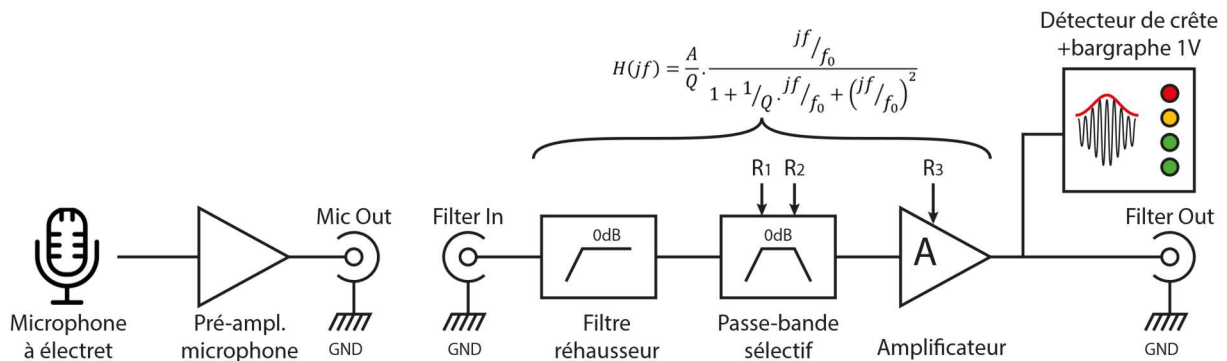


## Préambule

Durant cette semaine, vous allez étudier un filtre actif sélectif qui sera employé, entre autre, afin de détecter un signal sonore (telle une note de musique...) via un microphone !

Afin d'éviter toute étape de câblage longue et fastidieuse, tous les éléments de la chaîne de traitement sont intégrés au sein d'un seul et même circuit imprimé qui vous sera fourni. Ici, même un petit bargraphe (certes rudimentaire) a été implémenté afin d'avoir une image de l'amplitude du signal de sortie ! Le schéma de principe du circuit est donné ci-dessous :

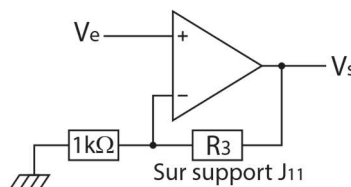


## Préparation

En faisant abstraction du filtre réhausseur, qui n'a d'effet qu'aux très basses fréquences ( $f \ll f_0$  Hz), la fonction de transfert du circuit implémenté est donnée ci-dessous (valable pour  $Q > 1$ ) :

$$H(jf) = \frac{A}{Q} \cdot \frac{jf/f_0}{1 + 1/Q \cdot jf/f_0 + (jf/f_0)^2}$$

A est le gain de l'amplificateur positionné en aval du filtre sélectif dont voici le schéma :



Ici  $R_3$  est positionnée sur le support  $J_{11}$  et permet d'adapter le gain en fonction des contraintes.

1 – Rappeler l'expression du gain de cet amplificateur. Quelle doit être la valeur de  $R_3$  pour avoir un gain de 1 V/V et 10 V/V ?

Dans la suite, le gain A sera fixé à 1 V/V et sera donc omis des calculs.

2 – Quel est l'ordre du filtre ?

3 – Montrez que quelle que soit la valeur de  $Q$ , le gain sera égal à 0 dB pour  $f=f_0$

*Note : C'est ici la particularité la plus remarquable de ce filtre. Quelle que soit la valeur de  $Q$ , le gain sera toujours égal à 0 dB pour  $f=f_0$  !*

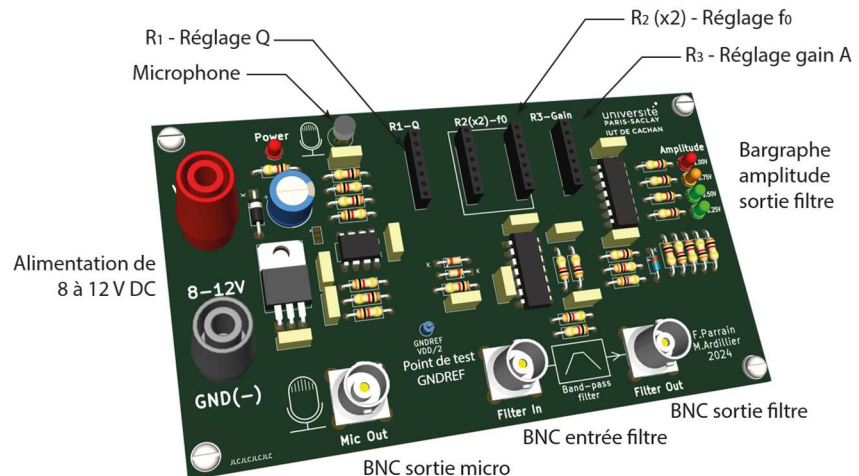
4 – Esquisser le tracé du diagramme de Bode de ce filtre (asymptotique et réel) pour  $f_0$  quelconque et  $Q$  égal à 2 et 10. Quelle est la fonction réalisée (passe-bas, passe-haut ...) ?

5 – Pour une valeur de  $Q$  donnée, rappeler la bande passante à -3 dB de ce filtre

## Manipulation

### Matériel nécessaire :

- Générateur de fonctions (GBF)
- Alimentation de laboratoire
- Oscilloscope + sonde
- Carte "Passe-bande de 2<sup>nd</sup> ordre"
- Haut-parleur
- Résistances de différentes valeurs



## Partie 1 : AOP en alimentation simple

La carte n'est pas alimentée suivant une tension symétrique. De ce fait, les amplificateurs opérationnels employés ne peuvent pas fournir en sortie une tension négative par rapport au GND. On dit qu'ils sont alimentés suivant **une alimentation simple ou unipolaire**. Notez que c'est le cas de la plupart des systèmes analogiques modernes. La tension d'alimentation est ici telle que  $VDD=5V$  (cette tension de 5V est fournie via un régulateur positif 7805).

Afin de pouvoir manipuler des signaux à valeur moyenne nulle et donc en partie négatifs (comme les signaux sinusoïdaux), le principe consiste à décaler ceux-ci autour d'une tension positive dite de référence et notée  $GNDREF$ . Celle-ci est ici fixée à  $VDD/2=2,5 V$ . La dynamique des signaux autour de  $GNDREF$  est donc alors de  $\pm 2,5 V$  en négligeant les tensions de déchet des AOP (ici rail-to-rail).

1 – Vérifier la valeur de la tension  $GNDREF$  par rapport à la masse du circuit GND.  $GNDREF$  est accessible via un point de test identifié clairement au niveau du PCB.

2 – Visualiser le signal en sortie du microphone (BNC "Mic Out") en fonction de l'environnement sonore ambiant. Observer la différence entre le couplage DC et AC de l'oscilloscope. Lequel est le plus judicieux ici ?

*Note : Sur la carte, tous les connecteurs BNC ont leur masse connectée au potentiel GND !*

**Pour les parties 2, 3 et 4, comme dans le cadre de la préparation, le gain de l'amplificateur positionné en aval du filtre sera fixé à 1 V/V. N'oubliez pas de fixer la résistance  $R_3$  à la valeur qui convient !**

## Partie 2 : Réponse fréquentielle du filtre passe-bande

La fréquence centrale du filtre  $f_0$  est fixée grâce à **deux résistances  $R_2$  identiques** (supports  $J_2$  et  $J_3$ ). La fréquence est alors telle que ci-dessous avec  $C=100 nF$  :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Le facteur de qualité est quant à lui fixé par **la résistance  $R_1$**  (support J9) tel que :

$$Q = \frac{R_1}{R_2}$$

3 – Sélectionner des résistances  $R_1$  et  $R_2$  afin d'obtenir une fréquence  $f_0$  dans la gamme allant de 500 Hz à 2 kHz avec un facteur de qualité  $Q$  dans **la gamme allant de 5 à 40**.

*Note : Afin d'éviter toute "bêtise", le filtre est équipé à son entrée (BNC "Filter In") d'un condensateur de couplage associé à un réhausseur de tension (filtre réhausseur). De ce fait, vous pouvez employer n'importe quel signal d'entrée sans vous soucier de sa valeur de décalage (offset) !*

4 – Tester qualitativement le bon fonctionnement du filtre en appliquant à son entrée un signal harmonique de l'ordre de 1 V d'amplitude (n'oubliez pas de mettre le GBF en mode "High Z" !). Ici l'utilisation d'un balayage en fréquence autour de  $f_0$  est judicieux. Normalement, la résonance devrait être observable via l'activité du bargraphe.

5 - Déterminer expérimentalement la valeur de  $f_0$  ainsi que celle du gain à cette fréquence.

*Note : Ici, il est vraisemblable que le gain ne sera pas exactement de 0 dB pour  $f=f_0$ . Ceci est principalement dû au désaccord avec les deux résistances  $R_2$  qui doivent être idéalement identiques !*

6 – Déterminer la valeur expérimentale de  $Q$  en mesurant la bande passante à -3 dB.

7 – Faire différents essais pour différentes valeurs de  $R_1$  et donc de  $Q$  si le temps le permet.

### Partie 3 : Réponse indicielle du filtre passe-bande

La caractéristique résonante du filtre peut être facilement mise en évidence en imposant à l'entrée du filtre **un signal carré** à basse fréquence (~10 Hz). On obtient alors une réponse de type indicielle. Ici on utilisera un signal carré de 1 V d'amplitude.

8 – Observer la réponse indicielle du filtre en synchronisant la base de temps de l'oscilloscope sur le signal d'entrée.

*Note : Veillez ici à désactiver le mode "Auto" du circuit de déclenchement (trigger) de l'oscilloscope qui peut présenter un fonctionnement erratique à basses fréquences.*

Ici, sans rentrer dans les détails, le nombre de pseudo-oscillations observées, à fréquence  $f_0$ , est de l'ordre de la valeur de  $Q$  !

9 – Là aussi, faire différents essais pour différentes valeurs de  $R_1$  et donc de  $Q$  si le temps le permet.

### Partie 4 : Caractérisation de la réponse du filtre via un bruit blanc

Le GBF employé est capable de fournir un signal aléatoire (touche "noise") dont le spectre est quasi constant sur une très large bande de fréquence : on parle de "bruit" rose.

10 – Observer le chronogramme de ce type de signal pour une amplitude pic à pic de 5 V.

11 – Alimenter un haut-parleur avec ce signal et justifier le fait que l'on qualifie ce signal de "bruit".

Appliquer ce signal à l'entrée du filtre pour une valeur de  $Q$  assez élevée ( $Q > 10$ ).

12 – Observer le spectre du signal de sortie du filtre autour de  $f_0$  (fenêtre de Hamming, en unité VRMS). Conclusion(s) ?

## Partie 5 : Détecteur de tonalité

En électronique, un détecteur de tonalité fait référence à un circuit capable de détecter une composante à une fréquence donnée. Ici on vous propose de détecter une note musicale spécifique via le microphone.

Le tableau ci-dessous indique les fréquences (en Hz) des notes dans la gamme tempérée (tempérament égal, source Wikipédia) :

Note/octave	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>do</i> ou <i>si</i> $\sharp$	16,35	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,01	8 372,02	16 744,04
<i>do</i> $\sharp$ ou <i>ré</i> $\flat$	17,33	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92	8 869,84	17 739,68
<i>Ré</i>	18,36	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64	9 397,28	18 794,56
<i>ré</i> $\sharp$ ou <i>mi</i> $\flat$	19,45	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03	9 956,06	19 912,12
<i>mi</i> ou <i>fa</i> $\flat$	20,60	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04	10 548,08	21 096,16
<i>fa</i> ou <i>mi</i> $\sharp$	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65	11 175,30	22 350,60
<i>fa</i> $\sharp$ ou <i>sol</i> $\flat$	23,13	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91	11 839,82	23 679,64
<i>Sol</i>	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96	6271,93	12 543,86	25 087,72
<i>sol</i> $\sharp$ ou <i>la</i> $\flat$	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,22	3322,44	6644,88	13 289,76	26 579,52
<i>La</i>	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00	14 080,00	28 160,00
<i>la</i> $\sharp$ ou <i>si</i> $\flat$	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62	14 917,24	29 834,48
<i>si</i> ou <i>do</i> $\flat$	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13	15 804,26	31 608,52

13 – Petit calcul préliminaire... Quelle progression géométrique relie deux notes adjacentes en fréquence ? Si on prend cet écart comme bande-passante à -3 dB pour notre filtre sélectif, quel sera le coefficient de qualité de celui-ci ?

Dans les faits, compte tenu des résistances disponibles, il est difficile de fixer  $f_0$  à une valeur précise, et donc de sélectionner telle ou telle note (il faudrait employer des résistances ajustables ...).

Choisir une valeur de  $R_2$  afin d'obtenir une valeur de  $f_0$  proche de la fréquence de la note musicale de votre choix mais trop aigue ( $f < 2$  kHz) ... Choisir  $R_1$  afin d'obtenir un coefficient de qualité en accord avec la question précédente.

14 – Vérifier le bon fonctionnement du filtre en appliquant à son entrée un signal harmonique de l'ordre de 1 V d'amplitude.

Utilisons maintenant le microphone ... La note sera issue du haut-parleur alimenté par le GBF via un signal harmonique de 1 V d'amplitude afin de ne pas trop casser les oreilles des voisins ...

15 – Pour  $f=f_0$ , adapter le gain de l'amplificateur (résistance  $R_3$ ) afin d'obtenir suffisamment de signal (LED rouge du bargraphe allumée) quand le haut-parleur et le microphone sont en regard et distants d'une vingtaine de centimètres au maximum.

16 – Vérifier la sélectivité du système en faisant varier la fréquence de l'onde sonore.

17 – Haut-parleur éteint, observer la réponse du système quand vous claquez dans les mains. En discuter avec l'enseignant.

**Fini !**