

LOGICIEL SYNTHESE DE FILTRES ACTIFS

<u>I/ Présentation générale du logiciel</u>	page 2
<u>II/ Définition des amplificateurs opérationnels</u>	page 3
<u>III/ Définition des gabarits</u>	page 4
<u>IV/ Simulations (valeurs exactes ou normalisées)</u>	
-1- Possibilités	page 5
-2- Structures des filtres	
2.1. Passe-bas d'ordre 1	page 6
2.2. Passe-haut d'ordre 1	page 7
2.3. Passe-bas d'ordre 2 (Structure de Sallen et Key)	page 7
2.4. Passe-haut d'ordre 2 (Structure de Sallen et Key)	page 8
2.5. Filtre passe-bande d'ordre 2 (Structure de Rauch)	page 9
<u>V/ Analyse de Monte Carlo</u>	page 10
<u>VI/ Sensibilité</u>	page 11
<u>VII/ Les autres études</u>	page 13

LOGICIEL SYNTHÈSE DE FILTRES ACTIFS

Ce logiciel, développé à l'IUT de Montluçon, département G.E.I.I., utilise l'environnement MATLAB + SIMULINK, et la boîte à outils SIMPOWERSYSTEMS¹.

I/ Présentation générale du logiciel

Pour tous les filtres, le gain maximum dans la bande passante est fixé à **0 dB**.

Le logiciel permet de faire la synthèse de filtres :

- Passe bas
- Passe haut
- Passe bande

En utilisant les fonctions d'approximation de :

- Butterworth
- Chebychev

Après avoir choisi le type de filtre et la fonction d'approximation, il faut définir le gabarit du filtre. Le filtre étant ainsi complètement défini, pour faire la synthèse, il faut enfin préciser l'unité de résistance (R_0 , exprimée en $k\Omega$) ou de capacité (C_0 , exprimée en nF) choisie. Un seul élément suffit, le deuxième étant calculé à partir de la relation

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_0 C_0}$$

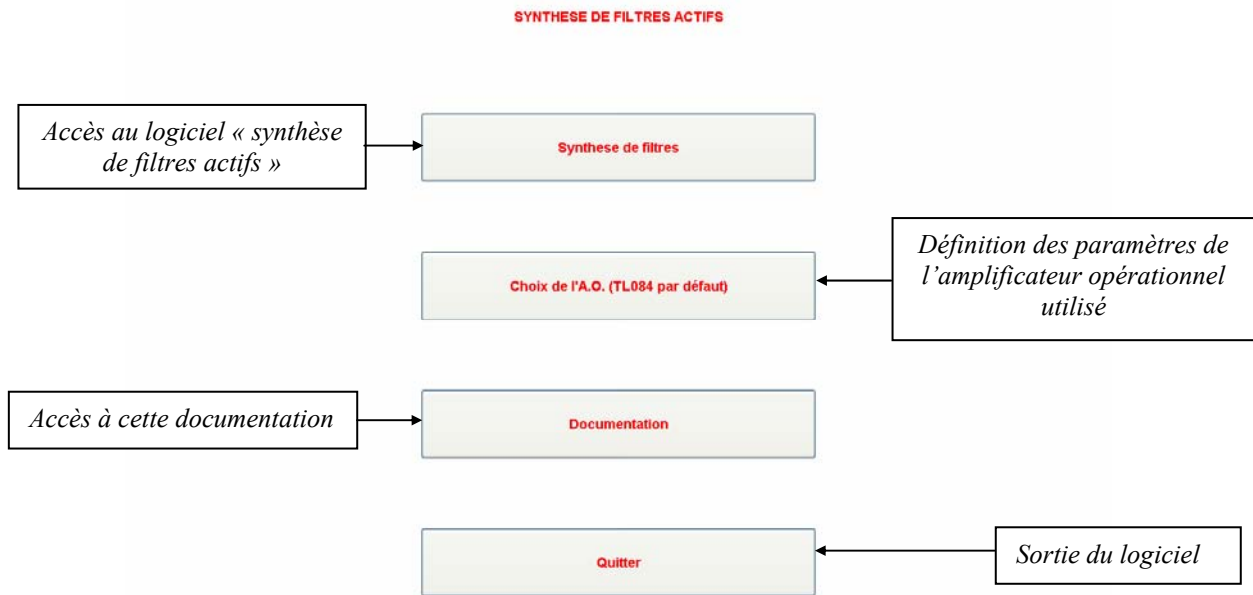
où F_0 est soit la fréquence centrale du filtre passe-bande, soit la limite de la bande passante pour un filtre passe-bas ou un filtre passe-haut.

Ces premières étapes passées, on peut obtenir, ou faire les études suivantes :

1. Fonction de transfert du filtre
2. Diagrammes de Bode (gain et argument) théoriques, et comparaison avec le gabarit
3. Réponse indicielle théorique
4. Réponse impulsionnelle théorique
5. Positions des pôles et zéros
6. Simulation et réalisation pratique à l'aide d'amplificateurs opérationnels (TL 084 par défaut)
7. Même étude qu'en -6-, mais en utilisant les valeurs normalisées les plus proches des valeurs théoriques (choix des séries E6, E12, E24, E48 ou E96)
8. Analyse de Monte Carlo : répartition aléatoire de la valeur des composants (pour une série donnée), ce qui permet d'avoir une idée de la dispersion des résultats si on réalise une production importante.
9. Sensibilité : on peut faire varier la valeur d'un composant d'une valeur minimale à une valeur maximale avec un pas choisi.

¹ MATLAB version 7 (R14 – Service Pack3)
SIMULINK version 6 (R14SP3)
Simpowersystems version 4 (R14SP3)

Après la page d'accueil, on arrive à la page suivante :



II/ Définition des amplificateurs opérationnels

Par défaut, les amplificateurs opérationnels sont de type TL084.

Les amplificateurs opérationnels sont caractérisés par :

- Leur amplification différentielle en continue (A_{d0})
- La fréquence de coupure de l'amplification différentielle : cette

amplification différentielle est de la forme : $A_d = \frac{A_{d0}}{\left(1 + \frac{p}{\omega_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{p}{\omega_2}\right)}$.

Conformément aux documentations des constructeurs, on définit le produit gain x bande passante (ou fréquence de coupure du suiveur) :

$f_T = A_{d0} \cdot f_1$. La deuxième fréquence de coupure est telle que le montage suiveur présente un dépassement indiciel de l'ordre de 5% :

$$f_2 = 2 \cdot A_{d0} \cdot f_1.$$

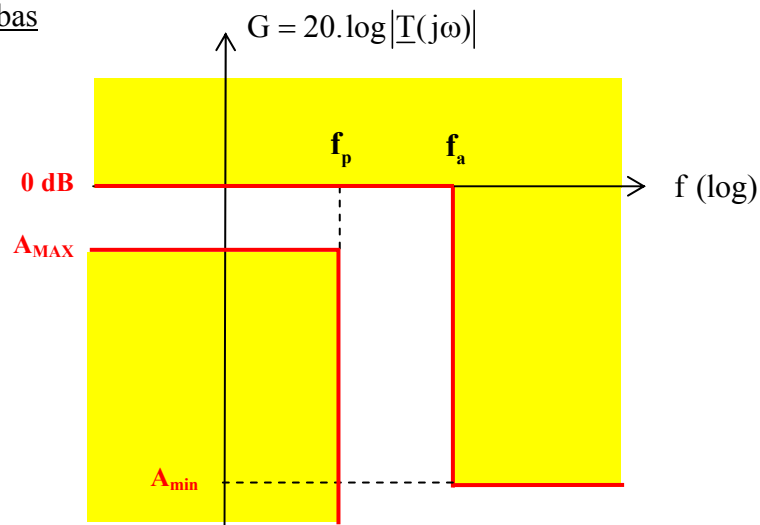
- Le slew-rate
- La tension d'alimentation $\pm V_{CC}$. Les tensions de saturation sont fixées à $\pm (V_{CC} - 1 \text{ V})$.
- La résistance d'entrée différentielle
- La résistance de sortie

Pour le TL084 :

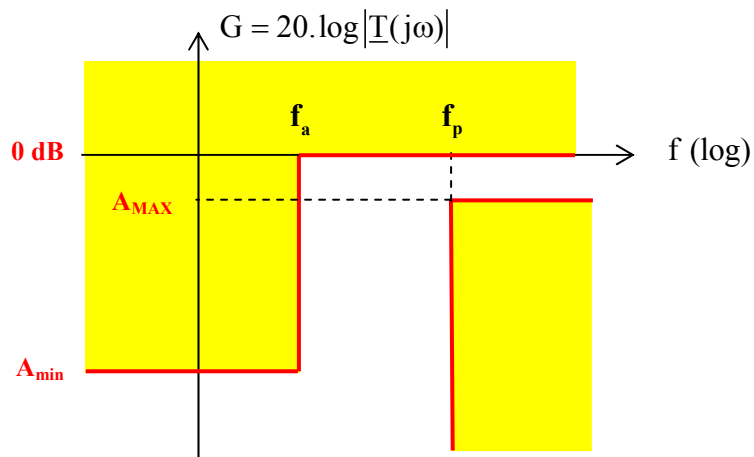
$$A_{d0} = 200 \text{ V/mV} ; f_T = 3 \text{ MHz} ; S = 13 \text{ V}/\mu\text{s} ; V_{CC} = 15 \text{ V} ; R_{id} = 10^6 \text{ M}\Omega \text{ et } R_s = 200 \Omega$$

III/ Définition des gabarits

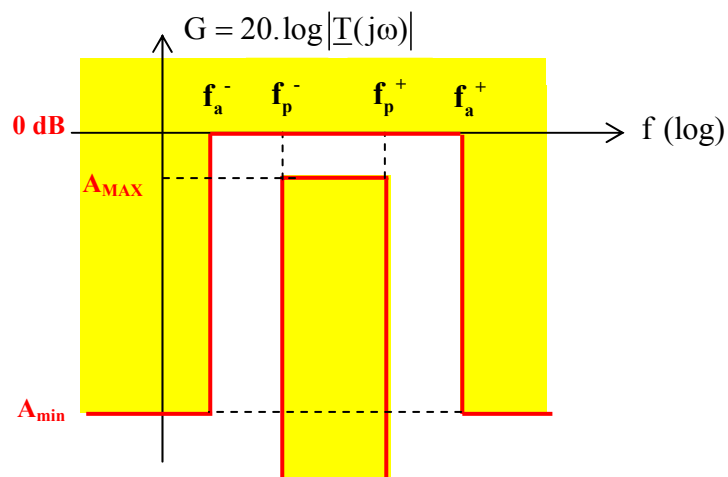
Passe-bas



Passe-haut



Passe-bande



Limite : nous n'aborderons ici que les filtres passe-bande **symétriques**, c'est-à-dire tels que : $\sqrt{f_a^- \cdot f_a^+} = \sqrt{f_p^- \cdot f_p^+} = f_0$

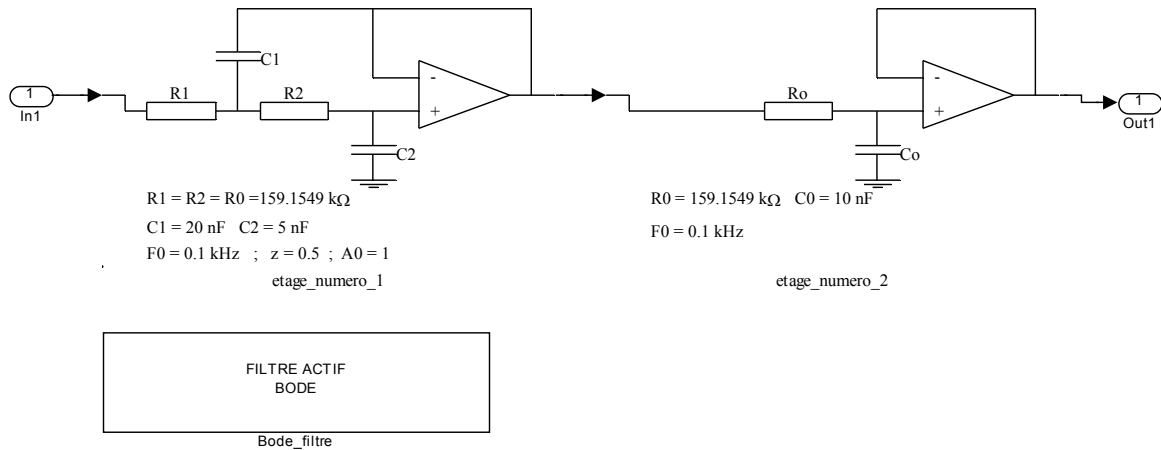
Pour les filtres de type Butterworth, A_{\max} est fixé à **-3 dB**.

IV/ Simulations (valeurs exactes ou normalisées)

-1- Possibilités

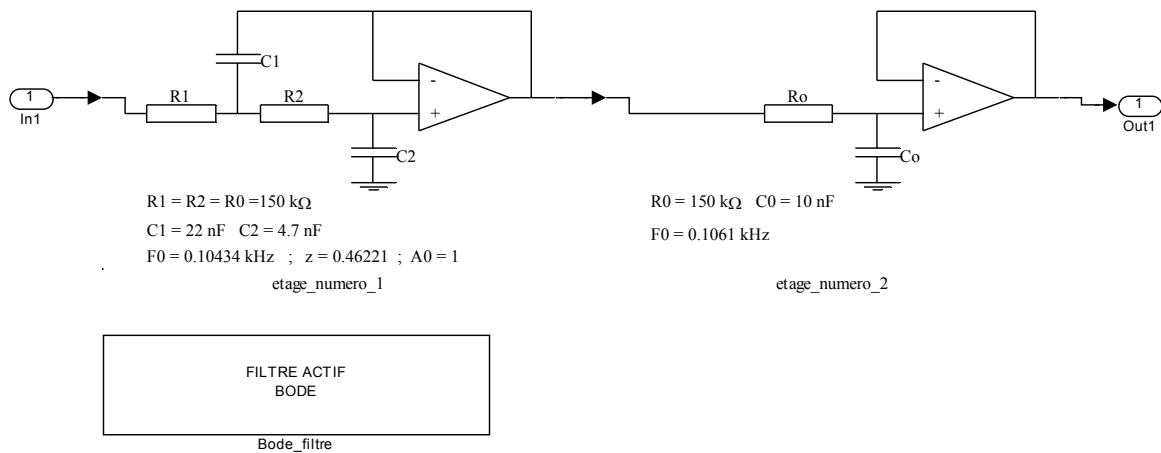
Par défaut, on obtient une fenêtre de simulation pour l'étude en régime harmonique :

Schema_filtre



ou

Schema_filtre_normalise

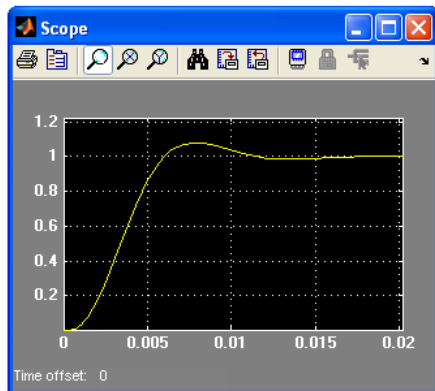
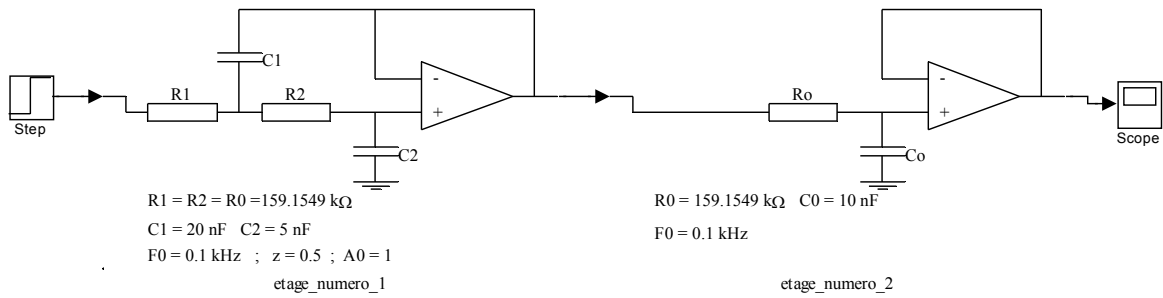


On peut utiliser toutes les fonctionnalités de SIMULINK, pour faire par exemple l'étude de la réponse indicielle :

Schema_filtre

Continuous

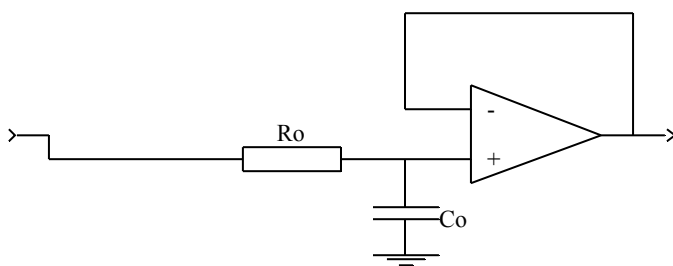
pow ergui



-2- Structures des filtres

Tous les filtres sont réalisés à l'aide de 5 structures :

2.1. Passe-bas d'ordre 1



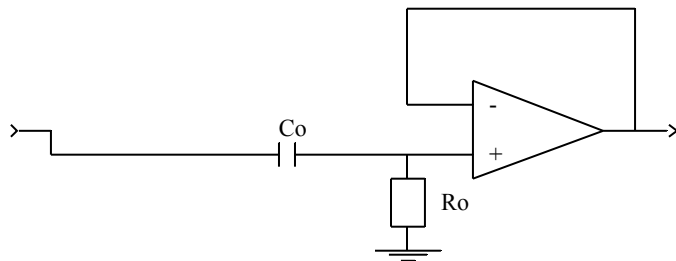
$R0 = 10 \text{ k}\Omega$ $C0 = 1 \text{ nF}$

$F0 = 15.9155 \text{ kHz}$

PL_Ordre1

$$T(p) = \frac{1}{1 + R_0 \cdot C_0 \cdot p}$$

2.2. Passe-haut d'ordre 1



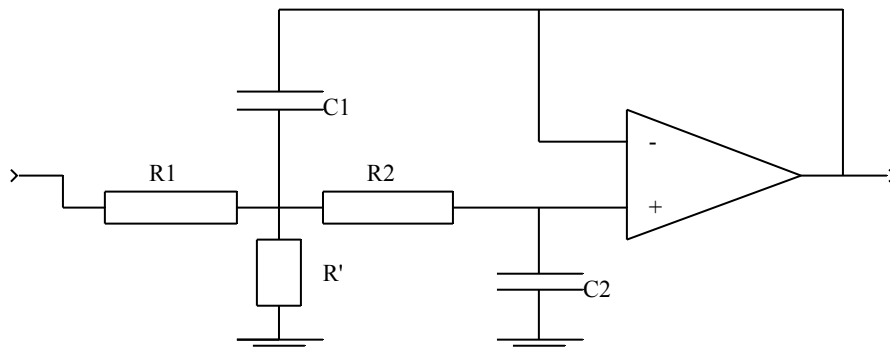
$$T(p) = \frac{R_0 \cdot C_0 \cdot p}{1 + R_0 \cdot C_0 \cdot p}$$

$$R_0 = 10 \text{ k}\Omega \quad C_0 = 1 \text{ nF}$$

$$F_0 = 15.9155 \text{ kHz}$$

PH_Ordre1

2.3. Passe-bas d'ordre 2 (Structure de Sallen et Key)



$$R_1 = R_2 = R_0 = 10 \text{ k}\Omega \quad R' = 100 \text{ k}\Omega$$

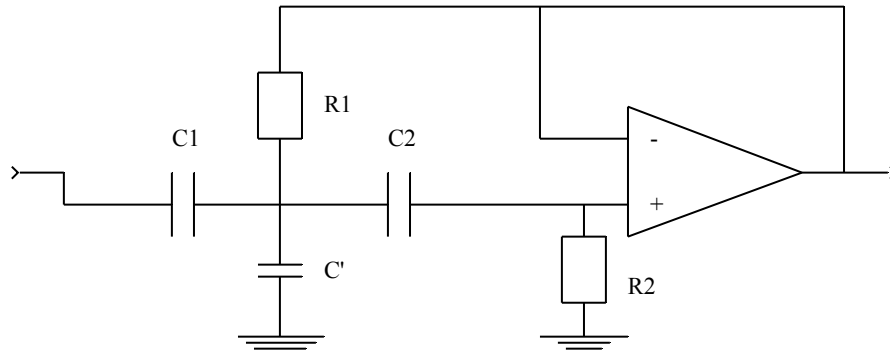
$$C_1 = 1 \text{ nF} \quad C_2 = 1 \text{ nF}$$

$$F_0 = 16.6923 \text{ kHz} \quad ; \quad z = 1.0011 \quad ; \quad A_0 = 0.90909$$

PL_Sallen_Key

$$T(p) = \frac{\frac{R'}{R_1 + R'}}{1 + C_2 \cdot \left(R_2 + \frac{R_1 \cdot R'}{R_1 + R'} \right) \cdot p + \frac{R_1 \cdot R'}{R_1 + R'} \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot p^2}$$

2.4. Passe-haut d'ordre 2 (Structure de Sallen et Key)



$$C1 = C2 = C0 = 1 \text{ nF} \quad C' = 0.1 \text{ nF}$$

$$R1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R2 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$F0 = 10.7302 \text{ kHz} \quad ; \quad z = 0.70791 \quad ; \quad A0 = 0.90909$$

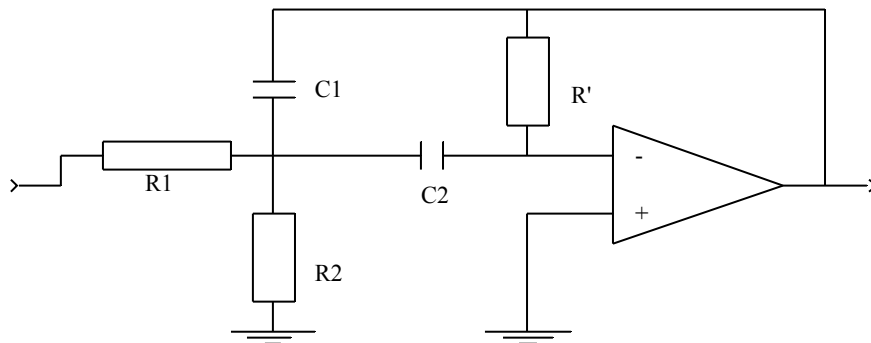
PH_Sallen_Key

$$T(p) = \frac{\frac{C_1}{C_1 + C'} \cdot p^2}{p^2 + \frac{C_1 + C_2 + C'}{C_1 + C'} \cdot \frac{1}{R_2 \cdot C_2} \cdot p + \frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot (C_1 + C') \cdot C_2}}$$

Remarque

Afin d'éviter des problèmes de simulation, une résistance de 1 Ω est placée en série avec la capacité C_1 .

2.5. Filtre passe-bande d'ordre 2 (Structure de Rauch)



$$R1 = 10\text{k}\Omega \quad ; \quad R2 = 5\text{k}\Omega \quad ; \quad R' = 20\text{k}\Omega$$

$$C1 = C2 = C0 = 10\text{ nF}$$

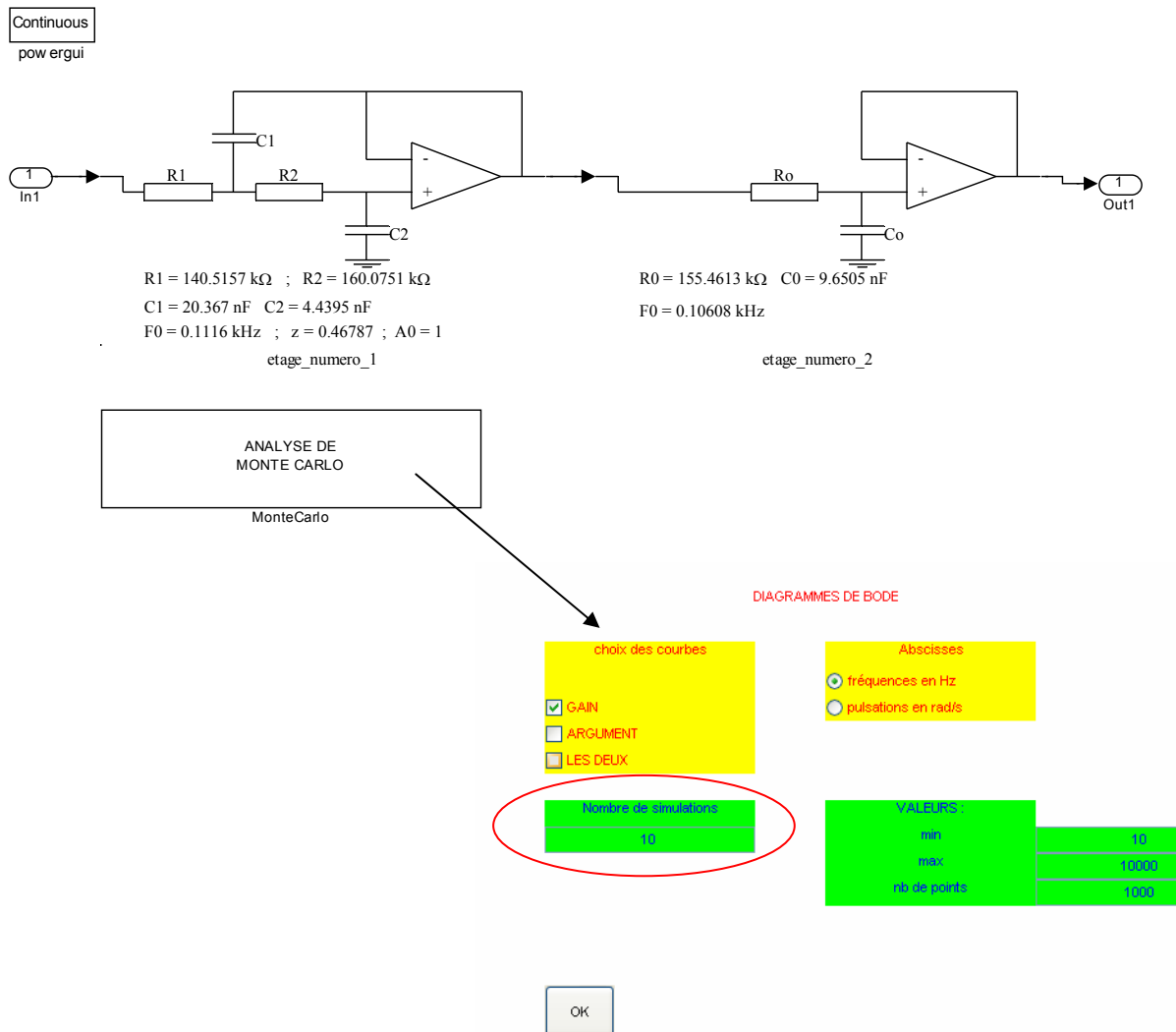
$$F0 = 1.9492\text{ kHz} \quad ; \quad \Delta f = 1.5915\text{ kHz} \quad ; \quad A0 = -1$$

PB_Rauch

$$T(p) = \frac{-\frac{p}{R_1 \cdot C_1}}{p^2 + \frac{1}{R'} \cdot \frac{1}{\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}} \cdot p + \frac{1}{R' \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot C_1 \cdot C_2}}$$

V/ Analyse de Monte Carlo

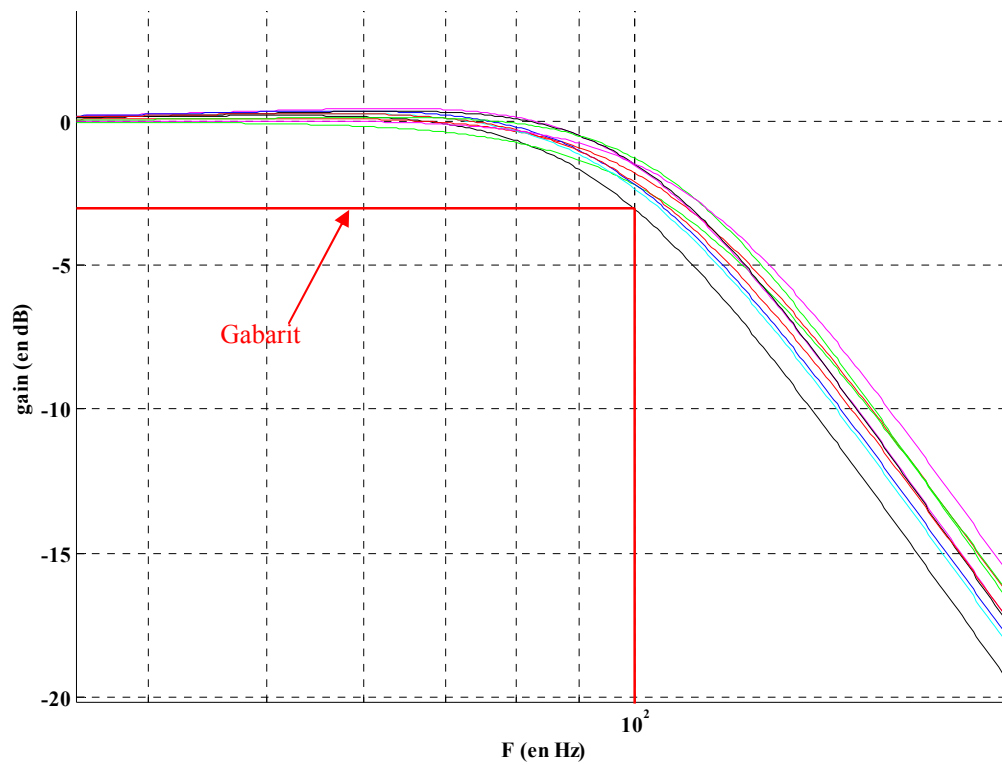
Après avoir choisi la série de valeurs normalisées, on peut choisir le nombre de simulations :



A chaque simulation, tous les composants prennent une valeur aléatoire comprise dans l'intervalle $[\text{valeur normalisée} \times (1 - P) ; \text{valeur normalisée} \times (1 + P)]$, où P dépend de la série :

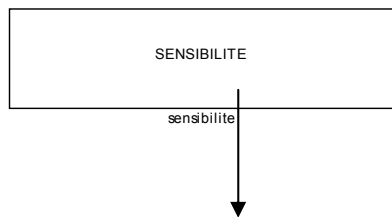
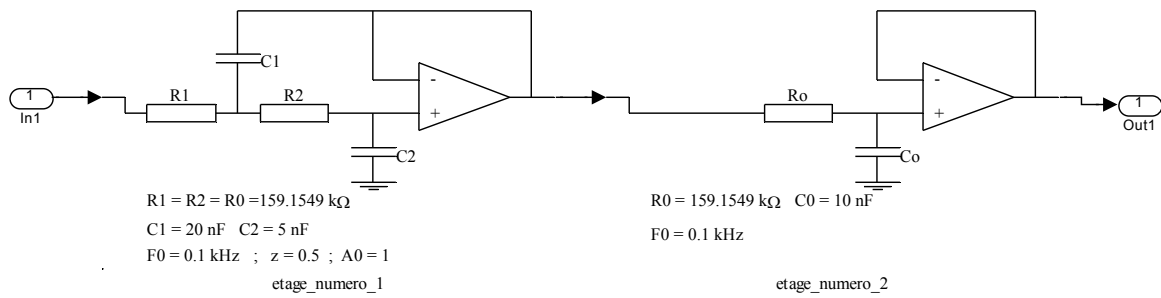
- E6 : $P = 20 \%$
- E12 : $P = 10 \%$
- E24 : $P = 5 \%$
- E48 : $P = 2 \%$
- E96 : $P = 1 \%$

Exemple :



VI/ Sensibilité

On peut faire varier la valeur d'un composant, d'une valeur minimale jusqu'à une valeur maximale, avec un pas choisi :



Cliquer sur l'étage choisi

Puis cliquer sur OK

Choix de l'étage
n°1

Composant

C1

VALEURS

min

10e-9

max

20e-9

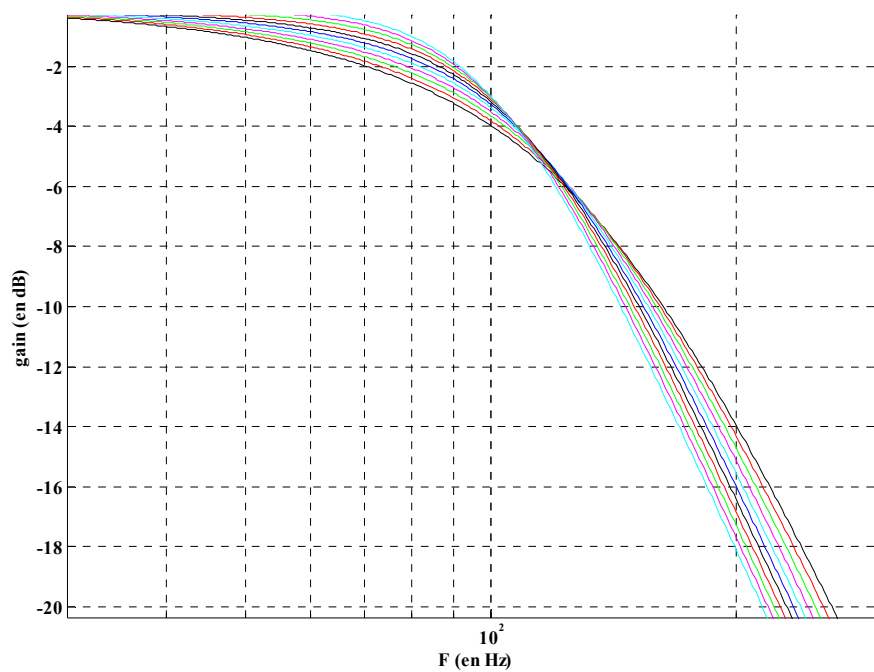
pas

1e-9

OK

OK

Exemple :

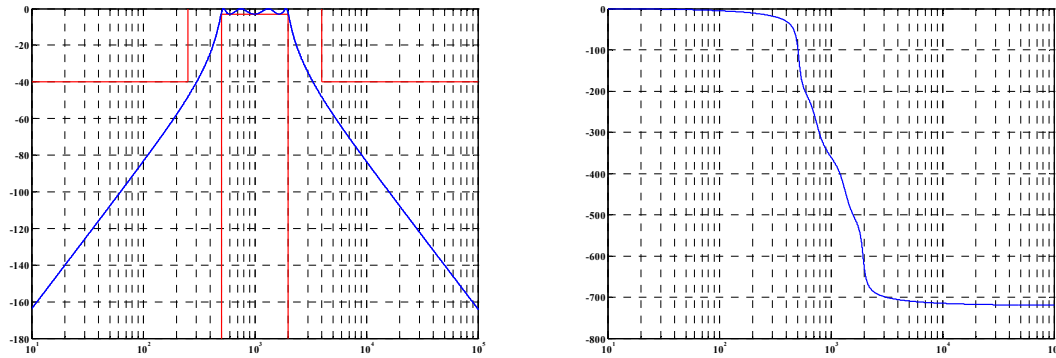


VII/ Les autres études

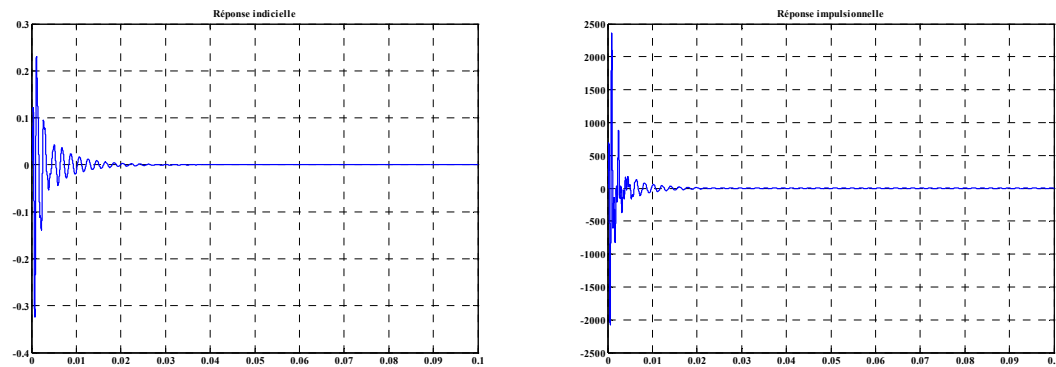
On peut obtenir les réponses harmoniques, indicielles, impulsionnelles théoriques et la position des pôles et zéros.

Exemple :

Réponse harmonique



Réponses indicielle et impulsionnelle



Pôles et zéros

