

## TP n°9 : spectres de signaux sonores.

● **But du TP** : ce neuvième TP de BTS SE a pour but l'étude et la manipulation de spectres de signaux sonores. On manipule les signaux à l'aide du logiciel gratuit « Audacity ». Le début du TP est la prise en main de ce logiciel sur des signaux musicaux : spectre d'un signal issu d'un piano et obtention de la note correspondante. Puis, on essaie de montrer les différences entre des signaux musicaux issus d'instruments à cordes, à vent ou à percussion. Enfin, on étudie les signaux DTMF issus du téléphone à fréquence vocale en extrayant le numéro effectué à l'aide du spectre. On étudie également une maquette générant de telles fréquences DTMF et on vérifiera la cohérence des fréquences émises en récupérant les spectres sur l'oscilloscope numérique.

### 1) Prise en main du logiciel Audacity.

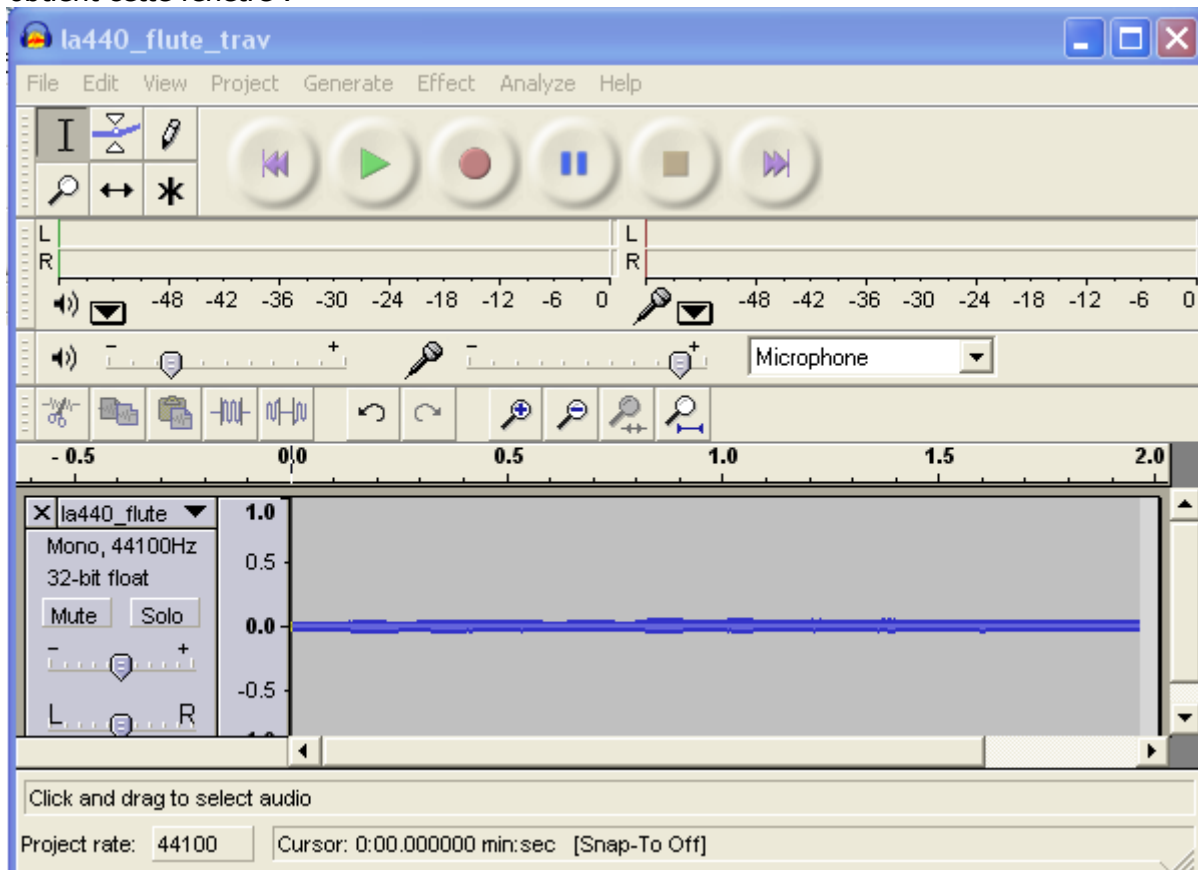
**Audacity** est un éditeur-enregistreur de fichiers audio libre et gratuit (licence GPL) et multiplateforme (Windows/Mac/Linux). Il permet la capture audio à partir de toute source audio gérée par le mixeur du système d'exploitation. L'édition des sons se fait très simplement à la souris (presque) comme pour un traitement de textes : sélection de portion du son, copier-coller, insertion de silence, etc. Le logiciel permet la conversion des fichiers sonores dans de nombreux formats (*wave*, *mp3*, *aiff*, *au*, *ircam*, *ogg vorbis*, etc.)

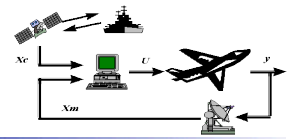
On trouvera ce logiciel dans sa version portable sur le répertoire de votre classe.

Pour mieux utiliser ce logiciel, vous pourrez consulter un mode d'emploi sommaire avec le fichier « Audacity - [tutoriel de C.Mercier.pdf](#) » présent sur le répertoire de votre classe.

Pour apprendre à manipuler ce logiciel, ouvrir le fichier « *la440\_flute\_trav.wav* ».

On obtient cette fenêtre :



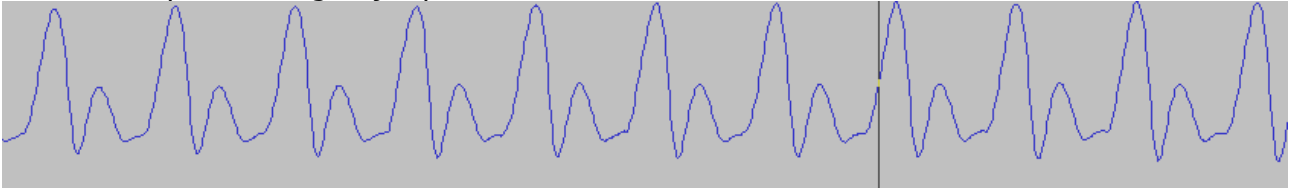


Ecouter ce morceau à l'aide du bouton vert.

Sélectionner l'ensemble du morceau et amplifier de 17 dB avec la commande « effect → amplify »

Ecouter de nouveau le morceau en baissant le volume de sortie (Haut parleur).

Zoomer une partie du signal jusqu'à obtenir la fenêtre suivante :



Imprimer cet morceau de signal dans votre compte-rendu.

Le signal est-il sinusoïdal ? Est-il périodique ? Estimer sa période à l'aide des curseurs et en déduire la fréquence du fondamental de ce signal.

Reprendre la totalité du signal et tracer le spectre par la commande : « analyse → plot spectrum »

Choisir une représentation logarithmique de la fréquence et un nombre de points de 2048. On prendra ici une fenêtre de Hanning qui est la plus pertinente lorsqu'on veut une meilleure séparation des raies. Imprimer ce spectre dans votre compte-rendu.

Mesurer la fréquence des trois principaux pics observés. Quelle est la relation entre les trois fréquences ? Comment appelle-t-on les signaux qui correspondent à ces trois raies ?

A l'aide du tableau donné en annexe du TP, donner la note jouée par cette flûte traversière.

Appliquer un filtre passe-haut pour éliminer les lobes correspondant à des fréquences basses à l'aide de la commande « effect → ... » en indiquant les paramètres que vous choisissez pour faire diminuer les composantes basse fréquence. Imprimer le spectre correspondant et indiquer la différence.

## 2) Différences entre les notes jouées par plusieurs instruments.

Dans ce paragraphe, on veut essayer de montrer qu'il existe de grandes différences entre les notes jouées par différents instruments de musique, même si le nom donné à la note est le même.

En fait, que veut dire : « j'ai joué la note do ! » ??

Pour répondre à cette question, on lira le [TD/TP](#) proposé à des élèves Techniciens du Son où on travaille sur les quatre principaux attributs d'un signal sonore : la hauteur, l'intensité, la durée et le timbre. On s'intéresse aux trois premiers paramètres.

### a) Hauteur d'un son : (grave ou aigu ?)

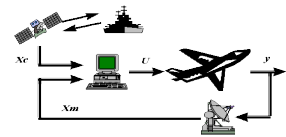
Lorsque l'oreille humaine capte un son, le cerveau en extrait la hauteur (son plus ou moins aigu) en identifiant la fréquence du fondamental du signal.

Le nom de la note est alors donné à l'aide du tableau vu en cours et rappelé en annexe.

A l'aide du logiciel audacity, ouvrir le fichier suivant : « flute\_maison.aup »

Ecouter le signal sonore et imprimer ce signal dans votre compte-rendu.

Sous chaque partie du signal, donner la note correspondante en faisant tracer le spectre du signal.



Imprimer le spectre obtenu pour la première note et identifier la raie correspondant au fondamental. Donner sa fréquence ainsi que les fréquences des trois raies suivantes. Quelles relations peut-on donner entre ces fréquences ? A quoi correspondent les différents signaux donnant ces raies ?

### b) Intensité sonore d'un son : (pianissimo ou fortissimo ?)

Garder le fichier « flute\_maison.aup » ouvert et ouvrir également le fichier « cymbale.mp3 » Pour le premier fichier, noter la différence d'amplitude entre la première et la sixième note. Vérifier ceci en mesurant l'amplitude maximale du spectre correspondant à ces deux parties du signal.

Après avoir écouté le deuxième fichier, noter la différence de perception entre les coups de cymbale. Vérifier la correspondance avec la différence d'amplitude du signal. On pourra imprimer le signal du fichier « cymbale.mp3 » dans son compte-rendu.

### c) timbre d'un instrument :

Lorsque deux instruments jouent la même note (exemple : la note « la440 »), avec la même intensité sonore et la même durée, il y a néanmoins des différences entre les instruments que l'oreille peut déceler. Ces différences sont visibles sur la représentation temporelle (forme du signal) et sur la représentation fréquentielle (niveau des harmoniques du spectre). On s'intéresse ici à la différence de timbre entre des instruments à vent et des instruments à cordes.

Ouvrir en concordance les deux fichiers : « la440\_flute\_trav.wav » et « guitare-classique-torres.mp3 » (1<sup>ère</sup> note). Commencer par écouter ces deux morceaux : 'à l'oreille', la première note vous paraît-elle la même ?. Vérifier ceci en faisant tracer les spectres des deux signaux. Imprimer les deux signaux et les deux spectres sur votre compte-rendu.

Sur la représentation temporelle : donner la principale différence entre les deux signaux. Est-ce logique, compte tenu du fait qu'on a un instrument à vent (on souffle) et un instrument à corde (que l'on pince !).

Ouvrir le fichier : « piano\_A.mp3 » Ecouter cette note et vérifier qu'on a un « la440 ». D'après vous, est-ce un instrument à corde ou à vent ? Justifier.

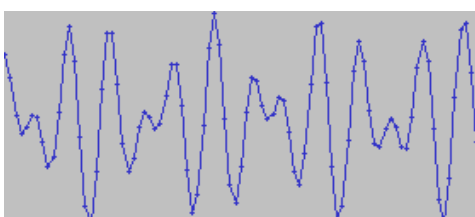
## 3) signal sonore du téléphone à fréquence vocale DTMF.

### a) signaux DTMF numérisés :

La plupart des téléphones sont dits « à fréquence vocale », c'est-à-dire que chaque touche du clavier du téléphone émet un signal sonore qui est différent pour chaque touche et qui permet de l'identifier (pour les serveurs vocaux notamment).

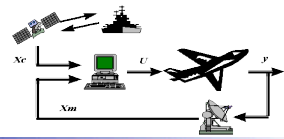
Ces codes sont appelés DTMF (Dual Tone Multi Frequency)

Ce signal est émis par superposition de deux signaux sinusoïdaux dont les fréquences sont données dans le tableau ci-dessous :



Allure du signal de la touche 7.

Fréquence	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	Touche 1	Touche 2	Touche 3	Touche A
770 Hz	Touche 4	Touche 5	Touche 6	Touche B
852 Hz	Touche 7	Touche 8	Touche 9	Touche C
941 Hz	Touche *	Touche 0	Touche #	Touche D



Ouvrir le fichier « dtmf01.wav » et obtenir le spectre du signal. Quelle est la touche enfoncée ?

Faire de même avec le fichier « number\_telephone.aup ». Copier le signal sur votre compte-rendu et afficher le numéro effectué sous le signal. Quel est ce numéro ?

b) maquette générant des signaux DTMF réels :

On dispose d'une maquette générant des signaux DTMF réels : on lira dans l'annexe le principe de fonctionnement et le schéma de la maquette.

On veut analyser le signal généré par la maquette en mode « Dual Tone » (une ligne et une colonne activées)

Une entrée *ligne* et une entrée *colonne* seront reliées à Vss.

→ Analyse temporelle.

Alimenter la maquette en [0-5 V]. Observer à l'aide de l'oscilloscope la tension  $v_s(t)$ . Commenter son allure. Est-elle périodique ? Est-elle sinusoïdale ? Mesurer sa période et sa fréquence. Retrouve-t-on les valeurs indiquées par le constructeur ?

→ Analyse fréquentielle.

A l'aide de la fonction FFT de l'oscilloscope, tracer le spectre d'amplitude de  $v_s(t)$  dans la gamme de fréquence 0- $\Delta F$  avec  $\Delta F$  de l'ordre de 2 à 3 kHz en choisissant une échelle verticale en dBV et une fenêtre de type *Hanning*. Imprimer ce spectre dans votre compte-rendu.

Indiquer la fréquence et le niveau des deux « raies » les plus significatives.

On présentera les résultats dans un tableau comme indiqué ci-dessous :

Fréquence en Hz		
Niveau en dBV		
Valeur efficace en V		

En pratique, on note dans le spectre d'amplitude la présence de composantes sinusoïdales

- de fréquence multiple de  $f_1$  et de  $f_2$  ( par exemple  $2f_1, 3f_1 \dots 2f_2, 3f_2 \dots$  )
- de fréquence  $|nf_1 \pm pf_2|$  ( par exemple  $f_1+f_2, |f_1-f_2|, |2f_1-f_2|, |f_1-2f_2| \dots$  )

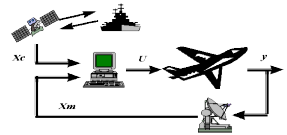
Identifier sur le spectre visualisé à quel terme correspondent les fréquences relevées.

**Bonus** : si vous avez fini, vous pouvez faire reconnaître automatiquement la touche enfoncée à partir d'un fichier wav en utilisant un tableur. Ouvrir à nouveau le fichier « number\_telephone.aup » et sélectionner un morceau de ce signal (une touche enfoncée). Tracer son spectre et exporter les résultats avec le logiciel audacity.

Dans le fichier texte sauvegardé, remplacer le point par une virgule à l'aide de la fonction « chercher et remplacer ».

Copier alors les deux colonnes de chiffres dans le tableur d'open office : « trouve\_freq.ods » colonnes B et C.

Vérifier que la touche est bien décodée. Analyser les différentes fonctions utilisées pour le décodage de la touche.



**Annexes :**

**annexe 1 : noms des notes et fréquences associées.**

Note\octave	0	1	2	3	4	5	6	7
Do	32,70Hz	65,41Hz	130,81Hz	261,63Hz	523,25Hz	1046,50Hz	2093,00Hz	4186,01Hz
Do#	34,65Hz	69,30Hz	138,59Hz	277,18Hz	554,37Hz	1108,73Hz	2217,46Hz	4434,92Hz
Ré	36,71Hz	73,42Hz	146,83Hz	293,66Hz	587,33Hz	1174,66Hz	2349,32Hz	4698,64Hz
Ré#	38,89Hz	77,78Hz	155,56Hz	311,13Hz	622,25Hz	1244,51Hz	2489,02Hz	4978,03Hz
Mi	41,20Hz	82,41Hz	164,81Hz	329,63Hz	659,26Hz	1318,51Hz	2637,02Hz	5274,04Hz
Fa	43,65Hz	87,31Hz	174,61Hz	349,23Hz	698,46Hz	1396,91Hz	2793,83Hz	5587,65Hz
Fa#	46,25Hz	92,50Hz	185,00Hz	369,99Hz	739,99Hz	1479,98Hz	2959,96Hz	5919,91Hz
Sol	49,00Hz	98,00Hz	196,00Hz	392,00Hz	783,99Hz	1567,98Hz	3135,96Hz	6271,93Hz
Sol#	51,91Hz	103,83Hz	207,65Hz	415,30Hz	830,61Hz	1661,22Hz	3322,44Hz	6644,88Hz
La	55,00Hz	110,00Hz	220,00Hz	440,00Hz	880,00Hz	1760,00Hz	3520,00Hz	7040,00Hz
La#	58,27Hz	116,54Hz	233,08Hz	466,16Hz	932,33Hz	1864,66Hz	3729,31Hz	7458,62Hz
Si	61,74Hz	123,47Hz	246,94Hz	493,88Hz	987,77Hz	1975,53Hz	3951,07Hz	7902,13Hz

Référence : La<sub>3</sub>  
avec f = 440 Hz

$f_n = f_0 \times (2^{12})^n$   
(n est le nombre de 1/2 tons  
au dessus de f<sub>0</sub>)

↑  
f<sub>0</sub>

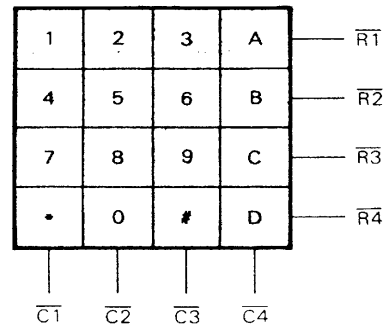
**annexe 2 : maquette générant des signaux DTMF.**

On dispose du circuit intégré TCM 5089 qui, associé à un cristal de quartz de 3,579545 MHz, permet de générer :

- en mode « *Single Tone* » un signal basse fréquence pseudo-sinusoidal
- en mode « *Dual Tone* » un signal constitué de deux composantes sinusoidales pseudo-sinusoidales.

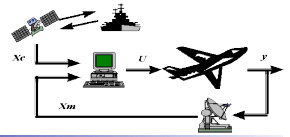
En pratique, un clavier numérique

de téléphone est relié à ce circuit ;  
l'appui sur une touche impose sur les entrées  
R1 - R4 et C1 - C4 correspondantes  
le niveau de tension Vss.  
( ex : appui sur la touche 1 : R1 et C1 à Vss )

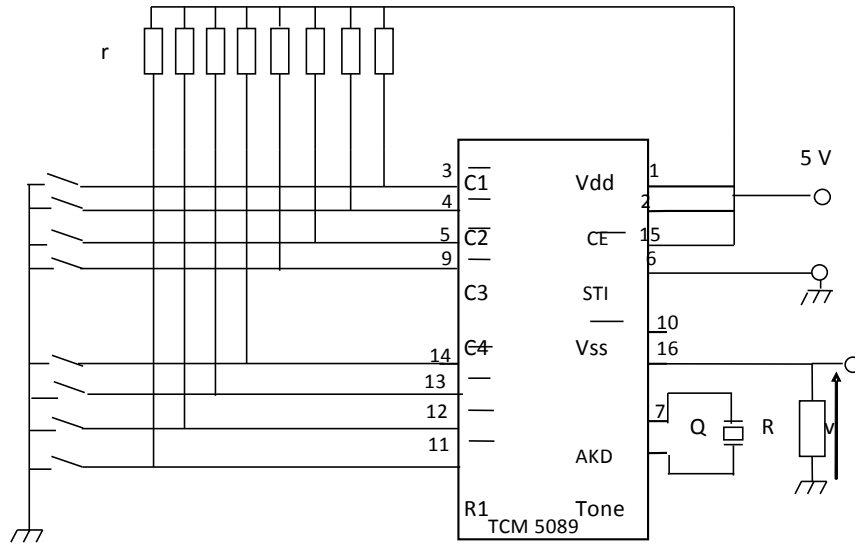


Le constructeur indique la fréquence des composantes pseudo-sinusoidales générées par le circuit quand l'entrée correspondante est reliée à Vss :

R/C	Condition	Spec.	Actual	Error %	Unit
R1	Fosc = 3.579545 MHz	697	699.2	+ 0.32	Hz
R2		770	766.27	- 0.48	Hz
R3		852	847.54	- 0.64	Hz
R4		941	948.09	- 0.75	Hz
C1		1209	1216	+ 0.58	Hz
C2		1336	1331.7	- 0.33	Hz
C3		1477	1472	- 0.34	Hz
C4		1633	1645	+ 0.73	Hz



Dans le T.P. , on utilisera la maquette DTMF dont le schéma structurel est donné ci-dessous :



Q : quartz de 3,579545 MHz  
R, r : résistances de 10 k $\Omega$

Pour relier une entrée à la masse, il suffira de fermer l'interrupteur correspondant.

On alimentera le circuit sous Vdd = 5 V et Vss = 0 V par les deux bornes prévues à cet effet.