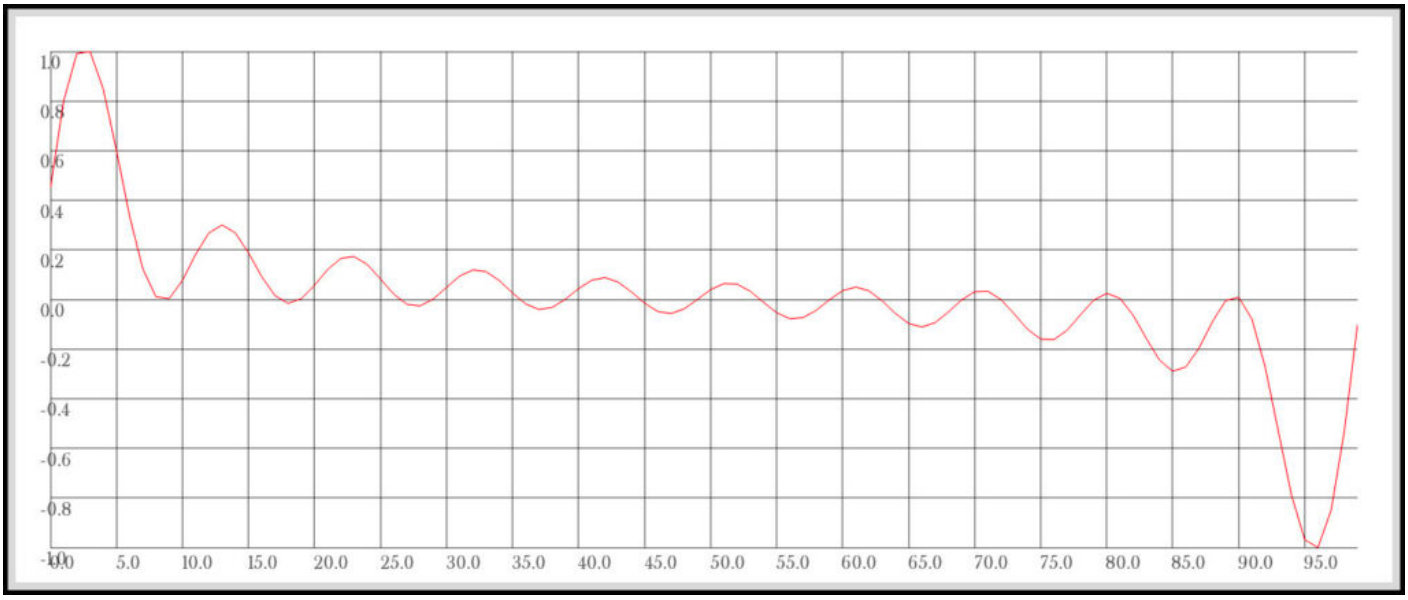
On appelle ce principe **l'opposition de phase**, qui est utilisé dans certains milieux professionnels pour réduire le bruit des machines, par certains casques audio pour réduire le bruit ambiant, ou encore en *design sonore* pour éliminer des bruits parasites.

Revenons à notre onde à 440 Hz. Cet exemple n'a pas été choisi au hasard. **440 Hz est la fréquence de référence du diapason**, utilisée pour s'accorder, **et correspond au La** du milieu du piano. En fait, ce diapason a évolué au fil du temps. À l'époque baroque, il était fixé à 435 Hz, et, aujourd'hui, la plupart des musiciens professionnels s'accordent à 442 Hz. Il est important de noter que **si la fréquence du diapason change, il reste cependant *toujours* un La**. Le nom des notes ne renvoie donc pas forcément à la même fréquence en fonction des époques. Nous laisserons la question des notes de côtés pour le reste de cet article, mais notons que *le La étant à*

440 Hz, la fréquence 880 Hz correspond au La à l'octave supérieure (et donc 220 Hz correspond au La à l'octave inférieure).

À quoi ressemble le La du premier exemple lorsque nous l'écoutons ? Pour ceux qui ont connu le téléphone fixe, il s'agit de la tonalité que nous avions avant d'avoir composé un numéro. *C'est un son dit « pur » car c'est le plus simple que l'on puisse trouver*, et il correspond à la description d'une fonction mathématique simple qui s'appelle Sine. **Cette onde s'appelle une onde sinusoïdale**. Par ailleurs, *tout son plus complexe peut lui-même être décrit comme une somme d'ondes sinusoïdales* de fréquences différentes, selon le principe des *transformées de Fourrier*.

En réalité, les sons du monde qui nous entoure sont très riches et ne contiennent pas qu'une seule onde : en fonction de la matière qui les composent, **ils contiennent également des ondes qui sont les multiples entiers de l'onde la plus basse** qu'il émettent en vibrant. **On appelle ces ondes des *harmoniques*** :



Ici, un exemple (théorique) d'une onde et de 9 de ses harmoniques. La première oscille à 440 Hz, la deuxième à 440 *2 = 880 Hz, la troisième à 440 * 3 = 1320 Hz, etc…

En fait, **certaines harmoniques ressortent plus ou moins**, en fonction du matériau de l'objet ou de la présence d'une caisse de résonance. **C'est ce qui explique la différence de son** entre une trompette et un saxophone, même lorsqu'ils jouent la même note. J'ai pris cet exemple car le mode d'émission du son joue aussi un rôle dans les fréquences émises. On entend également le souffle du saxophoniste lorsqu'il joue, ou le bruit des maillets sur un xylophone en plus de la résonance des lamelles. **Cette différence entre les types d'ondes émises est appelé le timbre, c'est la texture qui distingue un son d'un autre**.

Nous finirons cet article en énonçant que **du fait de la nature même d’un son, celui-ci a nécessairement quatre paramètres sans quoi il ne pourrait advenir** :

- Le premier est l’**amplitude**, c’est-à-dire son volume sonore.
- Le second est sa **durée**, jusqu’à ce que celui-ci cesse d’être émis.
- Le troisième est sa **fréquence**. Elle est au maximum égale à la durée du son.
- Le quatrième est le **timbre**, c’est-à-dire la forme de l’onde.

Révision #1
Créé 2023-08-03 14:06:54 CEST par Rachelle
Mis à jour 2023-08-03 14:22:55 CEST par Rachelle