

Son pur ou complexe ?

Défi scientifique

Physique / son
Cycle 4 – collège / lycée

Durée du défi	30 minutes
Matériel	Téléphone ou tablette avec l'application Fizziq
Phénomènes ou notions approchés	Son pur et son complexe
Lexique	Son, fréquence, harmonique, musique, timbre d'un son, Education musicale

Défi lancé aux élèves

« Pourquoi un chanteur non entraîné dit-il que ses « i » sont moins riches que ses « o » quand il chante des voyelles avec la même intensité sonore ?

Essaie de trouver une explication, puis entraîne toi à enrichir le plus possible la voyelle « i » quand tu la chantes.»

Une fois le défi lancé, vous pouvez laisser une dizaine de minutes aux élèves pour qu'ils explorent l'application (individuellement ou en groupe selon le nombre de téléphones ou tablettes à disposition) et choisissent le capteur qui leur semble pertinent d'utiliser. Selon que le défi « son grave ou aigu » a été fait ou pas auparavant, vous pourrez guider les élèves vers la mesure du spectre sonore, en enregistrant le spectre de votre voix par exemple.

Vous pourrez aussi reformuler le défi sous forme plus « guidée » en ajoutant la question suivante : « Quelle est la différence entre les spectres sonores de deux voyelles différentes ? »

Prérequis éventuels

La durée de ce défi dépendra de la maîtrise de l'application par les élèves.

Il semble utile d'avoir préalablement réalisé l'un des autres défis proposés : « niveau sonore » ou « son grave ou aigu » afin d'avoir une meilleure compréhension globale de l'application FizziQ et du phénomène étudié ici (et ne pas ajouter la difficulté conceptuelle à celle technique d'une première prise en main).

Aides

Ces aides sont à destination des enseignants ou des élèves.

Vous pouvez envisager différentes manières de vous en servir :

- Les « lire » aux élèves (en les reformulant éventuellement) au fur et à mesure de leur expérimentation.
- Les imprimer, les découper et les distribuer selon le besoin (par groupe par exemple).

Liens vers quelques sites utiles et notice

- <https://www.fondation-lamap.org/fr/fizziq> : Vous retrouverez ici les différents documents pédagogiques proposés en lien avec l'utilisation de l'application FizziQ, notamment des défis pour les élèves que vous pouvez adapter en fonction de vos objectifs et de vos classes
- <https://www.fizziq.org/>: Vous y retrouverez notamment des protocoles donc vous pouvez vous inspirer pour créer vos propres protocoles
- <https://www.youtube.com/channel/UCa3FIR94qwb3iaohwjGzchw/featured> : Vous y trouverez des vidéos de moins de 2 min chacune permettant une prise en main rapide de l'application.

Vous trouverez ci-dessous les informations concernant les mesures réalisables dans le cadre de ce défi avec le capteur "microphone" des tablettes ou téléphones. Le niveau d'explication que vous trouverez ici est plutôt adapté à des adultes souhaitant comprendre la manière dont les capteurs fonctionnent. Pour les élèves, le choix peut être de les laisser explorer les différents outils et appareils de mesure si vous en avez le temps. Leur rapidité de prise en main dépendra de la connaissance qu'ils ont de l'application (si FizziQ a déjà été utilisée au cours d'un autre moment de classe).

Outil : Spectre de fréquences (Microphone-spectre)

Contrairement au fréquencemètre qui ne donne que la fréquence dominante d'un son (ou celle de son fondamental selon les versions), le spectre sonore détaille l'ensemble des fréquences qui le composent. Cet outil permet ainsi de décrire précisément les caractéristiques d'un son.

Plus le nombre de fréquences qui composent la note est important, plus le son est dit « riche ». Cela contribue au « timbre » d'un instrument.

Remarque

Les fréquences sont exprimées en hertz, noté Hz. L'amplitude est exprimée en pourcentage de l'amplitude maximum qu'est capable de détecter le microphone.

Précision

Les données sont actualisées toutes les 0,5 secondes.

Les fréquences affichées sont limitées entre 50Hz et 5500Hz du fait de la fréquence d'échantillonnage des mesures avec un affichage (type histogramme de largeur 20 Hz).

Réalisation du défi

Avant de répondre au défi....

Il est possible de demander aux élèves de chercher où se trouve le microphone qui va permettre de réaliser les mesures et de trouver un moyen simple de vérifier qu'il se situe bien à l'endroit envisagé (voir défi « niveau sonore »). Il est certainement préférable d'avoir mené les défis « niveau sonore » et « grave ou aigu » avant ce défi.

Cette expérience peut éventuellement être testée sur une voyelle (au choix ou des voyelles différentes pour différents groupes d'élèves...) à la maison avant d'arriver en classe. Cela vous permettra alors de voir si l'utilisation de l'application a bien été comprise.

Points de vigilance:

- Vérifier que le volume des sons du téléphone est bien activé (c'est le volume des « médias » qui doit être au maximum ou assez audible).
- Contrairement à l'utilisation du fréquencemètre qui mesure et affiche en continu la valeur de la fréquence du fondamental (ou de l'harmonique de plus forte intensité selon la version de l'application), le spectre audio prend une seule mesure du son à l'instant où l'utilisateur appuie sur « REC », il faut donc chanter la voyelle et enregistrer le spectre pendant ce « chant ». L'avantage de l'application est que les élèves peuvent renouveler les expériences, les notes, les voyelles, enregistrer différents élèves... très rapidement. Rappelez leur qu'ils peuvent mettre des titres à leur enregistrements afin de se souvenir « quelle voyelle était chantée » et « par quel élèves » par exemple....

Il peut être envisagé de travailler avec des microphones branchés aux smartphones ou tablettes : microphones d'écouteur par exemple, peuvent améliorer la précision des mesures et éviter les problèmes liés aux mesures multiples dans la salle.

Utilisation du spectre audio

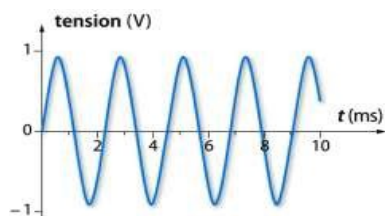
Avantage

Très simple à mettre en œuvre.

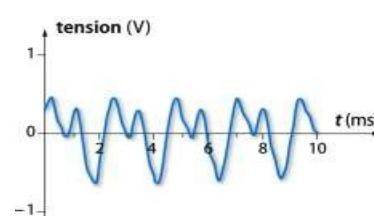
Rappel(s) éventuel(s)

Un son peut être pur ou complexe.

Un microphone permet de transformer fidèlement une onde sonore en un signal électrique et d'en donner une représentation temporelle grâce à un système informatisé.



signal obtenu avec le La3 d'un diapason

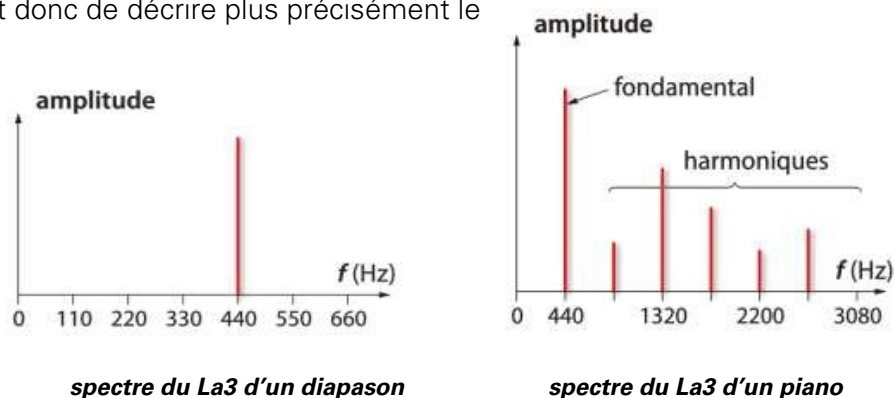


signal obtenu avec le La3 d'un piano

Le son produit par le diapason est pur car le signal électrique correspondant est rigoureusement sinusoïdal ; le son produit par le piano est complexe (comme la plupart des sons).

Pour comprendre la constitution d'un son complexe, on peut réaliser son analyse spectrale (représentation de l'amplitude en fonction de la fréquence)

Le spectre sonore obtenu avec l'application FizziQ détaille l'ensemble des fréquences qui composent un son. Cet outil permet donc de décrire plus précisément le son perçu.



On constate que le spectre d'un son pur ne contient qu'un seul pic, alors que celui d'un son complexe en contient plusieurs (le fondamental et les harmoniques). En 1822, Joseph Fourier montre que tout signal périodique de fréquence f_1 (c'est la fréquence du fondamental) peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence f_n (ce sont les fréquences des « harmoniques ») multiples de f_1 : $f_n = n \times f_1$

Physiologiquement, un son est donc caractérisé par

- son niveau sonore, lié à l'amplitude de l'onde ;
- sa hauteur (grave-aigu) liée à la fréquence de l'onde (celle du fondamental pour un son complexe) ;
- et son timbre, lié à la complexité de l'onde (richesse des harmoniques).

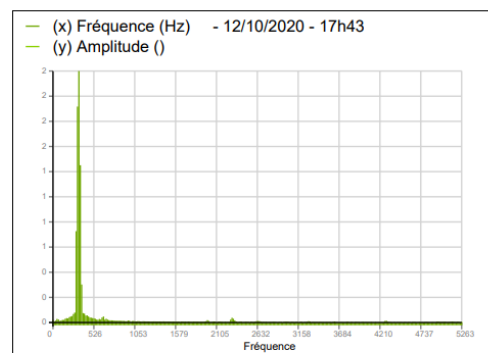
Guidage pour les élèves selon besoin :

Ce « guidage » n'est pas fait pour être distribué aux élèves mais plutôt pour vous proposer des pistes quand les élèves sont bloqués (ce qui est peu probable car ils sont très à l'aise avec l'application) ou pour les aider à observer précisément les spectres obtenus pour en tirer des conclusions.

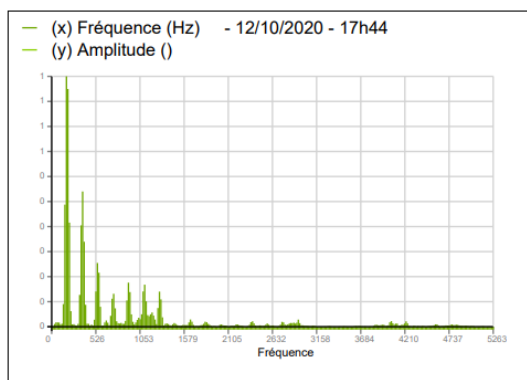
- Dans le menu « Mesures » sélectionne le Spectre sonore
- Chante la voyelle -i- pendant plusieurs secondes. Pose bien ta voix pour que le son soit « stable ». Pendant que tu chantes, enregistre le spectre.
- Analyse le graphique. Que constates-tu ? Combien de pics apparaissent sur le graphique ? Peux-tu trouver une relation mathématique entre les fréquences des pics ?
- Le pic de plus basse fréquence s'appelle la fréquence fondamentale. Les autres pics sont les harmoniques. Quelle est la fréquence fondamentale et combien d'harmoniques trouves-tu ?
- Maintenant, chante la voyelle -o- et enregistre le spectre sonore. Que constates-tu ? De combien d'harmoniques la voyelle -o- est-elle constituée ? Quelle est la différence avec le -i- ?
- Demande à un camarade de faire l'expérience et de chanter des voyelles, trouves-tu le même résultat ?
- Répète l'expérience avec les voyelles a-u- et -e-.

Exemples de mesures

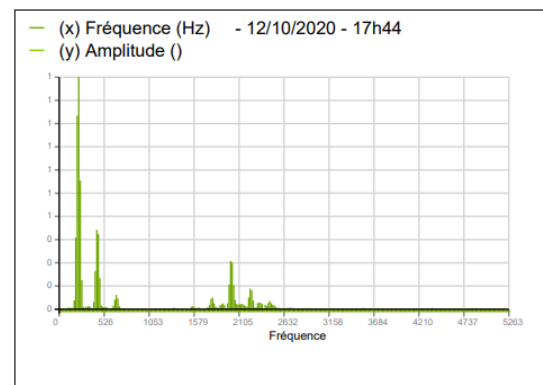
son voyelles



Exemple : Le i chanté est souvent un son presque pur (ou très peu complexe : très peu d'harmoniques d'amplitude importante), cela peut néanmoins dépendre des personnes car des personnes différentes ont des « timbres » de voix différents. Les chanteurs essaient d'ailleurs d'enrichir le spectre de leurs voyelles chantées afin d'avoir un timbre plus riche et « agréable » pour les auditeurs...



son a



son u

Quand on change de voyelle (a, u, o,...) le nb d'harmoniques change : plus le nombre d'harmoniques est important, plus le son est « riche ».

Remarque : les élèves ayant des voix plus ou moins graves ils remarqueront sûrement que la richesse de la voyelle chantée est aussi en lien avec la « hauteur » du son . Vous pouvez alors les inciter à répéter l'expérience en changeant la téciture(se forcer à chanter les même voyelles plus grave ou plus aigue.

Rappelez aux élèves de nommer chacun de leur spectre car ils ont tendance à multiplier les mesures mais ne se souviennent pas toujours ce qu'ils ont fait !

A retenir

Le son se propage dans les milieux matériels : des gaz, des liquides ou des solides.

Le son est une vibration mécanique de la matière. La source de ces vibrations (cordes vocales, membrane de haut parleur, corde de guitare, etc.) est un objet vibrant.

La sensation auditive d'aigu ou de grave dépend de la fréquence du son qui se mesure en hertz (Hz). Celle-ci correspond à la rapidité des va-et-vient de la surface vibrante de la source.

Un objet produisant un son est appelé une **source sonore**.

Prolongements possibles :

- « Les orthophonistes expliquent que ce sont les cavités de ta bouche qui permettent de créer plus ou moins d'harmoniques. Es-tu capable d'expliquer pourquoi certaines voyelles produisent plus d'harmoniques que d'autres ? ». Ce type de questionnement peut être lié à l'étude des vibrations des sons et donc de la superposition des vibrations. En effet, les cavités buccales peuvent être comparées aux instruments de musique à vent. Une étude documentaire peut être réalisée sur les différents instruments à vent, les élèves devant par la suite expliquer dans le détail l'origine de la création d'harmoniques. Ces études sur la superposition des ondes mécaniques peuvent être abordées succinctement au collège mais semblerait davantage propice à une étude en lycée.
- « Est-ce que ce qui est vrai pour les voyelles l'est aussi pour les consonnes ? Essaie de chanter le son -grrrrr- d'un chien qui grogne. Que constates-tu ? » : Cela peut permettre aux élèves de travailler sur d'autres types de sons. Apparition de nombreuses harmoniques sur des sons aussi complexes. Ceci permet aux élèves à l'aise sur les notions étudiées de réaliser d'autres mesures et d'accentuer la maîtrise des notions étudiées.
- Prolongement possible avec l'enseignant d'Education musicale : « L'analyse de la voix et de la manière dont les sons sont prononcés est très utile pour les chanteurs. Peux-tu imaginer des applications de l'analyse du spectre sonore pour les aider à mieux chanter ? ». Le lien avec l'éducation musicale peut permettre de mettre en place un réel projet avec utilisation de nombreux outils et mobilisations de nombreuses compétences. En travaillant sur des sons les élèves peuvent être amenés à les enregistrer et les traiter sur ordinateur + analyse des sons émis + optimisation des sons pour créer l'outil. Des compétences en éducation musicale, technologie, mathématiques et physique peuvent ici être mobilisées.
- A partir des mesures et conclusions de ces expériences, créer un outil d'entraînement pour les chanteurs leur permettant de parfaire leur technique de chant en enrichissant par exemple les voyelles chantées (Prolongement possible avec l'enseignant d'Education musicale par exemple)
- Travail documentaire et pratique en lien avec les méthodes de reconnaissance vocale. Il y a dans cette thématique plusieurs pistes de travail envisageables, avec les enseignants de français, de technologie, d'Education musicale,...
- Possibilité de réaliser une manipulation similaire (analyse spectrale) avec différents instruments de musique et ainsi comparer le timbre d'une même note réalisé avec les différents instruments.

Programme officiel

Éducation musicale Cycle 3

Par le travail de la perception, celui de l'écoute de la musique, les élèves développent leurs capacités à percevoir des caractéristiques plus fines et des organisations plus complexes de la musique ; ils apprennent à identifier des relations, des ressemblances et des différences entre plusieurs œuvres. Manipulation d'objets sonores à l'aide d'outils numériques appropriés.

Education musicale Cycle 4

« Culture et création artistiques », « Sciences, technologie et société », « Information, communication, citoyenneté » en lien avec la technologie, la physique-chimie, les mathématiques, le français, les arts plastiques. L'impact des technologies et du numérique sur notre rapport à l'art ; aux sons, à la musique, à l'information.

Sciences physiques Cycle 4

Signaux sonores : Notion de fréquence : sons audibles, infrasons et ultrasons.

Croisements entre enseignements : En lien avec l'éducation musicale, Information et communication : signaux sonores (émetteurs et récepteurs sonores : micro...) signaux lumineux, signaux électriques.

Auteur

Aline CHAILLOU

Remerciements

Christophe CHAZOT, Antoine HUPELIER

En partenariat avec Trapeze.digital



Date de publication

Novembre 2020

Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75 006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

