

L'effet wah wah :

- influence directe sur l'onde sonore par une sourdine
- filtrage d'un signal analogique par un filtre passe-bande

La wah wah décryptée d'un point de vue mécanique et électronique

Pédale wah wah pour guitare électrique



Sourdine wah wah pour trompette

Dossier réalisé par :

Franck Kamenga
Alexandre Beurton
Théo Le Bret

(Lycée Louis-le-Grand, Paris)

Introduction

La wah wah est probablement un des effets pour instrument les plus utilisés par les musiciens de tous les styles : classiques contemporains, jazzmen, rockers, musiciens de funk ou de metal ont presque tous expérimenté les possibilités quasi infinies de cet effet. Mais d'abord, rappelons ce que « fait » une wah wah : « la wah wah est un effet modifiant la qualité voyelle d'une note ». Autrement dit, elle transforme un son « o » en « a » et inversement, produisant cet effet quasiment vocal : l'instrument semble tour à tour parler, bailler, couiner, crier, pleurer, gémir, aboyer, rugir même selon l'utilisation que l'on fait de l'effet.

Les premiers à avoir entrevu le potentiel de cet effet sont les trompettistes de jazz, comme Louis Armstrong, qui plaçaient devant le pavillon de leur instrument un déboucheur d'évier dont ils modifiaient l'angle d'ouverture.

Par la suite, ce sont des ingénieurs en techniques sonores qui ont découvert (plus ou moins par hasard) que cet effet pouvait s'obtenir en faisant varier la fréquence centrale d'un filtre passe-bande, ce qui a donné naissance aux premières pédales wah wah dans les années soixante. Puis, popularisé par des musiciens comme Jimi Hendrix, cet effet a largement dépassé en succès celui de la sourdine wah wah, certains trompettistes allant même maintenant jusqu'à utiliser des pédales wah wah plutôt que des sourdines, moins pratiques et expressives (ainsi Miles Davis a utilisé assez fréquemment une telle pédale, branchée au micro de sa trompette pendant sa période « jazz-rock » des années soixante-dix).

Nous allons donc dans ce dossier, dans un premier temps, étudier le fonctionnement de la sourdine wah wah, puis son homologue électronique analogique (il existe aussi des wahs numériques, mais nous ne nous y intéresserons pas). Enfin nous établirons tout au long du dossier la comparaison entre ces deux techniques d'obtention de l'effet wah wah.

I. Protocole expérimental visant à déterminer le fonctionnement de la wah wah « mécanique »

1. Principe de fonctionnement

Historiquement, la wah est une invention des trompettistes de jazz qui, cherchant à donner plus d'expressivité à leur instrument, plaçaient devant le pavillon de leur trompette une ventouse de déboucheur d'évier, et constataient qu'en faisant varier le degré d'ouverture de la ventouse, ils modifiaient le son de leur instrument, créant l'illusion que leur trompette pleurait, couinait ou bien criait selon les cas.

Partant de ce constat assez rudimentaire, à savoir que le degré d'ouverture de la ventouse modifie le « son » de l'instrument, nous chercherons à déterminer le principe de fonctionnement de cette wah wah « mécanique » (dont nous comparerons plus tard l'effet avec celui de la wah wah « électronique »).

Tout d'abord, rappelons brièvement de quoi est constitué un « son » musical (nous nous limiterons aux données rudimentaires, la composition du son musical étant en fait infiniment compliquée) : on distingue trois composantes principales d'un son, à savoir la fréquence fondamentale (qui détermine le nom de la note jouée), le timbre (constitué des différentes harmoniques de la note, sur lesquelles nous reviendrons plus en détail) et le volume.

2. La wah wah influe-t-elle sur la fréquence fondamentale du son ?

Cette expérience préliminaire est d'un fonctionnement très simple : on jouera, sur la guitare, une note dont on mesurera la fréquence fondamentale, d'abord sans wah wah, puis avec wah wah.

Voici l'enregistrement obtenu grâce au logiciel Visual Analyser, sans wah wah (la note jouée est un sol) : (*N.B* : on visualise ici une tension en fonction du temps, car le logiciel est une simulation d'oscilloscope).



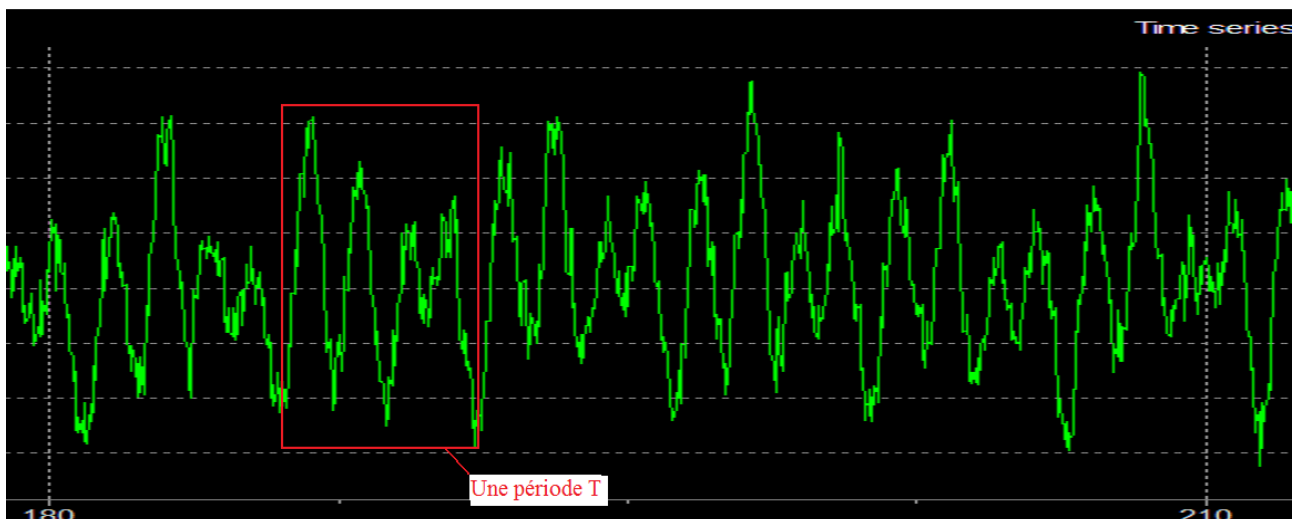
On a ici une fonction périodique (ou à plus strictement parler, pseudo-périodique, car l'amplitude des oscillation décroît avec le temps), dont nous allons déterminer la période, puis la fréquence. L'échelle est : 30ms => 16,6 cm

Or on trouve, graphiquement, qu'une période correspond à 2,8 cm, d'où :
 $T = (30 * 2,8) / 16,6 = 5,1 \text{ ms}$

Et : $f = 1/T = 196 \text{ Hz}$. Ceci est cohérent puisque par ailleurs on sait que la note jouée sur la guitare était un Sol 200Hz. On peut même en déduire que la guitare est légèrement désaccordée (accordage un peu trop bas puisque $196 < 200$).

Maintenant, refaisons l'expérience avec la ventouse placée sur le haut parleur, le haut-parleur étant assimilable à un pavillon de trompette.

Voici l'enregistrement obtenu grâce au logiciel Visual Analyser, avec wah wah (la note jouée est un sol) :



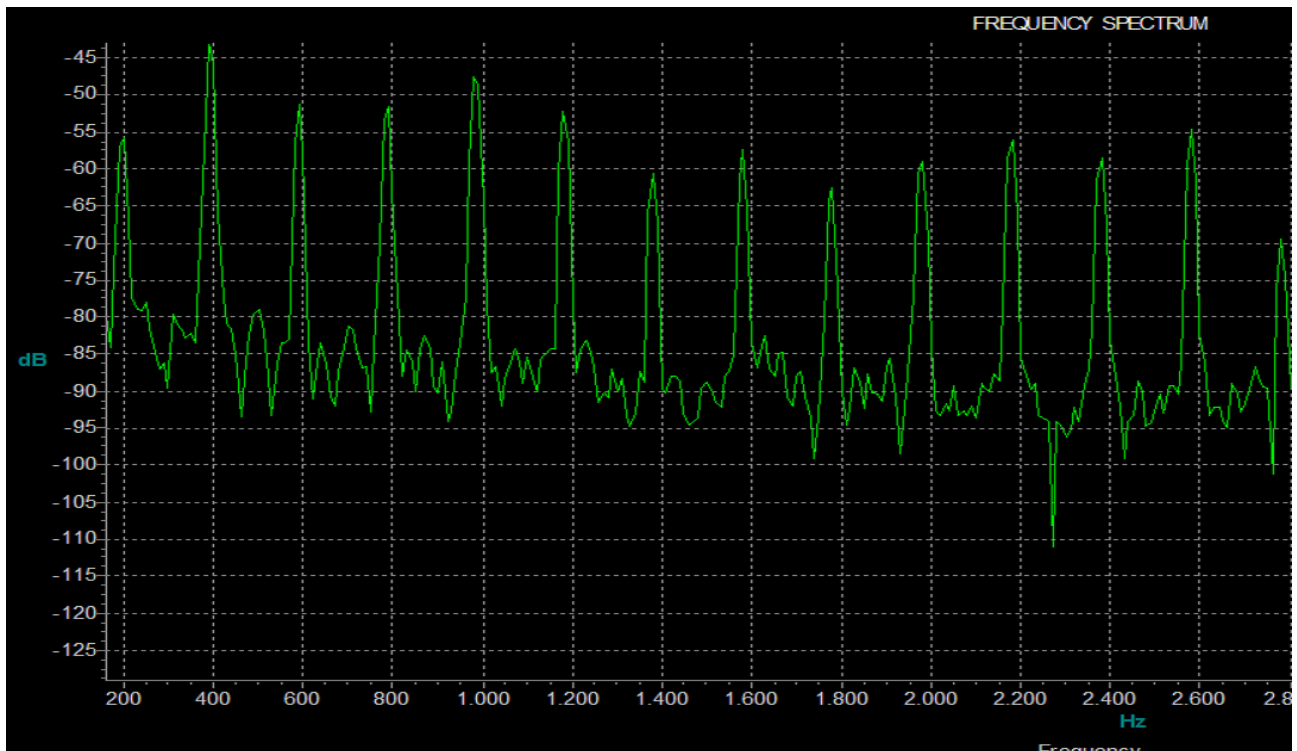
On retrouve une fonction pseudo-périodique, mais d'apparence très différente de celle obtenue sans wah wah : la présence de la ventouse (ici, on l'a placée de telle sorte que son angle d'ouverture soit nul, et donc que son influence sur le son soit maximale) a bien modifié le son. Toutefois, lorsqu'on mesure graphiquement la période, on obtient la même valeur pour la période : sur le graphique, la période correspond à 2,8 cm, et comme l'échelle est la même, on retrouve $T = 5,1 \text{ ms}$ et par conséquent $f = 196 \text{ Hz}$.

On remarquera toutefois que ce résultat aurait pu se retrouver empiriquement : lorsqu'on joue sol sur la guitare, on entend toujours sol à la sortie du haut-parleur, que la ventouse soit en place ou non.

En conclusion, l'effet wah wah, s'il influe très clairement sur le son, n'affecte pas la fréquence fondamentale de ce son. Par conséquent, cet effet va affecter le timbre et/ou le volume de ce son, la question étant maintenant de déterminer comment.

3.Approche qualitative de la notion de modification du timbre du son par la wah wah (ventouse de déboucheur d'évier).

Enregistrement de l'amplitude (en décibel) en fonction de la fréquence du son, aussi appelé spectre fréquentiel, sans wah wah : (la note jouée est un sol 200Hz)

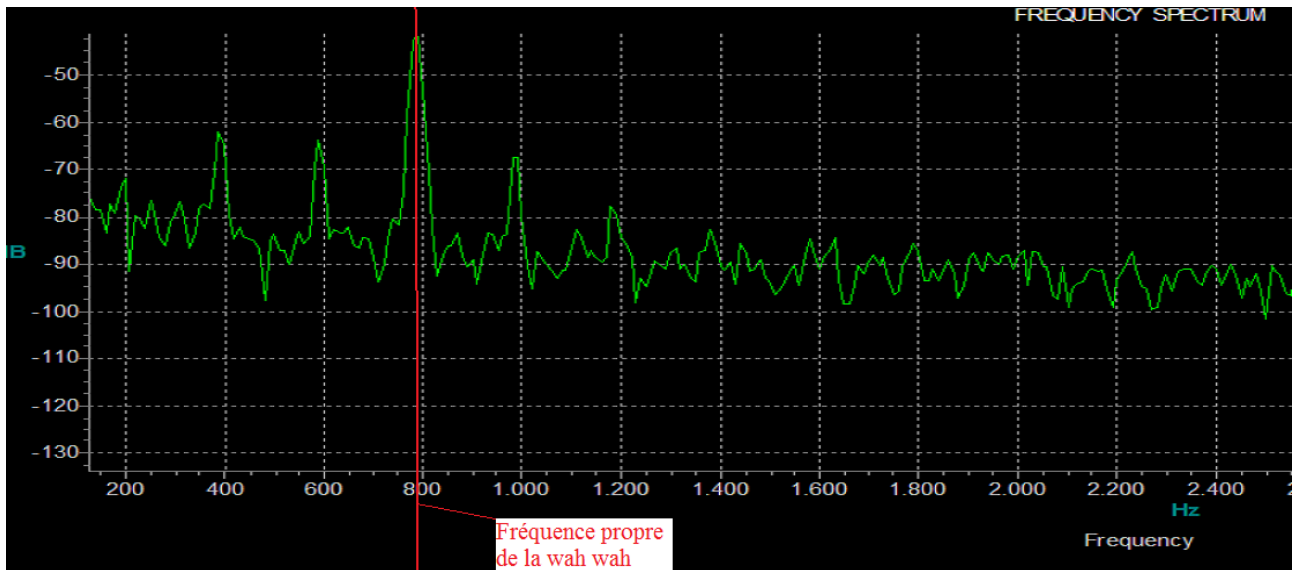


Sur cet enregistrement apparaissent très clairement des pics dans le spectre fréquentiel : on remarque tout d'abord que la fréquence fondamentale du son se situe bien à 200Hz, mais il apparaît aussi que le son est également composé d'autres fréquences, appelées fréquences harmoniques ; ceci explique d'ailleurs qu'un son musical ne soit jamais représenté par une fonction sinusoïde, mais par une fonction périodique qui peut être considérée comme la somme de plusieurs signaux sinusoïdaux de même fréquence et d'amplitudes différentes (selon que ces harmoniques s'entendent plus ou moins) : on appelle la somme de ces signaux harmoniques série de Fourier.

(Remarque : il est possible de déterminer mathématiquement la série de Fourier correspondant à un signal périodique complexe, mais cela nécessiterait des connaissances en calcul intégral qui dépassent nos capacités. Par conséquent, nous déterminerons expérimentalement cette série par l'observation du spectre fréquentiel fourni par le logiciel Visual Analyser.)

On remarque également que les pics dans le spectre fréquentiel du son ne sont pas situés au hasard : le premier pic est situé à la fréquence fondamentale $f = 200\text{Hz}$, le second à la fréquence $2f = 400\text{Hz}$, soit à l'octave, le troisième à la fréquence $3f = 600\text{Hz}$, soit à la quinte, le quatrième à la fréquence $4f = 800\text{Hz}$, soit à la deuxième octave et ainsi de suite, apparaissent dans le spectre fréquentiel des fréquences harmoniques correspondant aux différents intervalles musicaux.

Observons maintenant le spectre fréquentiel de la même note jouée (sol 200Hz) avec la wah wah :

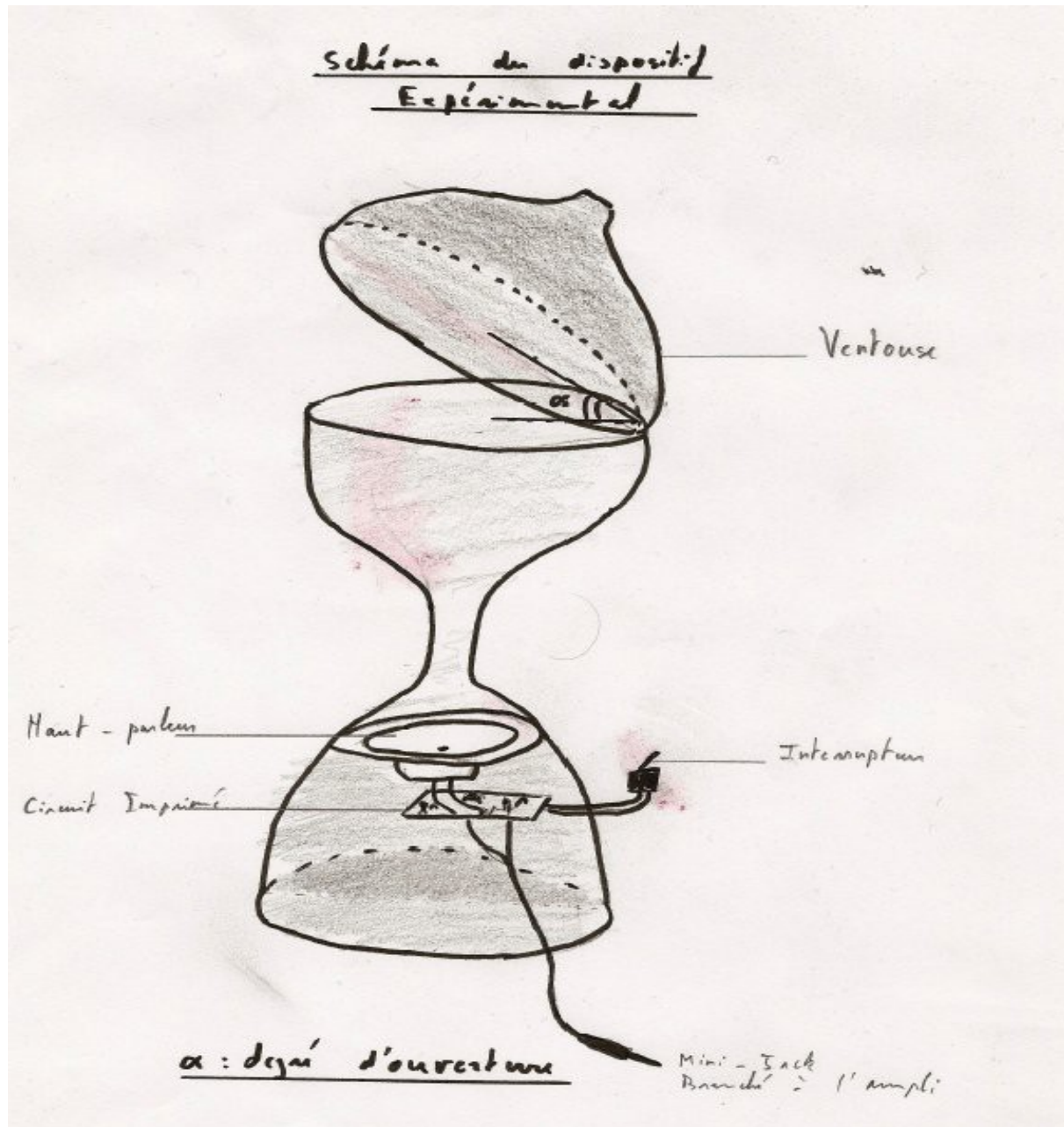


La différence est évidente : le premier pic est toujours situé à 200Hz, donc la note a toujours pour fréquence fondamentale 200Hz (Sol), mais le spectre fréquentiel a été transformé par la présence de la ventouse, qui a presque intégralement étouffé toutes les harmoniques de fréquences situées au-delà ou en-deçà de 800Hz, l'harmonique $4f$ (deuxième octave) qui est appelée fréquence de résonance propre de la ventouse : la ventouse, comme tout objet, « vibre » en effet avec une certaine fréquence qui lui est propre, et si elle reçoit une excitation de même fréquence, il se produit un phénomène de résonance.

Ici, les harmoniques de fréquence égale à la fréquence propre de la ventouse vont donc entrer en résonance avec elle, alors que les autres harmoniques seront atténuées, puisqu'elles exciteront la ventouse avec une fréquence différente de sa fréquence propre : il se produit le même phénomène que lorsqu'on pousse une balançoire : si on la pousse avec une fréquence différente de la fréquence d'oscillation de cette balançoire, elle ralentit et s'arrête, alors que si on la pousse avec la même fréquence que sa fréquence propre, elle accélère. L'onde sonore peut être assimilée à la balançoire, et la ventouse à celui qui la pousse.

Remarque : Pour déterminer cette fréquence de résonance, il a fallu enregistrer les spectres fréquentsiels de plusieurs notes différentes, puisque chaque note ne présente des pics dans son spectre fréquentiel qu'à des fréquences précises, qui ne correspondent pas forcément à la résonance propre de la Wah Wah. Cette fréquence propre f_0 est repérable sur le spectre fréquentiel par la symétrie qu'elle établit entre les pics situés de part et d'autre. On a ici : amplitude ($f_0 + 200$) = amplitude ($f_0 - 200$)

Maintenant nous allons mener une approche plus quantitative du problème, et le logiciel Visual Analyser s'est avéré trop limité, c'est pourquoi nous avons à partir de maintenant utilisé un logiciel plus efficace, Audacity (permettant notamment de diminuer le bruit, d'analyser les spectres plus finement et d'obtenir des enregistrements plus longs et précis, donc permettant des résultats plus significatifs).

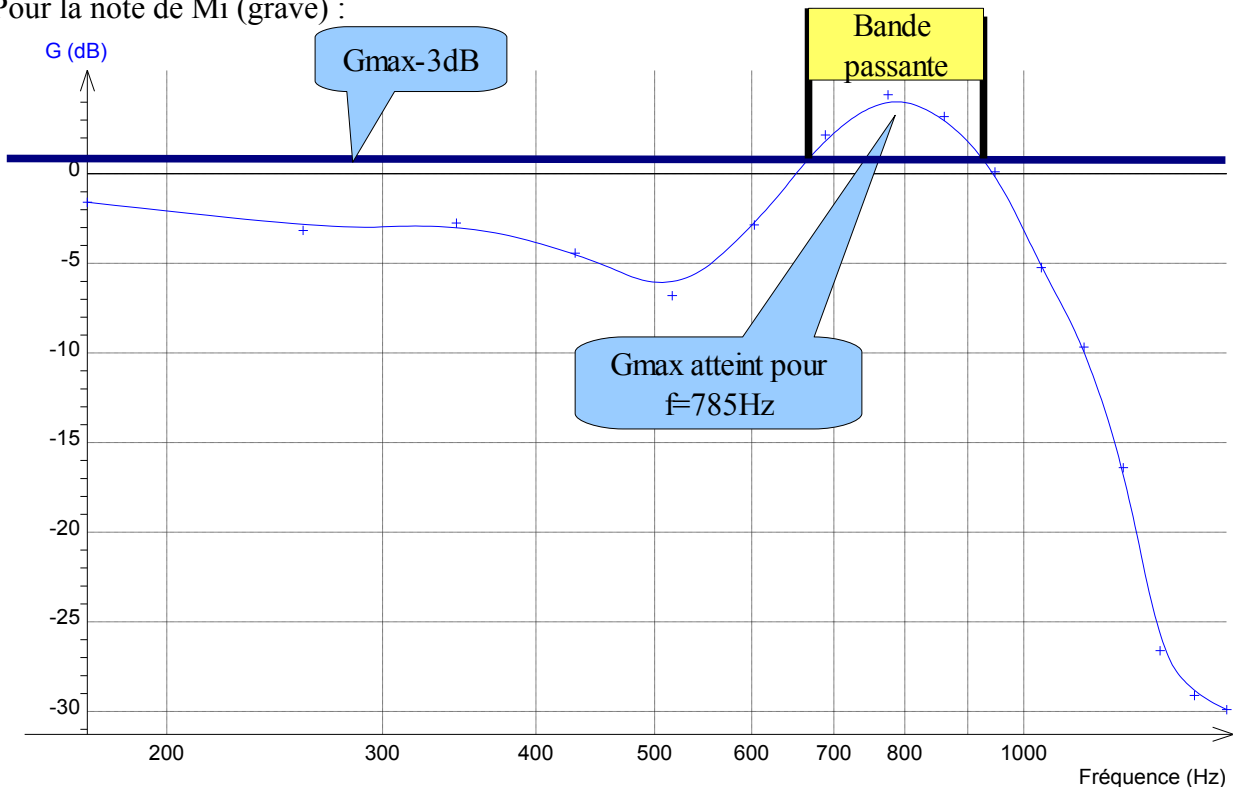


Remarque : le haut-parleur utilisé s'est en fait avéré être de trop faible puissance pour pouvoir recevoir un signal de guitare amplifié, ce qui a provoqué une saturation du son de la guitare, a priori non désirable mais qui a été conservée car elle correspond à peu près à une distorsion de type « fuzz », un effet couramment utilisé en série avec la wah wah. Nous nous contenterons de dire que cette distorsion a tendance à favoriser les harmoniques plus aiguës, ce qui provoque ce son un peu strident caractéristique des enregistrements de guitare-fuzz (très utilisée dans les années soixantes, notamment).

4.Approche quantitative de l'effet de la sourdine sur l'onde sonore.

En utilisant le dispositif présenté plus haut, relié à l'ampli, nous avons effectué deux enregistrements pour plusieurs notes de la gamme sur la guitare : l'un avec sourdine, l'autre avec sourdine. Ces enregistrements effectués, nous avons obtenu leur spectres fréquentiels respectifs, que nous avons exporté vers un tableur afin de traiter les données fournies par l'enregistrement : en soustrayant pour chaque fréquence le gain en dB sans effet à celui avec effet, on a obtenu un diagramme présentant le gain (G) en dB lié à la présence de la sourdine en fonction de la fréquence (en échelle logarithmique). Nous obtenons ainsi des « diagrammes de Bode » décrivant l'effet de la sourdine sur l'onde sonore :

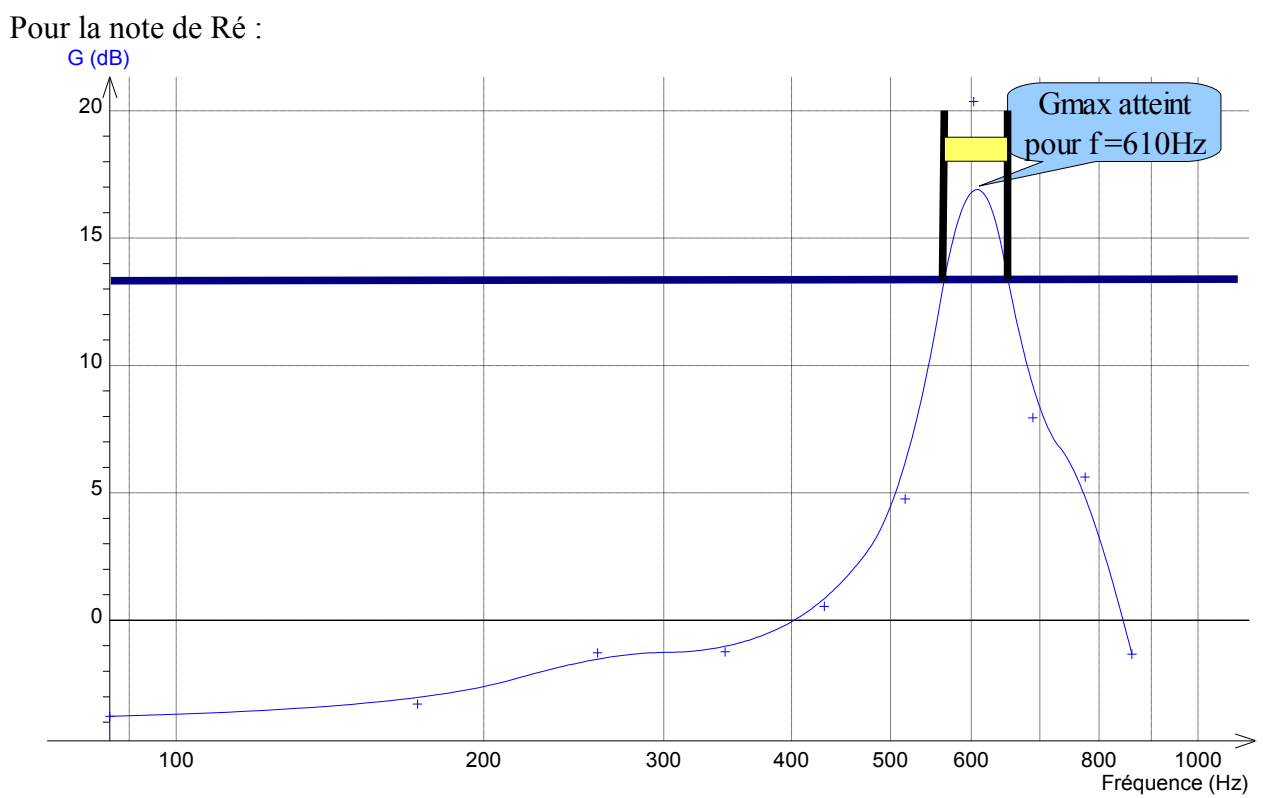
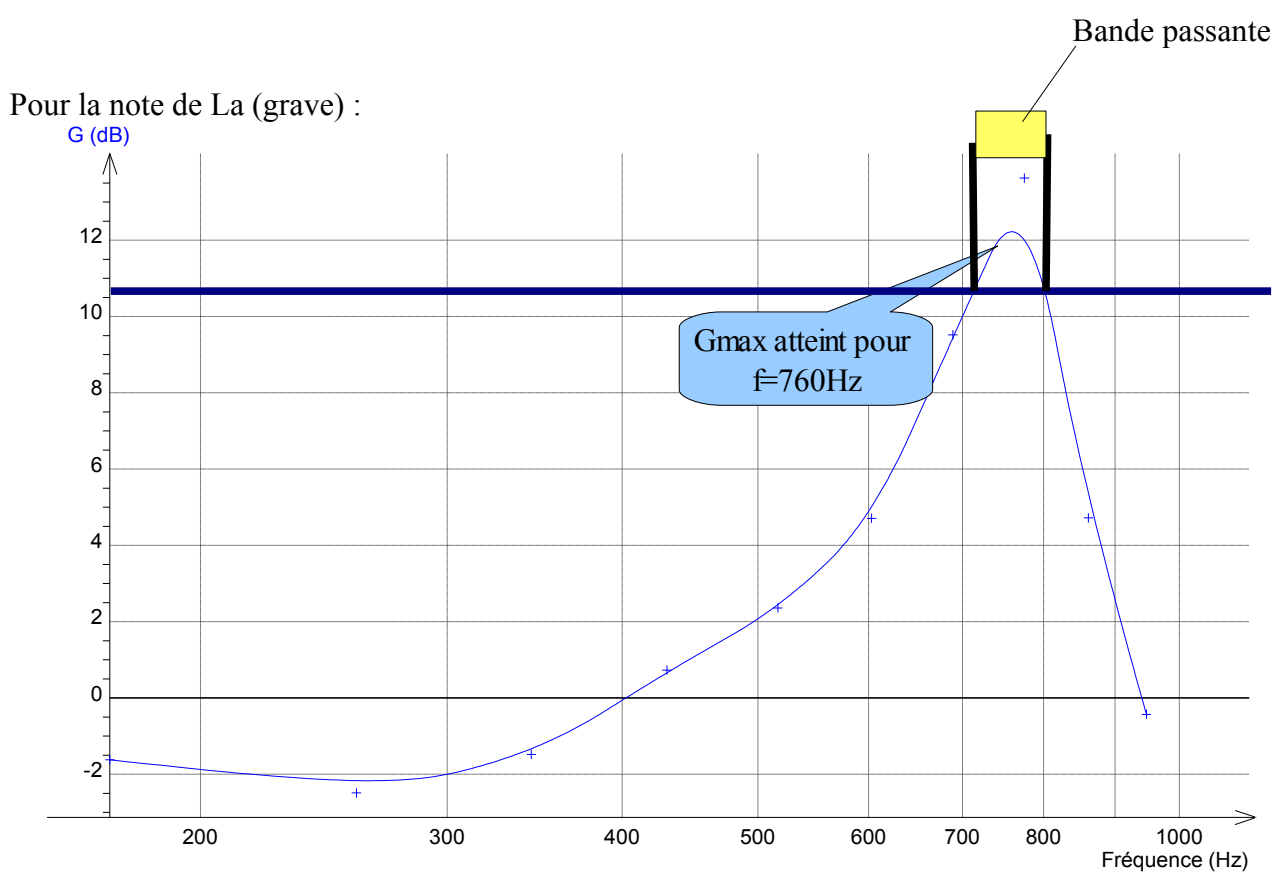
Pour la note de Mi (grave) :



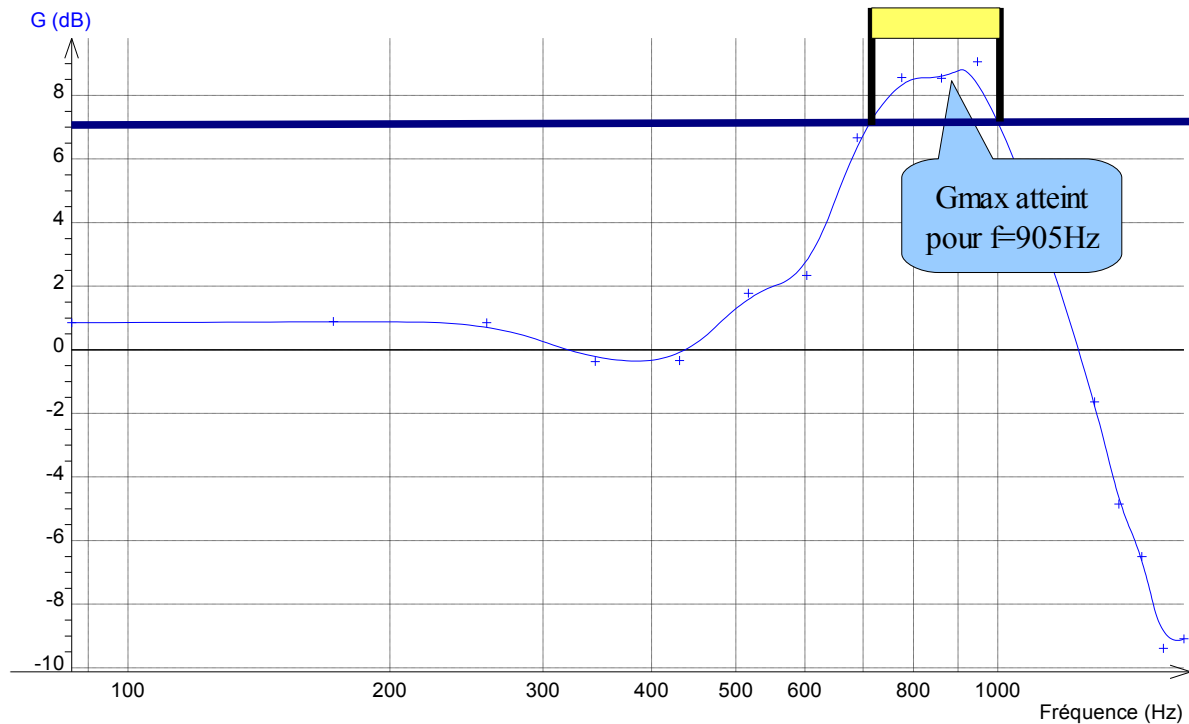
Rq : On définit la bande passante comme l'ensemble des fréquences subissant une perte de moins de 3 dB par rapport à G_{max}

On a déterminé à l'aide de la fonction réticule la fréquence pour laquelle le gain était maximal, autrement dit celle pour laquelle la sourdine atténue le moins les oscillations, et qui correspond à la fréquence de résonance de la sourdine. Du point de vue de l'onde sonore (ici une note de mi grave), cela signifie que les harmoniques du Mi grave de fréquence proche de la fréquence de résonance seront moins atténuées que celles qui en sont éloignées. On observera par la suite de légères variations de la fréquence de résonance obtenue pour différentes notes, mais on peut principalement attribuer cela à deux choses : le peu de précision des valeurs expérimentales (une valeur tous les 50 Hz environ) et le fait que les fréquences harmoniques d'une note ont des valeurs discrètes sur le spectre fréquentiel. Autrement dit, il n'existe pas forcément d'harmonique telle que sa fréquence soit très proche de la fréquence de résonance, ce qui fait varier quelque peu la détermination de cette dernière suivant la note (correspondant à la fréquence fondamentale de l'onde sonore, dont dépend la valeur des fréquences harmoniques) étudiée.

Ces « diagrammes de Bode » sont très semblables à ceux utilisés pour modéliser les fonctions de transfert des filtres passe-bande, et nous verrons plus tard en quoi la comparaison est justifiée.



Pour la note de Sol :



On fait la moyenne des gains maximaux obtenus, et on obtient une fréquence de résonance de 765 Hz, ce qui est relativement proche de la fréquence de résonance observée qualitativement. On remarque également, de manière qualitative, que les diagrammes de Bode présentent des « pics » assez prononcés, donc que la bande-passante est assez étroite. On obtient, en moyenne, une bande passante de 175 Hz, ce qui correspond comme on le verra plus tard à un filtre de bonne qualité.

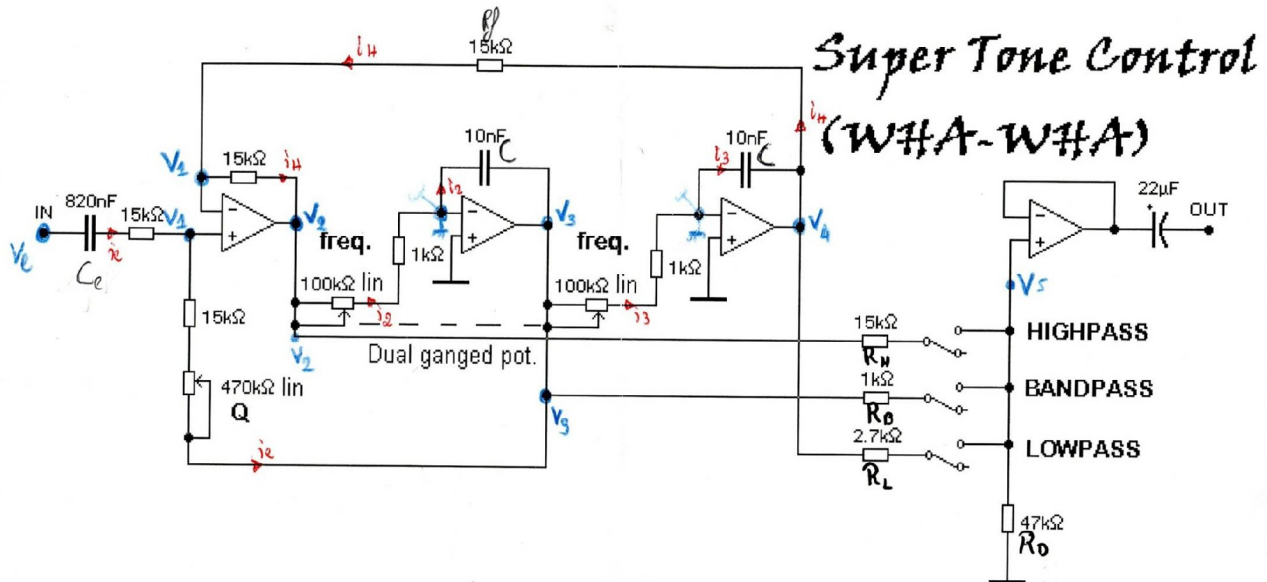
On a ainsi trouvé que l'effet wah wah obtenu avec une sourdine était modélisable par un filtre passe-bande dont la bande-passante serait assez étroite, et de fréquence de résonance proche de la fréquence propre de la sourdine. En effet, pour obtenir l'effet wah wah, il suffit maintenant de jouer sur le degré d'ouverture de la sourdine, ce qui changera la fréquence de résonance du système. On remarquera également que le choix d'un déboucheur d'évier comme sourdine n'est pas indifférent, car le caoutchouc amortit fortement l'onde sonore, ce qui explique l'acuité de la bande-passante : on aurait pas ou presque pas obtenu d'effet avec une sourdine en bois ou en métal, par exemple. Ces deux expériences (variation de la fréquence de résonance en fonction du degré d'ouverture et en fonction du matériau) n'ont pas encore pu être réalisées de manière satisfaisante, mais nous espérons encore y parvenir d'ici notre présentation orale.

Nous allons donc garder en tête ces différentes caractéristiques du filtrage du signal sonore par la sourdine, et les comparer avec celles du filtrage d'un signal analogique par un circuit RLC.

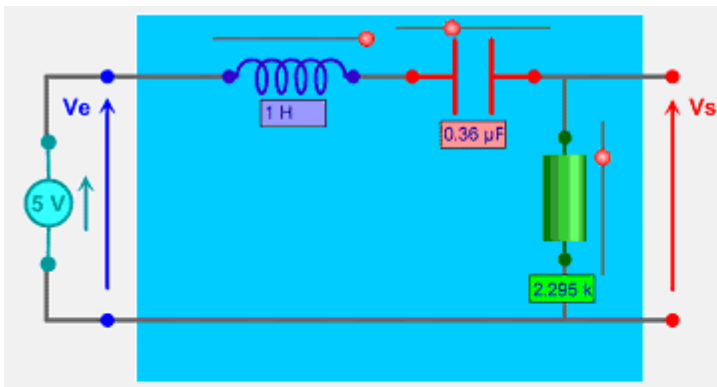
II. PRODUCTION DE L'EFFET WAH-WAH ELECTRIQUEMENT

II.1. Introduction

Nous n'allons pas faire l'étude d'un système wah-wah commercial, celle-ci est une pédale wah-wah une pédale reliée à un potentiomètre inclus dans un circuit électronique. Nous avons également réalisé un circuit analogue :



Ces circuits sont des résonateurs, nous détaillerons leurs propriétés. Ainsi nous nous ramenons à l'étude d'un circuit RLC, le cas générique, le plus aisé et le plus efficace.

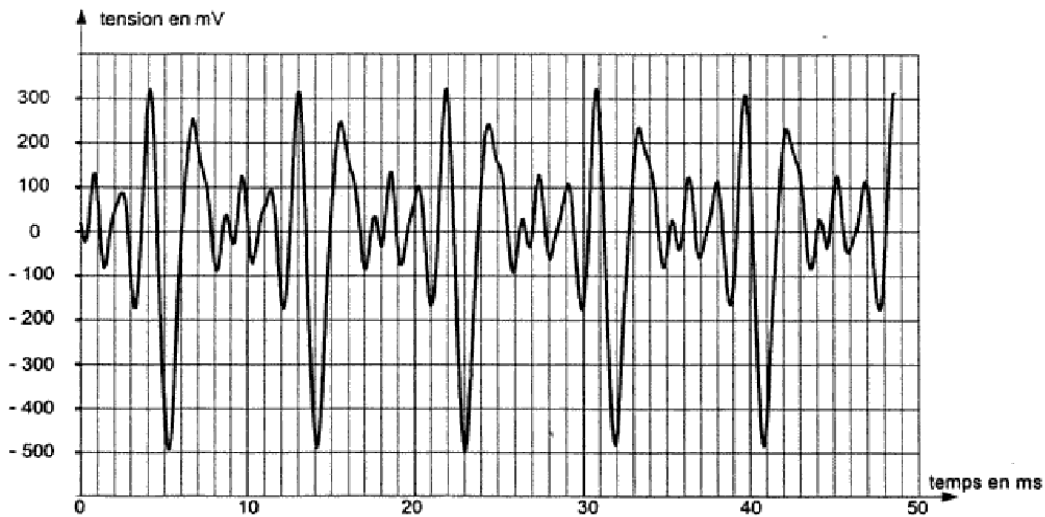


II.2. Rappels préliminaires

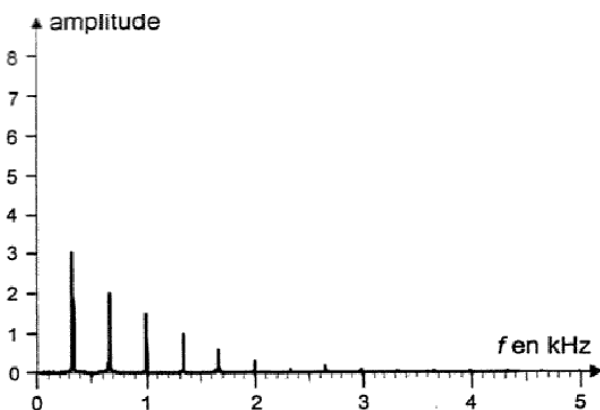
II.2.1. Présentation des signaux

Les acquisitions sonores ont été effectuées à l'aide d'un microphone. Il permet de convertir un signal sonore de fréquence f en un signal électrique de même fréquence f . Cette conversion s'effectue grâce au phénomène d'induction. Son rôle est l'inverse de celui d'un haut-parleur. La valeur de la tension induite est dépendante des caractéristiques du microphone, mais généralement on considère que sa valeur maximale est proportionnelle à l'amplitude.

La guitare électrique fonctionne aussi grâce au phénomène d'induction. Ainsi à la sortie reliée à une prise jack se présente une tension électrique périodique. Le système wah-wah influera sur ce signal électrique.



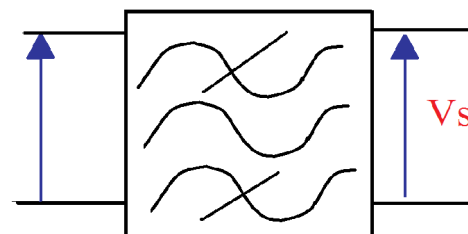
Il est rare comme le présente l'enregistrement ci-dessus d'une note à la guitare que la tension obtenue soit sinusoïdale. Ce n'est pas une défaillance du micro. Ainsi la forme du signal est liée au timbre de la note. Les signaux périodiques peuvent être considérés comme une somme de signaux sinusoïdaux. L'analyse mathématique de Fourier des signaux périodiques complexes permet de définir cette somme de signaux simples. Le diagramme ci-dessous est un spectre fréquentiel



II.2.2. Introduction au filtrage passe bande : le circuit RLC série

Sur notre circuit se développe un régime d'oscillations forcées. L'équation différentielle régissant l'évolution de V_s , la tension de sortie au cours du temps est :

$$\frac{d^2 V_s}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dV_s}{dt} + \frac{1}{LC} V_s = \frac{R}{L} \frac{dV_e}{dt}$$



On ne peut la résoudre aisément, on sait uniquement qu'une solution particulière de l'équation globale est de la même forme que le second membre, V_e tension d'entrée soit : $V_s = A \cos(\omega t + \phi_s)$. Les constantes réelles A et ω se déterminent par l'outil des complexes.

Note mathématique : $\omega = 2\pi f$, où f fréquence du signal, et j imaginaire tel que $j^2 = -1$ et $1/j = -j$.

Un filtre est un quadripôle qui élimine une partie des signaux du spectre fréquentiel. Un

filtre passe-bande sélectionne les signaux situés dans une bande de fréquence.

Les filtres utilisent des composants, comme les bobines et les condensateurs qui sont caractérisés par rapport aux variations de courant ou de tension durant le temps. Notre but étant de connaître l'influence du quadripôle sur le signal en fonction de sa fréquence, nous devons travailler non plus dans le monde temporel mais dans le monde fréquentiel. Ainsi les composants sont caractérisés par leur impédance complexe permettant ainsi de faire apparaître ω , la pulsation du signal. L'impédance complexe permet une généralisation de la loi d'ohm, donc Z , impédance complexe d'un dipôle s'exprime en ohm.

Conducteur ohmique de résistance R : $Z_R = R$

Bobine d'inductance L : $Z_L = j\omega L$

Condensateur de capacité C : $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$

II.2.3. Définition et propriétés du filtre passe bande

II.2.3.1. Fonction de transfert

La fonction de transfert ou transmittance d'un filtre $H(j\omega)$ est un complexe que nous assimilerons à l'amplification en tension.

$$H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e}$$

On sait qu'une tension sinusoïdale U d'expression $U = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$ a une représentation complexe notée $U = U_m \cdot \exp(j(\omega t + \varphi))$. Ainsi la tension de sortie V_s et la tension d'entrée V_e peuvent s'exprimer :

$$V_s = V_{sm} \cdot e^{j(\omega t + \varphi_s)} \quad V_e = V_{em} \cdot e^{j(\omega t + \varphi_e)}$$

Par conséquent :

$$H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{V_{sm} \cdot e^{j(\omega t + \varphi_s)}}{V_{em} \cdot e^{j(\omega t + \varphi_e)}} = \frac{V_{sm}}{V_{em}} \cdot e^{j(\varphi_s - \varphi_e)}$$

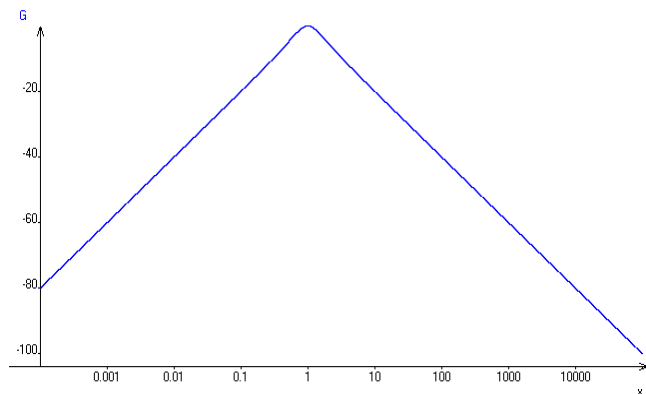
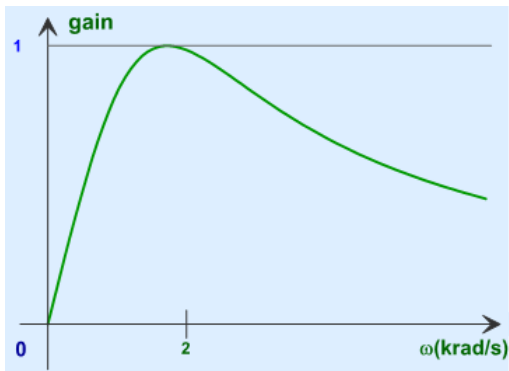
Donc :

$$|H(j\omega)| = \frac{V_{sm}}{V_{se}} \quad \text{et} \quad \arg(H(j\omega)) = \varphi(j\omega) = \varphi_s - \varphi_e$$

Le module de H est le rapport entre l'amplitude maximale en sortie et l'amplitude maximale à l'entrée, nous permet de connaître le gain du quadripôle. L'argument de H nous renseigne sur l'avance en phase du signal de sortie par rapport à celui à l'entrée, on le note φ . Cependant les études que nous ferons se limiteront à celle du gain. On définit le gain du filtre $G(\omega)$ en décibel.

$G(\omega) = 20 \log|H(j\omega)|$, on le représente à l'aide d'un diagramme de Bode. Les fréquences ou pulsations sont présentés en abscisse à l'aide d'une échelle logarithmique.

II.2.3.2. Fréquence de coupure du filtre



Diagrammes de Bode

La représentation du gain en fonction de la pulsation du signal montre qu'il existe une fréquence pour laquelle le gain est maximal (de valeur 1 en général) ce qui correspond à 0dB.

Les calculs sur le circuit permettent de déterminer la fonction de transfert spécifique du filtre et de l'identifier. Un filtre passe bande possède une fonction de transfert spécifique de la forme :

$$H(j\omega) = \frac{\beta j\omega}{a + bj\omega + c(j\omega)^2}$$

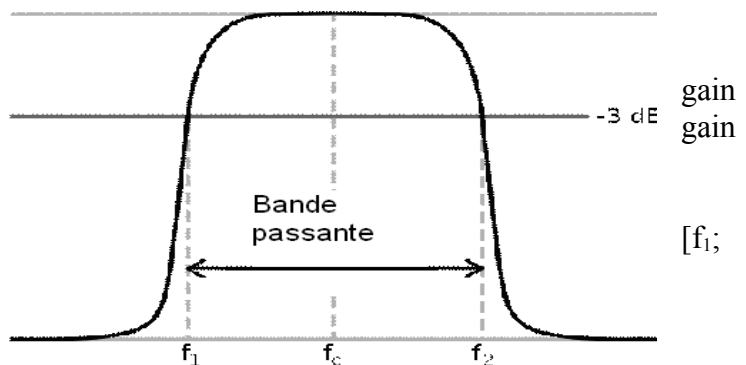
Ainsi pour déterminer les valeurs de f_0 et de Q , grandeurs que nous définirons par la suite, on utilise la fonction de transfert canonique des filtres passe-bande afin d'identifier les termes de la fonction de transfert avec ceux de la fonction de transfert spécifique :

$$\underline{H}(jx) = \frac{\frac{H_0}{Q} jx}{1 + \frac{jx}{Q} + (jx)^2}, \text{ où } x = f/f_0 = \omega/\omega_0.$$

II.2.3.3. Bande passante

Il s'agit de l'intervalle de fréquences (ou de pulsations) pour qui correspond aux pulsations telles que le soit au plus à 3 décibels en dessous du maximum (c'est-à-dire 0,7 fois le gain maximal).

La bande passante correspond à $[f_1; f_2]$. Sa taille Δf est telle que : $\Delta f = f_2 - f_1$.



II.2.3.4. Détermination des constantes

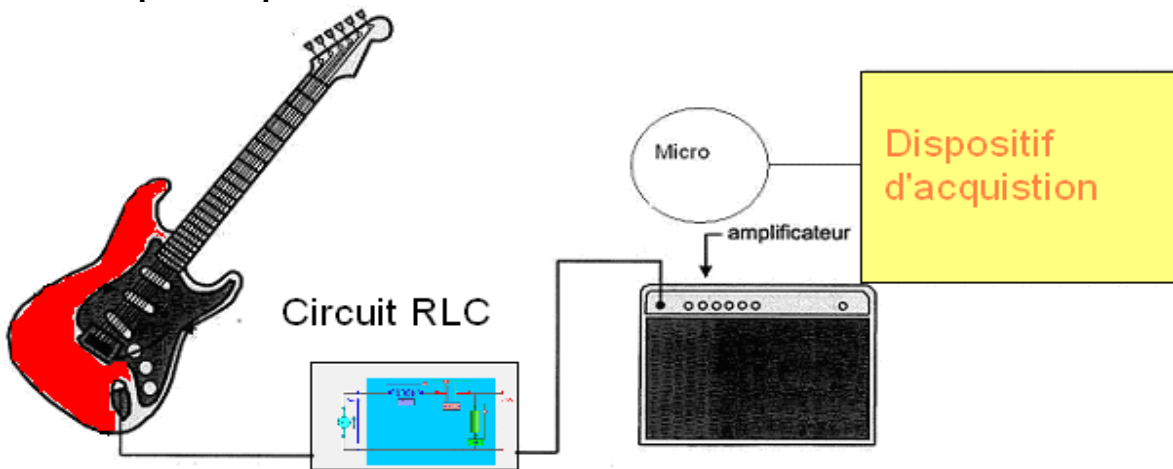
Nous avons alors une équation différentielle de la forme :

$$\ddot{V}_S + \frac{\omega_0}{Q} \dot{V}_S + \omega_0^2 V_S = \frac{\omega_0}{Q} \dot{V}_e$$

Il suffit d'identifier cette forme de l'équation avec l'équation trouvée.

II. Expérience sur le circuit

II.3.1. Dispositif expérimental



Les observations sont vues à l'aide du logiciel Audacity relié au dispositif d'acquisition.

II.3.2. Observations qualitatives

L'effet wah-wah ne s'obtient qu'en modifiant la valeur de l'inductance de la bobine ou la capacité du condensateur. Remarquons que l'effet est complet lorsque c'est la capacité du condensateur que l'on modifie.

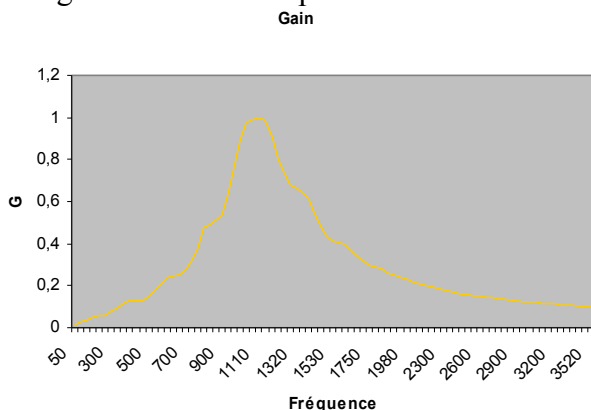
Plus la résistance est faible plus l'effet semble distinct, cependant le son entendu en sortie est peu intense.

II. Observations quantitatives

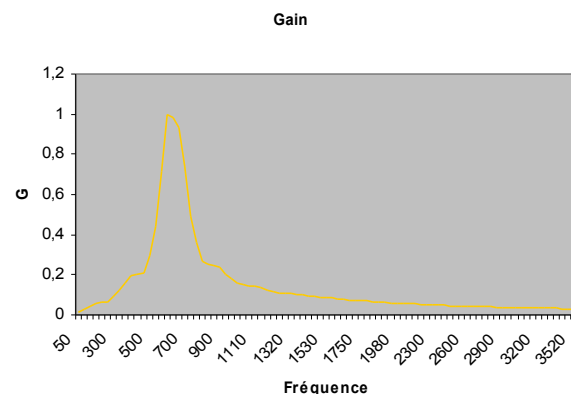
II.3.3.1. La fréquence propre

Nos observations ont été effectuées ici à l'aide d'une simulation sur Excel® appelée *simulation wah-wah.xls* qui est en annexe.

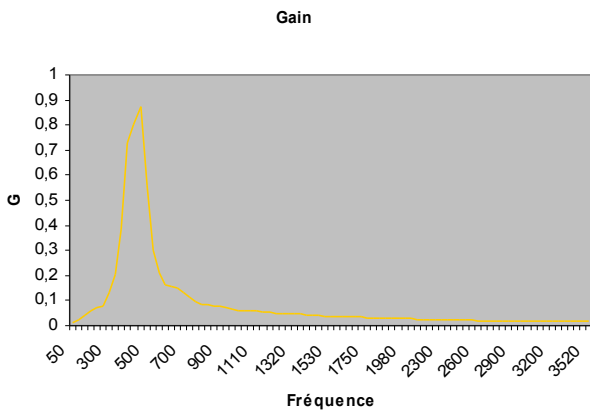
Lorsqu'on obtient l'effet wah-wah, c'est-à-dire qu'on modifie dans ce cas la valeur de l'inductance on remarque que la fréquence pour laquelle le gain est maximal, que nous notons f_m change au cours du temps : $R=200\Omega$ et $C=200nF$



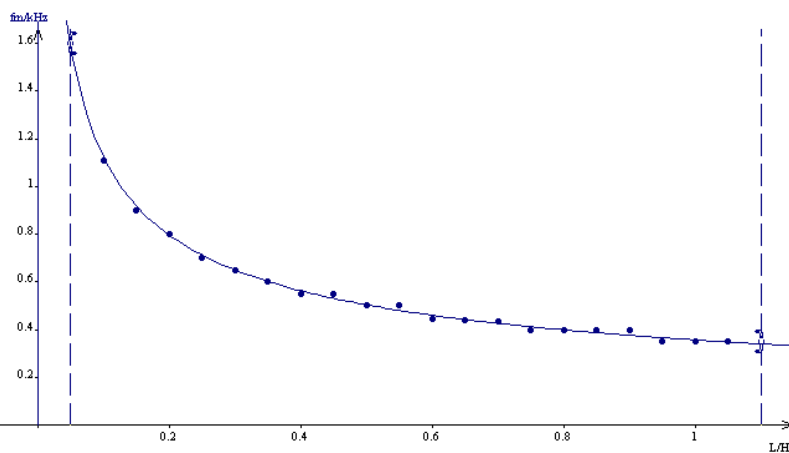
Pour $L=0,10 H$



Pour $L=0,30 H$



Pour $L=0,60 H$



Nous effectuons une détermination de cette fréquence maximale, en faisant varier L .

Résultats de la modélisation sur

Regressi

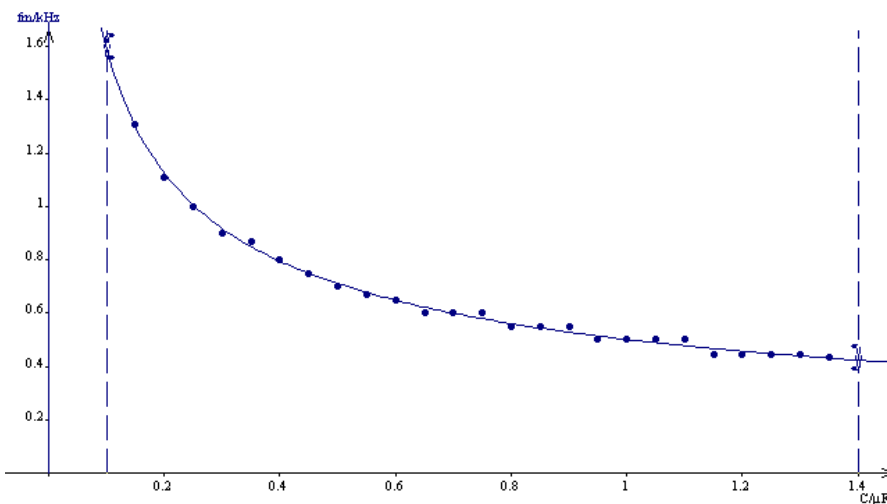
$$f_m(L) = aL^b$$

Ecart relatif $f_m(L) = 1.9 \%$

$$a = 356$$

$$b = -0.498$$

$$f_m = K \sqrt{\frac{1}{L}}$$



Maintenant en faisant varier C , avec $L=0,10H$ et $R=200\Omega$ on obtient :

Résultats de la modélisation sur Regressi :

$$f_m(C) = aC^b$$

Ecart relatif $f_m(C) = 1.9 \%$

$$a = 501$$

$$b = -0.503$$

$$f_m = A \sqrt{\frac{1}{C}}$$

Cette fréquence f_m définie, correspond presque à la fréquence de coupure f_c du filtre passe-bande réalisé, les mesures réalisées corroborent l'expression déterminée à la suite d'un calcul à l'aide des impédances complexes:

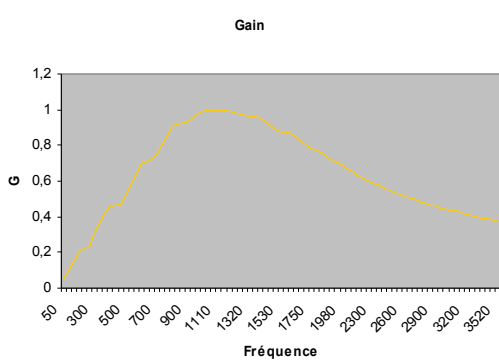
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Cette fréquence de coupure correspond à la fréquence à laquelle le système entre en

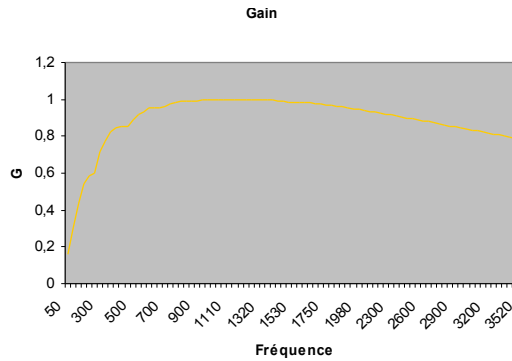
oscillations libres, celle-ci est indépendante des paramètres extérieurs au circuit : on parle alors de **fréquence propre** du circuit RLC ou fréquence de résonance quand on s'intéresse aux oscillations forcées.

I.3.3.2. Le facteur de qualité

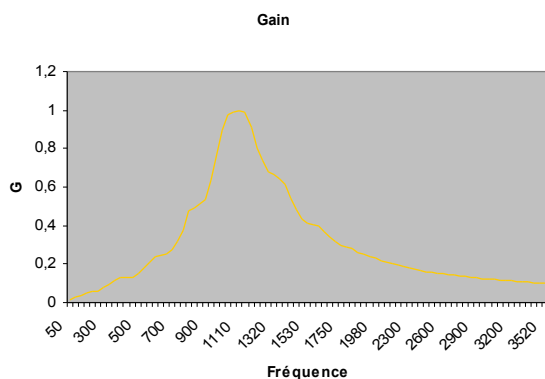
L'effet est d'autant plus net que le gain pour les fréquences autour de la fréquence de coupure est faible. On dit que le filtre est de meilleure qualité vu qu'il est plus sélectif. Ainsi on introduit une grandeur sans dimension appelée facteur de qualité, notée Q dont la valeur sera d'autant plus élevée que le filtre sera sélectif.



Filtre de qualité moyenne



Filtre de mauvaise qualité



Filtre de très bonne qualité

Plus la taille de la bande passante est grande, moins le filtre est sélectif, donc le facteur de qualité est faible. On peut tout simplement dire que le facteur de qualité est inversement proportionnel à la taille de la bande passante. Ce facteur est relatif à la fréquence de coupure, on a par définition:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

On remarque que la bande passante est d'autant plus grande que la valeur de la résistance est élevée, de même on remarque que lorsque la valeur de L est faible la bande passante est plus étroite, d'où l'expression :

$$\Delta f = \frac{R}{2\pi L}, \text{ donc :}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Ce qui confirme le fait que c'est principalement la valeur de la résistance du conducteur ohmique qui influe sur la qualité du filtre.

III Mise en relation des deux expériences

1) Intérêt du rapprochement et points communs

a) Influence

Nous avons vu que l'effet WAH-WAH peut s'obtenir tout d'abord en influant directement sur les propriétés de résonance d'un système acoustique (on fait varier le degré d'ouverture d'une sourdine), puis en faisant varier la fréquence propre d'un filtre passe-bande que traverse le signal électrique induit par l'onde sonore au niveau des micros de la guitare.

Ainsi la mise en relation de ces deux expériences nous permet de mieux comprendre les correspondances entre les paramètres de l'onde sonore variant lors de l'effet WAH WAH et les influences des composants électriques sur la tension issue du filtre passe bande.

Cela nous est permis à partir du moment où une tension sinusoïdale a les mêmes propriétés mathématiques que les ondulations d'un son, et dès lors nous pouvons établir la correspondance entre paramètres et variables des deux applications :

Paramètres de l'application mécanique :	Paramètres de l'application électrique sur :
fréquence (hauteur) fondamentale du son	fréquence fondamentale de la tension alternative
volume sonore	tension maximale
Fréquence propre du matériau de la ventouse	fréquence centrale du filtre passe bande
Amortissement de l'onde sonore par la ventouse	Résistance du circuit RLC

Correspondance entre les paramètres des deux applications

L'effet WAH-WAH, ayant même impact en sortie (haut parleur) sur l'onde sonore, influence donc sur des paramètres correspondants dans les deux systèmes physiques.

b) Fonctionnement

D'après les expériences effectuées, le paramètre variable jouant un rôle lors de l'effet WAH-WAH est :

Variable du système mécanique :	Variable du système électrique :
résonance propre	fréquence centrale du filtre passe bande

Ainsi sur le spectre fréquentiel des ondes obtenu lors des deux expériences on observe un "déplacement" (augmentation) continu de la fréquence de résonance des systèmes physiques :

Dans le système mécanique :	Dans le système électrique
avec l'augmentation de l'angle d'ouverture (α) de la sourdine	Avec l'augmentation de la capacitance ou de l'inductance

Composante de la résonance propre des deux systèmes

2) Divergences

a) Influence

Y La divergence la plus évidente est la différence d'application de l'effet wah-wah dans les

deux systèmes :

- ÿ Dans le premier cas (mécanique), l'effet s'obtient en influant directement sur l'onde sortante, on pourrait donc qualifier ce processus d'**application post-amplification du signal**.
- ÿ Dans le deuxième cas (électriquement), le système influe sur une « transposition électrique » (signal) de l'onde sonore, captée par des micros électromagnétiques à partir des vibrations de la corde métallique, *avant* que l'onde sonore ne soit amplifiée et transmise au haut-parleur, on peut donc qualifier ce processus d'**application pré-amplification du signal**.

b) Fonctionnement

De cette différence, il résulte que l'effet wah wah est plus prononcé quand on utilise une pédale que quand on utilise une sourdine. De plus, la sourdine possède le défaut de ne pas permettre de faire varier de manière précise la fréquence centrale de la bande-passante, parce que cette dernière ne varie pas linéairement en fonction du degré d'ouverture de la sourdine.

Conclusion

Au travers de ce dossier, nous avons cherché à mieux comprendre et expliquer l'analogie entre systèmes mécaniques et électroniques, en prenant l'exemple de la wah wah, qui constitue un défi d'autant plus grand à l'imagination que cet effet est déjà la transposition de certaines caractéristiques du langage humain (nous modulons le timbre de nos voyelles en modifiant l'ouverture de notre bouche) dans le domaine mécanique : la sourdine fait en effet office de "bouche" dont l'ouverture varie. Puis cet effet mécanique est à nouveau transposé dans le langage électronique, par le biais du traitement des signaux périodiques : le son, signal périodique, est transposé en tension, elle aussi une fonction ondulatoire périodique, et ce signal est traité non plus selon la fréquence de résonance d'un matériau, mais celle d'un circuit de type "filtre passe-bande". C'est avant tout ces correspondances entre musique, mécanique et électronique que nous avons cherché à souligner.

Enfin, l'émotion musicale étant encore un phénomène largement incompris, il nous a donc paru intéressant de voir comment du domaine de l'art on passe à celui de la physique, et dans la physique elle-même, d'un domaine à l'autre.