PARTIE 2
PRODUIRE DES SONS, ECOUTER

A. PRODUCTION D'UN SON PAR UN INSTRUMENT DE MUSIQUE

I. PRESENTATION DE QUELQUES INSTRUMENTS DE MUSIQUE

1.1. Après avoir visionné un extrait de la vidéo *C'est pas sorcier*, classer dans un tableau les instruments de musique en 3 familles et citer quelques instruments par famille.

II. COMMENT PRODUIRE UN SON A PARTIR D'UN INSTRUMENT DE MUSIQUE ?

Pour répondre à cette question, réalisons l'expérience suivante :

exp1

Objectifs :
- *Découvrir comment chaque famille d'instrument émet un son*
- *Appréhender le système vibrant de chaque instrument*
- *Formuler une hypothèse sur un paramètre pouvant jouer un rôle dans un phénomène*

Se répartir les 2 instruments à disposition : flûte à bec et diapason et faire tourner. Pour la partie sur le violon, visionner l'extrait vidéo *C'est pas sorcier* pour répondre aux questions.

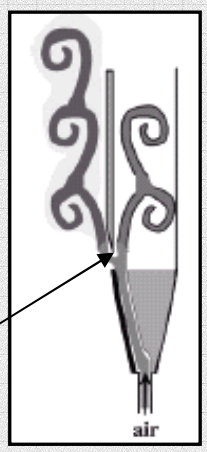
a. Avec la flûte à bec (instrument à vent)

▪ Enlever l'embouchure de la flûte et souffler en face du tube.

✍ Que se passe-t-il ?

✍ Que faut-il nécessairement pour produire un son dans un instrument à vent ?

▪ Vérifier votre réponse avec la flûte et tester avec une lamelle de papier un dispositif simple pour reproduire le rôle du biseau de l'embouchure de la flûte.



b. Avec le diapason (percussion)

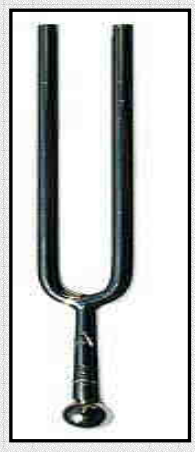
▪ Le tenir à la main et le frapper avec la baguette.

✍ Que se passe-t-il ?

▪ Le placer sur sa caisse de résonance et le frapper de nouveau.

✍ Quelle différence y a-t-il ?

✍ Que faut-il nécessairement pour produire un son audible avec les percussions ?



diapason

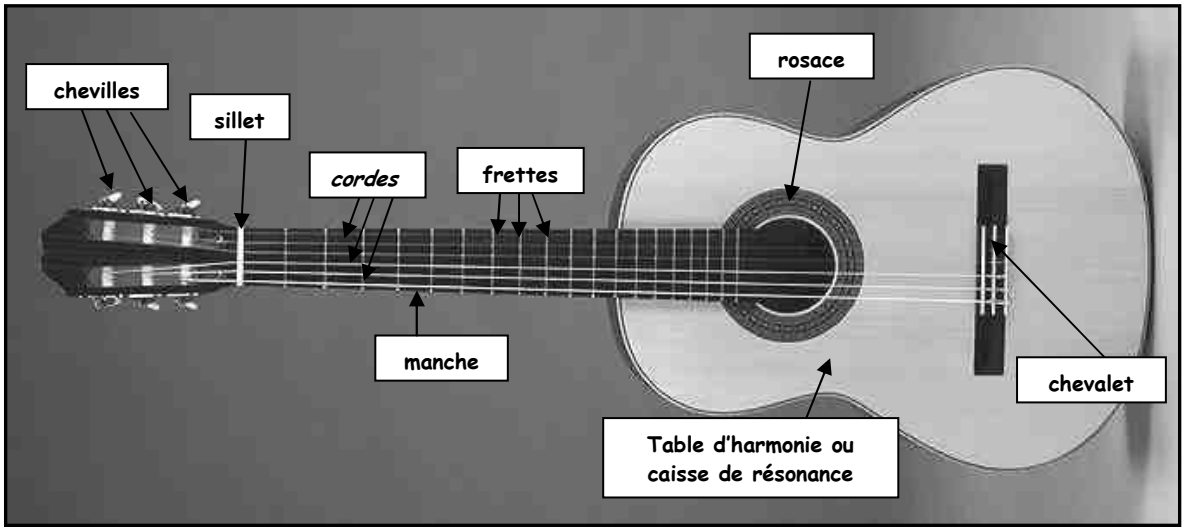
c. Avec le violon (instrument à cordes)

✍ Quelles parties importantes du violon permettent de produire un son audible ?

http://lefevre.pc.free.fr

2.1. Conclure de manière générale sur la création d'un son. Quelles sont les deux fonctions primordiales que doit remplir un instrument de musique pour émettre un son ?

2.2. Retrouver ces deux fonctions sur une guitare.



III. COMMENT MODIFIER LES CARACTERISTIQUES D'UN SON CREE PAR UN INSTRUMENT DE MUSIQUE ?

Pour répondre à cette question, réalisons l'expérience suivante :

exp2

Objectifs :
- *Découvrir comment modifier le son d'un instrument*
- *Appréhender les différents paramètres qui influencent la hauteur d'un son*
- *Formuler une hypothèse sur un paramètre pouvant jouer un rôle dans un phénomène*

On étudie la guitare et la flûte à bec.

a. Avec la guitare (instrument à cordes)

✍ Quel paramètre peut-on modifier sur une guitare pour jouer des sons différents ?

▪ Pour chaque paramètre proposé, vérifier votre réponse avec la guitare disponible.

✍ Pour une même corde, quel paramètre permet de modifier ***la hauteur du son*** ? Préciser le sens de la modification et l'effet observé (ou entendu plutôt).

▪ Le vérifier sur la guitare.

b. Avec la flûte à bec (instrument à vent)

✍ De la même façon, quel paramètre permet de modifier ***la hauteur du son*** émis par une flûte à bec ? Préciser le sens de la modification et l'effet entendu.

▪ Le vérifier sur la flûte.

On appelle ***hauteur*** d'un son la qualité qui nous fait dire qu'un son est aigu ou grave. Plus un son est aigu et plus sa fréquence est grande.

3.1. Conclure de manière générale sur la façon d'obtenir différentes notes sur une corde ou sur une colonne d'air.

IV. QUELQUES MOTS CLES

Après avoir visionné un extrait de la vidéo *C'est pas sorcier*, répondre aux questions suivantes permettant de préciser le vocabulaire utile pour la suite du cours.

4.1. Quelles sont les grandeurs qui peuvent caractériser une onde sonore ?

4.2. Définir la ***fréquence*** d'un son.

4.3. Qu'est-ce qu'on ***octave*** ? une ***gamme*** ?

4.4. Quelle différence y a-t-il entre un « la » et un « do » pour la même gamme (naturelle) ?

4.5. Pourquoi des sons de même ***hauteur***, deux « la » par exemple, émis par des instruments différents ne sont-ils pas perçus de la même manière par notre oreille ?

4.6. Qu'appelle-t-on ***timbre*** d'un son ?

4.7. Comment appelle-t-on l'échelle de sons pouvant être émis par un instrument ?

http://lelevre.pc.free.fr

B. MODES DE VIBRATION

I. VIBRATION D'UNE CORDE TENDUE ENTRE DEUX POINTS FIXES

1. Oscillations libres d'une corde

exp3 *Objectifs :* - *Visualiser les vibrations d'une corde tendue*
- *Mesurer une période à l'oscilloscope*

au bureau

On étudie les oscillations ***libres*** d'une corde métallique de longueur l = 0,80 m tendue par une tension T = 5,0 N.

a. Observation à l'œil nu

▪ Pincer la corde en son centre puis la lâcher pour la mettre en vibration.

✍ S'agit-il d'une vibration longitudinale ou transversale ? Justifier.

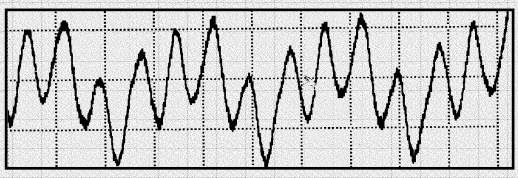
✍ Quelle est la forme de la corde ?

b. Observation à l'oscilloscope

▪ Ajouter un aimant au centre de la corde et relier les extrémités de la corde à une des voies de ORPHY GTS2 qui jouera le rôle d'un oscilloscope à mémoire.

▪ Régler les paramètres pour déclencher l'acquisition manuellement, sur une durée Δt = 100 ms, avec 500 points.

▪ Pincer à nouveau la corde en son centre puis la lâcher pour la mettre en vibration. Faire l'acquisition.



✍ Expliquer le principe de la mesure en faisant appel à la force de Laplace vue en 1ère S.

✍ Obtient-on un son parfaitement pur ? Expliquer.

✍ Mesurer la période T_0 de la vibration et en déduire sa fréquence f_0.

✍ Comment pourrait-on expérimentalement modifier la fréquence de la vibration d'une corde ?

2. Mise en évidence des modes propres de vibration par excitation sinusoïdale

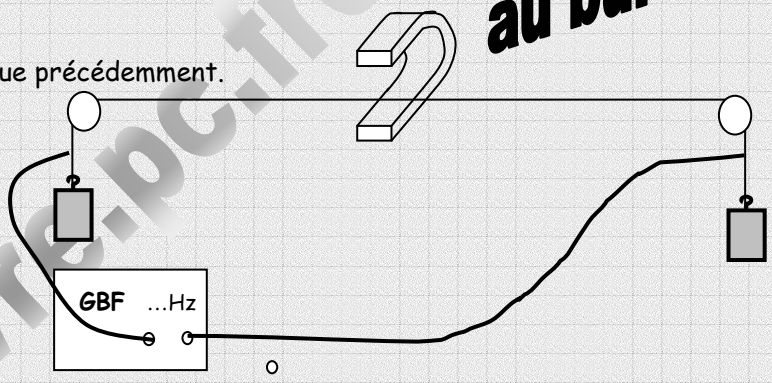
exp4 *Objectifs :* - *Etudier et caractériser les modes propres d'une corde tendue*
- *Repérer les nœuds et ventres de vibration*

au bureau

On étudie les oscillations ***forcées*** de la même corde que précédemment.

a. Mise en place du dispositif d'excitation de la corde

▪ Laisser l'aimant au centre de la corde et relier les extrémités de la corde à un GBF (associé à un fréquencemètre). C'est lui qui va imposer la fréquence avec laquelle on va exciter la corde.



✍ Expliquer le principe du montage.

b. Observations à l'œil nu

▪ Faire varier progressivement la fréquence du GBF depuis f = 20 Hz jusqu'à environ 200 Hz en déplaçant l'aimant pour observer dans de meilleures conditions (quart de la corde pour f_2).

✍ Décrire les phénomènes observés puis remplir le tableau suivant :

Fréquence (Hz)	Mode de vibration	Nombre de fuseaux	Forme de la corde
f_1 =	Fondamental (harmonique de rang 1)		
f_2 =	harmonique de rang 2		
f_3 =	harmonique de rang 3		

www.lelievre-pc.free.fr

1.1. Définir un mode de vibration et préciser le mode de vibration fondamental.

1.2. Comparer la fréquence f_1 de vibration du mode fondamental à la fréquence f_0 de vibration de la corde lors des oscillations libres.

1.3. Comparer f_1, f_2 et f_3.

1.4. Quelle relation simple peut-on écrire entre la fréquence f_1 du mode fondamental et la fréquence f_n de l'harmonique de rang n ?

1.5. Repérer sur les schémas précédents de la corde, les ***nœuds*** (N) et les ***ventres*** (V) ***de vibration***.

1.6. A quoi correspondent les extrémités de la corde pour chaque mode de vibration ?

1.7. Pourquoi a-t-on placé l'aimant en U au centre de la corde pour les harmoniques 1 et 3 et pas pour l'harmonique 2 ?

II. VIBRATION D'UNE COLONNE D'AIR

1. Oscillations libres d'une colonne d'air

exp5

Objectifs :
- *Etudier la différence entre un tuyau ouvert et un tuyau fermé*
- *Faire une hypothèse concernant un paramètre de l'expérience*

au bureau

On étudie les oscillations ***libres*** d'un tuyau de longueur l = 0,56 m.

▪ Frapper avec la paume de la main une des extrémités du tuyau. On ferme ainsi une des extrémités.

✍ S'agit-il d'une vibration longitudinale ou transversale ? Justifier.

▪ Frapper maintenant avec un doigt de la main la même extrémité du tuyau. On considère ainsi que les deux extrémités sont ouvertes.

✍ Caractériser les sons émis dans les 2 manipulations en comparant leurs fréquences.

✍ Comment pourrait-on expérimentalement encore modifier la fréquence de la vibration d'une colonne d'air ?

2. Mise en évidence des modes propres de vibration par excitation sinusoïdale

exp6

Objectifs :
- *Etudier les modes propres d'un tuyau ouvert*
- *Faire une hypothèse concernant un paramètre de l'expérience*

au bureau

On étudie les oscillations ***forcées*** du même tuyau que précédemment.

a. Mise en place du dispositif d'excitation de la colonne d'air

▪ Placer un haut-parleur à l'extrémité du tuyau.

▪ Alimenter le haut-parleur par une tension sinusoïdale (U_{max} = 50 mV) délivrée par un GBF (associé à un fréquencemètre). C'est lui qui va imposer la fréquence avec laquelle on va exciter la colonne d'air.

▪ Placer un microphone à la sortie de la colonne d'air relié à un oscilloscope.

▪ Faire varier progressivement la fréquence du GBF depuis f = 200 Hz jusqu'à environ 1 kHz.

b. Observations à l'oscilloscope

✍ Noter les fréquences f_1, f_2 et f_3 pour lesquelles le son produit est plus intense (la colonne d'air entre en résonance).

✍ Comparer f_1, f_2 et f_3. Laquelle peut-on qualifier de fréquence du mode fondamental ?

✍ A votre avis, quel facteur pourrait-on modifier pour modifier la valeur de la fréquence du mode fondamental ? (Le tester si le temps le permet).

Afin de visualiser les nœuds et ventres de vibrations, il faut pouvoir se déplacer à l'intérieur de la colonne d'air avec un micro.

ATTENTION !!! Le micro, sensible à la pression, branché à un oscilloscope détecte des variations locales de pressions **ΔP** par rapport à la pression atmosphérique moyenne **Pa**. Ainsi, la pression de l'air en un point de la colonne d'air est **$P = Pa + \Delta P$**. Sur l'oscilloscope, un maximum de tension correspond à un maximum de **ΔP** et un minimum de tension correspond à un minimum de **ΔP**.

Dans les zones de haute pression (ΔP maximal), l'air vibre très peu (molécules très « tassées ») : ainsi à un ***ventre de pression*** de l'air correspond à un ***noeud de vibration*** de l'air. Inversement, à un ***noeud de pression*** de l'air correspond à un **ventre de vibration** de l'air. Par exemple, aux ouvertures du tuyau, la pression est la pression atmosphérique (=0), on a donc des ***nœuds de pression***, mais en revanche des ***ventres de vibration*** (molécules espacées qui peuvent bouger sans contrainte).

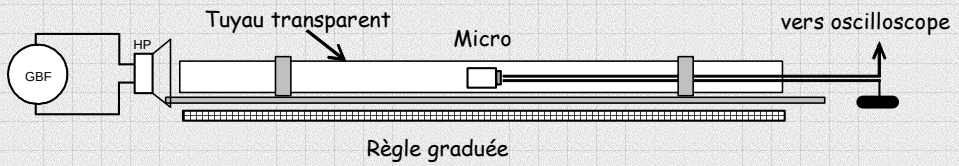
exp7

Objectifs : - *Etudier et caractériser les modes propres d'un tube ouvert*
- *Utiliser un dispositif expérimental adapté : GBF, micro, oscilloscope*
- *Visualiser les nœuds et les ventres de pression*

a. Mise en place du dispositif d'excitation de la colonne d'air

▪ Réaliser le montage suivant. Faire les branchements nécessaires pour générer une onde sonore dans le tuyau.

▪ Alimenter le haut-parleur par une tension sinusoïdale (U_{max} = 50 mV) délivrée par un GBF (associé à un fréquencemètre). C'est lui qui va imposer la fréquence avec laquelle on va exciter la colonne d'air.



✍ Mesurer et noter la longueur L du tube.

b. Recherche des modes propres de vibrations

▪ Placer le micro au milieu de la colonne d'air.

▪ Faire varier progressivement la fréquence du GBF depuis une valeur nulle et relever les fréquences pour lesquelles la colonne d'air émet un son intense. On pourra s'aider de l'amplitude du signal observé à l'oscilloscope, en ayant pris soin de régler correctement les sensibilités verticales et horizontales de l'oscilloscope.

Remarque : ne pas hésiter à enclencher le facteur (× 5) et à changer la sensibilité verticale au cours de la manipulation pour une meilleure visualisation du signal.

✍ Compléter les deux premières colonnes du tableau :

Fréquence (Hz)	Mode de vibration	Ventres et nœuds de **pression**	Ventre et nœuds de **vibration**
f_1 =			
f_2 =			
f_3 =			

c. Recherche des ventres et noeuds de pression

▪ Pour chacune des fréquences, déplacer le micro dans le tube et relever les positions des ***ventres et noeuds de pression***.

✍ Compléter alors les deux dernières colonnes du tableau en notant les ***nœuds*** (N) et les ***ventres*** (V).

2.1. Comparer f_1, f_2 et f_3.

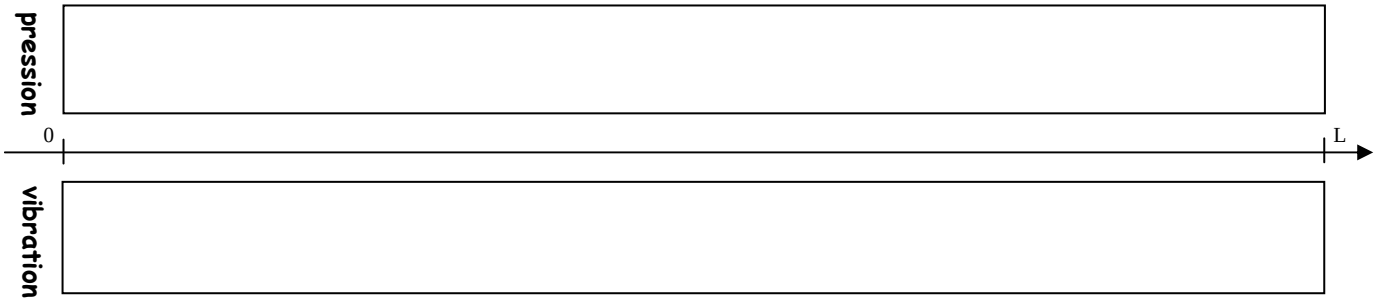
2.2. Quelle relation simple peut-on écrire entre la fréquence f_1 du mode fondamental et la fréquence f_n de l'harmonique de rang n ?

2.3. A quoi correspondent les extrémités du tuyau pour chaque mode de vibration ? Vérifier ainsi que le tuyau est bien ouvert aux deux extrémités.

2.4. En prenant le cas de l'harmonique de rang 3, quelle est la distance moyenne entre deux noeuds successifs ? Entre deux ventres successifs ? Comparer cette distance moyenne à L/3.

2.5. Généraliser la réponse précédente à l'harmonique de rang n.

2.6. Compléter le schéma suivant dans le **cas de l'harmonique de rang 4** :



C. INTERPRETATION : LES ONDES STATIONNAIRES

I. REFLEXION SUR UN OBSTACLE FIXE

1. Cas d'une onde progressive

Après visionné l'extrait vidéo « Ondes stationnaires », répondre aux questions suivantes :

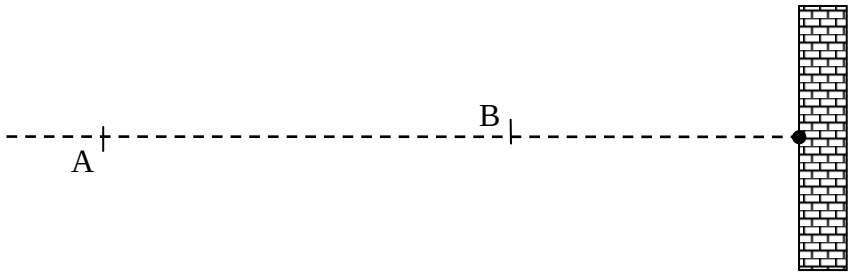
1.1. Quel est l'intérêt d'utiliser l'appareil appelé « échelle de torsion » pour visualiser la propagation d'une onde ?

1.2. Comment simule-t-on une onde se propageant dans un milieu infini (sans extrémité fixée) ?

1.3. Que se passe-t-il lorsqu'on fixe une extrémité ?

1.4. Que se passe-t-il lorsqu'on laisse libre une extrémité ?

1.5. Schématiser l'onde incidente au point A en noir puis l'onde réfléchie au point B en vert.

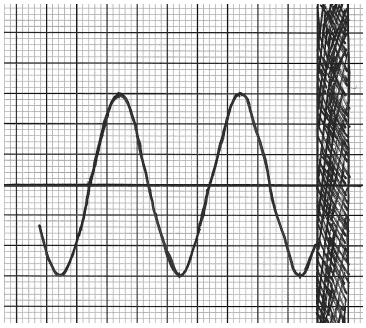


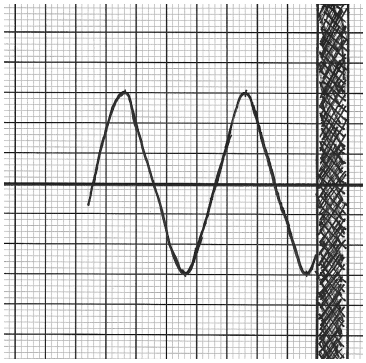
1.6. Quelles sont les caractéristiques de l'onde réfléchie par rapport à l'onde incidente ?

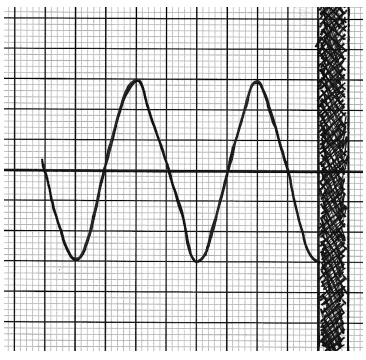
2. Cas d'une onde sinusoïdale

1.7. Qu'observe-t-on lors de la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie ?

1.8. Compléter les 3 schémas suivants en dessinant l'onde réfléchie en vert et enfin l'onde résultante en bleu. Utiliser l'animation « onde stationnaire » pour vous aider dans la réalisation des schémas.







Réflexion d'une onde sinusoïdale sur un obstacle fixe

1.9. Pourquoi appelle-t-on l'onde résultante « onde stationnaire » ?

1.10. Que peut-on dire des fréquences de l'onde incidente, de l'onde réfléchie ainsi que de l'onde stationnaire ?

1.11. Que peut-on dire des longueurs d'onde de l'onde incidente, de l'onde réfléchie ainsi que de l'onde stationnaire ?

1.12. Situer les ventres (V) et les nœuds (N) de vibration sur les schémas.

1.13. Quelle distance sépare 2 nœuds consécutifs ? 2 ventres consécutifs ?

II. REFLEXION SUR DEUX OBSTACLES FIXES

1. Cas d'une onde progressive

Soit une corde tendue entre deux points fixes distants d'une longueur **L**.
Une onde progressive se propage de gauche à droite avec la célérité **v** et passe au point M à l'instant t_1. Après une réflexion sur chaque extrémité, elle repasse, dans le même état de vibration, en M à l'instant t_2.

2.1. Avec quel retard τ l'onde repasse en M ?

2. Cas d'une onde sinusoïdale

Soit la même corde tendue entre deux points fixes distants d'une longueur L.
Une onde sinusoïdale de période **T** et de longueur d'onde λ se propage de avec la célérité **v**. Une onde stationnaire ne peut s'établir que s'il y a synchronisation des ondes progressives incidentes et réfléchies. Chaque onde progressive doit se retrouver dans le même état après avoir parcouru un aller-retour.

2.2. A quelle condition sur la période **T** une onde stationnaire pourra s'établir ? Donner la relation entre **T** et τ.

2.3. En déduire que, **dans le cas d'une corde tendue entre 2 points fixes**, la condition d'existence d'une onde stationnaire s'écrit :

$$L = \frac{n.\lambda}{2} \text{ avec } n \in N^*.$$

http://lefevre.pc.free.fr

3. Modes propres

a. Cas de la corde : quantification

D'après la partie précédente, puisque $\lambda = \frac{v}{f}$ alors $f = \frac{n.v}{2L}$, ainsi :

Pour qu'une onde sinusoïdale, se propageant avec la célérité **v** entre deux points fixes séparés d'une distance **L**, donne naissance à une onde stationnaire, sa fréquence f_n doit être telle que $f_n = n.f_1$ avec $n \in N^*$ et $f_1 = \frac{v}{2L}$.

b. Cas de la corde : l'exemple du violoncelle

Une corde, appelée « corde de sol », de longueur utile L = 69,0 cm est fixée à ses deux extrémités sur le violoncelle.

EXERCICE

1ère partie : son produit par la corde frottée

Le violoncelliste frotte la corde avec son archet pour la mettre en vibration. Ainsi excitée, la corde peut vibrer selon plusieurs modes.

Le son produit par la corde est étudié à l'aide d'un microphone branché à un oscilloscope numérique (*base de temps : 2,5 ms/div*). L'oscillogramme correspondant est donné sur la figure 1.

fig.1

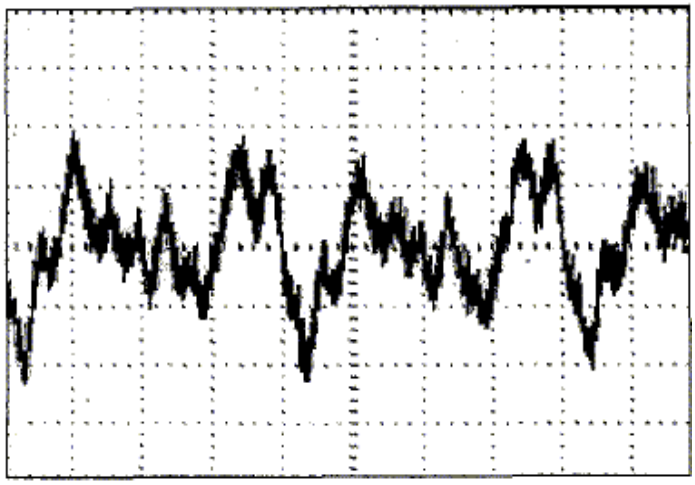
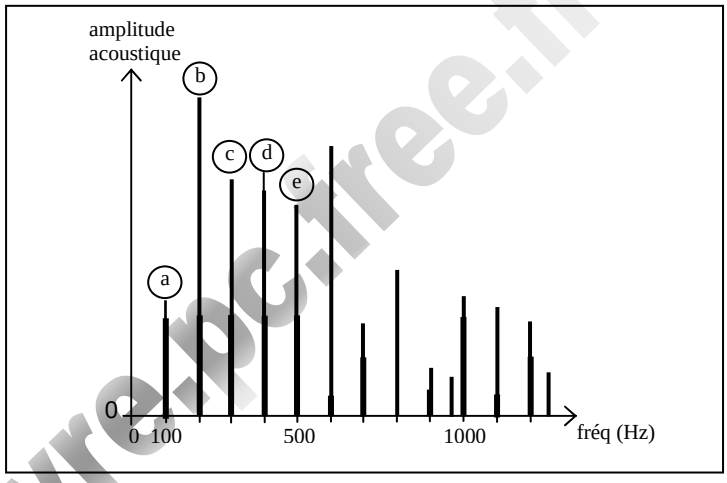


fig.2



1.1. Exploiter cet oscillogramme pour déterminer la fréquence f_1 du mode fondamental.

1.2. Que peut-on dire du son associé à cette fréquence ?

On réalise une ***analyse spectrale*** du son produit par cette corde vibrant sur toute sa longueur. Le spectre de fréquences est représenté sur la figure 2. Sur ce spectre sont repérés cinq pics notés (a) , (b) , (c) , (d) et (e).

On notera f_2 et f_3 les fréquences des deux harmoniques immédiatement supérieures à la fréquence f_1.

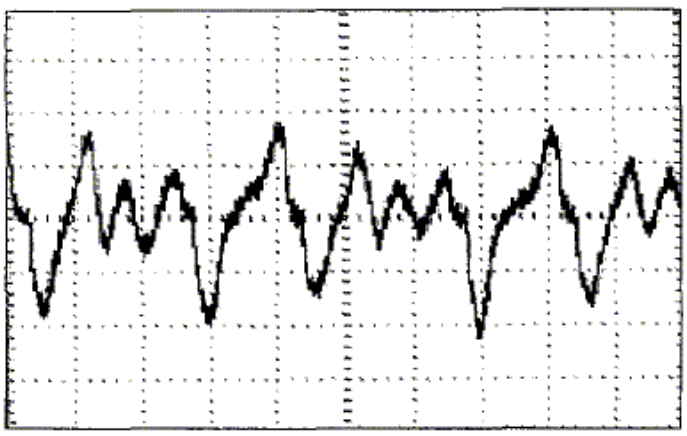
2.1. Écrire la relation existant entre f_2 et f_1 d'une part, entre f_3 et f_1 d'autre part.

2.2. En utilisant l'activité $Ap2.2_{spé}$ sur l'***analyse spectrale***, retrouver parmi ces cinq pics, celui qui correspond au mode fondamental de fréquence f_1 et préciser ceux qui correspondent à f_2 et f_3.

Pour jouer la note à l'octave supérieure, le violoncelliste excite la corde avec l'archet tout en appuyant franchement en son milieu, ce qui revient à diviser la longueur L de la corde par deux.

3. Donner, en fonction de f_1, l'expression de la fréquence f' du fondamental du son produit lorsque le violoncelliste joue la note à l'octave supérieure.

fig.3



2ème partie : son produit par la corde pincée

Par une technique appelée « pizzicato », le violoncelliste pince maintenant la corde pour la mettre en vibration.

L'oscillogramme correspondant au son émis par la corde en appliquant cette technique est donné sur la figure 3.

4. Indiquer si la hauteur du son est modifiée par rapport à celle du son étudié à la question 1.1.

5. En comparant les figures 1 et 3, indiquer la caractéristique physiologique du son qui a ainsi été modifiée. Justifier la réponse.

http://letevre.pc.free.fr

c. Cas de la colonne d'air

Les résultats concernant la corde vibrante peuvent être transposés aux vibrations d'une colonne d'air. Lorsque l'on excite une colonne d'air, il se produit des réflexions multiples de l'onde sonore aux deux extrémités. La colonne d'air vibre alors selon l'un de ses modes propres, elle est le siège d'une onde stationnaire avec des nœuds et des ventres de vibration.

Il est important de retenir :
- La distance entre deux nœuds (ou entre deux ventres) consécutifs est égale à une demi-longueur d'onde.
- L'expression des fréquences des différents modes propres de vibration dépend de la nature des extrémités (ouvertes ou fermées). Chaque instrument à vent a ses particularités (flûte de Pan, didjeridoo…)

D. ACOUSTIQUE MUSICALE

I. HAUTEUR ET TIMBRE D'UN SON

1. Spectres de sons émis par différents instruments

exp8

Objectifs : - *Etudier les caractéristiques spectrales de différents instruments*
- *Appréhender la notion de timbre d'un son*

On étudie les spectres de différents sons à l'aide des logiciels *Regavi* et *Regressi*. Les sons émis par différents instruments ont été préalablement enregistrés au format .wav et se trouvent tous dans le même dossier.

- Lancer le logiciel *Regavi*
- Cliquer sur « Lecture d'un fichier wav »

Puis pour chaque son étudié :

- Ouvrir le fichier correspondant en cliquant sur
- Lire le son en utilisant les écouteurs branchés sur l'ordinateur en cliquant sur
- Sélectionner une petite durée de son à analyser en délimitant à l'aide des 2 barres latérales (partie supérieure) une partie du signal sonore (choisir une partie du signal où l'amplitude varie peu)
- Transférer dans *Regressi* en cliquant sur
- Analyser le signal en faisant une analyse spectrale (spectre de Fourier, du nom du mathématicien) en cliquant sur

a. Etude du la du diapason

Spectre du « diapason_la440 »	Commentaires

http://lefevre.pc.free

b. Etude de la même note jouée par un piano

Spectre du « piano_la3 »	Commentaires

c. Etude d'un la joué par une flûte

Spectre du « flûte_la4 »	Commentaires

d. Etude d'autres sons émis par des instruments

- Faire la même étude avec les sons proposés (guitare, banjo, trombone…).

✍ Que peut-on dire des sons émis par ces différents instruments ?

2. Etude expérimentale de la flûte de pan

Une des flûtes de Pan traditionnelle est constituée de 10 tubes en roseau de longueur croissante. Chaque tube possède une extrémité bouchée et une autre ouverte (celle par laquelle on souffle).

Pour l'étude théorique suivante, on travaillera sur un seul tube :

✍ Expliquer pourquoi y a-t-il toujours un nœud de vibration à l'extrémité bouchée et un ventre de vibration à l'extrémité ouverte.

On note λ la longueur d'onde du son de fréquence f émis par ce tube.

✍ Exprimer λ en fonction de f.

✍ Placer sur un dessin les nœuds et ventres de vibration correspondant au mode fondamental ainsi que les deux modes de vibrations suivants.

✍ Pour chacun de ces modes vibration, donner la relation entre la longueur L du tube et la longueur d'onde λ du son.

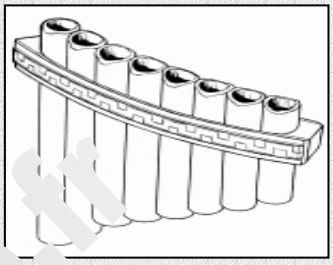
✍ Dans le cas particulier du mode fondamental, donner la relation entre la fréquence f_1 et la longueur L du tube.

C'est cette relation que l'on souhaite vérifier dans l'exp.9

http://lefevre.pc.free.fr

exp9

Objectifs : - *Etudier les caractéristiques spectrales de la flûte de pan*
- *Vérifier une relation entre différents paramètres*
- *Déterminer la vitesse du son dans l'air*



On a enregistré le son émis par chacun des 10 tubes de la flûte de Pan.
La longueur L de chacun des tubes a également été mesurée.

- Ouvrir chacun des fichiers sons avec *Regavi*.
- Ecouter le son émis par chaque tube.
- Sélectionner une durée totale d'enregistrement d'environ 100 ms à chaque fois (où l'amplitude est la plus régulière possible) et transférer dans *Regressi*.
- A chaque transfert, ouvrir une nouvelle page et indiquer la valeur du paramètre L = longueur du tube. On se retrouve alors avec un fichier *Regressi* de 10 pages.
- Réaliser le spectre de Fourier de chacun des 10 sons.
- Sur chacun des spectres, mesurer, grâce au réticule, les fréquences f_1, f_2 et f_3 relatives aux fréquences du fondamental, de l'harmonique de rang 2 et 3.

✍ Vérifier que, pour chaque tube, l'harmonique de rang 2 est presque absente. Justifier en utilisant la théorie l'expression : « les seuls sons possibles d'une flûte de pan sont les harmoniques impaires ».

- Créer la grandeur inv_L = 1/L et tracer f_1 en fonction de 1/L. Modéliser par une droite…

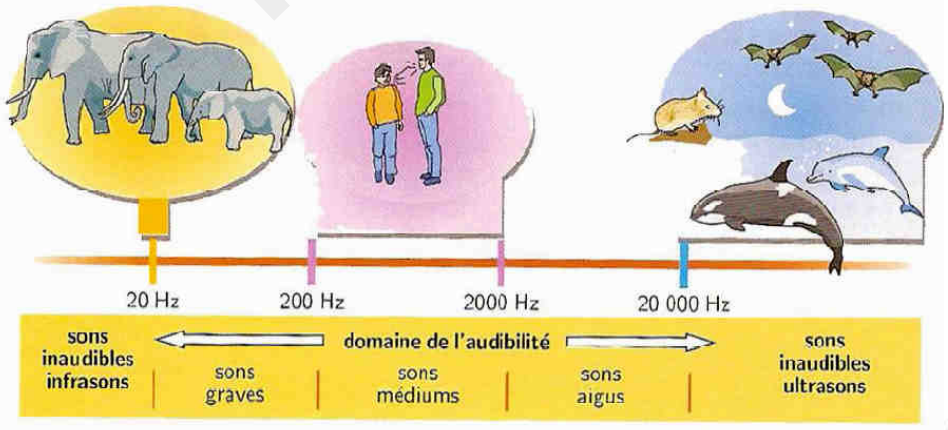
✍ **Vérifier la relation trouvée à la fin de la page précédente et en déduire la vitesse du son dans l'air.**

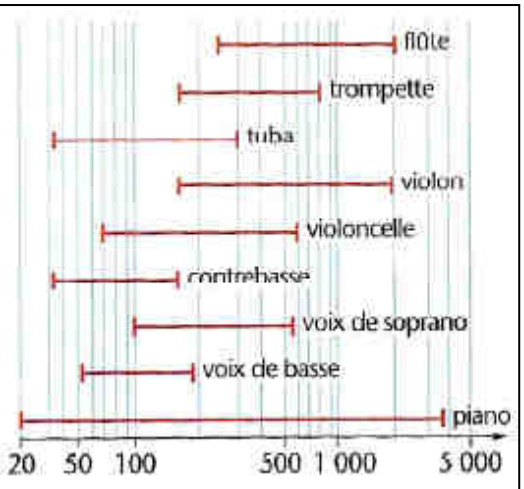
http://lelevre.pc.free.fr

3. Définitions : hauteur et timbre d'un son

a. Hauteur d'un son

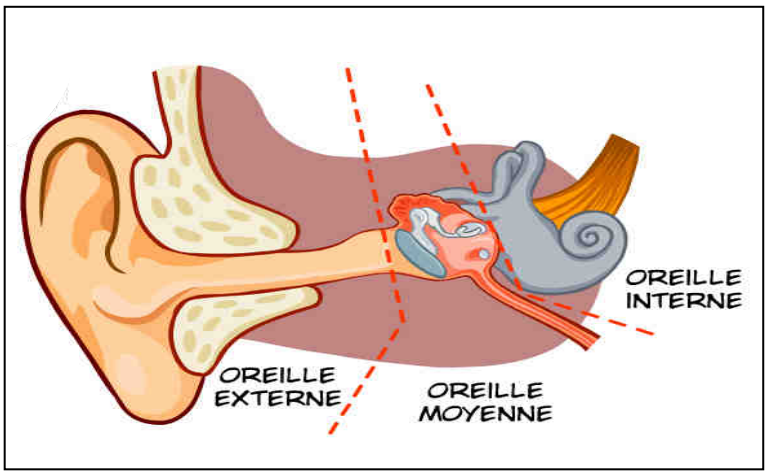
La qualité qui donne la sensation qu'un son est plus grave ou plus aigu est appelée ***hauteur*** du son. La ***hauteur*** d'un son est mesurée par la fréquence du fondamental : son grave si cette fréquence est faible, son aigu si cette fréquence est élevée.
On a vu précédemment que le son émis par un instrument n'est pas pur : il n'est pas associé à une vibration sinusoïdale et comporte donc des harmoniques. On dit qu'il est ***complexe*** ou composé.
Cependant, les fréquences des harmoniques étant multiples de celle du fondamental, seule cette dernière suffit à déterminer la hauteur du son considéré.





✍ Quel est le domaine des fréquences audibles pour l'oreille humaine ?
✍ Comment qualifie-t-on les sons en-dehors de ce domaine ?
✍ Quel instrument peut balayer le plus grand domaine de fréquence ?
✍ Légender le schéma de notre récepteur sonore en utilisant les mots suivants :

1. pavillon
2. conduit auditif
3. tympan
4. marteau
5. enclume
6. étrier
7. fenêtre ovale
8. cochlée (et cellules cilées)



b. Timbre d'un son

✍ Le La émis par le diapason et par le piano provoquent-ils la même sensation sonore ?
✍ Pour une même note jouée par deux instruments différents, le ***timbre*** dépend-il de la ***hauteur*** du son ? De quoi dépend- t- il alors ?

Le ***timbre*** permet de différencier deux notes de même ***hauteur*** jouées par des instruments différents.

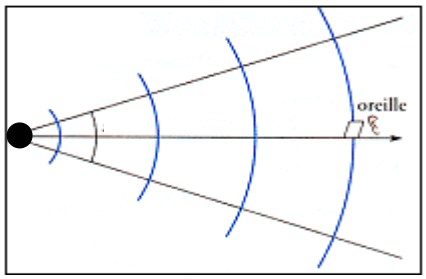
Une vibration sonore associée à une note émise par un instrument ne conserve pas généralement la même amplitude pendant toute la durée de l'émission.
En prenant l'exemple du signal sonore de la flûte en bambou :

On définit :
- ***L'attaque*** du son : il s'agit de la montée en amplitude de la vibration sonore au début de l'émission.
- ***Le corps*** du son : c'est la phase entre l'attaque du son et son extinction.
- ***L'extinction*** du son : il s'agit de la phase pendant laquelle l'amplitude de la vibration diminue avant de s'annuler, à la fin de l'émission.

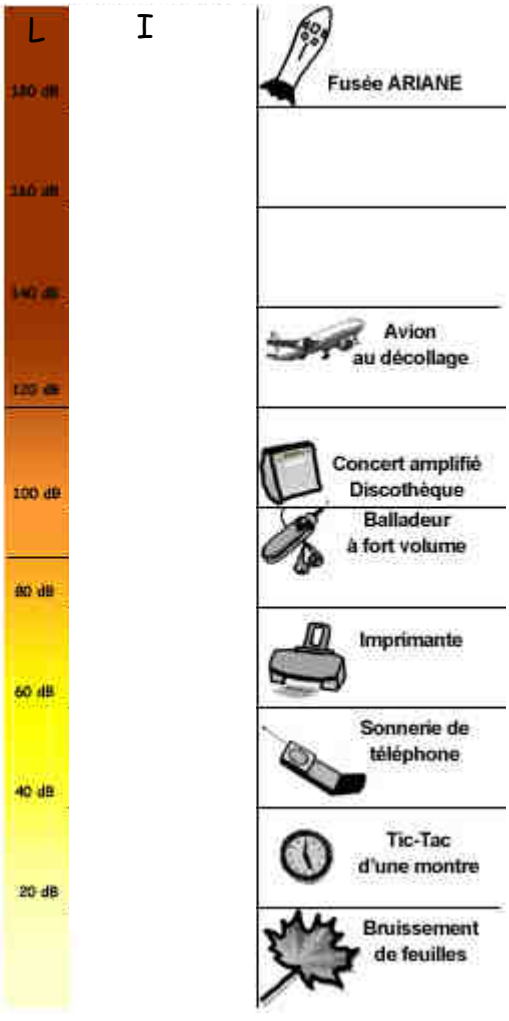
L'attaque et l'extinction constituent les ***transitoires*** du son qui jouent un rôle important dans le ***timbre*** d'un instrument.

II INTENSITE ET NIVEAU SONORE

1. Intensité sonore (ou intensité acoustique)



L'onde sonore, qui est une onde mécanique, transporte de l'énergie. Cette énergie acoustique produite par la source sonore est répartie sur une surface sphérique de plus en plus grande au fur et à mesure de la propagation de l'onde sonore. L'oreille de surface fixe, ne reçoit qu'une partie de l'énergie acoustique, de moins en moins importante lorsqu'on s'éloigne de la source sonore.



La ***puissance acoustique*** P_a (en W) correspond à l'***énergie acoustique*** E_a (en J) reçue par unité de temps (en s) :

$$P_a = \frac{E_a}{\Delta t}$$

L'***intensité sonore*** I (en $W.m^{-2}$) est la ***puissance acoustique*** P_a reçue (en W) par unité de surface S (en m^2) :

$$I = \frac{P_a}{S}$$

Dans le domaine des sons audibles, elle varie de $I_o = 10^{-12}$ $W.m^{-2}$ (seuil d'audition) à 25 $W.m^{-2}$ (seuil de douleur).

2. Niveau sonore (ou niveau acoustique)

L'intensité $I_o = 10^{-12}$ $W.m^{-2}$ semble négligeable devant 25 $W.m^{-2}$ et pourtant nous entendons des sons ayant ces intensités acoustiques. Pour comparer les intensités sonores entre elles, on préfère définir le ***niveau sonore,*** noté ***L*** (comme Level), et utiliser une autre échelle.

Le ***niveau sonore*** ***L*** s'exprime en décibel (dB) et est associé à l'***intensité sonore*** ***I*** d'un son par la relation :

$$L = 10.\log\frac{I}{I_0}$$

avec I_0 l'intensité sonore de référence : $I_0 = 10^{-12}$ $W.m^{-2}$.

Remarque : Le niveau sonore se mesure à l'aide d'un sonomètre.

✍ Compléter le schéma précédent en calculant l'intensité sonore correspondant aux différents niveaux sonores.
✍ Repérer également le seuil de risque et le seuil de douleur pour l'oreille.
✍ Montrer que lorsque le niveau sonore augmente de 10 dB, l'intensité sonore est multipliée par 10 et que lorsque le niveau sonore augmente de 20 dB, l'intensité sonore est multipliée par 100.
✍ Combien faut-il d'instruments identiques, chacun de niveau sonore 60 dB, pour produire 70 dB ?
✍ Montrer que lorsque l'intensité sonore double, le niveau sonore augmente de 3 dB (le vérifier au sonomètre).

III. Les gammes

1. Origine des gammes

Même si la fréquence d'un son n'était pas connu à l'Antiquité, cela n'a pas empêché Pythagore (-580 ; -497) et ses disciples d'associer musique et nombres, en comparant les longueurs des cordes vibrantes notamment. On s'est vite aperçu que seules quelques notes sonnaient de façon « harmonieuse » à l'oreille.
Par exemple en divisant la longueur d'une corde par deux, on obtient un son de fréquence double, soit $f_2 = 2.f_1$. Ce son, à l' »octave », sonne de façon harmonieuse avec le précédent. En divisant par trois la longueur de la corde, la fréquence est triple : $f_3 = 3.f_1$ mais telle que $f_3 = 3/2.f_2$. L'intervalle de rapport de fréquence égal à 3/2 est appelé « quinte » et sonne de manière harmonieuse…

On définit :
- L'***intervalle musical*** est le rapport entre les fréquences de 2 notes.
- Deux notes sont à l'***octave*** lorsque la fréquence de l'une est le double de la fréquence de l'autre ; l'***intervalle musical*** est alors égal à 2.
- A l'intérieur d'une ***octave***, la suite des notes, rangées par hauteur (fréquence) croissante définit la ***gamme.***
- Pour distinguer une ***octave*** d'une autre, on affecte la note d'un indice : le la_3 est à l'***octave*** supérieure du la_2.

2. La gamme tempérée

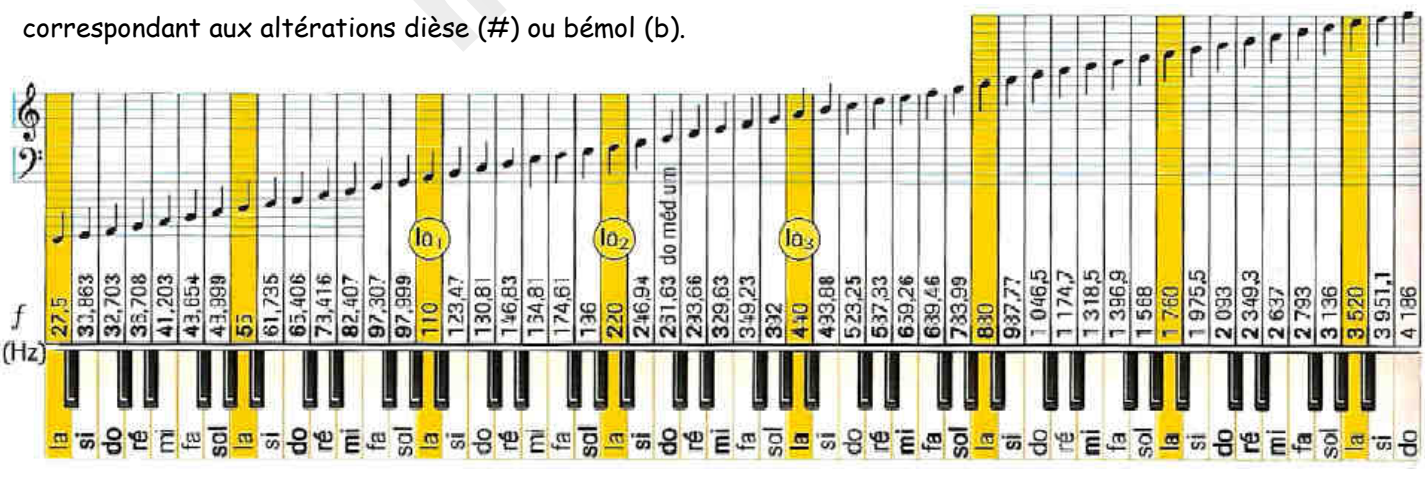
La méthode élaborée par Pythagore, construite sur des rapports de nombres entiers, a malheureusement vite abouti à des dissonances et a incité à trouver une autre gamme.
Elaborée au XVII^e siècle par A. Werckmeister (1645-1706) pour faciliter la transposition des partitions des instruments à corde aux instruments à clavier, la ***gamme tempérée***, sous l'impulsion de J.S. Bach (1685-1750) et J.P. Rameau (1683-1764), est la gamme musicale utilisée en occident de nos jours.
Cette gamme n'est plus le résultat d'une construction harmonique mais simplement le résultat du découpage d'une octave en douze intervalles égaux.

Dans la ***gamme tempérée***, l'octave est divisée en 12 intervalles égaux appelés ***demi-tons***.

✍ Que vaut le rapport de fréquences entre deux notes séparées par un demi-ton ?
✍ En s'aidant du tableau ci-dessous, dire quel intervalle séparent le do du ré ? le mi du fa ?
✍ A quoi correspond un dièse # ? Quel est le rapport de fréquences entre un fa et un fa # par exemple ?
✍ Si le la est un la_3 de fréquence f = 440 Hz, quelle est la fréquence du si du même octave ?

do	do #	**ré**	ré #	**mi**	**fa**	fa #	**sol**	sol #	**la**	la #	**si**	**do'**
	ré *b*		mi *b*			sol *b*		la *b*		si *b*		

Remarque : C'est sur le principe de la gamme tempérée que sont construits les claviers de pianos, orgues, … où, avec 7 touches blanches et 5 touches noires
correspondant aux altérations dièse (#) ou bémol (b).



http://lenvre.pc.free.fr